



**ЛИРА**  
СОФТ

# ЛИРА 10.12

Руководство пользователя

2021



## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА 10.12. Руководство пользователя

Авторы:

Гераймович Юрий Дмитриевич

Евзеров Исаак Данилович

Киричок Владислав Владимирович

Колесников Алексей Викторович

Кузнецова Елена Владимировна

Курбатова Екатерина Анатольевна

Марченко Дмитрий Владимирович

Мовшович Юрий Давыдович

Островна Бажена Вадимовна

Шульгач Богдан Викторович

Руководство пользователя содержит обширную информацию как по графическому интерфейсу, так и по внутреннему устройству программного комплекса ЛИРА 10.12. Описание интерфейса представлено в универсальном виде и подойдет для изучения пользователями, использующими как классический, так и современный ленточный интерфейс.

Руководство пользователя является отличным дополнением к справочной системе внутри ЛИРА 10.12, а также к обучающим примерам, подробное пошаговое описание которых также присутствует внутри программного комплекса.

Руководство пользователя применяется в случаях, когда пользователь не знает или сомневается в той или иной реализации внутри программного комплекса при решении как простых, так и сложных задач с применением специальных модулей расчета. Руководство содержит информацию по библиотеке конечных элементов, применяемых в программном комплексе. Всего в ЛИРА 10.12 реализовано 145 конечных элементов.

Описание графического интерфейса содержит информацию также по конструирующим системам, выполняющим проверки по предельным состояниям по нормам проектирования стальных, деревянных, железобетонных и сталежелезобетонных элементов конструкций.

Руководство пользователя предназначено широкому кругу читателей – студентам строительных факультетов вузов и университетов, инженерам-проектировщикам, экспертам государственных и негосударственных экспертиз, аспирантам и научным работникам.

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>10</b>
<b>ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ .....</b>	<b>13</b>
1.1 Область применения.....	13
1.2 Требование к техническим средствам и операционной системе .....	18
1.3 Установка/удаление ПК ЛИРА 10.12 .....	19
<b>ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ .....</b>	<b>21</b>
2.1 Основные элементы пользовательского интерфейса.....	21
2.1.1 Описание рабочего окна.....	21
2.1.2 Навигация в пространстве расчетной схемы.....	24
2.2 Настройки рабочей среды.....	27
2.3 Создание новой расчетной схемы.....	42
2.4 Добавление узлов и элементов.....	44
2.4.1 Добавление узлов.....	44
2.4.2 Добавление конечных элементов .....	48
2.4.3 Добавление архитектурных элементов.....	52
2.4.4 Добавление пространственной рамы .....	58
2.4.5 Добавление поверхности по шаблону.....	60
2.4.6 Добавление фрагмента перемещением (вращением) образующей.....	73
2.4.7 Добавление плиты.....	78
2.4.8 Добавление фермы.....	81
2.4.9 Добавление линий по шаблону.....	84
2.4.10 Добавление импортированного фрагмента .....	89
2.4.11 Табличное редактирование .....	89
2.4.12 Добавление объемных элементов.....	92
2.5 Выделение и фрагментация.....	93
2.5.1 Выделение узлов и элементов .....	93
2.5.2 Фильтр выбора .....	98
2.5.3 Лавинообразный выбор.....	102
2.5.4 Фрагментация.....	104
2.6 Копирование и перенос фрагментов расчетной схемы.....	105
2.6.1 Копировать выбранный фрагмент.....	105
2.6.2 Переместить выбранный фрагмент.....	108
2.6.3 Повернуть выбранный фрагмент.....	110
2.6.4 Симметрично копировать выбранный фрагмент.....	111
2.6.5 Масштабировать выбранный фрагмент.....	112

2.7 Сгущение, объединение и пересечение элементов.....	114
2.7.1 Дробление элементов.....	114
2.7.2 Объединение КЭ.....	116
2.7.3 Пересечение КЭ.....	118
2.8 Упаковка и перенумерация.....	120
2.8.1 Упаковать/Расшить.....	120
2.8.2 Перенумерация.....	124
2.9 Атрибуты представления.....	126
2.10 Нагрузки.....	129
2.11 Назначение параметров узлам и элементам.....	184
2.11.1 Связи.....	184
2.11.2 Абсолютно твердые тела.....	186
2.11.3 Сечения, материалы и параметры конструирования.....	187
2.11.4 Группы объединения перемещений.....	189
2.11.5 Назначение типов конечных элементов.....	191
2.11.6 Локальные оси, оси выравнивания напряжений и оси ортотропии.....	191
2.11.7 Шарниры.....	199
2.11.8 Жесткие вставки.....	200
2.11.9 Упругое основание.....	202
2.11.10 Группы элементов.....	208
2.11.11 Конструктивные элементы.....	209
2.11.12 Копирование свойств узлов и элементов.....	210
2.11.13 Информация об узле и элементе.....	211
2.11.14 Группы свай и фундаментов.....	213
2.11.15 Согласование сетей.....	215
2.11.16 Эквивалентные элементы.....	217
2.11.17 Конденсация масс.....	219
2.11.18 Игнорирование элементов при расчете устойчивости.....	220
2.11.19 Коэффициент относительной неупругой деформации.....	221
2.11.20 Группы суммирования усилий и перемещений для СЖБ.....	222
2.11.21 Начальная температура.....	224
2.12 Двумерный графический редактор.....	225
2.13 Редактор сечений/жесткостей.....	230
2.14 Редактор материалов.....	234
2.15 Редактор загружений.....	238
2.16 Редактор параметров конструирования.....	249

2.17 Анализ и контроль заданных исходных данных .....	251
2.17.1 Измерение геометрических размеров .....	251
2.17.2 Размерные линии .....	252
2.17.3 Установить текущее загрузеие .....	253
2.17.4 Анализ геометрии .....	254
2.17.5 Анализ нагрузок .....	255
2.17.6 Анализ модели.....	257
2.17.7 Контроль расчетной схемы модели.....	260
2.17.8 Строительные оси и отметки .....	263
<b>ГЛАВА 3. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ АНАЛИЗА</b>	
<b>РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА.....</b>	<b>265</b>
3.1 Исходная и деформированная схема (загружения, РСН, устойчивость, динамика) .....	265
3.2 Параметры шкалы для визуализации изополей и мозаик .....	266
3.3 Визуализация результатов расчета для узлов и элементов .....	270
3.3.1 Результаты по узлам .....	270
3.3.2 Результаты по стержням .....	272
3.3.3 Результаты по пластинам .....	275
3.3.4 Результаты по объемным КЭ .....	277
3.3.5 Результаты по специальным элементам .....	278
3.3.6 Результаты по сочетаниям .....	280
3.4 Главные и эквивалентные напряжения .....	285
3.4.1 Нормальные напряжения в стержневых элементах .....	285
3.4.2 Главные и эквивалентные напряжения пластин .....	287
3.4.3 Главные и эквивалентные напряжения объемных элементов.....	290
3.5 Инерционные силы и ускорения .....	292
3.5.1 Инерционные силы .....	292
3.5.2 Ускорения .....	293
3.6 Узловые реакции.....	295
3.7 Разрушения.....	297
3.8 Крены и перекосы.....	302
3.9 Пользовательские результаты .....	304
3.9.1 Вкладка Пользовательские результаты .....	304
3.9.2 Вкладка Графики по загрузениям .....	318
3.9.3 Вкладка Графики по узлам/элементам .....	319
3.10 Документирование .....	320
3.10.1 Копирование изображения с экрана.....	320
3.10.2 Создание и настройка таблиц .....	324

3.10.3 Формирование отчета .....	327
3.11 Построение АЧХ .....	330
<b>ГЛАВА 4. ЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ .....</b>	<b>332</b>
4.1 Задачи статики .....	332
4.2 Задачи динамики .....	334
4.2.1 Конденсация масс .....	338
4.2.2 Спектр реакции .....	338
4.3 Задачи устойчивости .....	339
4.4 Учет депланации для 7-го типа стержня .....	341
4.5 Редактирование матрицы жесткости для пластин и стержней .....	341
<b>ГЛАВА 5. СИСТЕМА ГРУНТ .....</b>	<b>344</b>
5.1 Назначение исходных данных для расчета фундаментов .....	345
5.1.1 Сечение Свая (упругая связь) .....	345
5.1.2 Расчет жесткости одиночной сваи .....	347
5.2 Редактор грунта .....	354
5.2.1 Характеристики грунтов .....	354
5.2.2 Задание скважин и нагрузок .....	356
5.2.3 Геологические разрезы .....	359
5.2.4 Объемная модель грунта .....	362
5.2.5 Нормы и характеристики расчета .....	362
5.2.6 Расчет плитных фундаментов .....	365
5.2.7 Расчет свайного фундаментов .....	372
5.2.8 Результаты расчета .....	377
5.2.9 Импорт модели грунта .....	379
5.3 Визуализация результатов расчета .....	381
5.3.1 Просмотр результатов в режиме Информация об узле или элементе .....	381
5.3.2 Визуализация результатов в режиме Упругое основание .....	382
5.3.3 Визуализация результатов в режиме Анализ модели .....	383
5.4 Пересчет коэффициентов постели на новую нагрузку .....	384
<b>ГЛАВА 6. РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК/УСИЛИЙ .....</b>	<b>386</b>
6.1 Особенности задания РСУ в редакторе загружений .....	386
6.2 РСУ в стержнях .....	391
6.3 РСУ в пластинах .....	393
6.4 РСУ в объемных элементах .....	393
6.5 РСУ в специальных элементах .....	395
6.6 Унификация РСУ .....	395

6.7 РСН .....	396
<b>ГЛАВА 7. СИСТЕМА ВАРИАЦИЯ МОДЕЛЕЙ .....</b>	<b>398</b>
7.1 Вариация моделей с объединением РСУ .....	399
7.2 Вариация моделей с вычислением РСУ и РСН на основе ранее вычисленных усилий и перемещений .....	400
<b>ГЛАВА 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....</b>	<b>401</b>
8.1 Основные положения .....	401
8.2 Подбор арматуры. Проверка заданного армирования .....	402
8.2.1 Подготовка исходных данных .....	402
8.2.2 Задание армирования в стержневых железобетонных сечениях .....	402
8.2.3 Задание армирования в стержневых сталежелезобетонных сечениях .....	408
8.2.4 Задание армирования в плитных сечениях .....	412
8.2.5 Задание конструирования для железобетонных стержневых элементов .....	414
8.2.6 Задание конструирования для железобетонных плитных элементов .....	425
8.2.7 Задание конструирования для сталежелезобетонных стержневых элементов .....	435
8.2.8 Расчет .....	436
8.2.9 Результаты расчета .....	443
8.3 Преобразование подобранных сечений .....	449
8.4 Продавливание безбалочных железобетонных плит .....	451
8.4.1 Подготовка исходных данных .....	451
8.4.2 Расчет .....	453
8.4.3 Результаты расчета .....	454
8.5 Поверхность несущей способности .....	456
<b>ГЛАВА 9. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....</b>	<b>459</b>
9.1 Общие сведения и особенности реализации расчетов стальных конструкций .....	459
9.2 Особенности моделирования и расчета универсального двухветвевое сечения .....	470
9.3 Особенности моделирования и расчета универсального трёхветвевое сечения .....	474
9.4 Особенности моделирования и расчета элементов переменного сечения .....	479
9.5 Сечения и материалы, доступные для проверки или подбора стальных конструкций .....	482
9.5.1 Одиночные прокатные сечения различных сортаментов .....	483
9.5.2 Сварные сечения из листовой стали .....	485
9.5.3 Спаренные сечения .....	496
9.5.4 Составные сечения .....	520
9.5.5 Сквозные сечения .....	524
9.5.6 Стальные переменные сечения .....	531
9.5.7 Специальные сечения .....	533
9.6 Редактор базы данных стального проката .....	534

9.7 Задание параметров конструирования .....	538
9.7.1 Типы сечений по конструированию .....	538
9.7.2 Исходные данные для конструирования .....	540
9.7.3 Конструирование универсального двухветвевое сечения .....	544
9.7.4 Конструирование универсального трёхветвевое сечения .....	550
9.7.5 Конструирование элементов переменного сечения .....	552
9.7.6 Задание раскреплений для проверки прогибов балочных конструкций .....	555
9.8 Анализ результатов расчета .....	556
9.8.1 Получение результатов расчета .....	556
9.8.2 Получение результатов в виде таблиц .....	559
9.8.3 Анализ результатов расчета универсального двухветвевое сечения .....	561
9.8.4 Анализ результатов расчета универсального трёхветвевое сечения .....	562
9.9 Учет коррозии .....	563
9.10 Утилита для определения расчетных длин колонн .....	564
9.10.1 Колонны постоянного сечения .....	564
9.10.2 Ступенчатые колонны .....	567
9.10.3 Колонны с неполной связью .....	569
9.10.4 Ветви двухветвевых колонн .....	572
9.11 Утилита для расчета тонких стальных настилов .....	574
9.12 Особенности расчета стальных конструкций по евронормам .....	578
<b>ГЛАВА 9А. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....</b>	<b>582</b>
9А.1 Задание исходных данных .....	582
9А.1.1 Задание сечений/жесткостей .....	582
9А.1.2 Задание материалов .....	585
9А.1.3 Задание параметров конструирования .....	586
9А.2 Анализ результатов расчета .....	592
<b>ГЛАВА 10. ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ .....</b>	<b>593</b>
10.1 Главные напряжения .....	593
10.2 Эквивалентные напряжения .....	599
<b>ГЛАВА 11. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ .....</b>	<b>602</b>
11.1 Нелинейная упругость .....	602
11.2 Геометрическая нелинейность .....	604
11.3 Физическая и геометрическая нелинейность .....	604
11.4 Конструктивная нелинейность .....	604
11.5 Упругопластичность .....	604
11.6 Ползучесть .....	604



11.7 Монтаж .....	605
11.8 Некоторые положения о разрушениях и пластических шарнирах в нелинейных элементах.....	611
<b>ГЛАВА 12. СИСТЕМА PUSHOVER ANALYSIS.....</b>	<b>614</b>
12.1 Исходные данные .....	614
12.2 Результаты расчета .....	617
12.2.1 Расчет по 27-му расчетному модулю .....	617
12.2.2 Расчет по 36-му расчетному модулю .....	618
12.2.3 Расчет по 44-му расчетному модулю .....	620
12.2.4 Расчет по 55-му расчетному модулю .....	621
<b>ГЛАВА 13. СИСТЕМА ДИНАМИКА+ .....</b>	<b>622</b>
13.1 Исходные данные для создания схемы .....	623
13.1.1 Создание загружений .....	623
13.1.2 Назначение нагрузок .....	629
13.2 Анализ результатов .....	634
<b>ГЛАВА 14. СИСТЕМА МОСТ.....</b>	<b>636</b>
14.1 Задание уровней моста и траекторий движения.....	636
14.2 Задание расчетных узлов и элементов .....	639
14.3 Задание сдвоенных нагрузок АК .....	640
14.4 Задание временных подвижных нагрузок.....	641
14.5 Расчет.....	648
14.6 Визуализация и анализ результатов расчета.....	649
<b>ГЛАВА 15. СИСТЕМА СЕЧЕНИЕ .....</b>	<b>653</b>
15.1 Исходные данные .....	653
15.2 Результаты расчета .....	653
<b>ГЛАВА 16. СИСТЕМА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ.....</b>	<b>658</b>
16.1 Исходные данные .....	658
16.2 Расчет нестационарной задачи теплопроводности .....	662
16.3 Результаты расчета .....	662
<b>ГЛАВА 17. СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИЯ.....</b>	<b>664</b>
17.1 Исходные данные .....	664
17.2 Результаты расчета .....	664
<b>ГЛАВА 18. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....</b>	<b>667</b>
18.1 Общее описание и применяемые методы .....	667
18.2 Линейная статическая задача .....	668
18.3 Линейная динамическая задача.....	668
18.4 Задачи упругой устойчивости недеформированной схемы .....	669

18.5 Нелинейные статические задачи .....	669
18.6 Задачи с односторонними ограничениями, с трением и задачи механики сыпучей среды .....	670
18.7 Нелинейные динамические задачи.....	670
18.8 Конечные элементы линейной статической задачи .....	670
18.9 Функционалы возможных работ линейной задачи.....	672
18.10 Метод конечных элементов для линейной статической задачи.....	676
18.11 Вычисление жесткостных характеристик сечений стержней.....	678
18.12 Стационарная задача теплопроводности .....	679
18.13 Стационарная задача фильтрации .....	679
18.14 Нестационарная задача теплопроводности .....	680
<b>ГЛАВА 19. БИБЛИОТЕКА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....</b>	<b>681</b>
19.1 Стержни .....	682
19.2 Двумерные элементы.....	683
19.3 Трехмерные элементы .....	684
19.4 Геометрически нелинейные элементы.....	684
19.5 Физически нелинейные элементы .....	685
19.6 Физически и геометрически нелинейные элементы.....	686
19.7 Грунты.....	686
19.8 Специальные элементы .....	687
19.9 Состав БКЭ .....	692
<b>ГЛАВА 20. РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ, ПРИНЯТЫЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА.....</b>	<b>697</b>
20.1 Размерности и правила знаков перемещений и поворотов узлов .....	697
20.2 Размерности и правила знаков узловых нагрузок и инерционных сил .....	697
20.3 Размерности и правила знаков реакций в узлах.....	697
20.4 Размерности и правила знаков усилий в КЭ стержня .....	698
20.5 Размерности и правила знаков усилий в КЭ пластин.....	698
20.6 Размерности и правила знаков усилий в объемных КЭ .....	700
20.7 Размерности и правила знаков усилий в специальных КЭ .....	701
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФОРМАТ ВХОДНОГО ФАЙЛА РАСЧЕТНОГО ПРОЦЕССОРА.....</b>	<b>702</b>
А.1 Форма описания входных данных.....	702
А.2 Общие характеристики.....	704
А.3 Узлы.....	707
А.4 Элементы .....	709
А.5 Нагрузки и воздействия.....	746
А.6 Сочетания.....	801

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ИМПОРТ/ЭКСПОРТ ДАННЫХ О РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ.....</b>	<b>804</b>
Б.1 Поддерживаемые форматы импорта и экспорта.....	804
Б.1.1 Общие сведения.....	804
Б.1.2 Добавить импортированный фрагмент.....	805
Б.1.3 Импорт файлов общего формата DXF.....	805
Б.1.4 Экспорт конечно-элементной модели в файл общего формата DXF.....	812
Б.2 Особенности импорта поэтажных планов из файлов DXF.....	812
Б.2.1 Общие сведения.....	812
Б.2.2 Подготовка DXF-файла в среде AutoCAD.....	814
Б.3 Особенности импорта файлов с расширением (*.ifc).....	816
Б.4 Интеграция Advance Steel — ЛИРА 10.....	818
Б.5 Экспорт из Renga.....	820
Б.6 Интеграция Revit — ЛИРА 10.....	820
Б.7 Интеграция Tekla Structures — ЛИРА 10.....	827
Б.8 Импорт/Экспорт из командной строки.....	830
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О LIRA API.....</b>	<b>832</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г. НЕКОТОРЫЕ ВЕРИФИКАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ.....</b>	<b>835</b>
Г.1 Линейная статика.....	835
Г.2 Динамика. Собственные частоты.....	839
Г.3 Устойчивость.....	841
Г.4 Геометрическая, физическая и конструктивная нелинейность.....	843
Г.5 Динамика плюс. Динамические задачи во временной области.....	849
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>851</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Новый программный комплекс ПК ЛИРА 10 отошел от каскадного представления окон и перешел к структуре представления интерфейса в виде «стека активных режимов». Такой подход позволил сэкономить полезное пространство и увеличить рабочую зону, а вспомогательные панели стали более функциональными. ПК ЛИРА 10 работает как целостный продукт, в соответствии с принципом «в рамках одной задачи». Это значит, что создание расчетной схемы, просмотр результатов, конструирование элементов и подготовка отчета по результатам происходит непосредственно внутри одного программного комплекса.

Программный комплекс представлен полностью новым интерфейсом, более интуитивным и удобным, с учетом последних тенденций развития программного обеспечения.

В ПК ЛИРА 10 можно условно выделить основные отличительные преимущества и рассмотреть каждое из них по порядку:

- **Единый графический интерфейс.** Все модули расчетного комплекса: МОНТАЖ, ДИНАМИКА+, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ФИЛЬТРАЦИЯ, МОСТ, PUSHOVER, СЕЧЕНИЕ, ГРУНТ, конструирующие системы, конструктор сечений, документирующая система, анализ и контроль результатов и т.д., функционируют в единой интегрированной среде, что позволяет существенно сэкономить время, как при построении модели, так и при создании отчета. Объектная модель данных всегда готова к любым изменениям, дополнениям и модификациям.

- **Элементы BIM-технологий и связь с другими расчетными системами.** Вычисления становятся частью единой информационной модели благодаря интеграции с платформами Autodesk Revit, Tekla Structures, Autodesk Advance Steel, Renga Structure, PLAXIS 3D. Дополнительно, импорт и экспорт моделей также возможен на основе множества универсальных и узкоспециализированных форматов. Реализованы следующие форматы: \*.dxf; \*.msh; \*.mesh; \*.stl; \*.obj; \*.mesh; \*.off; \*.poly; \*.dxf; \*.igs; \*.3ds; \*.neu; \*.byu; \*.ifc; \*.sdnf; \*.docx; \*.xlsx; \*.pptx; \*.html; \*.bmp; \*.gif; \*.png; \*.jpeg; \*.tiff; \*.avi, и др.

- **Архитектурные элементы.** Ускоряют процесс создания расчетной модели, дают возможность построить модель без обязательной триангуляции и предоставляют широкие возможности импорта и экспорта различных объектов из других программ. С помощью архитектурных элементов можно смоделировать перекрытия, стену, балку, колонну без разбивки на конечные элементы (одним элементом), осуществить переход к конечно-элементной модели (триангуляция может выполняться в процессе расчета). При необходимости набор конечных элементов может быть обратно преобразован в архитектурный элемент. Это все позволяет сократить затраты времени при корректировке расчетной модели, а также выполнять импорт данных из других программ без автоматической триангуляции на конечные элементы.

- **Ориентация на пользователя.** Программный комплекс ЛИРА 10 прост в освоении. В открытом доступе находятся учебные материалы, включая руководство, справку, заметки, статьи и видеоуроки. Большинство функций программы, которые необходимы для обучения, доступны в бесплатной демонстрационной версии, что позволяет самостоятельно освоить программу на достаточном уровне без предварительных финансовых и организационных затрат. Программа постоянно совершенствуется, при разработке учитывается большинство пожеланий пользователей. Осуществляется техническая поддержка пользователей. Мы всегда поможем вам при решении проблем или предложим подходы к решению технических задач разной сложности.

● **OpenLira** — набор средств, которые дают пользователю доступ к самостоятельному созданию отдельных наборов команд и приложений, работающих внутри оболочки ПК ЛИРА 10.12, и позволяют автоматизировать монотонные операции. Пользователь имеет возможность создавать собственные скрипты для вывода графических результатов расчета в виде изополей, эпюр и графиков; использовать скрипты для формирования фрагментов расчетной модели и задания нагрузок; производить табличное и графическое редактирование геометрии и свойств расчетной модели; запускать открытую модель для разработки предназначенных для пользователя программных модулей (LiraApi).

● **Научные реализации.** В ПК ЛИРА 10.12 заложены сложные математические модели и системы, такие как:

- **Физическая нелинейность.** Реализована на основе различных нелинейных зависимостей  $\sigma - \varepsilon$ , обеспечивающих возможность компьютерного моделирования процесса нагружения, как моно-, так и биматериальных конструкций, с прослеживанием развития трещин, проявлений деформаций текучести и ползучести, вплоть до получения картины разрушения конструкции.

Отдельно, в рамках физически нелинейных задач, могут также решаться задачи конструктивной нелинейности, моделирующие трение, односторонние связи с зазором, одностороннее упругое основание и т.п.

- **Геометрическая нелинейность.** Учет геометрической нелинейности позволяет рассчитывать конструкции, изначально геометрически неизменяемые (гибкие плиты и балки, гибкие фермы и др.) и изменяемые (канаты, вантовые фермы, вантовые покрытия, тенты, мембраны и др.), для расчета которых необходимо прежде всего определить равновесную форму под заданную нагрузку.

- **Модуль Монтаж.** Позволяет отслеживать напряженное состояние сооружения в процессе его возведения, многократное изменение расчетной схемы, установку и удаление временных опор и т.п. Этот модуль позволяет также проводить компьютерное моделирование возведения высотных зданий из монолитного железобетона с учетом изменений жесткости и прочности бетона, вызванных временным замораживанием уложенной смеси и другими факторами.

- **Модуль Динамика+.** Позволяет проводить расчеты конструкций любой сложности на различные динамические воздействия во временной области, в том числе с учетом нелинейности. Расчет можно производить на акселерограммы, сейсмограммы, температурные, взрывные и другие динамические воздействия.

- **Модуль Мост.** Позволяет формировать поверхности влияния, задавать произвольные траектории движения подвижных нагрузок, определять предельные усилия от подвижных нагрузок и комбинации усилий от статических и подвижных нагрузок.

- **PUSHOVER Analysis.** Применяется для оценки поведения конструкций при сейсмическом воздействии за пределом упругости. Этот метод связывает спектр несущей способности с сейсмическим требованием, представленным в виде спектра реакции. Вычисляется точка пересечения кривых спектра несущей способности и спектра реакции — динамического равновесия, по которой определяется ожидаемое поведение конструкции.

- **Модуль Теплопроводность.** Предназначен для решения задач стационарной или нестационарной теплопроводности в линейной постановке для дальнейшего определения напряженно-деформированного состояния от действия вычисленного изменения температуры. Нестационарная теплопроводность решается совместно с задачами Динамики+.

- **Модуль Фильтрация.** Позволяет производить расчет поля давления и скорости фильтрации грунтовых вод в расчетных схемах с произвольной геометрией для дальнейшего определения фреатической поверхности и напряженно-деформированного состояния от действия вычисленного порового давления.

- **Модуль Сечение.** Предназначен для определения упруго-геометрических характеристик композитных поперечных сечений стержней произвольной формы.

- **Вариация моделей.** Позволяет объединить результаты нескольких расчетных схем с одинаковой топологией. Объединение результатов может быть произведено как на уровне унификации уже вычисленных РСУ, так и на уровне объединения вычисленных усилий и перемещений от загружений в разных задачах, с дальнейшим вычислением РСУ и РСН. Результирующие РСУ и РСН могут быть использованы для расчета в конструирующих системах. В рамках одного расчета можно варьировать не только нагрузку (традиционный расчет), но и жесткостные характеристики, условия примыкания и т.д.

- **Модуль Грунт.** Позволяет задавать геологические условия площадки строительства для учета взаимодействия работы сооружения с грунтом основания. По заданным геологическим условиям выполняется автоматическое построение модели грунта под проектируемым зданием с последующим вычислением коэффициентов постели плитных фундаментов, а также жесткостей и несущих способностей свай. Реализована возможность преобразования реактивного отпора грунта в нагрузку на грунт для уточнения коэффициентов постели плитных оснований и свай.

- **Конструирующие системы.** Позволяют проектировать металлические, деревянные и железобетонные конструкции. Предусмотрена возможность работать как в режиме проверки заданных стальных, деревянных и железобетонных сечений, так и в режиме подбора необходимого сечения для стальных элементов и необходимой площади армирования для железобетонных элементов. Результаты подбора и проверки конструирующих систем отображаются в виде таблиц, мозаик, эпюр и изополей. В режиме расчета стальных и деревянных конструкций конкретного элемента можно получить протокол расчета в символьном виде, а также с подставленными значениями, что позволяет проверять полученные результаты.

- **Система документирования** — это полный набор шаблонов документов со стандартными элементами содержания и вставленными подсказками по заполнению, упорядоченных по иерархическому принципу. Предназначена как для оценки результатов расчета (таблицы с возможностью отметки и индикации на схеме, гистограммы и изображения фрагментов конструкции в высоком разрешении), так и для генерирования сквозного отчета, существующего в виде содержания, формируемого пользователем, и заполняемого табличными данными, изображениями и текстом. Для проверки металлических и деревянных элементов, а также для подбора металлических конструкций реализован вывод отчета в аналитическом виде по всем предельным состояниям.

В целом программный комплекс ЛИРА 10 — это новая система, которая несет в себе весь необходимый инструментарий для проектировщика, без дополнительных программ-сателлитов и, соответственно, без дополнительных затрат.

## ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ

### 1.1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Современный программный комплекс ЛИРА 10 позволяет решать следующие типы задач:

- **Линейные:**
  - линейная статическая задача с динамикой в виде разложения по собственным формам колебаний;
  - линейная монтажная задача;
  - линейная задача с динамикой во времени;
  - линейная монтажная задача с динамикой во времени;
  - линейная задача с подвижными нагрузками;
  - линейная статическая задача с теплопроводностью, включая динамику с разложением по собственным формам колебаний;
  - линейная монтажная задача с теплопроводностью;
  - линейная задача с теплопроводностью и динамикой во времени;
  - линейная монтажная задача с теплопроводностью и динамикой во времени.
  
- **Нелинейные:**
  - нелинейная статическая задача;
  - нелинейная монтажная задача;
  - нелинейная задача с динамикой во времени;
  - нелинейная монтажная задача с динамикой во времени;
  - нелинейный квазистатический анализ динамических задач;
  - нелинейная задача с теплопроводностью;
  - нелинейная монтажная задача с теплопроводностью;
  - нелинейная статическая задача с фильтрацией;
  - нелинейная монтажная задача с фильтрацией;
  - нелинейная задача с фильтрацией и расчетом температурного поля;
  - нелинейная монтажная задача с фильтрацией и расчетом температурного поля;
  - нелинейная задача с теплопроводностью и динамикой во времени;
  - нелинейная монтажная задача с теплопроводностью и динамикой во времени.

Также предоставлена возможность вычисления упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня.

Следующая таблица дает представление о том, как получить тот или иной тип задачи, установив соответствующие флажки в параметрах проекта.

Таблица 1.1 Типы создаваемых задач

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
<p>Линейная статическая задача с динамикой в виде разложения по собственным формам колебаний</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная монтажная задача</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная задача с динамикой во времени</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная монтажная задача с динамикой во времени</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная задача с подвижными нагрузками</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>



## Продолжение таблицы 1.1

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
<p>Линейная статическая задача с теплопроводностью, включая динамику с разложением по собственным формам колебаний</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная монтажная задача с теплопроводностью</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная задача с теплопроводностью и динамикой во времени</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Линейная монтажная задача с теплопроводностью и динамикой во времени</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Нелинейная статическая задача</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Нелинейная монтажная задача	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача с динамикой во времени	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача с динамикой во времени	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейный квазистатический анализ динамических задач	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача с теплопроводностью	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

## Продолжение таблицы 1.1

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Нелинейная монтажная задача с теплопроводностью	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная статическая задача с фильтрацией	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача с фильтрацией	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача с фильтрацией и расчетом температурного поля	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача с фильтрацией и расчетом температурного поля	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Продолжение таблицы 1.1

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
<p>Нелинейная задача с теплопроводностью и динамикой во времени</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Нелинейная монтажная задача с теплопроводностью и динамикой во времени</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>
<p>Вычисление упруго-геометрических характеристик поперечного сечения стержня</p>	<p><input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ»  <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»  <input checked="" type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)  <input type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)  <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)</p>

## 1.2 ТРЕБОВАНИЕ К ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ И ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Требования к техническим средствам напрямую зависят от объема решаемых с применением ПК ЛИРА задач и определяются производительностью процессора, объемом оперативной памяти и свободного места на жестком диске; чем выше эти параметры, тем комфортнее будет работа.

Производительность ПК ЛИРА 10.12 существенно зависит и от производительности устройств хранения информации. Во время расчета больших расчетных схем происходит интенсивное обращение к диску, в особенности при работе шаговых и итерационных методов расчета и при работе конструирующих систем.

Ниже приведены минимальные и рекомендуемые требования к аппаратному обеспечению для функционирования программного комплекса ЛИРА 10.12.

Таблица 1.2 Минимальные и рекомендуемые требования

	Минимальные	Рекомендуемые
<b>Операционная система</b>	Microsoft Windows 7	Microsoft Windows 10
<b>Процессор</b>	Intel Pentium 4	Intel Core i7 — (частота и кеш-память процессора, чем выше, тем лучше)
<b>Память ОЗУ</b>	4 Гб	8 Гб и больше
<b>Видеоадаптер</b>	Видеоадаптер с аппаратной поддержкой OpenGL® спецификации 1.1 и более поздней версии	Видеоадаптер с аппаратной поддержкой OpenGL® спецификации 3.3 и более поздней версии
<b>Свободное место на диске для инсталляции программы</b>	до 500 МВ	
<b>Свободное место на диске для рабочих файлов</b>	Не менее 10 ГБ	

### 1.3 УСТАНОВКА/УДАЛЕНИЕ ПК ЛИРА 10.12

#### Установка ПК ЛИРА 10.12

Программа установки (инсталляции) выполняет все необходимые действия для быстрого развертывания ПК ЛИРА 10.12 на рабочей станции инженера.

Следующие практические рекомендации помогут избежать проблем и обеспечить успешную установку ПК ЛИРА 10.12:

- Необходимо иметь права администратора в ОС Windows®.
- Следует удалить предыдущие установки данной версии ПК ЛИРА 10, включая все бета-версии.
- Желательно установить все обновления ОС Microsoft Windows® и перезагрузить компьютер.
- Перед установкой нужно закрыть все работающие приложения. Лучше всего начать установку ПК ЛИРА 10 сразу после запуска компьютера, прежде чем запускать какие-либо приложения.
- USB-ключ следует подсоединять к порту только после установки ПК ЛИРА 10 и драйвера Guardant. Если ключ был подсоединен до установки и запустился стандартный Мастер установки USB-устройств Windows, то необходимо извлечь ключ из порта и отменить работу Мастера.
- На время установки ПК ЛИРА необходимо временно отключить антивирусные программы.

После запуска программы установки (**setup.exe**) на экране появится первое диалоговое окно, где можно выбрать русский или английский язык инсталляции. После подтверждения выбранного языка запускается диалоговое окно подготовки к запуску мастера, выполняющего установку программы.

По завершении работы мастера подготовки на экран выводится диалоговое окно приветствия.

При нажатии на кнопку **Далее** откроется окно с контактной информацией. Ознакомившись с данной информацией, нажмите кнопку **Далее**.

В появившемся диалоговом окне вы можете при необходимости изменить установочный каталог, в который будет производиться установка ПК ЛИРА 10. Для изменения нажмите кнопку **Обзор...**, в появившемся окне выберите папку для установки и нажмите кнопку **ОК**.

После изменения каталога нажмите **Далее** — появится диалоговое окно готовности к началу установки.

Выполните запуск программы установки кнопкой **Установить**. После запуска установки на экран выводится процесс состояния установки.

На завершающем этапе установки появится диалоговое окно с предложением установить драйвер электронного ключа **Guardant**.

Установка драйвера ключей обязательна, поэтому подтвердите выбор нажатием кнопки **Да**. После отображения на экране диалогового окна приветствия мастера установки нажмите кнопку **Далее**.

В появившемся диалоговом окне подтвердите установку и нажмите кнопку **Далее** для запуска процесса установки драйверов.

По окончании установки закройте диалоговое окно мастера установки кнопкой **Заккрыть**.

Через несколько секунд на экране появится сообщение об успешном завершении установки. Для выхода из программы установки нажмите кнопку **Готово**.

Установка ПК ЛИРА 10.12 завершена.

### Удаление ПК ЛИРА 10.12

Для того чтобы полностью удалить (деинсталлировать) ПК ЛИРА 10.12 с вашего компьютера, выполните следующие действия:

1. Перезагрузите компьютер. (Перезагрузка нужна для того, чтобы применились все обновления, которые могли быть установлены во время текущей сессии работы.)
2. Удалите программу стандартными средствами Windows: **Панель управления** ⇒ **Программы и компоненты**.

В списке установленных программ нужно выбрать строку **Lira 10\_12\_x64** и нажать кнопку **Удалить**.

После запуска мастера подготовки к удалению на экран выводится диалоговое окно **Удалить выбранные приложения и все его компоненты**, где следует нажать кнопку **Да**.

По окончании процесса деинсталляции закройте диалоговое окно мастера щелчком на кнопке **Заккрыть**.

## ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ

### 2.1 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

#### 2.1.1 Описание рабочего окна

Рабочее окно ПК ЛИРА 10 имеет вид:

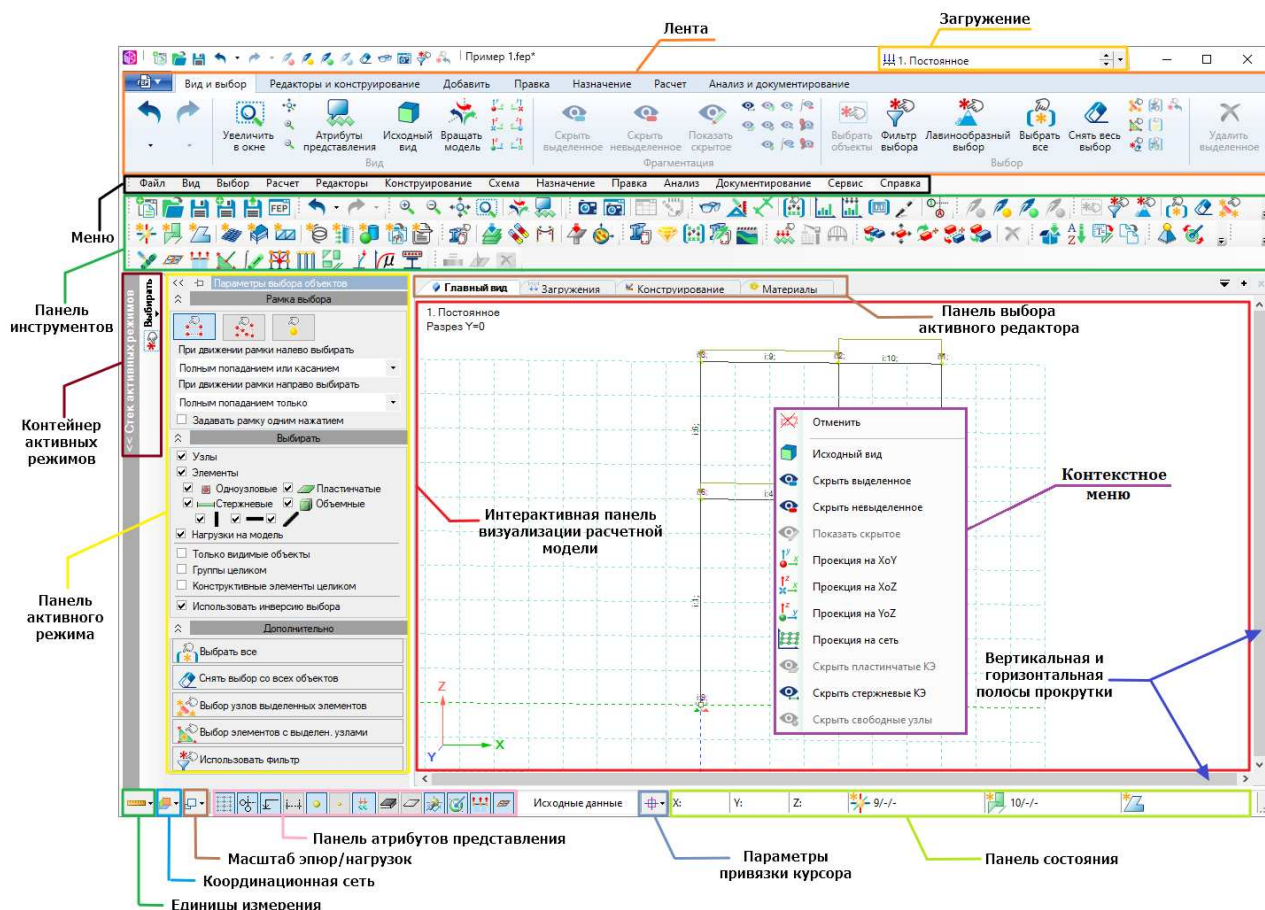


Рис. 2.1. Рабочее окно ПК ЛИРА 10



Строка заголовка содержит кнопки быстрого доступа к основным командам (таким как создание нового проекта, открытие и сохранение проекта, запуск задачи на расчет и т.д.), а также раскрывающийся список загрузений, присвоенных данной расчетной модели, с отображением текущего вида загрузки. В строке заголовка окна также отображается имя файла, присвоенное при создании задачи. Если же имя не было присвоено, то задача получает название «Untitled 1,2,3,...» по умолчанию.

Рабочее окно программы состоит из следующих элементов управления:

- **Лента** — панель, разделенная вкладками, на которых логически сгруппированы основные инструменты и элементы управления, предназначенные для вызова команд ПК ЛИРА 10. Каждая вкладка ленты имеет имя, соответствующее ее назначению. Инструменты на вкладках представлены в виде кнопок с названиями команд. Лента — адаптивная панель, т.е. автоматически подстраивается под текущие операции. При работе со схемой, в зависимости от выбранных инструментов и элементов Довес схемы, на ленте над текущей вкладкой

появляются контекстные вкладки. Они предоставляют быстрый доступ к релевантным инструментам, которые, скорее всего, понадобятся в следующий момент. Например, при работе с узлами, появляется контекстная вкладка **Узлы**.

- **Меню** — строка меню содержит набор основных меню ПК ЛИРА 10. При щелчке на названии нужного меню отображается список соответствующих ему команд.

 *Команды ленты дублируют команды меню. В зависимости от своих предпочтений, пользователь может настроить удобный ему вид отображения интерфейса — ленточный или классический вид со строкой меню (либо их комбинацию). Для этого в меню **Сервис** (или кнопка ) ⇒ **Настройки среды** установите флажок напротив необходимой команды.*

- **Панель инструментов** — представлена большим количеством кнопок и служит для быстрого доступа к операциям, содержащимся в различных категориях меню. Для удобного использования она разделена на сегменты по видам меню. В частности, здесь имеются кнопки для выполнения операций по созданию/редактированию расчетной схемы и анализу результатов расчета. Если по типу решаемой задачи не предусмотрено функционирование опции, соответствующая кнопка будет неактивна. Показать все панели инструментов, расположить их на позициях по умолчанию или выровнять их расположение можно через меню **Сервис** ⇒ **Настройки среды** ⇒ **Панели инструментов**.

- **Контейнер активных режимов** — содержит список активных режимов. Может работать как стек активных режимов (при выполнении соответствующих настроек в параметрах программы), отображая иконки вызываемых режимов в порядке загрузки. Чтобы вернуться в уже загруженный ранее режим, нужно щелкнуть мышью по его иконке, при этом все выше находящиеся режимы в стеке будут удалены. В случае, если иконки режимов не помещаются в стек, появится пиктограмма свернуть/развернуть.

- **Интерактивная панель визуализации расчетной модели** — это панель, где формируется расчетная схема, задаются нагрузки, выводятся результаты расчета и т.д. В левом верхнем углу отображается название активного нагружения и другая полезная информация, в нижнем — глобальная система координат.

- **Панель активного режима** — раскрывает полный функционал выбранного режима.

- **Панель состояния** — содержит информацию о количестве существующих/выбранных/скрытых узлов, элементов, архитектурных элементов, а также текущие координаты мыши в трехмерном пространстве расчетной схемы.

- **Вертикальная и горизонтальная полосы прокрутки** — позволяют перемещать визуальную область в необходимом направлении и содержат бесконечный скроллер прокрутки.


- **Контекстное меню** — предоставляет возможность быстро выбрать проекцию расчетной схемы; установить центральную точку сети; скрыть/показать выделенное или невыделенное, КЭ и узлы. Данное меню вызывается нажатием правой кнопки мыши в области интерактивной панели визуализации расчетной модели.

- **Панель выбора активного редактора** — позволяет переключаться между редакторами и созданными проекциями задачи.

- **Панель управления проекциями** — содержит инструменты для создания и управления проекциями (это кнопки  в правом углу панели выбора активного



редактора). При создании новая закладка будет отображена на панели активных редакторов. Данная функция позволяет вести работу с несколькими проекциями одновременно, что существенно ускоряет процесс создания схемы.

- **Масштаб эпюр/нагрузок** — содержит настройки коэффициента масштабирования для визуализации нагрузок и эпюр усилий (рис. 2.2). Кнопка  на панели инструментов.

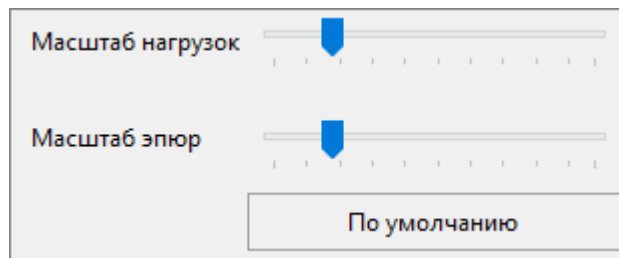






Рис. 2.2. Масштаб эпюр/нагрузок

- **Единицы измерения** — это панель настройки и выбора величин и их единиц измерения (рис. 2.3). В ней можно выбрать систему исчисления (**Пользовательская**, **СИ**, **Английская**); задать единицы измерения для каждого типа данных. При помощи кнопок    можно задавать необходимое количество знаков после запятой и представлять число в экспоненциальной форме. (Кнопка  на панели инструментов.)

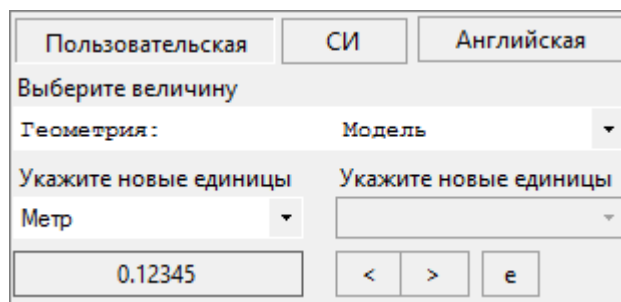



Рис. 2.3. Единицы измерения

- **Координационная сеть** — вспомогательный инструмент для создания и позиционирования фрагментов расчетной схемы относительно друг друга (рис. 2.4). Для редактирования стандартного вида сети можно изменять следующие параметры:

- выбор координационной сети: квадратная, прямоугольная, полярная;
- задание параметров: шаг, количество, угол, радиус, по радиусу, по дуге;
- расположение в плоскостях параллельных координатным XOY, XOZ, YOZ или под углом к ним XYZ.

Кнопка  на панели инструментов.

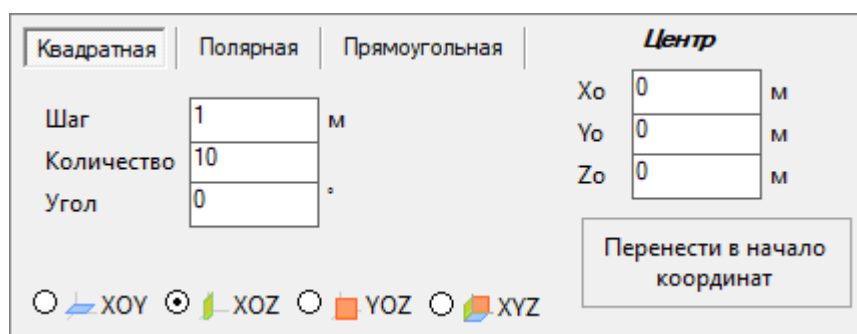


Рис. 2.4. Координационная сеть

- **Панель атрибутов представления** — позволяет в быстром доступе работать с такими функциями: скрывать/отображать сеть построения, нагрузки, узлы, ребра, строительные оси и отметки на расчетной схеме.

- **Параметры привязки курсора** — кнопка, открывающая доступ к меню с командами привязки курсора (рис. 2.5). Здесь можно задать/сбросить привязку курсора к узлам, сети, строительным осям, строительным отметкам, вершинам нагрузок на расчетную схему, вершинам архитектурных элементов, ребрам архитектурных элементов.

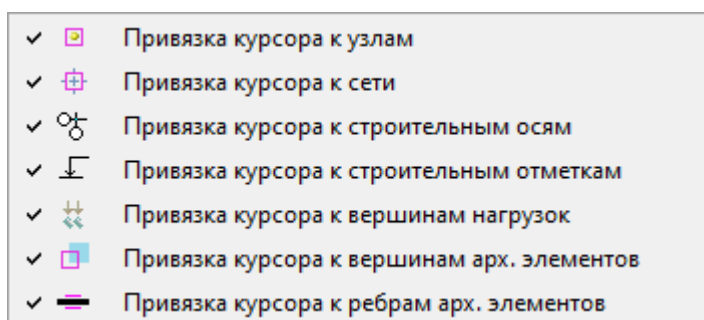


Рис. 2.5. Параметры привязки курсора

## 2.1.2 Навигация в пространстве расчетной схемы

В ПК ЛИРА 10 используется правая декартова система координат.

### Вращение

Широкие возможности вращения позволяют комфортно работать как с большими проектами, так и с их фрагментами.


Активизировать команду вращения можно в меню **Вид** ⇨ **Вращать модель**, с помощью



кнопки на панели инструментов или сочетанием клавиш **Ctrl+R**. После чего появляется панель активного режима **Параметры вращения**, состоящая из 3 вкладок с графическими меню (рис. 2.6).

Вкладка **Относительно глобальных осей** позволяет задать параметры вращения относительно глобальных осей X, Y, Z на величину **Приращения угла**.

Вкладка **Относительно текущей позиции** позволяет задать параметры вращения относительно текущего вида по нужному направлению. Поворот схемы происходит на величину, заданную в поле ввода **Приращение угла/шага вращения** (по умолчанию на  $3^\circ$ ).

 *Внимание!* Положительным считается поворот против часовой стрелки, а отрицательным — по часовой стрелке, если смотреть с конца оси.

На вкладке **Дополнительно** задаются дополнительные параметры вращения:

- по глобальной оси **Z** — представление расчетной схемы в проекции на плоскость XOY, -XOY;
- по глобальной оси **Y** — представление расчетной схемы в проекции на плоскость XOZ, -XOZ;
- по глобальной оси **X** — представление расчетной схемы в проекции на плоскость YOZ, -YOZ;
- **исходный вид** — представление расчетной схемы в диметрической проекции.

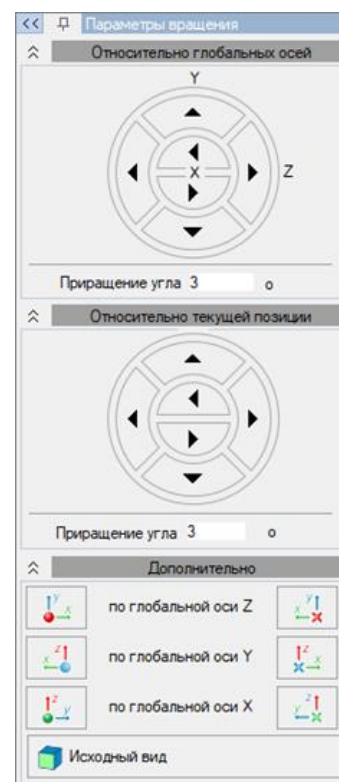


Рис. 2.6. Режим  
Параметры вращения



Вращение модели можно также выполнять с помощью мыши. Это делается одним из следующих способов:

- Удерживая нажатыми клавишу **CTRL** и **левую** кнопку мыши, перемещайте указатель мыши над моделью в требуемом направлении. При этом вращение будет осуществляться относительно вектора, нормального к вектору движения мыши.
- Удерживая нажатыми клавишу **CTRL** и **среднюю** кнопку мыши, перемещайте указатель мыши над моделью в требуемом направлении. При этом вращение будет осуществляться относительно оси глобальной системы координат, ближайшей к вектору, нормальному к вектору движения мыши.


Однако использование панели активного режима **Параметры вращения** позволяет задать более точные параметры вращения.

## Масштабирование


Еще одним важным инструментом при работе с расчетной схемой является масштабирование.

Чтобы пошагово увеличить или уменьшить схему, можно воспользоваться командой меню **Вид ⇨ Увеличить/Уменьшить панораму** или кнопкой  /  на панели инструментов. Другой способ пошагового увеличения/уменьшения схемы — вращать колесико мыши вверх/вниз соответственно, удерживая нажатой клавишу **Ctrl** на клавиатуре. Коэффициент увеличения/уменьшения схемы для каждого шага — 1,25.

Для размещения расчетной схемы с наиболее рациональным использованием площади рабочего окна необходимо выполнить команду **Вид** ⇒ **Вписать в окно** или воспользоваться

кнопкой . Также для этого можно использовать сочетание клавиш **Ctrl+W**.

Для приближения/удаления расчетной схемы воспользуйтесь колесиком мыши, при этом масштабирование будет выполняться относительно точки, находящейся под указателем мыши.

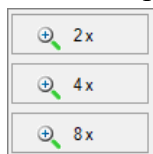
Для более точного позиционирования фрагмента расчетной схемы воспользуйтесь командой **Вид** ⇒ **Увеличить в окне** либо же кнопкой  на панели инструментов.

Режим **Параметры приближения** (рис. 2.7) используется для более детальной настройки отображения расчетной схемы и имеет следующие возможности:

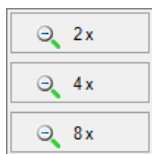
- **Задавать рамку одним нажатием** — захват нужной области производится одним нажатием левой кнопки мыши. Для этого, удерживая нажатой левую кнопку мыши, переместите курсор в требуемом направлении.

- **Использовать начальную точку как центр рамки** — увеличение относительно центра. Чтобы выбрать центр/начальную точку, следует щелкнуть в нужном месте левой кнопкой мыши и перемещать курсор в требуемом направлении.

- При нажатии кнопок:



— схема увеличивается в 2, 4, 8 раз, соответственно;



— схема уменьшается в 2, 4, 8 раз, соответственно.

- Масштаб положительного и отрицательного увеличения схемы можно указать вручную — ввести необходимое значение в поле ввода **N** и нажать кнопку **Nx**.

### Фрагментация

При работе с расчетной схемой часто возникает потребность отобразить/скрыть те или иные фрагменты расчетной схемы. Для этого можно воспользоваться командой меню **Вид** ⇒ **Скрыть выделенное/невывделенное, Показать скрытое, Скрыть объемные КЭ / пластинчатые КЭ / стержневые КЭ / одноузловые КЭ / свободные узлы / нагрузки на расчетную схему / неэквивалентные элементы / эквивалентные элементы / неспециальные элементы / специальные элементы, Предыдущий фрагмент** (рис. 2.8).

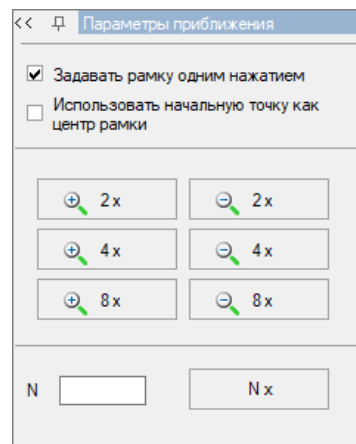


Рис. 2.7. Режим **Параметры приближения**

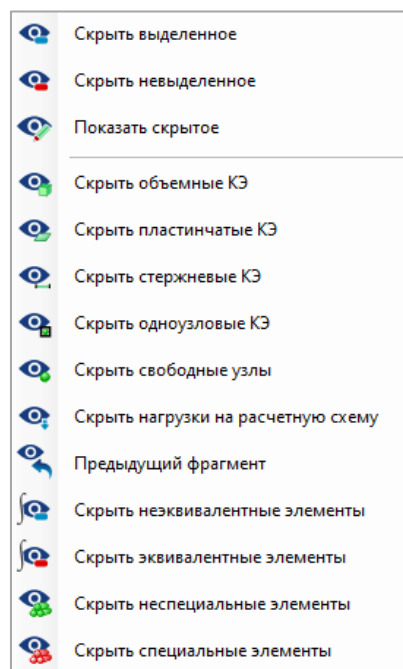



Рис. 2.8. Команды фрагментации

## 2.2 НАСТРОЙКИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Для комфортной работы программный комплекс ПК ЛИРА 10 предоставляет пользователю широкие возможности по настройке рабочей среды.

Вызвать диалоговое окно настроек можно с помощью команды меню **Сервис** (для классического интерфейса) или кнопки  (для ленточного интерфейса) ⇒ **Настройки среды**.

### Элементы диалогового окна

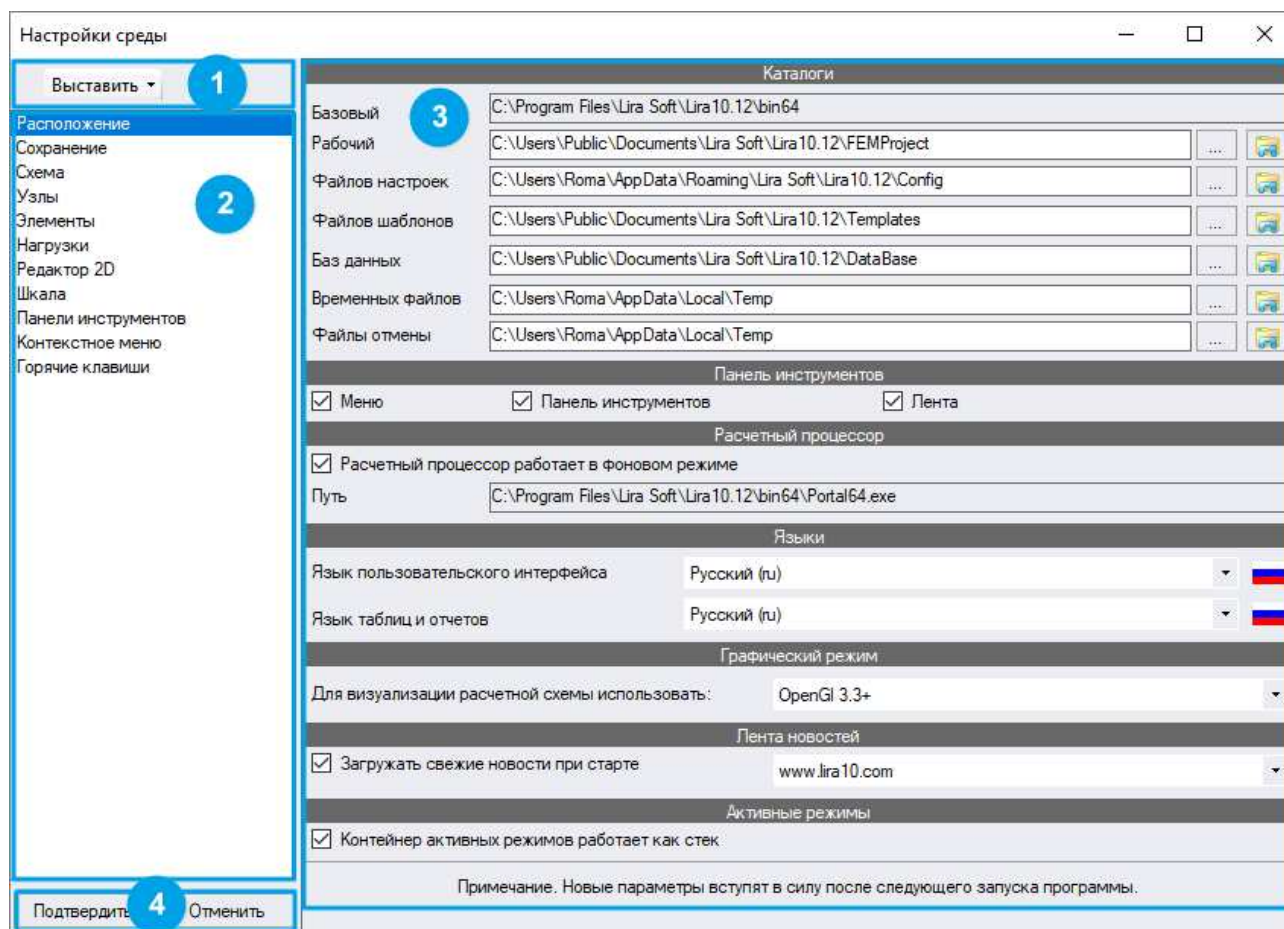


Рис. 2.9. Окно **Настройки среды**

### Область 1. Быстрые настройки

При помощи раскрывающегося списка **Выставить** можно установить фон рабочего пространства и соответствующую цветовую схему, вернуть шрифты, шкалы, панели инструментов по умолчанию, произвести быстрые операции с панелями инструментов (рис. 2.10).

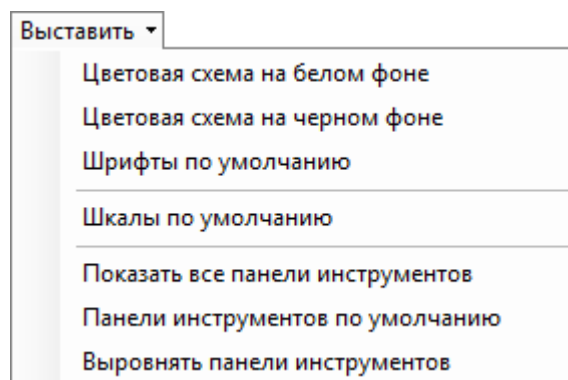


Рис. 2.10. Раскрывающейся список **Выставить**

## Область 2. Перечень разделов

В данной области находится перечень разделов среды, которые можно настроить по своему усмотрению. При выборе необходимого раздела в области 3 появляются соответствующие параметры настроек.

## Область 3. Параметры настроек

В данной области находятся параметры настроек, соответствующие выбранному разделу среды.

## Область 4. Работа с окном

**Подтвердить** — кнопка, отвечающая за применение внесенных в настройки изменений.

**Отменить** — кнопка, отвечающая за закрытие окна без сохранения изменений.

## Настройки рабочей среды ⇨ раздел Расположение

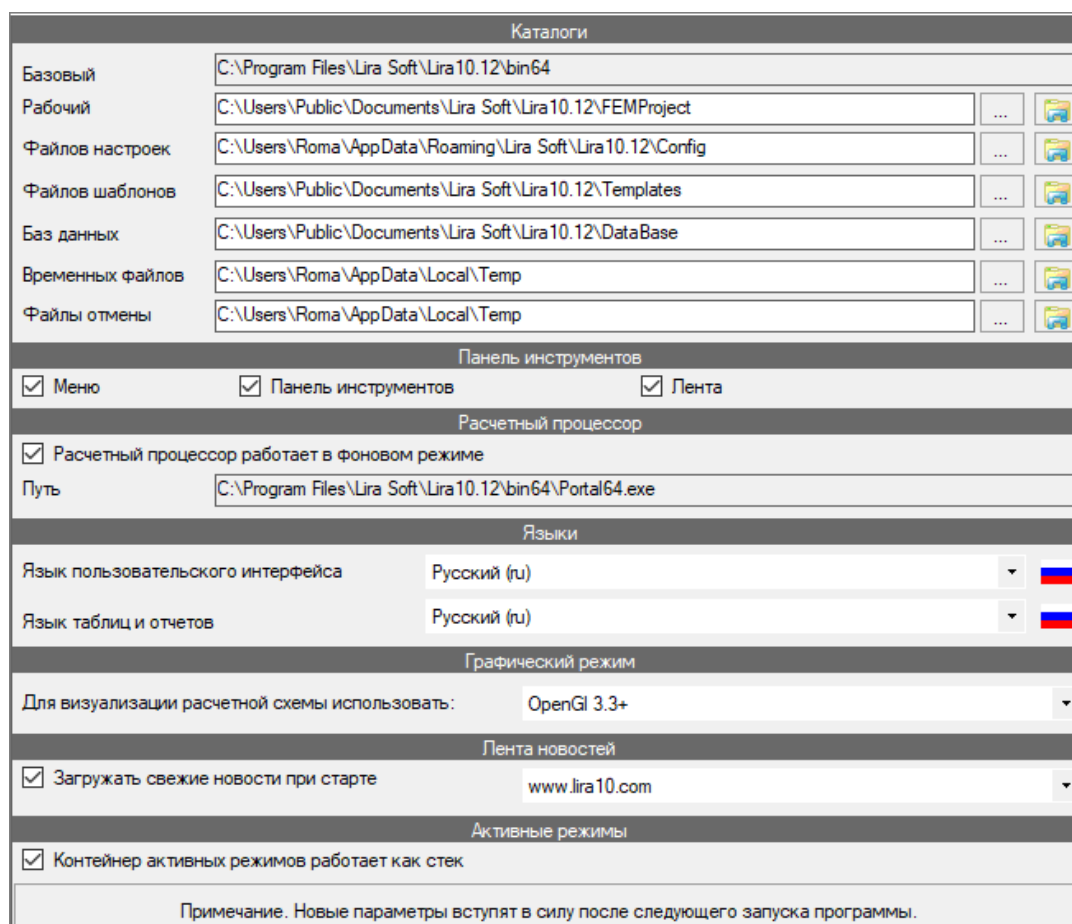



Рис. 2.11. Раздел **Расположение**

Данный раздел состоит из семи блоков (рис. 2.11).

В первом блоке, **Каталоги**, пользователь может просмотреть или изменить пути к стандартным каталогам ПК ЛИРА 10:

- **Базовый каталог** — место размещения главного исполняемого файла и файлов библиотек. Он не может быть изменен, так как этот путь задается на этапе инсталляции программы.

- **Рабочий каталог** — хранит файлы проектов/моделей, исходных данных, промежуточных результатов, а также результатов расчета программного комплекса.
- **Каталог файлов настроек** — содержит файлы настроек программы.
- **Каталог файлов шаблонов** — файлы шаблонов, необходимые для формирования отчета: фрагменты, параметры стиля, оглавления.
- **Каталог баз данных** — файлы баз данных, используемых для моделирования и расчета пользовательских задач.
- **Каталог временных файлов** — каталог, в который попадают временные файлы, созданные во время функционирования программного комплекса.
- **Файлы отмены** — файлы, которые используются для работы undo/redo.

 *Будьте внимательны! Редактирование путей к стандартным каталогам ПК ЛИРА 10 может негативно повлиять на работу программы. Изменения этих параметров вступят в силу после перезагрузки программы.*


Второй блок, **Панель инструментов**, позволяет выбрать, в каком виде будут представлены инструменты пользовательского интерфейса. С помощью соответствующих флажков можно включить или выключить ленточный интерфейс, показать или скрыть панель инструментов или меню.

Третий блок, **Расчетный процессор**, дает возможность посмотреть путь к расчетному процессору, этот путь является неизменяемым.


Расчетный процессор может работать в двух режимах:

- **Расчетный процессор работает в фоновом режиме (выкл.)** — этот режим работы подразумевает запуск и работу расчетного процессора аналогично старым версиям. Вместо окна графической модели появляется окно расчетного процессора, которое показывает текущее состояние расчета.

- **Расчетный процессор работает в фоновом режиме (вкл.)** — этот режим работы характеризуется непрямым вызовом процессора. Окно расчетного процессора не появляется. За ходом расчета можно следить по интерактивному протоколу расчета, который будет отображаться в нижней части рабочего окна ПК ЛИРА 10. Если в процессе расчета в протоколе появятся сообщения, содержащие списки элементов или узлов на голубом фоне, то для быстрой отметки узлов или элементов из этих списков достаточно выполнить двойной щелчок мышью на сообщении.

 *Для изменения режимов работы процессора перезагрузка программы не требуется.*


В четвертом блоке, **Языки**, пользователь имеет возможность изменять языковые настройки. Для смены языка интерфейса, таблиц и отчетов выберите в соответствующих раскрывающихся списках нужный язык.

 *Изменения этих параметров вступят в силу после перезагрузки программы.*

Пятый блок, **Графический режим**, позволяет пользователю выбрать версию **OpenGL**, которая будет использоваться при визуализации расчетной схемы. В текущей версии ПК ЛИРА 10 доступно два режима:

- **OpenGL 1.1** — режим работы, использующий технологию OpenGL версии 1.1, которая работает в ранних версиях комплекса ЛИРА 10 и поддерживается большинством современных видеокарт.

- **OpenGL 3.3** — режим работы, использующий технологию OpenGL версии 3.3. Характеризуется значительным ускорением в работе по сравнению с предыдущим режимом. Все его преимущества проявляются при работе со схемами с большим количеством узлов и элементов.

 *Обратите внимание! При использовании режима OpenGL 3.3 программа автоматически проверит поддержку этой технологии вашей видеокартой. Если видеокарта не поддерживает данный режим, программа автоматически выберет графический режим — OpenGL 1.1. Для изменения указанных параметров перезагрузка программы не требуется.*

Шестой блок, **Лента новостей**, дает возможность включить или отключить отображение последних новостей от группы компаний ЛИРА.

- Если флажок **Загружать свежие новости при старте** установлен, при запуске программы отображается лента новостей. Источник новостей можно выбрать в раскрывающемся списке справа. На выбор предоставляется два источника новостей: [www.lira-soft.com](http://www.lira-soft.com) или [www.lira10.com](http://www.lira10.com).

- Если флажок **Загружать свежие новости при старте** не установлен, при запуске программы отображается редактор создания нового проекта, где можно задать имя, описание и параметры нового проекта.

Седьмой блок, **Активные режимы**, определяет принцип работы контейнера активных режимов:

- при установленном флажке стек накапливает все режимы;
- при сброшенном флажке — только те режимы, которые не вносят изменения в схему.



## Настройки рабочей среды ⇔ раздел Сохранение

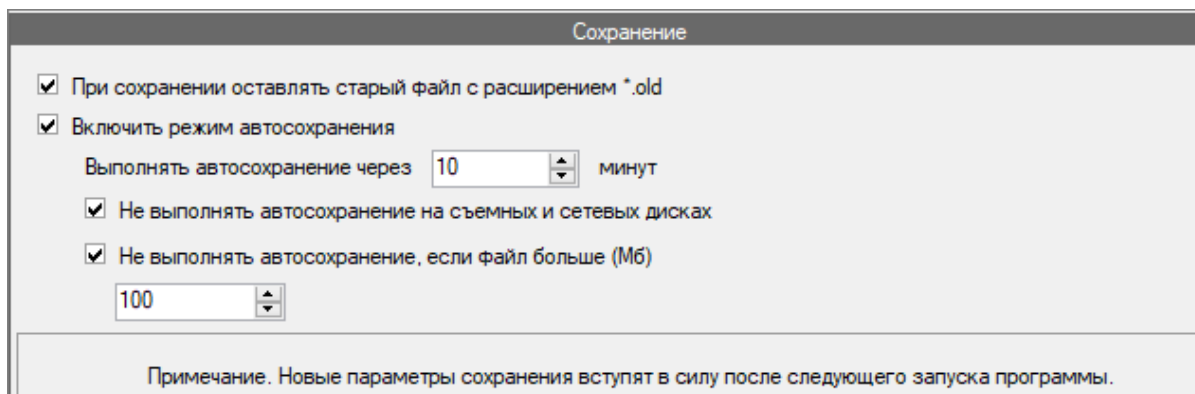


Рис. 2.12. Раздел **Сохранение**

В текущей разделе (рис. 2.12) пользователь имеет возможность управлять политикой сохранения и автосохранения файлов проекта.

**При сохранении оставлять файл с расширением \*.old** — при повторном сохранении задачи у существующего на диске файла будет изменено расширение на \*.old.

**Включить режим автосохранения** — дает возможность пользователю избежать потери данных при аварийных сбоях, зависаниях операционной системы и т.д. При этом в папке проекта будет автоматически создан файл с расширением \*AutoSave. В него полностью будет записано текущее состояние модели.

**Выполнять автосохранение через** — задает интервал, через который происходит автоматическое сохранение задач.

**Не выполнять автосохранение на съемных и сетевых дисках.** При запуске задач большого размера со съемных/сетевых устройств существует вероятность того, что автосохранение может выполняться долгое время или завершится с ошибкой из-за ограничений по скорости записи на носитель, передачи данных через сетевое устройство, количества свободного пространства на накопителе. Поэтому пользователь может решить, каким образом программе следует поступать в данной ситуации.

**Не выполнять автосохранение, если файл больше (Мб)** — позволяет отключать автосохранение при достижении определенного объема файла исходных данных. Для этого нужно установить данный флажок и ввести значение предельного размера файла (в Мб) в соответствующее поле ввода.

 *Изменения этих параметров вступят в силу после перезагрузки программы.*

## Настройки рабочей среды ⇌ раздел Схема

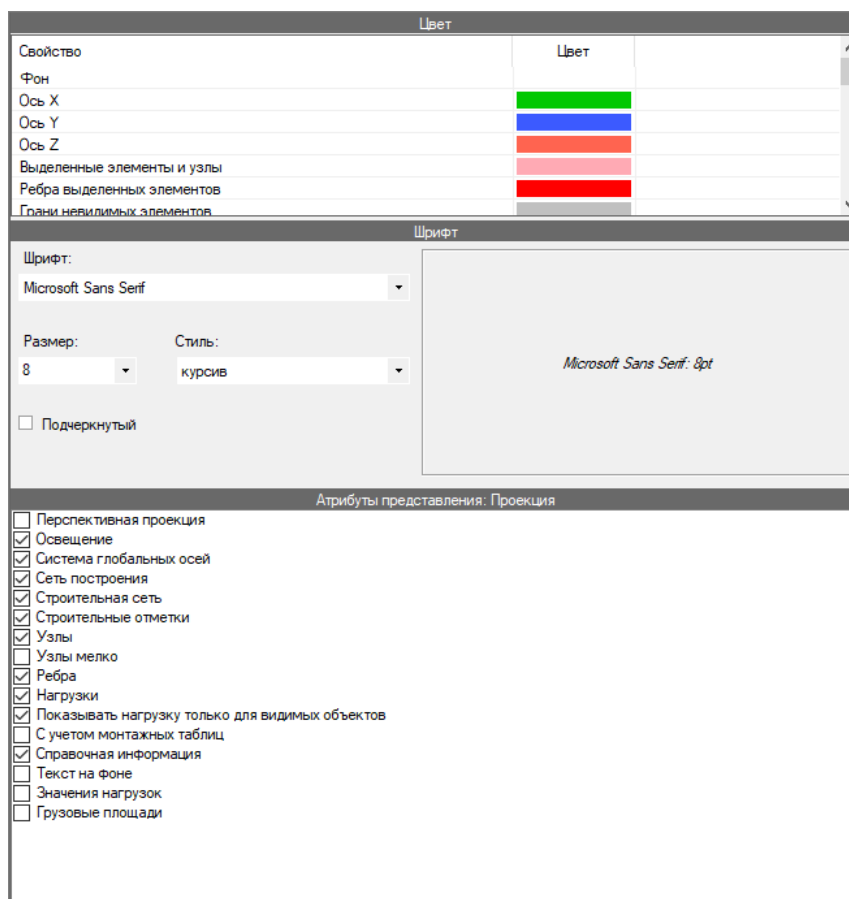


Рис. 2.13. Раздел **Схема**

Данный раздел включает три блока (рис. 2.13).

В первом блоке, **Цвет**, пользователь может подобрать для себя цветовую гамму, назначая требуемый цвет на нужный элемент графической схемы. Для этого пользователю нужно щелкнуть по требуемой ячейке и выбрать желаемый цвет.

Второй блок, **Шрифт**, позволяет задать основные характеристики текста в программе:





- **Шрифт** — задает тип шрифта текста/подписей в программе. Выберите требуемый элемент в раскрывающемся списке.
- **Размер** — задает размер символов выбранного шрифта. Для того чтобы задать требуемый размер, выберите соответствующий элемент в раскрывающемся списке.
- **Стиль** — устанавливает требуемый стиль. Для того чтобы задать стиль, выберите соответствующий элемент в раскрывающемся списке.
- **Подчеркнутый** — добавляет подчеркивание под символом.

В третьем блоке, **Атрибуты представления: Проекция**, указываются умалчиваемые атрибуты представления, которые будут автоматически назначаться всем вновь созданным проекциям, в том числе и при создании новой расчетной схемы. Управление установкой/снятием атрибутов производится при помощи соответствующих флажков.



Для изменения этих параметров перезагрузка программы не требуется.

## Настройки рабочей среды ⇔ раздел Узлы

Цвет	
Свойство	Цвет
Цвет узла	
Цвет закрепленного узла	
Цвет текста	
Цвет текста выбранного узла	

Шрифт	
Шрифт:	Microsoft Sans Serif
Размер:	7
Стиль:	обычный
<input type="checkbox"/> Подчеркнутый	
Microsoft Sans Serif: 7pt	

Атрибуты представления: Узлы	
<input type="checkbox"/> Номер	
<input type="checkbox"/> Локальные оси узлов	
<input checked="" type="checkbox"/> Связи в узлах	
<input checked="" type="checkbox"/> Объединение перемещений	
<input checked="" type="checkbox"/> Абсолютно твердые тела	
<input type="checkbox"/> Координаты	
<input type="checkbox"/> Номер объединения перемещений	
<input type="checkbox"/> Номер абсолютно твердого тела	
<input type="checkbox"/> Значения нагрузок	
<input type="checkbox"/> Значение с мозаики, узлы	


Рис. 2.14. Раздел Узлы

Текущий раздел состоит из трех блоков (рис. 2.14).

В первом блоке, **Цвет**, можно настроить все цвета, используемые при визуализации узлов расчетной схемы. Для этого нужно щелкнуть по требуемой ячейке и выбрать нужный цвет.

Во втором блоке, **Шрифт**, задаются основные характеристики шрифта (тип, размер, стиль), который будет применяться при отображении информации для узлов. Также шрифт можно сделать подчеркнутым, установив флажок **Подчеркнутый**. Предпросмотр выбранного шрифта доступен в поле справа.

В третьем блоке, **Атрибуты представления: Узлы**, указываются умалчиваемые атрибуты представления, которые будут автоматически назначаться всем вновь созданным узлам расчетной схемы.

 Для изменения этих параметров перезагрузка программы не требуется.

## Настройки рабочей среды ⇌ раздел Элементы

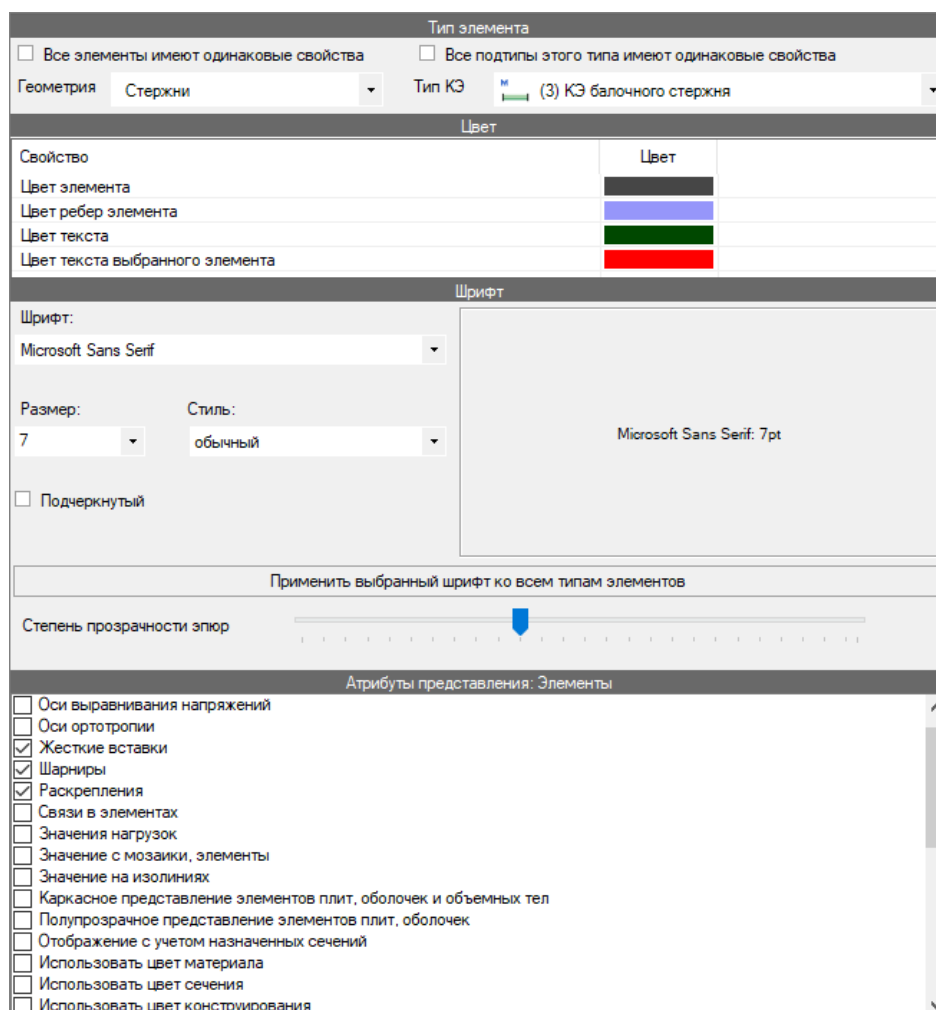


Рис. 2.15. Раздел Элементы

Этот раздел состоит из четырех блоков (рис. 2.15).

В первом блоке, **Тип Элемента**, можно выполнить следующие настройки:

- **Все элементы имеют одинаковые свойства** — все дальнейшие изменения свойств будут применяться ко всем элементам независимо от их геометрии и типа.
- **Геометрия** — дает возможность выбрать тип элемента по геометрии для его последующей настройки. Все дальнейшие изменения будут относиться к этому геометрическому типу элемента.
- **Все подтипы этого типа имеют одинаковые свойства** — все дальнейшие изменения свойств будут применяться к элементам выбранного типа независимо от его типа КЭ.
- **Тип КЭ** — позволяет произвести настройку свойств для элементов соответствующего типа. Все дальнейшие изменения будут относиться к выбранному ранее геометрическому типу элемента и типу конечного элемента.

Во втором блоке, **Цвет**, можно настроить все цвета, используемые при визуализации элементов. Для этого нужно щелкнуть по требуемой ячейке и выбрать нужный цвет.


В третьем блоке, **Шрифт**, задаются основные характеристики шрифта (тип, размер, стиль), который будет применяться при отображении информации для элементов. Также шрифт можно сделать подчеркнутым, установив флажок **Подчеркнутый**.

Предпросмотр выбранного шрифта доступен в поле справа.

Вне зависимости от настроек в разделе **Тип элемента**, предусмотрена возможность **Применить выбранный шрифт ко всем типам элементов** при помощи соответствующей кнопки.

Доступна возможность управления **степенью прозрачности эшюр** с помощью специального ползунка.

В четвертом блоке, **Атрибуты представления: Элементы**, указываются умалчиваемые атрибуты представления, которые будут автоматически назначаться всем вновь созданным элементам расчетной схемы.

 Для изменения этих параметров перезагрузка программы не требуется.

## Настройки рабочей среды ⇔ раздел **Нагрузки**

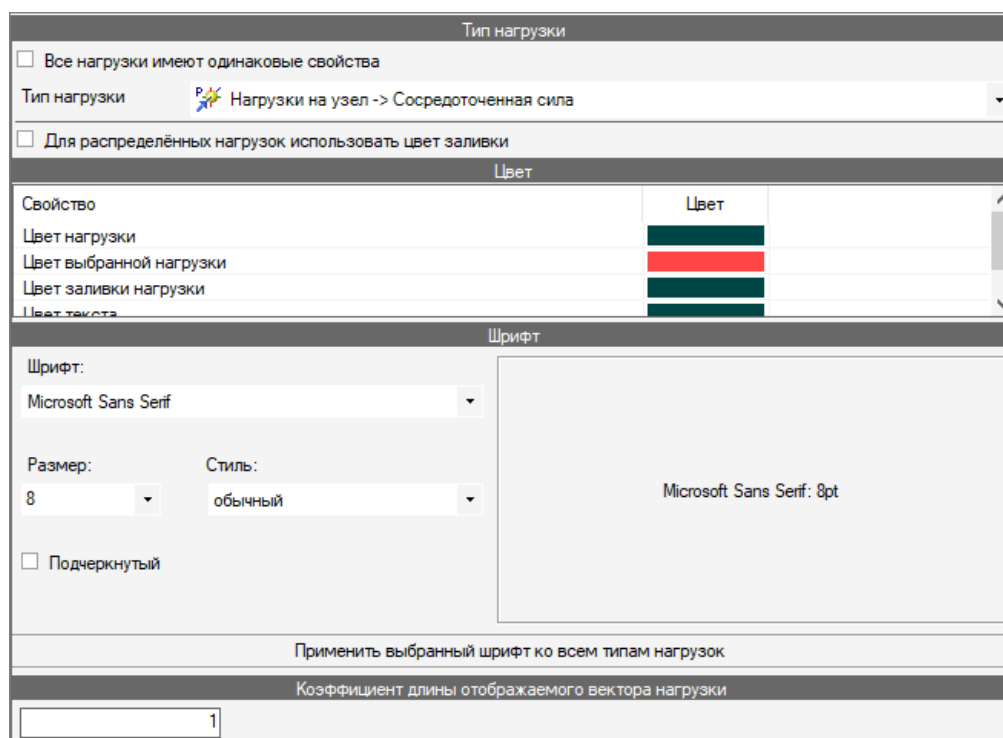


Рис. 2.16. Раздел **Нагрузки**

Этот раздел включает четыре блока (рис. 2.16).


Первый блок — **Тип нагрузки**. Определяет множество или конкретный тип нагрузки, для которого будут изменены свойства:

- **Все нагрузки имеют одинаковые свойства** — все дальнейшие изменения свойств будут применимы ко всем нагрузкам независимо от их типа.
- **Тип нагрузки** — дает возможность настроить отображение конкретной нагрузки.
- **Для распределенных нагрузок использовать цвет заливки** — если этот параметр включен, распределенные нагрузки будут рисоваться не только линиями контура, но и полупрозрачным заполнением. Включение этого параметра существенно увеличивает время перерисовки расчетной схемы.

Второй блок, **Цвет**, позволяет настроить все цвета, используемые при визуализации нагрузок. Для этого пользователю нужно щелкнуть по требуемой ячейке и выбрать желаемый цвет.

В третьем блоке, **Шрифт**, задаются основные характеристики шрифта (тип, размер, стиль), который будет применяться при отображении значений величин нагрузок. Также шрифт можно сделать подчеркнутым, установив флажок **Подчеркнутый**. Предпросмотр выбранного шрифта доступен в поле справа. Вне зависимости от настроек в разделе **Тип нагрузки**, предусмотрена возможность **Применить выбранный шрифт ко всем типам нагрузок** при помощи соответствующей кнопки.

Четвертый блок, **Коэффициент длины отображаемого вектора нагрузки**, дает возможность задать дополнительный коэффициент масштабирования, применяемый при отображении нагрузок. Значение по умолчанию — **1**. Соответственно, для уменьшения отображаемого вектора нагрузки следует задать величину более нуля, но менее единицы, для увеличения — более единицы.

 Для изменения этих параметров перезагрузка программы не требуется.

### Настройки рабочей среды ⇨ раздел Редактор 2D

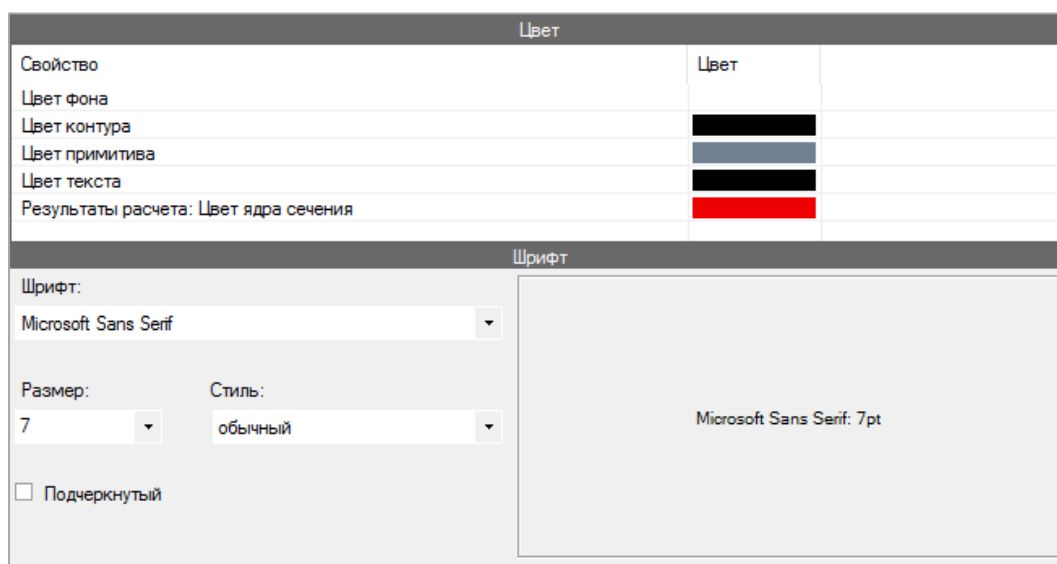



Рис. 2.17. Раздел Редактор 2D

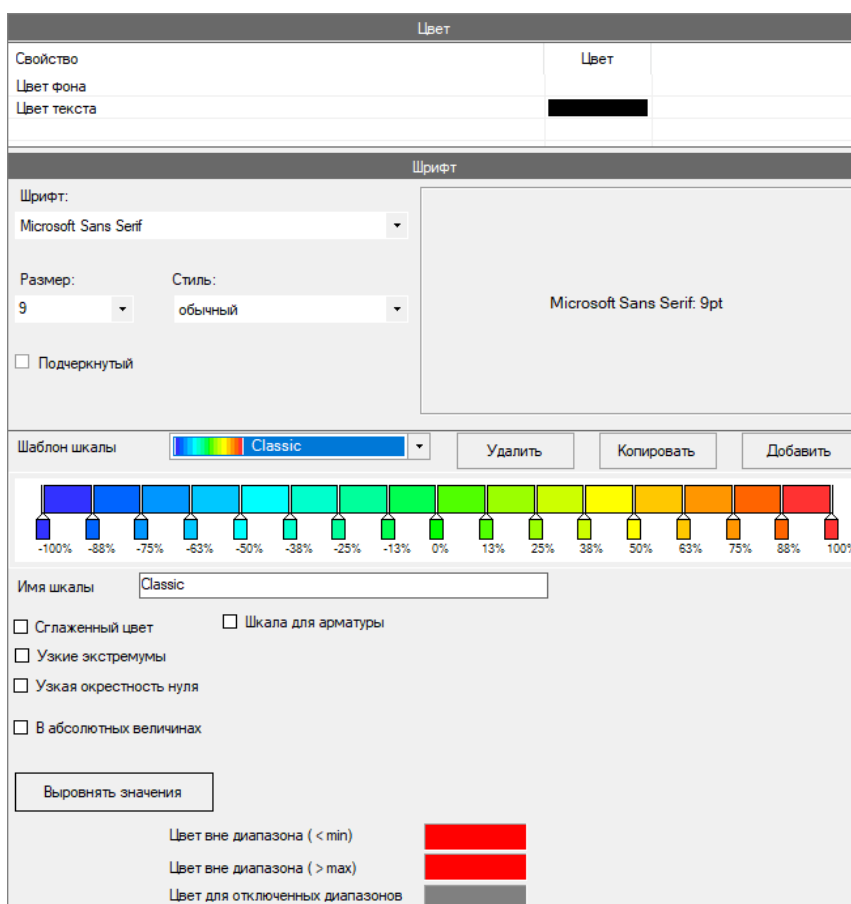
Текущий раздел включает два блока (рис. 2.17).

В первом блоке, **Цвет**, можно настроить все цвета, используемые при работе в 2D-редакторе. Для этого пользователю нужно щелкнуть по требуемой ячейке и выбрать нужный цвет.

Второй блок, **Шрифт**, позволяет задать основные характеристики шрифта (тип, размер, стиль), который будет применяться при отображении текста в 2D-редакторе. Также шрифт можно сделать подчеркнутым, установив флажок **Подчеркнутый**. Предпросмотр выбранного шрифта доступен в поле справа.

 Для изменения этих параметров перезагрузка программы не требуется.

### Настройки рабочей среды ⇨ раздел Шкала

Рис. 2.18. Раздел **Шкала**, общий вид

Данный раздел состоит из двух блоков (рис. 2.18).

В первом блоке, **Цвет**, задается цвет свойств объектов шкалы. Для этого пользователю нужно щелкнуть по требуемой ячейке и выбрать нужный цвет.

Второй блок, **Шрифт**, задает основные характеристики отображения текста шкалы в программе. Также шрифт можно сделать подчеркнутым, установив флажок **Подчеркнутый**. Предпросмотр выбранного шрифта доступен в поле справа.

**Шаблон шкалы** — раскрывающийся список с доступными шаблонами шкалы. Шаблоны в списке можно **Удалить**, **Копировать** или **Добавить** при помощи соответствующих кнопок. Имя шкалы задается в текстовом поле **Имя шкалы**.

Добавление контрольной точки на шкале производится щелчком в нужном месте шкалы. Изменение цвета контрольных точек производится щелчком по требуемой точке. При необходимости точки можно перетаскивать мышью.

По умолчанию выбранный цвет назначается всему диапазону значений. Также доступны альтернативные варианты, посредством установки соответствующих флажков:

- **Сглаженный цвет** — позволяет отображать интерполированный по градиенту цвет для каждого значения (рис. 2.19).

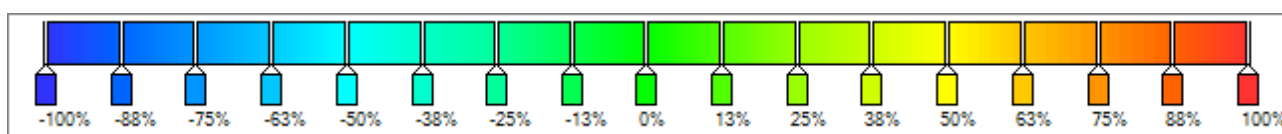


Рис. 2.19. Шкала со сглаженным цветом

- **Узкие экстремумы** — подразумевается, что значения, приближенные к контрольным точкам, равны значениям контрольных точек (рис. 2.20).

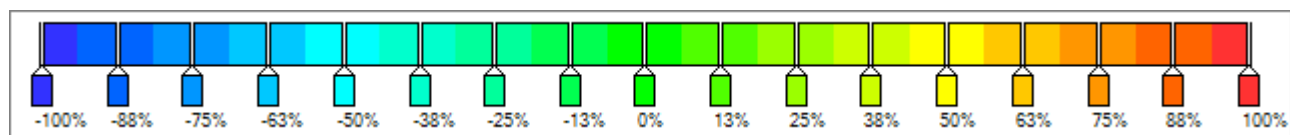


Рис. 2.20. Шкала с узкими экстремумами

- **Узкая окрестность нуля** (доступна при включенных узких экстремумах) — задает рисование узкой окрестности нуля на графической схеме.
- Значения по умолчанию отображаются в относительных величинах, т.е. в процентах, но предусмотрена возможность задать значения **В абсолютных величинах** установкой соответствующего флажка (рис. 2.21).
- При активизации флажка **Шкала для арматуры** становятся доступными следующие параметры фиксирования и подбора (рис. 2.22):
  - **Фиксировать Шаг** ⇔ **Подбирать Диаметр**;
  - **Фиксировать Диаметр** ⇔ **Подбирать Количество/Шаг**;
  - **Фиксировать Количество** ⇔ **Подбирать Диаметр**.

Значения этих параметров пользователь выбирает в соответствующих раскрывающихся списках.

При фиксированном значении шага арматуры можно дополнительно задать шаг и диаметр **фоновой арматуры**.

Для шкалы арматуры также доступно задание абсолютных величин (рис. 2.23). В качестве величины выступает формула:  $s + \text{"шаг"} + d + \text{"диаметр"}$ .

Диапазоны
-100
-87.5
-75
-62.5
-50
-37.5
-25
-12.5
0
12.5
25
37.5
50
62.5
75
87.5
100

Рис. 2.21. Диапазоны для абсолютных величин

Шкала для арматуры  
 Фиксировать Шаг 25  
 Подбирать Диаметр  
 Фоновая арматура  
 Шаг 200 Диаметр 10

Рис. 2.22. Параметры шкалы для арматуры

Формула	Диапазо
s200d10	3.927
s100d10	7.854
s200d10+s200d12	9.582
s200d10+s200d14	11.624
s200d10+s200d16	13.98
s200d10+s200d18	16.6505
s200d10+s200d20	19.635
s200d10+s200d22	22.9335
s200d10+s200d25	28.4705
s200d10+s200d28	34.7145
s200d10+s200d32	44.1395

Рис. 2.23. Формула и диапазоны в абсолютных величинах для шкалы арматуры



- **Цвет вне диапазона** — дает возможность выбрать цвет, который будет отображаться, когда значение попадет за пределы диапазона. Для этого нужно щелкнуть по ячейке и выбрать нужный цвет.

- **Выровнять значения** — производит выравнивание после пользовательских манипуляций с ползунками шкалы.

 *Изменения этих параметров вступят в силу после перезагрузки программы.*

**Настройки рабочей среды** ⇔ раздел **Панели инструментов** (рис. 2.24)

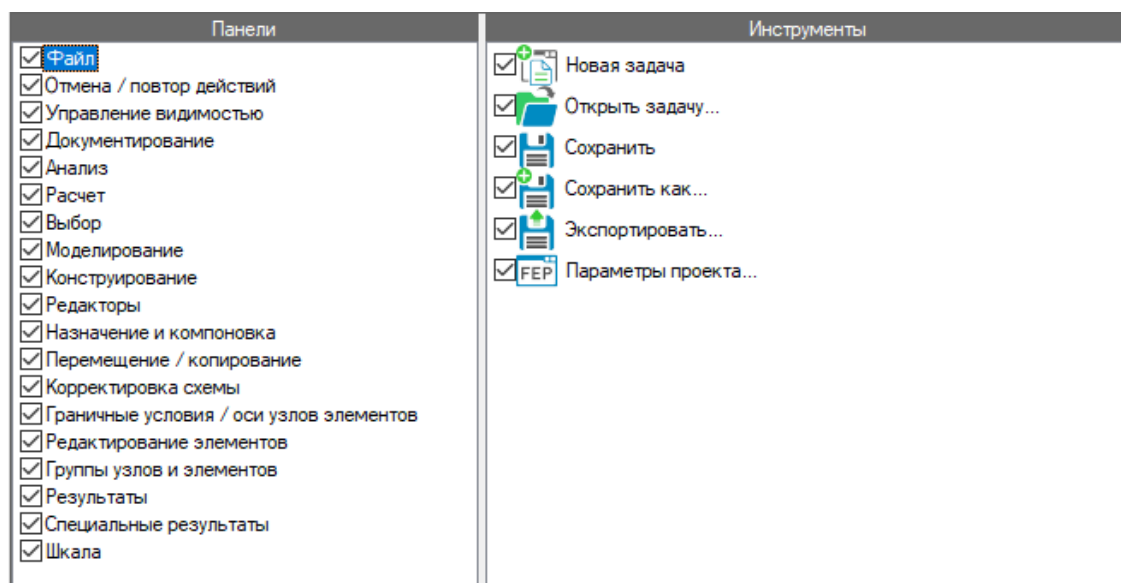


Рис. 2.24. Раздел **Панели инструментов**

Для гибкой настройки пользовательского интерфейса существует возможность подстраивать панели инструментов под свои потребности (рис. 2.25).



Рис. 2.25. **Панель инструментов** ПК ЛИРА 10.12

В области **Панели** представлены все доступные в ПК ЛИРА 10 панели инструментов. При помощи флажков рядом с названием панели можно управлять ее отображением по умолчанию.

Выбранная панель инструментов имеет свои встроенные элементы, которые показаны в области **Инструменты**. Установкой соответствующих флажков можно указать, какие элементы должны отображаться на панели инструментов, а какие — нет.

 *Перезагрузка программы не требуется.*

## Настройки рабочей среды ⇨ раздел Контекстное меню (рис. 2.26)

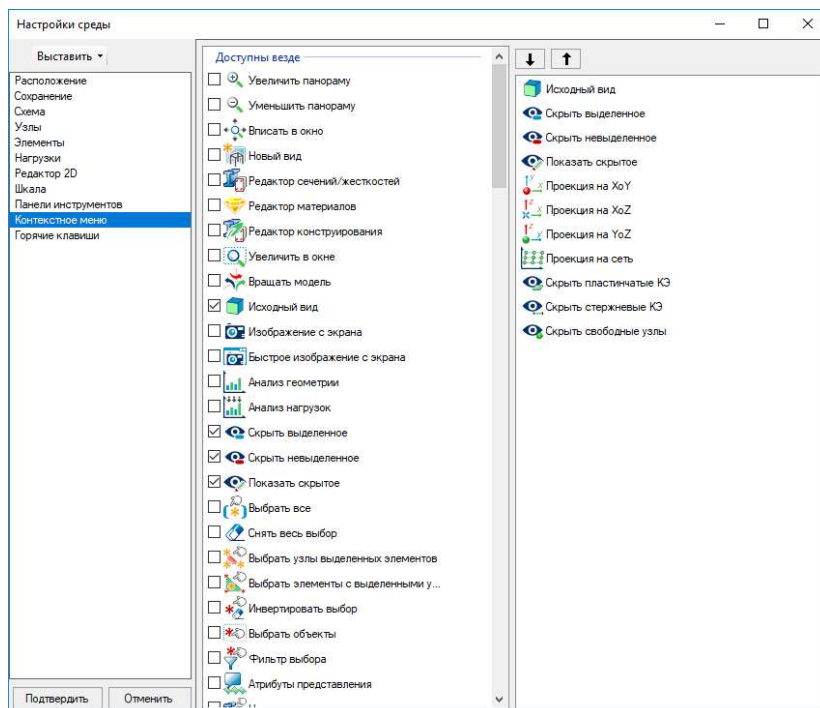


Рис. 2.26. Раздел **Контекстное меню**

Пользователь также может настраивать элементы контекстного меню, которое вызывается щелчком правой кнопкой мыши в области графического редактора (рис. 2.27).

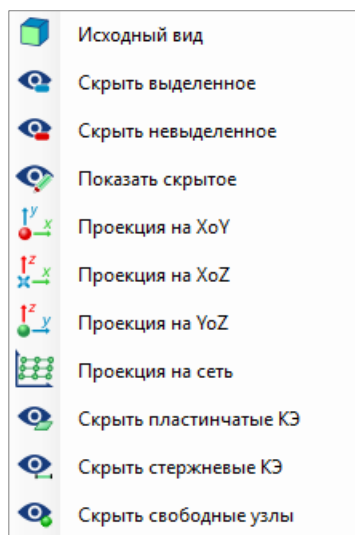



Рис. 2.27. **Контекстное меню** ПК ЛИРА 10

Чтобы задать, какие элементы должны отображаться в контекстном меню, установите соответствующие флажки в области **Доступны везде** вкладки **Контекстное меню** (см. рис. 2.26). Порядок отображения выбранных элементов в контекстном меню задается в области справа данной вкладки при помощи кнопок со стрелками .

 *Перезагрузка программы не требуется.*

## Настройки рабочей среды ⇨ раздел Горячие клавиши

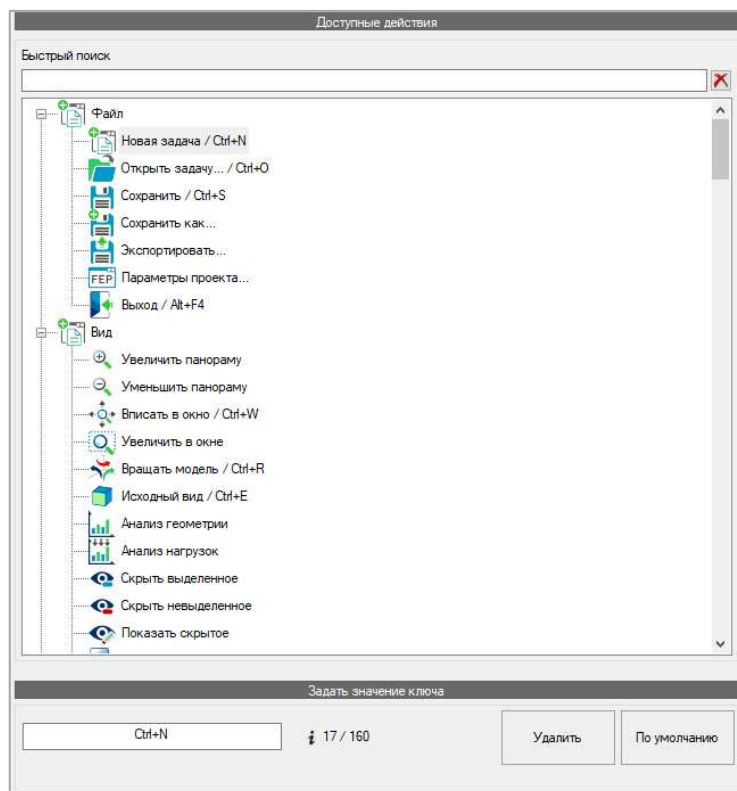


Рис. 2.28. Раздел Горячие клавиши

Данный раздел позволяет задать «горячие» клавиши для вызова команд ПК ЛИРА 10 и разделен на два блока (рис. 2.28).

В первом блоке, **Доступные действия**, пользователь должен выбрать команду/действие из всех доступных в древовидном списке. Для более удобного поиска нужной команды предусмотрена строка **Быстрый поиск**, где можно ввести искомое слово/словосочетание (от двух символов). Результат поиска будет выведен тут же в окне.

Во втором блоке, **Задать значение ключа**, находится поле ввода сочетания клавиш. Для назначения или изменения сочетания горячих клавиш необходимо выбрать интересующее действие и, установив курсор в данное поле, нажать желаемое сочетание.

В текущей версии программы можно задать комбинацию из одной/двух клавиш — модификатора и простой. Также допускается использование функциональных клавиш. Если введенная комбинация уже назначена другой команде, будет отображено соответствующее предупреждение.


При нажатии на кнопку **Удалить** выбранная комбинация будет удалена, а текущая команда больше не будет связана с ней.

Кнопка **По умолчанию** позволяет выставить комбинации по умолчанию. После ее нажатия будет установлен первоначальный набор значений горячих клавиш/команд.

Тут же на панели есть возможность увидеть количество команд с назначенными комбинациями горячих клавиш и общее количество команд.

 *Перезагрузка программы не требуется.*

## 2.3 СОЗДАНИЕ НОВОЙ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

Для создания новой расчетной схемы воспользуйтесь командой меню **Файл** либо кнопкой  ⇒ **Новая задача** (комбинация клавиш **Ctrl + N**) или выберите команду **Создать новый проект** в окне начальной загрузки.

В окне **Параметры проекта** (рис. 2.29) указываются следующие данные:

- имя проекта;
- описание проекта;
- тип создаваемой задачи;
- подсистема (МОНТАЖ, ДИНАМИКА+, МОСТ, PUSHOVER, СЕЧЕНИЕ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ФИЛЬТРАЦИЯ, использование нелинейных элементов или связей);
- путь сохранения проекта.

Рис. 2.29. Окно **Параметры проекта**

**Имя проекта** указывается пользователем или создается автоматически программой (например, Untitled[3]).

В соответствующем поле ввода можно дать **Описание задачи** (по желанию).

В зависимости от признака схемы необходимо выбрать **Тип создаваемой задачи**.

В общем случае каждый узел схемы имеет 6 степеней свободы: три линейных перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и три поворота вокруг осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Для расчетных схем, в которых количество степеней свободы в узле заведомо меньше 6 (плоские фермы, плоские рамы и т.п.), применяется так называемый признак схемы. В ПК ЛИРА 10 задействованы шесть признаков схемы:

- **Признак (1) Плоская ферма или балка-стенка ( $X, Z$ )** — схемы, располагаемые в плоскости  $XOZ$ ; каждый узел имеет 2 степени свободы — линейные перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Z$ . В этом признаке схемы рассчитываются плоские фермы и балки-стенки.

- **Признак (2) Плоская рама ( $X, Z, UY$ )** — схемы, располагаемые в плоскости  $XOZ$ ; каждый узел имеет 3 степени свободы — линейные перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Z$  и поворот вокруг оси  $Y$ . В этом признаке схемы рассчитываются плоские рамы и допускается включение элементов ферм и балок-стенок.

- **Признак (3) Плоская плита или ростверк ( $Z, UX, UY$ )** — схемы, располагаемые в плоскости  $XOY$ ; каждый узел имеет 3 степени свободы — линейное перемещение вдоль оси  $Z$  и повороты вокруг осей  $X$ ,  $Y$ . В этом признаке схемы рассчитываются балочные ростверки и плиты, допускается учет упругого основания.


- **Признак (4) Пространственная ферма или объемный массив ( $X, Y, Z$ )** — пространственные схемы, каждый узел которых имеет 3 степени свободы — линейные перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . В этом признаке схемы рассчитываются пространственные фермы и объемные тела.

- **Признак (5) Пространственная конструкция ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ$ )** — пространственные схемы общего вида с 6 степенями свободы в узле. В этом признаке схемы рассчитываются пространственные каркасы, оболочки и объемные тела.

- **Признак (7) Пространственная конструкция с учетом депланации стержней ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ, W$ )**.

Также выбираются дополнительные необходимые параметры создания проекта, а именно:

- В задаче будут присутствовать нелинейные элементы (см. Главу 11).
- В задаче будет использована система **МОНТАЖ** (см. Главу 11.7).
- В задаче будет использована система **ДИНАМИКА+** (см. Главу 13).
- В задаче будет использована система **МОСТ** (см. Главу 14).
- В задаче будет использована система **PUSHOVER** (см. Главу 12).
- В задаче будет использована система **СЕЧЕНИЕ** (см. Главу 15).
- В задаче будет использована система **ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ** (см. Главу 16).
- В задаче будет использована система **ФИЛЬТРАЦИЯ** (см. Главу 17).

 В зависимости от выбранного признака схемы, дополнительных параметров и специальных систем расчета, некоторые операции по созданию схемы могут быть недоступны.

В поле **Путь** указан адрес размещения папки, в которой будет сохранен проект. После задания всех необходимых параметров нужно нажать кнопку **Создать**.

## 2.4 ДОБАВЛЕНИЕ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ

Для добавления узлов и элементов к расчетной схеме необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** (рис. 2.30), либо меню **Схема** (рис. 2.32), либо панелью инструментов **Добавить фрагмент** (рис. 2.31).

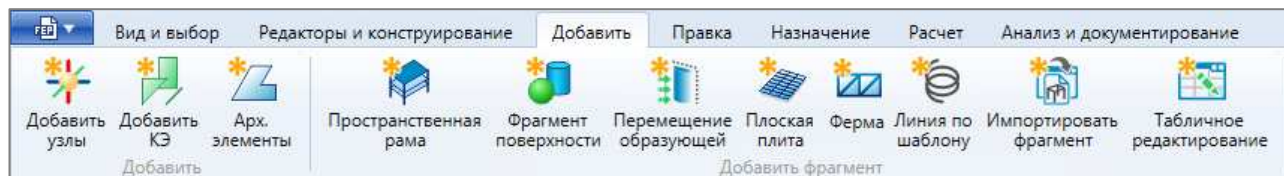


Рис. 2.30. Вкладка ленты **Добавить**



Рис. 2.31. Панель инструментов **Добавить фрагмент**

Для создания расчетной схемы существуют такие команды:

- добавить узлы;
- добавить конечные элементы;
- архитектурные элементы;
- добавить импортированный фрагмент;
- добавить фрагмент поверхности;
- добавить пространственную раму;
- добавить ферму;
- добавить фрагмент плоской плиты;
- добавить линии по шаблону;
- добавить фрагмент перемещением образующей;
- табличное редактирование.

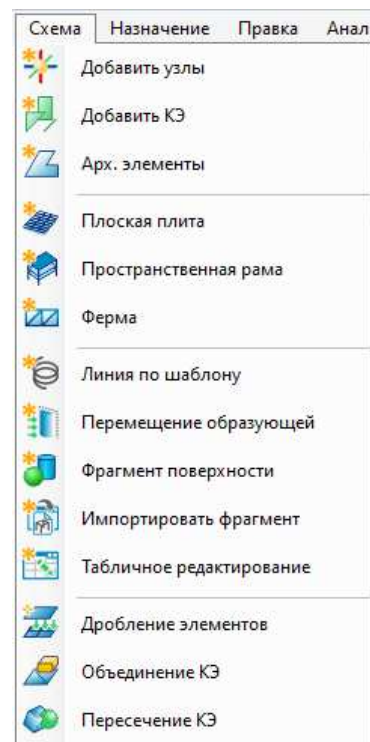


Рис. 2.32. Меню **Схема**

### 2.4.1 Добавление узлов

Для добавления узлов в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты

**Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Добавить узлы** либо же кнопкой на панели инструментов. Активизируется режим **Добавить узлы**, который предоставляет следующие возможности задания узла/узлов:

- **По координатам** — задание значений координат новых узлов в соответствующих полях ввода.
- **На Сети построения** — добавление в расчетную схему новых узлов указанием курсором мыши на точки пересечения сети построения.

Рассмотрим задание узлов по координатам.

Используется диалоговое окно **Добавить узлы**, которое содержит три закладки (рис. 2.33).

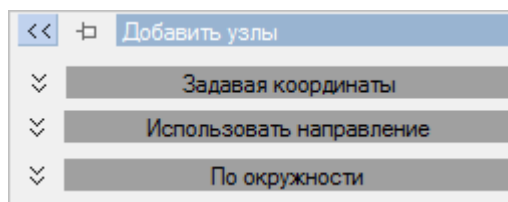



Рис. 2.33. Режим **Добавить узлы**

### Задавая координаты

Необходимо задать значения координат нового узла в соответствующих полях ввода (рис. 2.34).

	X (м)	Y (м)	Z (м)
*			

Рис. 2.34. Поля для задания координат узла

На экране появится новый узел/узлы в виде пиктограммы .

Чтобы подтвердить расположение узла/узлов, необходимо нажать на кнопку **Добавить** (рис. 2.35).

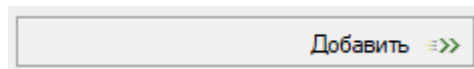



Рис. 2.35. Кнопка **Добавить**


### Использовать направление

Данная вкладка предназначена для задания значений координат нового узла при помощи направляющего вектора (рис. 2.36).


Существует два способа задания узла/узлов.

- Первый способ:

1. Введите координаты **Начальной точки вектора направления**. На экране появится начальная точка вектора направления в виде пиктограммы .


2. Введите координаты **Конечной точки вектора направления**. На экране появится конечная точка вектора направления в виде пиктограммы .

3. Задайте цепочку привязки в виде соотношения цифр a:b:c...z, где a,b,c...z — арабские числа.

4. На экране появится создаваемый узел/узлы в виде пиктограммы .

5. Подтвердите расположение узла/узлов нажатием кнопки **Добавить**.

Рис. 2.36. Вкладка **Использовать направление**

 Если установлен флажок **Использовать привязки как относительные соотношения при разбивке между заданными точками**, то привязки будут использоваться как коэффициенты к реальному расстоянию между начальной и конечной точками.

Если флажок **Использовать привязки как относительные соотношения при разбивке между заданными точками** сброшен, то цепочка привязок будет использоваться как расстояния между точками в текущих единицах измерения.

- Второй способ:

Позволяет использовать существующие точки схемы. Для создания точек, лежащих между существующими точками, необходимо:

1. Вывести на экран фрагмент схемы с нужными точками.
2. Навести курсор на «начальную» точку, щелкнув правой кнопкой мыши.
3. В появившемся контекстном меню (рис. 2.37) выбрать команду **Установить начальную точку вектора направления**.

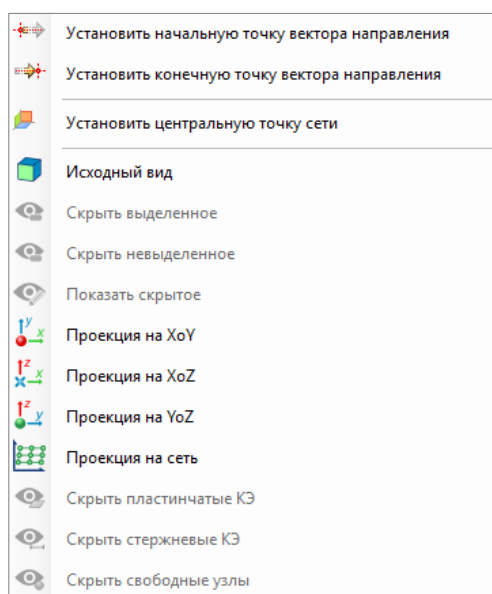



Рис. 2.37. Контекстное меню

4. Выполнить аналогичные действия для "конечной" точки, выбрав в контекстном меню команду **Установить конечную точку вектора направления**.

5. Установить необходимую **Цепочку привязок**.

6. На экране появится создаваемый узел/узлы в виде пиктограммы .

7. Подтвердить расположение узла/узлов нажатием кнопки **Добавить**.



## По окружности

Данная вкладка предназначена для добавления в расчетную схему новых узлов, расположенных по дуге или в центре окружности.

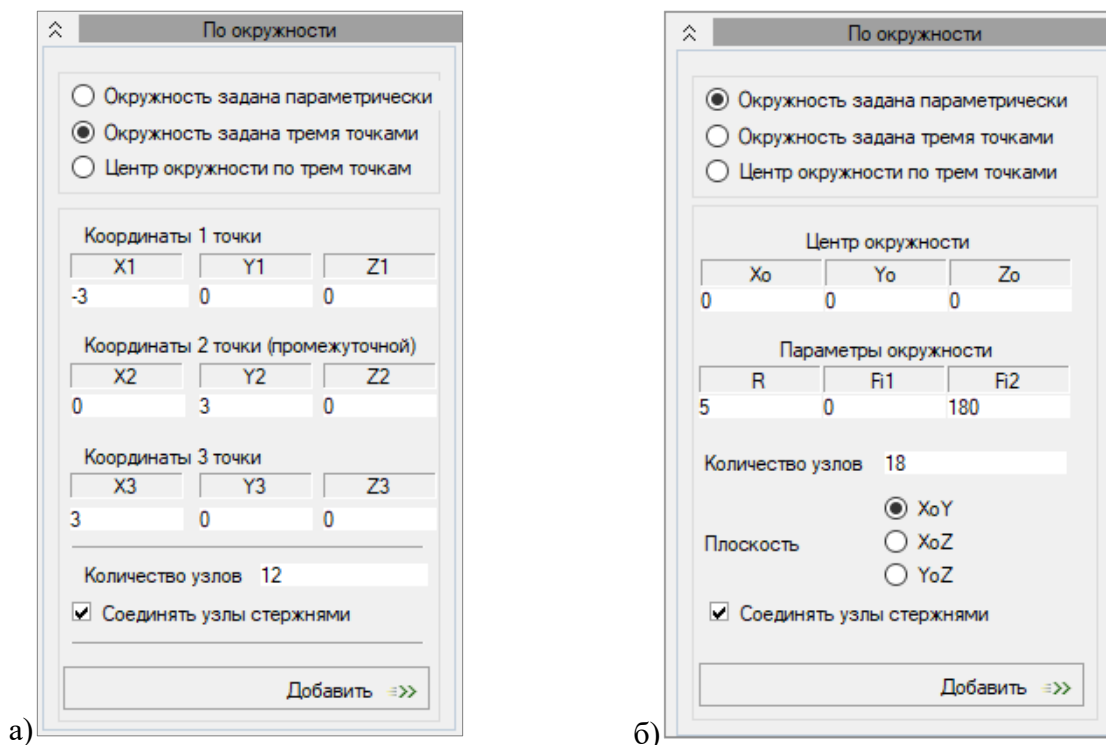


Рис. 2.38. Вкладка **По окружности**:

а) **Окружность задана параметрически**; б) **Окружность задана тремя точками**

Чтобы задать окружность параметрически (рис. 2.38, а):

1. Выберите переключатель **Окружность задана параметрически**.
2. В соответствующих полях ввода задайте координаты центра окружности, а также параметры окружности: радиус окружности (R), углы начала и конца дуги (Fi1) и (Fi2) (отсчет углов происходит против часовой стрелки).
3. В поле ниже задайте количество узлов на окружности.
4. С помощью переключателя укажите плоскость, в которой должна располагаться окружность (плоскости X0Y, X0Z и Y0Z).
5. Для того чтобы соединить узлы окружности стержнями, установите флажок **Соединять узлы стержнями**.
6. Далее нажмите кнопку **Добавить**.

Дугу также можно описать тремя точками, для этого нужно выбрать переключатель **Окружность задана тремя точками** (рис. 2.38, б) и в появившиеся ячейки ввести координаты трех точек и количество узлов.


После этого узлы будут расположены на дуге, которая выходит из первой в третью точку и проходит через вторую.

Также три точки могут быть непосредственно указаны на схеме с помощью контекстного меню.

При выборе переключателя **Центр окружности по трем точкам** можно ввести в появившиеся ячейки координаты трех точек и нажать кнопку **Добавить**. В результате чего

будет создан узел в центре окружности, проходящей через три указанные точки. Координаты при этом могут быть внесены как вручную, так и с использованием контекстного меню. Для ввода через контекстное меню следует кликнуть в режиме **Центр окружности по трем точкам** правой кнопкой мыши по узлу и выбрать одну из соответствующих команд: **Установить первую точку**, **Установить вторую точку**, **Установить третью точку**. В результате произойдет подтяжка координат выбранных узлов в поля для ввода координат.

## 2.4.2 Добавление конечных элементов

Для добавления элементов в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема ⇨ Добавить КЭ** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активизируется режим **Добавить элементы**, который предоставляет следующие возможности задания элемента/элементов:

- параметрически — задание стержней с помощью полей ввода диалогового окна;
- на сети построения — добавление в расчетную схему новых элементов указанием курсором мыши на точки пересечения сети построения.

Рассмотрим задание конечных элементов параметрическим способом.

При этом используется панель активного режима **Добавить элементы**, которая содержит шесть вкладок (рис. 2.39).

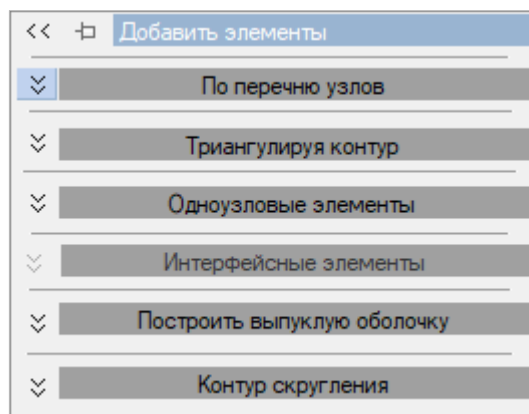



Рис. 2.39. Режим **Добавить элементы**

### По перечню узлов

Данная вкладка предназначена для добавления в схему конечных элементов посредством ввода номеров узлов.

Для добавления в схему стержней, трехузловых и четырехузловых элементов плиты необходимо ввести номера узлов, используя в качестве разделителей символы «,» или «пробел» (рис. 2.40).

 *Каждый элемент с соответствующим перечнем узлов записывается в новой строке. Переход на следующую строку происходит автоматически.*

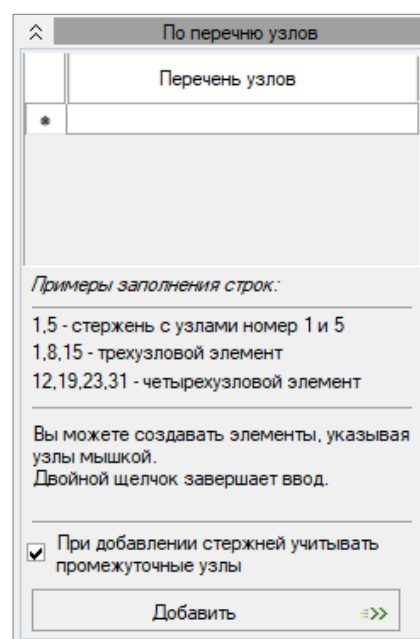


Рис. 2.40. Вкладка **По перечню узлов**

Флажок **При добавлении стержней учитывать промежуточные узлы** (узлы, лежащие между двумя указанными узлами) устанавливается для добавления в схему стержней. Установленный флажок означает, что стержень сразу же будет разбит на несколько стержней в соответствии с количеством промежуточных узлов.

Чтобы подтвердить расположение элемента/элементов, необходимо нажать на кнопку **Добавить**.

### Триангулируя контур

Данная вкладка предназначена для добавления в схему конечных элементов путем триангуляции контура. Команда выполняется после формирования контура плоского фрагмента и вызывает на экран диалоговое окно, в котором задается метод триангуляции: **Сетка узлов**, **Делоне**, **ReGrid**, **ReGrid2**, **ReGridQuad** (рис. 2.41).

Для выбора вида триангуляции необходимо выбрать один из переключателей:

- **Сетка узлов** — позволяет создать контур плоского фрагмента. Заполнение контура осуществляется минимальным количеством пластинчатых элементов, без добавления узлов на контуре и внутри контура. Между узлами автоматически образуется «резиновый контур».
- **Делоне** (оптимизация R/r) — выполняется заполнение контура с проверкой на выполнение критерия Делоне и оптимизации геометрии КЭ.
- **ReGrid, ReGrid2, ReGridQuad** (регулярная сеть) — выполняется заполнение контура с проверкой геометрического качества КЭ с соответствующим разбиением.

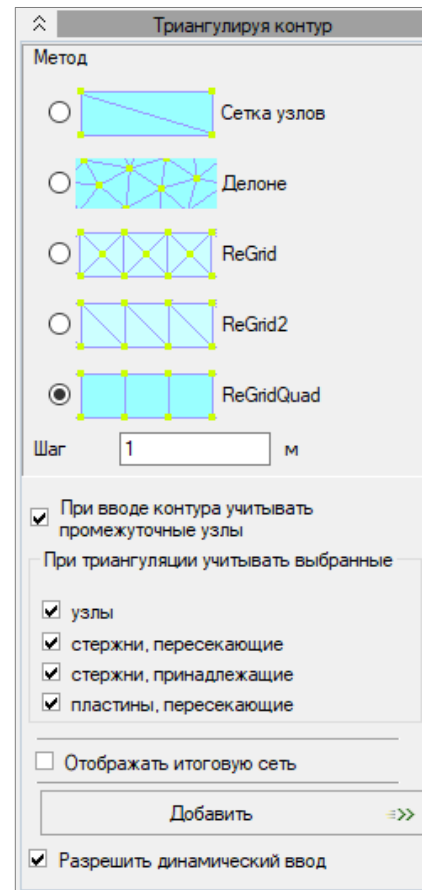


Рис. 2.41. Вкладка **Триангулируя контур**

Также нужно указать следующие параметры:

- **Шаг** — шаг разбивки в текущих единицах измерения указывается в соответствующем поле ввода.

- **При вводе контура учитывать промежуточные узлы** — при установке данного флажка узлы, лежащие на контуре построения, будут учтены при создании плитных элементов.

- **При триангуляции учитывать выбранные:**

- **узлы** — в процессе триангуляции будут учтены выделенные узлы;
- **стержни, пересекающие** — в процессе триангуляции будет выполнено пересечение стержневого элемента с триангулируемой областью;
- **стержни, принадлежащие** — в процессе триангуляции будут созданы и учтены узлы на стержнях, принадлежащих триангулируемой области;
- **пластины, пересекающие** — в процессе триангуляции будет выполнено пересечение пластинчатых элементов с триангулируемой областью.

- **Отображать итоговую сеть** — для предварительного просмотра итоговой сети конечных элементов.

- **Разрешить динамический ввод** — при наведении курсора мыши на узел сети или схемы появляется окно динамического ввода, куда можно вписывать необходимые значения для построения контура. Чтобы переключиться между вводом приращения, координат либо длины отрезка, нужно нажать на клавиатуре **PageUp/PageDown** или стрелку вверх/вниз. А для перехода между полями ввода используется клавиша **Tab**. Подтвердить ввод нужно клавишей **Enter**.

После задания всех необходимых параметров нажмите кнопку **Добавить**.

### Одноузловые элементы

Вкладка **Одноузловые элементы** (рис. 2.42) предназначена для введения в расчетную схему одноузловых элементов.

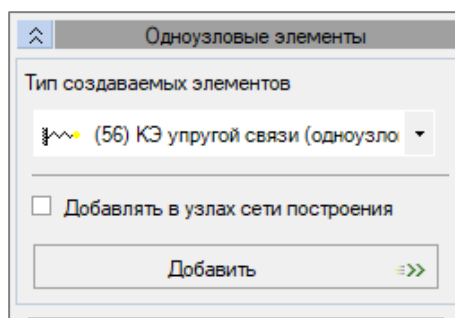


Рис. 2.42. Вкладка **Одноузловые элементы**

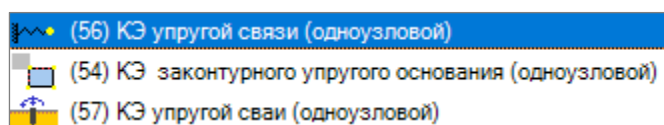


Рис. 2.43. Перечень возможных типов одноузловых элементов

Для задания необходимо выделить существующий узел, затем выбрать в раскрывающемся списке нужный тип создаваемого элемента (рис. 2.43) и нажать кнопку **Добавить**.

При установленном флажке **Добавлять в узлах сети построения** одноузловые элементы будут добавлены во всех узлах текущей сети построения.

### Интерфейсные элементы

Данная вкладка доступна лишь для нелинейных задач и предназначена для создания интерфейсных элементов, моделирующих взаимодействие грунта и сооружения (рис. 2.44).

В раскрывающемся списке **Доступные материалы** можно выбрать специальные материалы, созданные ранее в редакторе материалов. Материал интерфейсных элементов может быть также переназначен или назначен уже после создания этих элементов.

В поле **Желаемая ширина создаваемых интерфейсных элементов** вводится размер элемента в направлении, перпендикулярном к плоскости скольжения.

Для создания плоских интерфейсных элементов необходимо выделить стержневые элементы сооружения, которые контактируют с плоскими элементами. Для создания объемных интерфейсных элементов нужно выделить плоские элементы сооружения, которые контактируют с объемными элементами.

После выделения соответствующих элементов и заполнения параметров режима **Интерфейсные элементы** элементы создаются по нажатию кнопки **Создать интерфейсные элементы**.

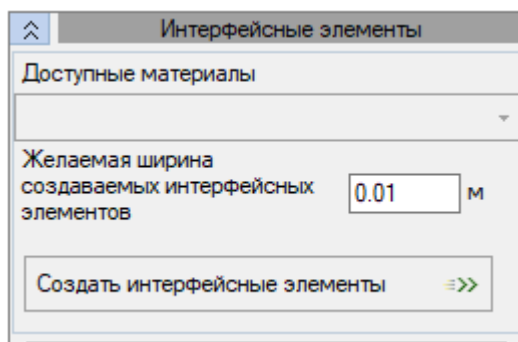


Рис. 2.44. Вкладка **Интерфейсные элементы**

### Построить выпуклую оболочку

Во вкладке содержатся инструменты, позволяющие автоматически определить, можно ли провести через все выделенные узлы плоскость (рис. 2.45).

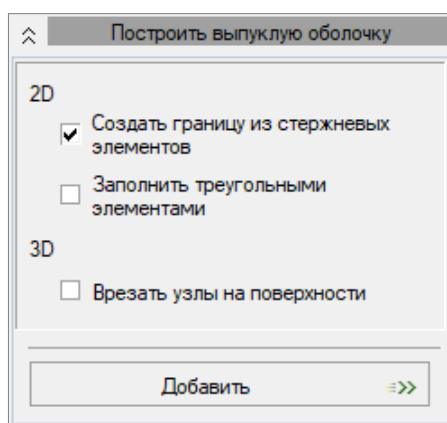


Рис. 2.45. Вкладка **Построить выпуклую оболочку**

Используется автоматический выбор алгоритма построения выпуклой оболочки. Если через все выделенные узлы возможно провести плоскость, работает 2D-алгоритм построения выпуклой оболочки, если нельзя, то используется 3D-алгоритм.

При работе 2D-алгоритма (создается КЭ или группа КЭ из выделенных на экране узлов в одной из выбранных плоскостей) можно установить следующие флажки:

- **Создать границу из стержневых элементов** — автоматически создается выпуклый стержневой контур, опоясывающий отмеченные узлы.
- **Заполнить треугольными элементами** — выполняется автоматическая триангуляция выпуклого контура треугольными элементами между отмеченными узлами.

При работе 3D-алгоритма (создается пространственная схема из выделенных на экране узлов) доступен флажок:

- **Врезать узлы на поверхности** — автоматически выполняется врезка выделенных узлов, лежащих на поверхности.

После задания необходимых параметров нужно нажать кнопку **Добавить**.

### Контур скругления

Вкладка предназначена для создания скругления между двумя стержнями, имеющими общий узел (рис. 2.46).

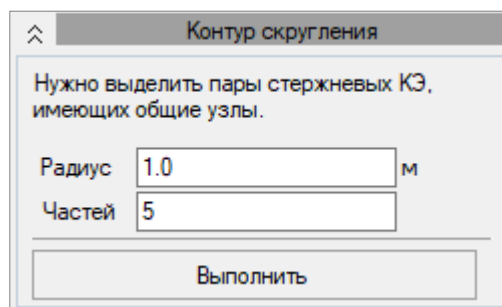


Рис. 2.46. Вкладка **Контур скругления**

Чтобы создать контур скругления:

1. Выделите пару стержневых КЭ, имеющих общие узлы.
2. Введите в поле ввода радиус скругления.
3. Задайте количество частей, из которых должен состоять контур скругления.
4. Подтвердите действие кнопкой **Выполнить**.

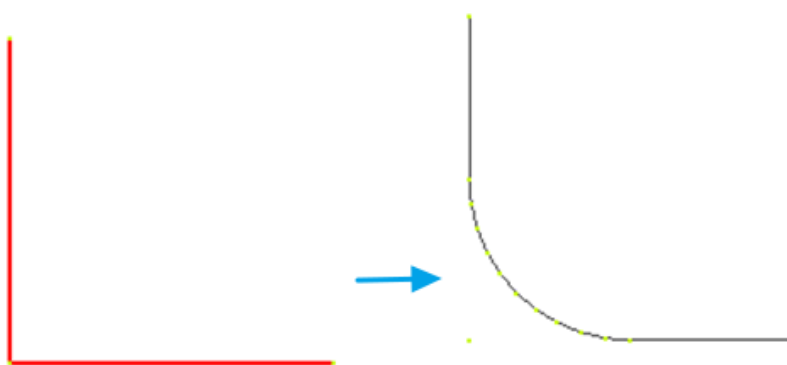



Рис. 2.47. Пример

### 2.4.3 Добавление архитектурных элементов

Для добавления архитектурных элементов в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или командой меню **Схема**

⇒ **Арх. элементы** либо же кнопкой  на панели инструментов.

Активизируется режим **Архитектурные элементы** (рис. 2.48), который содержит шесть вкладок.

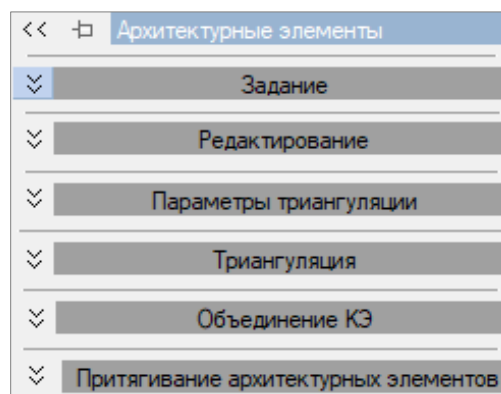


Рис. 2.48. Режим **Архитектурные элементы**

### Задание

Во вкладке **Задание** (рис. 2.49) следует выбрать один из переключателей для указания типа элемента, который необходимо добавить:

- **Пластина** — задается в виде полигона, по точкам указывается контур, который образует элемент.

- **Стена** — задается контуром в области интерактивной панели визуализации расчетной схемы, по которому будет добавлен элемент.

- **Проем / вырез** — определяется контуром, который необходимо вырезать. При создании проема/выреза координационная сеть и пластина, в которой необходим проем, должны находиться в одной плоскости.

- **Стержень** — задается двумя конечными точками, между которыми будет сгенерирован элемент.

- **Колонна** — генерируется в выбранных точках, предварительно заданной высоты.

- **Свая** — архитектурный одноузловой элемент, который генерируется в выбранных точках. Для неё назначается сечение “Свая (упругая связь)”, в параметрах которой можно задавать расстановку арматуры для последующего ее подбора.

Для типов элемента **Стена** и **Колонна** необходимо ввести нужную высоту элемента в поле **Высота этажа**.

После нажатия кнопки **Добавить** архитектурные примитивы задаются в виде полигона (в окне **Главный вид** по точкам указывается контур, который образует элемент).

При задании архитектурных элементов имеется возможность динамического ввода. Для этого нужно установить флажок **Разрешить динамический ввод**. При наведении курсора мыши на узел сети или схемы появляется окно динамического ввода, куда можно вписывать необходимые значения для построения контура.

Есть три способа задания параметров для назначения следующей точки (рис. 2.50): **Приращение** по трем осям, **Координаты X, Y, Z** и **Длина отрезка** с возможностью отклонения в горизонтальной плоскости на угол  $\alpha$  и в вертикальной плоскости на угол  $\beta$ .

Чтобы переключиться между вводом приращения, координат либо длины отрезка, нужно нажать на клавиатуре **PageUp/PageDown** или стрелку вверх/вниз. А для перехода между полями ввода используется клавиша **Tab**. После задания параметров нужно подтвердить ввод клавишей **Enter**.

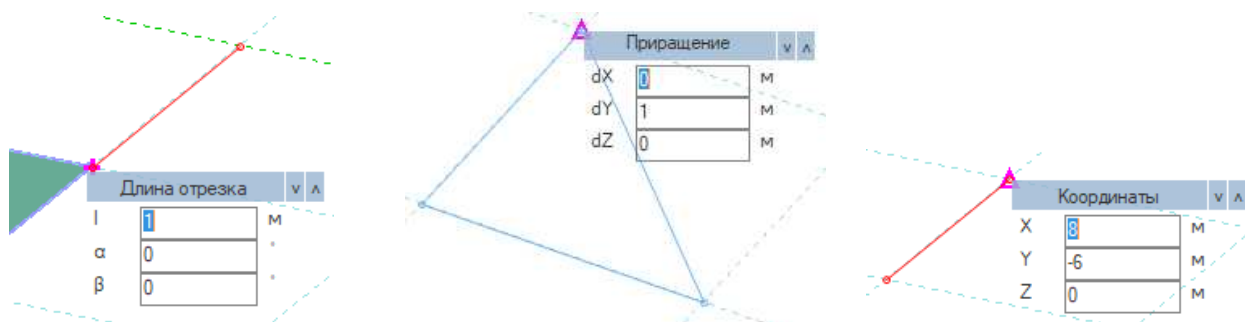


Рис. 2.50. Режимы динамического ввода

### Редактирование

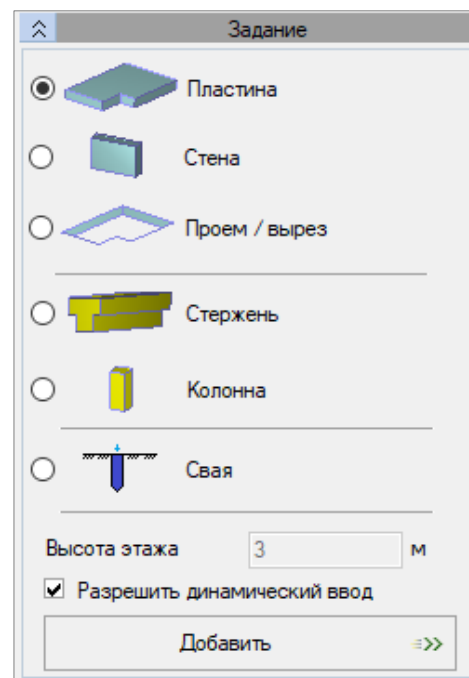


Рис. 2.49. Вкладка **Задание**

Вкладка позволяет вручную редактировать местоположение узлов контуров. Для редактирования нужно щелкнуть мышью на требуемом узле контура, а затем вторым щелчком мыши указать новое положение данного узла или можно воспользоваться контекстным меню (рис. 2.52).

На вкладке **Редактирование** (рис. 2.51) также представлены функции, которые позволяют создать более сложную геометрию из уже заданных элементов. Каждую из функций можно применить не более чем к двум выделенным элементам.

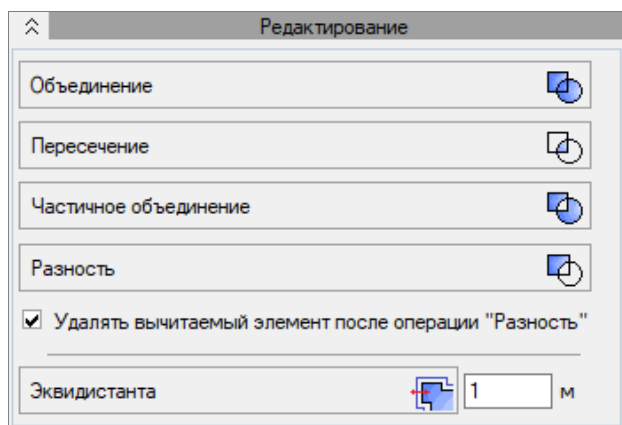


Рис. 2.51. Вкладка **Редактирование**

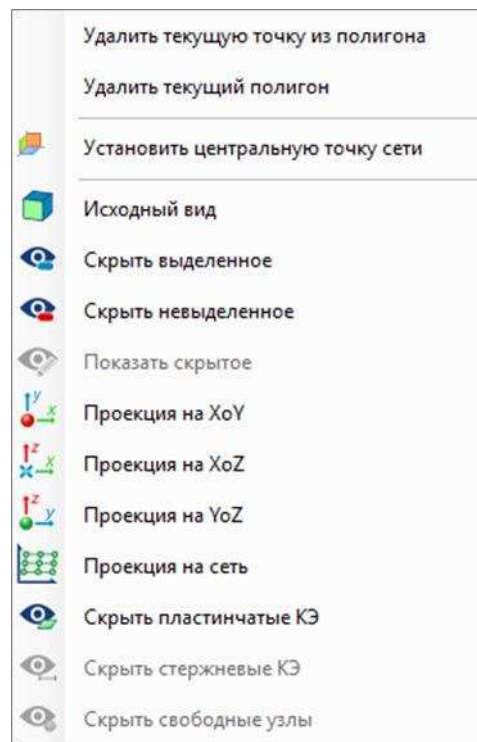



Рис. 2.52. Контекстное меню в режиме редактирования

Для начала необходимо выделить элементы при помощи команды  либо комбинации клавиш **Ctrl + Shift + левая кнопка мыши** в окне **Главный вид**. Затем на панели активного режима (рис. 2.51) выбрать операцию редактирования:


- **Объединение** — позволяет сделать единый элемент из двух пересекающихся.
- **Пересечение** — генерирует элемент, контуром которого будет область пересечения двух элементов. Область вне зоны пересечения будет удалена.
- **Частичное объединение** — комбинирует два контура в один с удалением области пересечения.
- **Разность** — дает возможность вычитать из контура одного элемента контур другого. При выборе этой функции будет предложено два возможных варианта генерируемого элемента. Если установить флажок **Удалять вычитаемый элемент после операции "Разность"**, вычитаемый элемент будет удален.

Команда **Эквидистанта** позволят изменить контуры выделенных объектов на равноудаленное расстояние, заданное в поле ввода.

### Параметры триангуляции



После того как архитектурные примитивы заданы и отредактированы, им можно назначить **Параметры триангуляции**.

Для этого в окне **Главный вид** необходимо выделить элементы при помощи команды  либо комбинацией клавиш **Ctrl + Shift + левая кнопка мыши**. Затем на вкладке **Параметры триангуляции** (рис. 2.53) выбрать один из переключателей выбора **Метода** триангуляции, задать **Шаг** и нажать кнопку **Назначить**. С назначенных элементов автоматически снимается выделение.

Если существует необходимость создания твердых тел в местах пересечения со стержнями, то нужно установить соответствующий флажок.

При выборе переключателя **ReGridQuard** (для комбинированных сетей) реализуется итерационный алгоритм Laplacian smoothing для внутренних узлов триангуляции, позволяющий улучшить итоговое качество сети конечных элементов с применением четырехугольных КЭ.



Рис. 2.53. Вкладка задания параметров триангуляции

### Триангуляция

Вкладка **Триангуляция** (рис. 2.54) позволяет выполнить триангуляцию по заданным ранее параметрам.

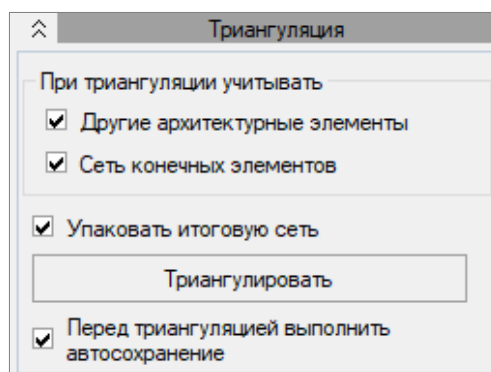


Рис. 2.54. Вкладка **Триангуляция**

Перед триангуляцией есть возможность учитывать (путем установки соответствующего флажка):

- **Другие архитектурные элементы;**
- **Сеть конечных элементов.**

Если установить флажок **Упаковать итоговую сеть**, то после выполнения триангуляции архитектурных элементов будет выполнена упаковка полученной сети.

Установка флажка **Перед триангуляцией выполнять автосохранение** позволит автоматически сохранить необходимые изменения перед триангуляцией.

Далее необходимо нажать кнопку **Триангулировать**.

### Объединение КЭ

Данная вкладка (рис. 2.55) содержит инструменты, позволяющие преобразовать выделенную область конечно-элементной сети в архитектурные элементы для дальнейшего редактирования геометрии и расчета.

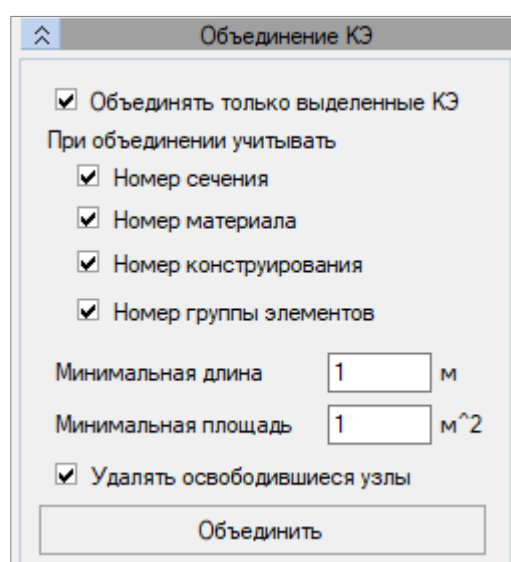


Рис. 2.55. Вкладка **Объединение КЭ**

Если установлен флажок **Объединять только выделенные КЭ**, то будут объединены только выделенные элементы, иначе после нажатия кнопки **Объединить** будут объединены все элементы схемы.

В процессе преобразования могут образовываться как стержневые или пластинчатые архитектурные элементы, так и архитектурные элементы, моделирующие работу свай.

При объединении КЭ в архитектурные могут быть учтены (путем установки соответствующих флажков) уже назначенные сечения, материалы, параметры конструирования, а также информация о включении КЭ в группы объединения.

Также можно задать следующие параметры:

- **Минимальная длина** — поле ввода для задания минимальной длины создаваемого стержневого архитектурного элемента. Т.е. если длина объединенного стержневого архитектурного элемента меньше заданной, то архитектурный элемент не создается.
- **Минимальная площадь** — поле ввода для задания минимальной площади создаваемого пластинчатого архитектурного элемента. Т.е. если площадь

объединенного пластинчатого архитектурного элемента меньше заданной, то архитектурный элемент не создается.

Установите флажок **Удалять освободившиеся узлы** для удаления освободившихся узлов в процессе объединения КЭ в архитектурные элементы.

Введя требуемые параметры, нажмите кнопку **Объединить**.

### Притягивание архитектурных элементов

Вкладка (рис. 2.56) содержит инструменты, позволяющие выполнить "дотяжку" архитектурных элементов, тем самым повысив точность создания модели.

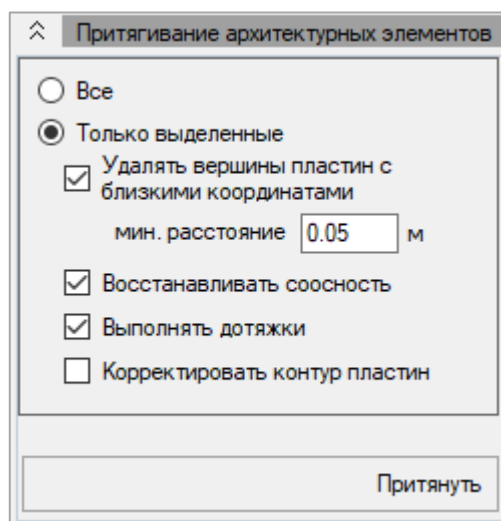


Рис. 2.56. Вкладка **Притягивание архитектурных элементов**

Можно задать дотяжку для всех архитектурных элементов модели либо только для выделенных, выбрав соответствующий переключатель.


**Удалять вершины пластин с близкими координатами** — при установленном флажке удаляет вершины, лежащие ближе, чем задано в поле ввода **мин. расстояние**.

**Восстанавливать соосность** — позволяет стержни, “условно” лежащие на одной прямой, сделать соосными, а группу пластин, “условно” лежащих в одной плоскости, притянуть к этой плоскости.

**Выполнять дотяжки** — для пластин и стержней, попадающих в тело друг друга, выполняет дотягивание до срединной поверхности.

**Корректировать контур пластин** — добавляет дополнительные узлы в контуры пластин, где будут проходить близлежащие колонны, стены и перекрытия.

### 2.4.4 Добавление пространственной рамы

Для добавления пространственной рамы в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Пространственная рама** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активизируется режим **Добавить раму**, который предназначен для создания фрагментов пространственных рам и содержит 3 вкладки (рис. 2.57).

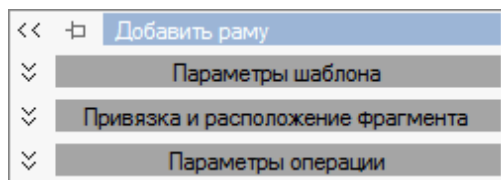


Рис. 2.57. Панель активного режима **Добавить раму**

#### Параметры шаблона

В данной вкладке задаются параметры шаблона рамы (рис. 2.58).

В таблицах **Параметры по оси X/Y/Z** необходимо указать:

- **Шаг** разбивки — длина фрагмента вдоль соответствующей оси X/Y/Z в текущих единицах измерения. Если стержни, соединяющие узлы пространственной рамы, состоят из нескольких участков (имеют промежуточные узлы), то в полях ввода **Шаг** разбивки задаются необходимые числа.

- Количество **Повторов** с заданным шагом.
- **N** — количество элементов, на которые разбивается заданный **Шаг** разбивки.

При установленном флажке **Генерировать плиты перекрытия** происходит автоматическое формирование плит перекрытия с учетом имеющихся узлов.

Также необходимо выбрать **Способ разбивки** на КЭ при помощи раскрывающегося окна (рис. 2.59).

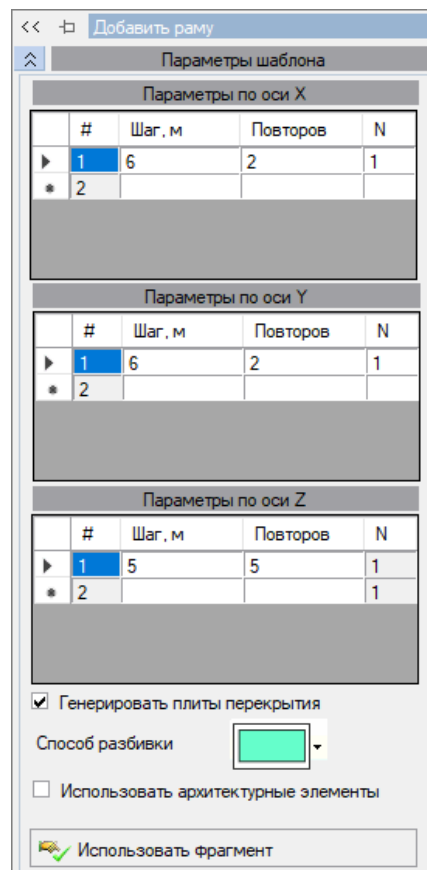


Рис. 2.58. Вкладка **Параметры шаблона**

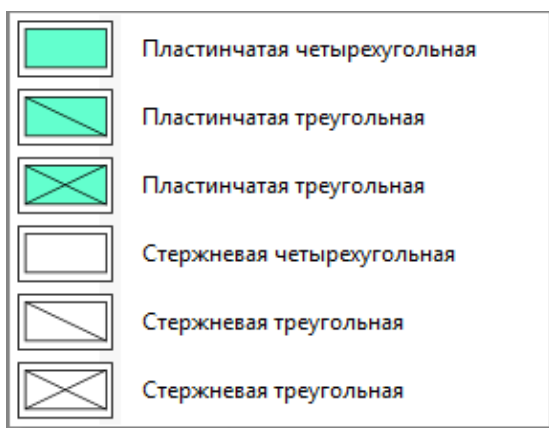


Рис. 2.59. Окно выбора **Способа разбивки**

Для добавления рамы необходимо нажать кнопку **Использовать фрагмент**. Создаваемый фрагмент будет привязан к узлу, указанному курсором на уже существующем фрагменте схемы или на пересечении осей построения.

### Привязка и расположение фрагмента

Вкладка позволяет задать привязку и расположение фрагмента.

В раскрывающемся списке **Тип вставки** (рис. 2.60) необходимо выбрать один из типов вставки.

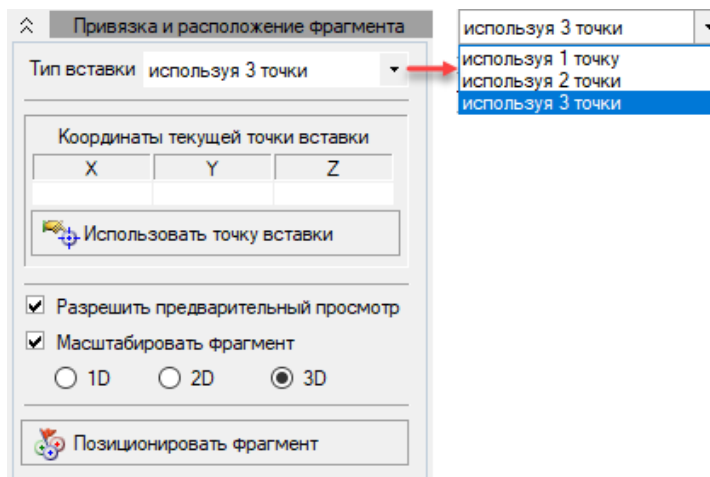


Рис. 2.60. Вкладка **Привязка и расположение фрагмента**

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек можно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;
- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.61). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.61);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2** или **3** (рис. 2.62).

Установка флажка **Разрешить предварительный просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком мыши по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

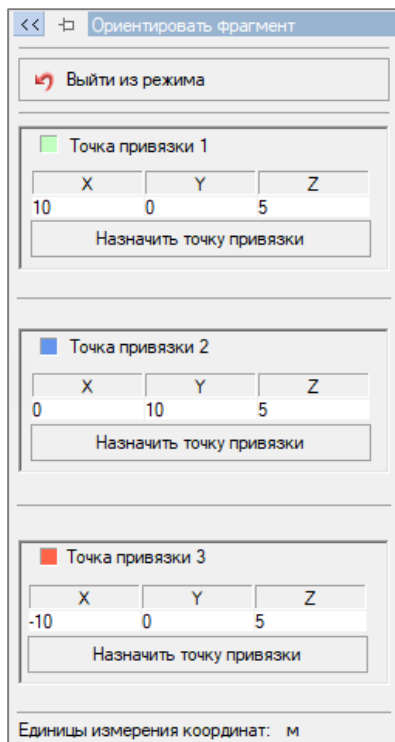


Рис. 2.61. Вкладка Ориентировать фрагмент

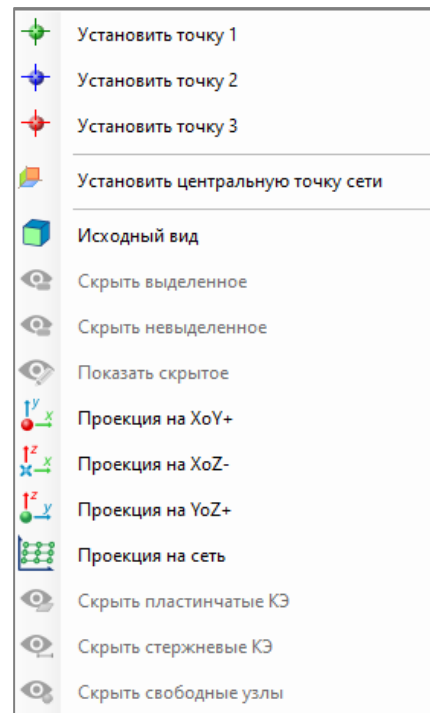



Рис. 2.62. Контекстное меню при позиционировании фрагмента

### Параметры операции

Вкладка позволяет выполнить автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими. Для этого нужно установить флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

### 2.4.5 Добавление поверхности по шаблону

Для добавления в расчетную схему поверхности по шаблону необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема ⇒ Фрагмент поверхности** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активизируется режим **Добавить поверхность**, с помощью которого возможна генерация стержневых или пластинчатых объемных поверхностей. Панель режима содержит 3 вкладки (рис. 2.63).

### Доступные шаблоны

В текущей вкладке из перечня шаблонов выберите необходимый (рис. 2.64).

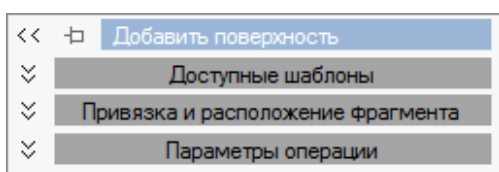


Рис. 2.63. Режим Добавить поверхность

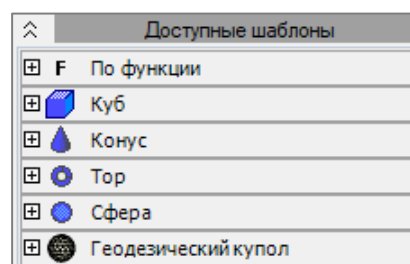


Рис. 2.64. Вкладка Доступные шаблоны

## По функции

Закладка предназначена для автоматического задания поверхностей и имеет две кнопки для поверхностей вида:

- $$\begin{cases} Z = f(U, V) \\ R = f(U, V) \end{cases}$$
 — для задания простых поверхностей;
- $$\begin{cases} X = f(U, V) \\ Y = f(U, V) \\ Z = f(U, V) \end{cases}$$
 — для задания поверхностей, описанных системой уравнений.

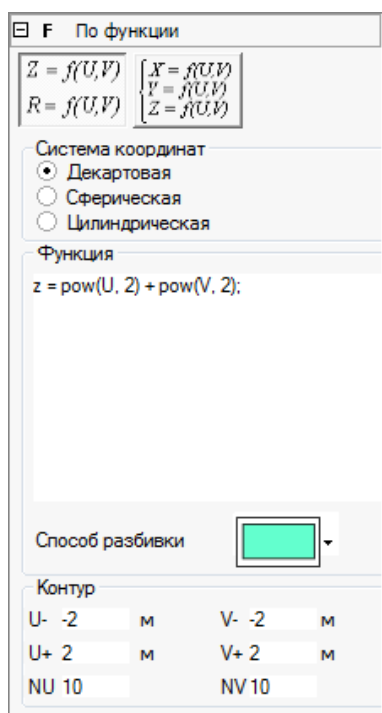


Рис. 2.65. Закладка **По функции**  
(для задания простых поверхностей)

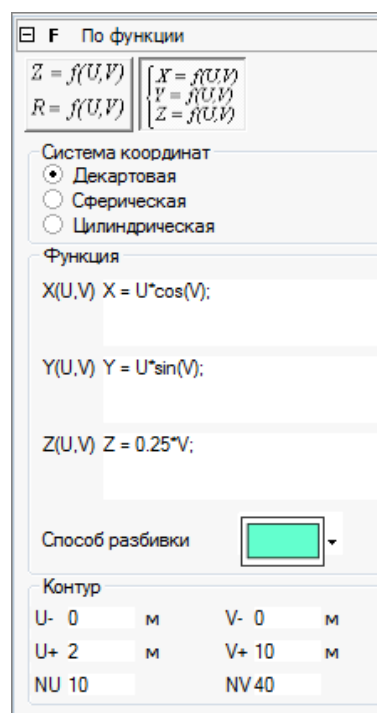


Рис. 2.66. Закладка **По функции**  
(система уравнений)

При нажатой кнопке 
$$\begin{cases} Z = f(U, V) \\ R = f(U, V) \end{cases}$$
 в соответствующее поле ввода (рис. 2.65) записывается формула поверхности:

- $Z = f(U, V)$  — для декартовой системы координат, где  $U, V, Z$  — координаты  $X, Y, Z$  рассматриваемой точки.
- $R = f(U, V)$  — для сферической системы координат, где:  $R$  — расстояние от начала координат до рассматриваемой точки;  $U$  — угол между осью  $Z$  и отрезком, соединяющим начало координат и рассматриваемую точку;  $V$  — угол между осью  $X$  и проекцией отрезка, соединяющего начало координат с рассматриваемой точкой, на плоскость  $XY$ .
- $R = f(U, V)$  — для цилиндрической системы координат, где:  $R$  — расстояние от рассматриваемой точки до оси  $Z$ ;  $U$  — угол между осью  $X$  и ортогональной проекцией рассматриваемой точки на плоскость  $XY$ ;  $V$  — координата  $Z$  рассматриваемой точки.


 Синтаксис формульного задания поверхностей должен полностью соответствовать синтаксису и правилам использования языка программирования C Sharp (C#). Т.е. допускается создание пользовательских переменных любых типов данных, доступных в C#, использование любых видов циклов, написание различных условий и ограничений на параметры функций и т.д.

Таблица 2.1. Список базовых функций и констант

Название функции	Описание функции	Название функции	Описание функции
Sin(x)	Синус	Log(x)	Натуральный логарифм
Cos(x)	Косинус	log10(x), lg(x)	Логарифм по основанию 10
Tan(x)	Тангенс	Sqrt(x)	Корень квадратный
Asin(x)	Арксинус	Pow(x,n)	Возведение x в степень n, $x^n$
Acos(x)	Арккосинус	Abs(x)	Абсолютная величина числа
Atan(x)	Арктангенс	Exp(x)	Вычисление экспоненты
Sinh(x)	Гиперболический синус	pi	Константа $\pi = 3,1415926535$
Cosh(x)	Гиперболический косинус	e	Константа $e = 2,7182818284$
Tanh(x)	Гиперболический тангенс	—	—

В таблице 2.1 перечислены основные математические функции и константы, которые можно использовать для задания функций поверхности.

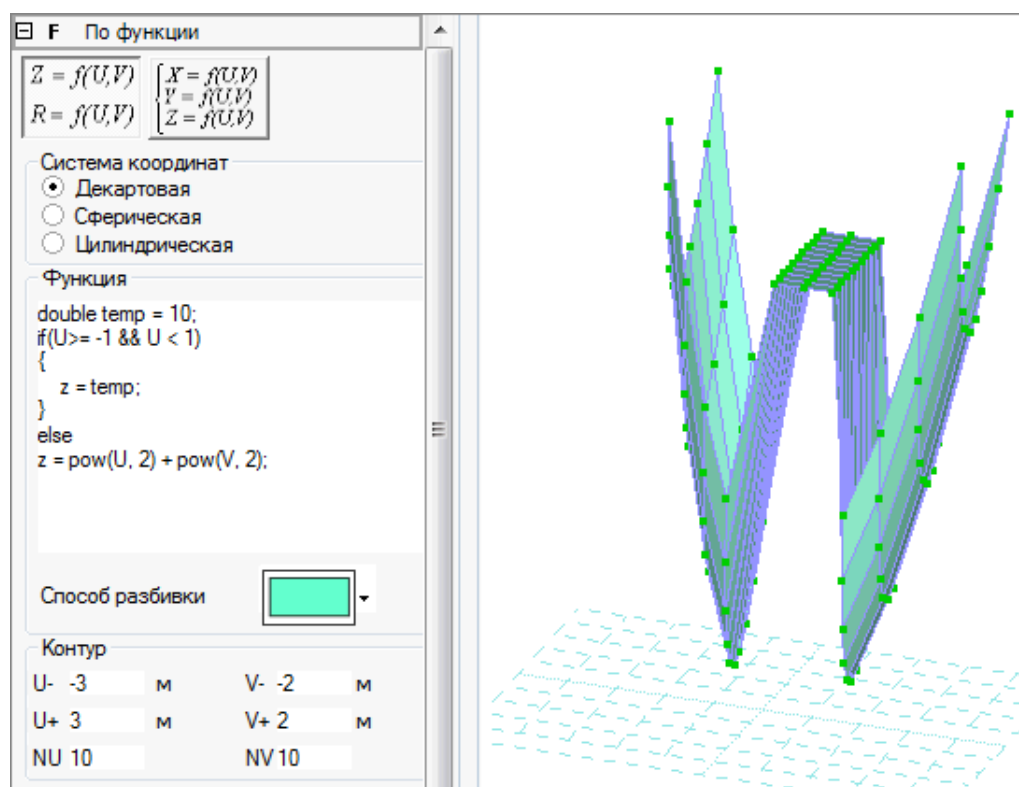



Рис. 2.67. Пример

 Регистр символов в строке написания формулы не имеет значения.



В раскрывающемся списке выберите **Способ разбивки**.

Для задания контура в соответствующих полях ввода укажите граничные значения координат  $U$  и  $V$ , а также количество точек на контуре  $N$ .

Задав требуемую поверхность, нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

$$\begin{cases} X = f(U, V) \\ Y = f(U, V) \\ Z = f(U, V) \end{cases}$$

**Кнопка** предназначена для задания поверхностей (рис. 2.66), описанных системой уравнений. Для задания поверхности:

1. Укажите систему координат (декартова, сферическая или цилиндрическая).
2. В соответствующих полях ввода задайте функции  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .
3. Выберите в раскрывающемся списке **Способ разбивки**.
4. Задайте **Контур** (в полях  $U$ -,  $U$ +,  $V$ -,  $V$ + задаются минимальные и максимальные границы задаваемого параметра;  $UN$ ,  $VN$  — число дроблений соответствующего участка).
5. Нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

**Пример** (рис. 2.68 и 2.69)

**F По функции**

$Z = f(U, V)$   
 $R = f(U, V)$

$\begin{cases} X = f(U, V) \\ Y = f(U, V) \\ Z = f(U, V) \end{cases}$

Система координат


Декартова  
 Сферическая  
 Цилиндрическая

Функция

$X(U, V) X = U \cdot \cos(V);$

$Y(U, V) Y = U \cdot \sin(V);$

$Z(U, V) Z = 0.25 \cdot V;$

Способ разбивки 

Контур

U- 0	м	V- 0	м
U+ 2	м	V+ 10	м
NU 10		NV 40	

Рис. 2.68. Закладка **По функции**

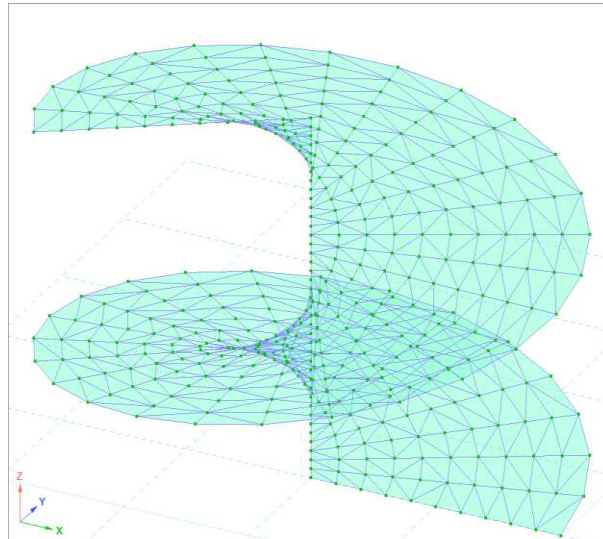


Рис. 2.69. Визуализация примера

## Куб

Закладка предназначена для автоматического задания поверхностей в виде куба.

Для создания куба (рис. 2.71):

1. Задайте **Основные параметры** (рис. 2.70):

- **Габариты по X/Y/Z** — длина фрагмента по оси X/Y/Z в текущих единицах измерения;
- **Шагов по X/Y/Z** — количество шагов габаритов по оси X/Y/Z.

2. Выберите **Способ разбивки**.

3. Нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

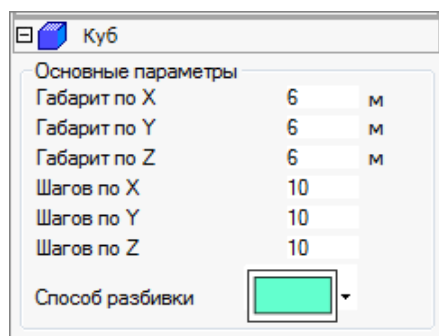


Рис. 2.70. Закладка **Куб**

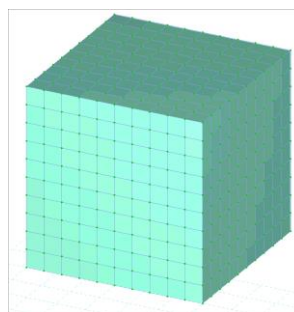


Рис. 2.71. Пример куба

## Конус

Закладка (рис. 2.73) предназначена для автоматического задания конусообразных поверхностей. Для этого необходимо задать **Основные параметры** конуса (рис. 2.72):

- **Верхний радиус,  $r$**  — верхний радиус конуса (в случае усеченного конуса);
- **Нижний радиус,  $R$**  — нижний радиус (основание) конуса;
- **Высота,  $H$**  — высота конуса;
- **Шагов по высоте,  $n_1$**  — элементов по высоте;
- **Шагов по окружности,  $n_2$**  — элементов по окружности;
- **Раскрытие сектора,  $\varphi$**  — угол раскрытия  $f_i$ ;
- **Способ разбивки** — выбрать элементы, из которых будет сгенерирован конус (пластины или стержни).

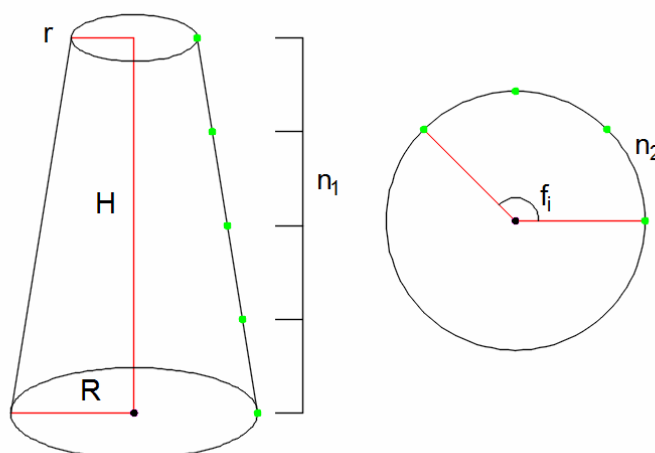


Рис. 2.72. Основные параметры конуса

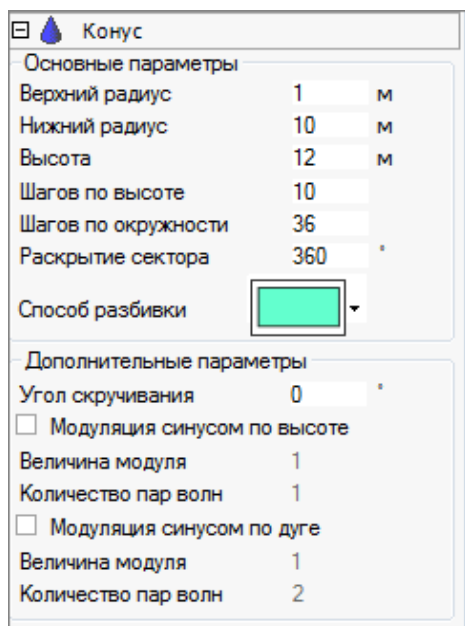
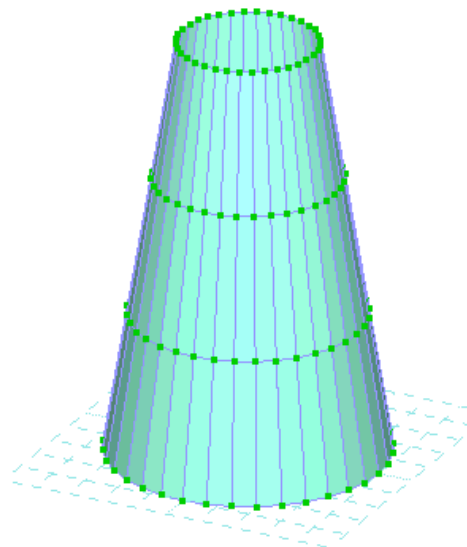
Рис. 2.73. Закладка **Конус**

Рис. 2.74. Пример конуса

Затем указать **Дополнительные параметры** (рис. 2.75).

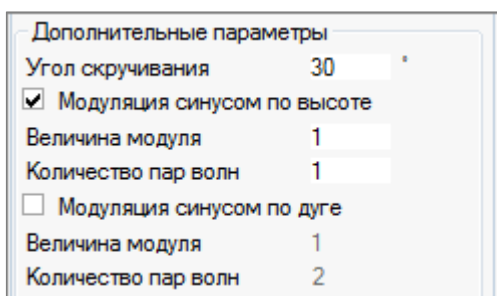


Рис. 2.75. Дополнительные параметры

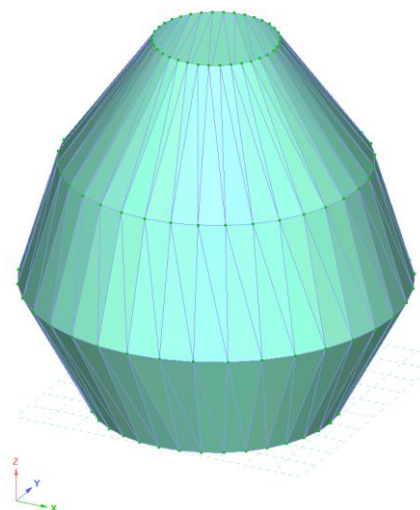



Рис. 2.76. Поверхность по заданным параметрам

 При задании параметров в закладке **Конус** используется цилиндрическая система координат.

На рисунке 2.77 обозначены:

- $\rho$  — полярный радиус;
- $\phi$  — полярный угол;
- $z = H$  — аппликата.

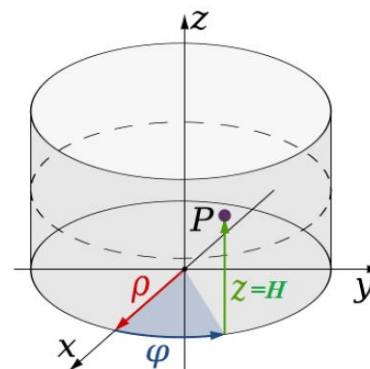


Рис. 2.77

Формула вычисления  $\rho$ :

$$\rho = \rho + \phi \cdot \frac{h}{H},$$

где  $\phi$  — угол скручивания;

$H$  — высота  $Z$  конуса / усеченного конуса;

$h$  — координата  $Z$  рассматриваемой точки.

Установленный флажок **Модуляция синусом по высоте** (рис. 2.75) дает возможность варьировать форму поверхностей, когда  $r$  зависит только от высоты  $h$ :

$$\rho = \rho \cdot \left(1 + \Delta \cdot \left| \sin \left( n3 \cdot \frac{h}{H} \right) \right| \right),$$

где  $\Delta$  — величина модуля;

$n3$  — количество пар волн;

$H$  — высота конуса / усеченного конуса;

$h$  — координата  $Z$  рассматриваемой точки.

Установленный флажок **Модуляция синусом по дуге** (рис. 2.78) дает возможность варьировать форму поверхностей, когда  $r$  зависит только от угла  $\phi$ :

$$\rho = \rho \cdot (1 + \Delta \cdot |\sin(n3 \cdot \phi)|),$$

где  $\Delta$  — величина модуля;

$n3$  — количество пар волн;

$\phi$  — угол скручивания.

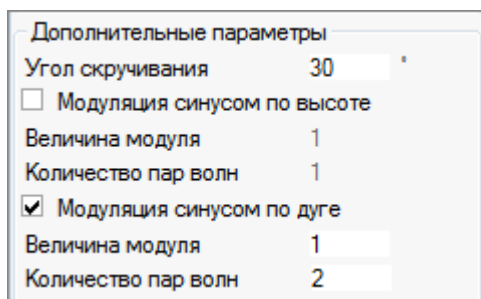


Рис. 2.78. Дополнительные параметры

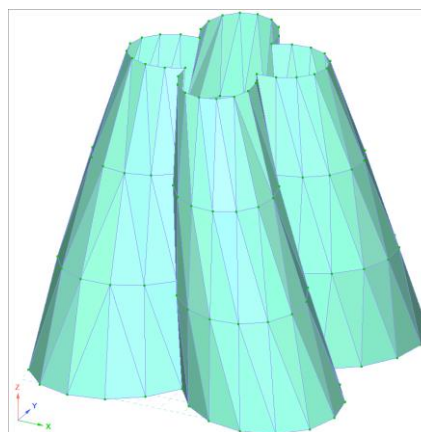



Рис. 2.79. Поверхность по заданным параметрам

 Флажки могут быть установлены одновременно в двух окнах (рис. 2.80).

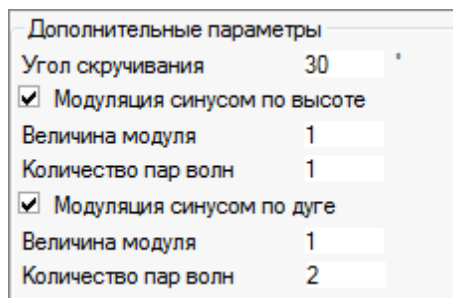


Рис. 2.80. Дополнительные параметры

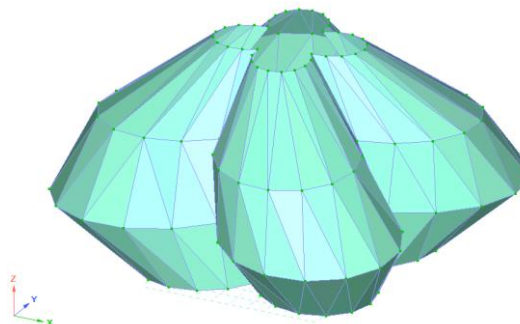


Рис. 2.81. Поверхность по заданным параметрам

## Тор

Закладка предназначена для автоматического задания поверхностей в виде тора.

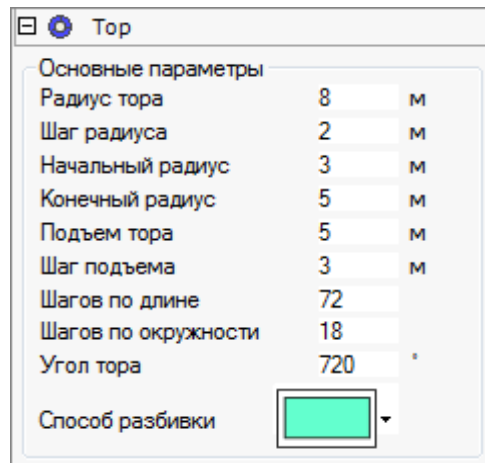


Рис. 2.82. Закладка **Тор**

В диалоговом окне (рис. 2.82) необходимо задать **Основные параметры** тора (рис. 2.83–2.87):

- **Радиус тора,  $R$ ;**
- **Шаг радиуса,  $nR$**  — шаг увеличения радиуса тора;
- **Угол тора,  $\varphi$**  — угол раскрытия;

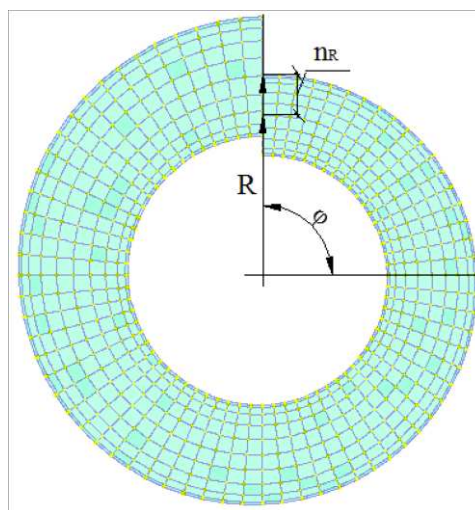


Рис. 2.83. Параметры тора

- **Начальный радиус тора,  $r1$**  — начальный радиус окружности;
- **Конечный радиус тора,  $r2$**  — конечный радиус окружности;
- **Подъем тора,  $H$**  — расстояние между витками спирали;
- **Шаг подъема,  $nH$ ;**

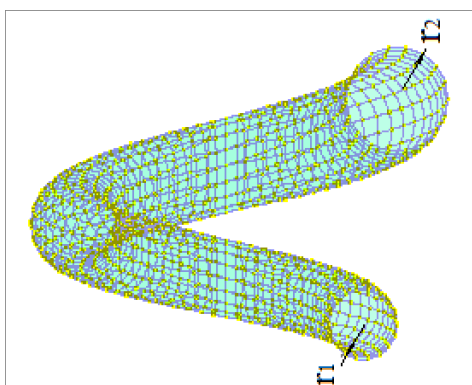


Рис. 2.84

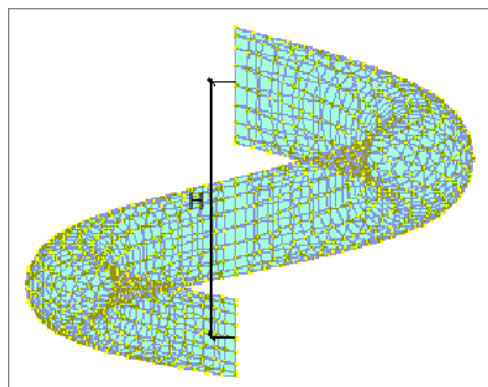


Рис. 2.85

- **Шагов по длине**,  $n1$  — количество элементов по окружности, образующей тор;
- **Шагов по окружности**,  $n2$  — количество элементов по окружности тора;

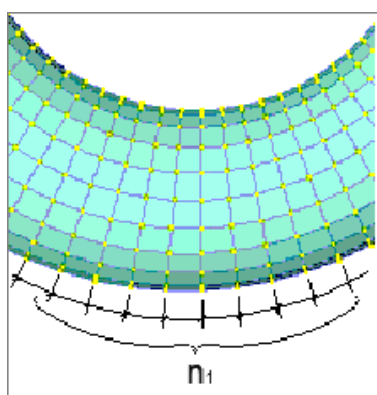


Рис. 2.86

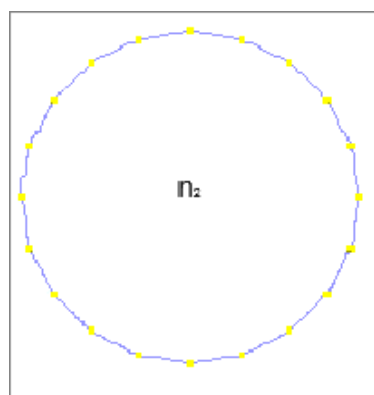


Рис. 2.87

- **Способ разбивки** — выбрать тип элементов, из которых будет сгенерирован тор (пластины или стержни).

После задания всех необходимых параметров следует нажать кнопку **Использовать фрагмент**.

### Сфера

Закладка предназначена для автоматического задания сферических поверхностей.

В диалоговом окне (рис. 2.88) задаются **Основные параметры** (рис. 2.89, 2.90):

- **Радиус сферы**,  $R$  — радиус сферы;
- **Шагов по ширине**,  $n1$  — количество элементов сферы по высоте;
- **Шагов по долготе**,  $n2$  — количество элементов сферы по окружности;
- **Угол сектора**,  $\varphi$  — угол раскрытия сферы в текущих единицах измерения;
- **От центра до верха**,  $H1$  — высота сферы от центра до верха в текущих единицах измерения;
- **От центра до низа**,  $H2$  — высота сферы от центра до низа в текущих единицах измерения.

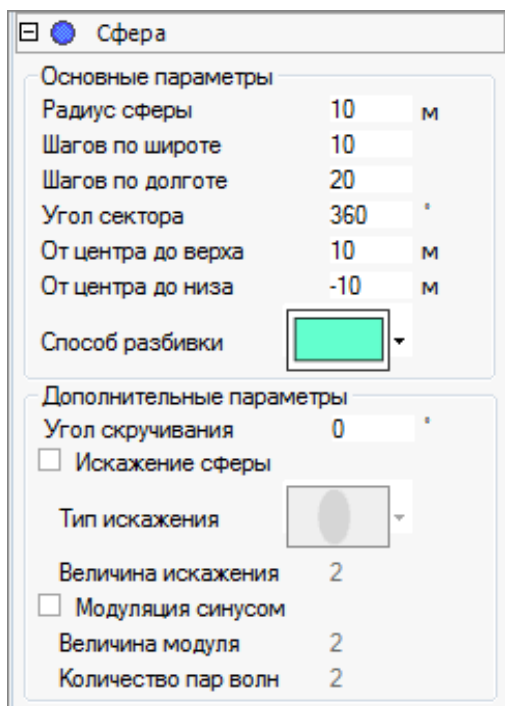
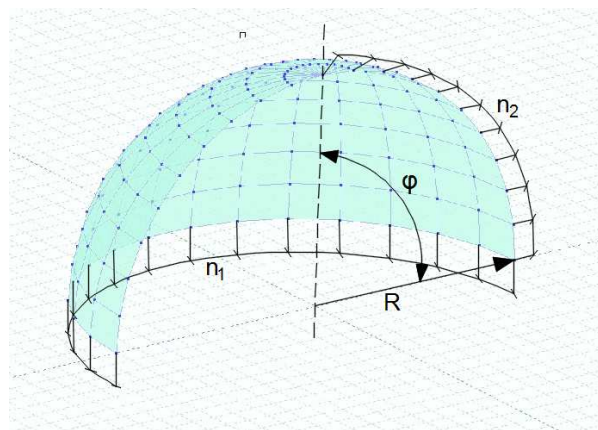
Рис. 2.88. Закладка **Сфера**

Рис. 2.89. Параметры сферы

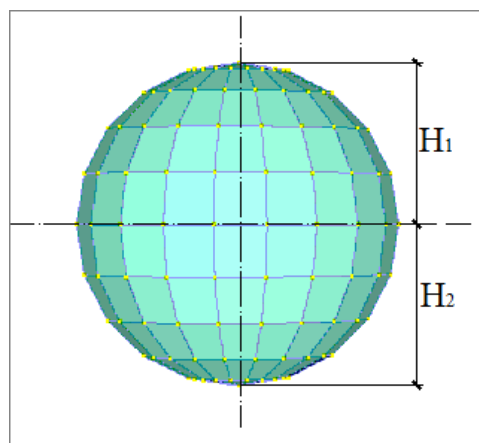


Рис. 2.90. Параметры сферы

При задании параметров в закладке **Сфера** используется сферическая система координат. Координаты точек сферы определяются по формулам:

$$x = x \cdot (1 + \Delta \cdot |\sin(n1 \cdot L)|),$$

$$y = y \cdot (1 + \Delta \cdot |\sin(n2 \cdot L)|),$$

где  $\Delta$  — величина модуля;  
 $n1, n2$  — количество пар волн;  
 угол  $L$  — долгота.

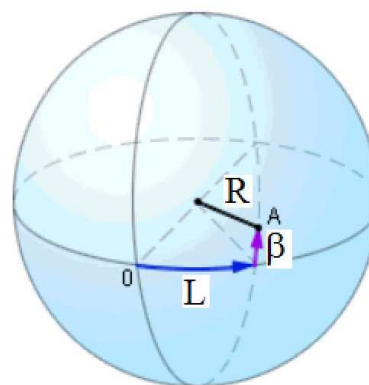


Рис. 2.91

В области **Дополнительные параметры** (рис. 2.92) указывается **Угол скручивания**, **Искажение сферы: Тип искажения** (рис. 2.93) и **Величина искажения**.

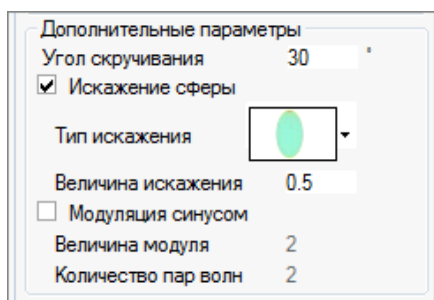


Рис. 2.92. Дополнительные параметры



Рис. 2.93. Тип искажения

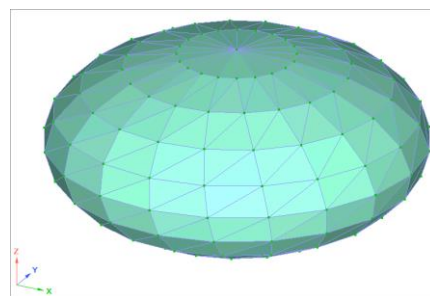


Рис. 2.94. Поверхность по заданным параметрам

При установленном флажке **Модуляция синусом** (рис. 2.95) следует:

- задать **Величину модуля**;
- указать **Количество пар волн**.

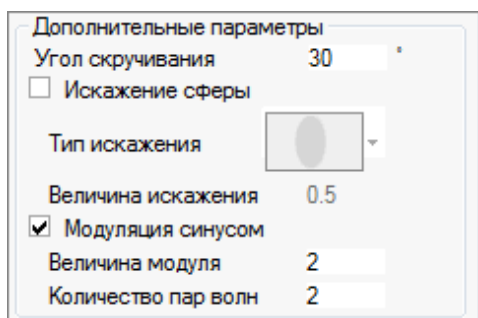


Рис. 2.95. Дополнительные параметры

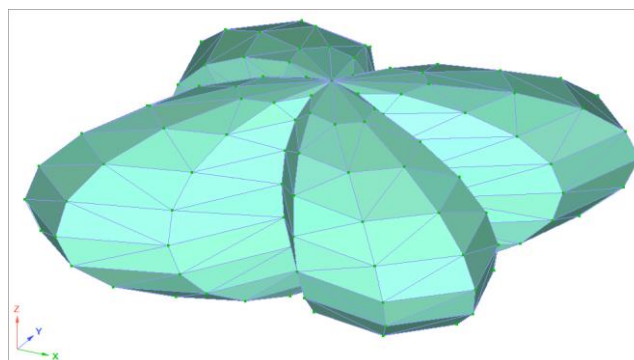



Рис. 2.96. Поверхность по заданным параметрам

 Флажки могут быть установлены одновременно в двух окнах (рис. 2.97).

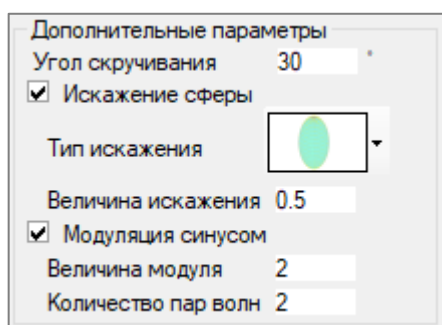


Рис. 2.97. Дополнительные параметры

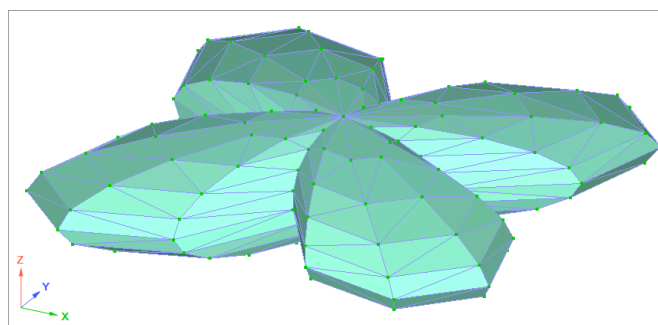


Рис. 2.98. Поверхность по заданным параметрам

После задания всех необходимых параметров нужно нажать на кнопку **Использовать фрагмент**.



## Геодезический купол

Закладка предназначена для автоматического задания поверхностей в виде геодезического купола.

Для построения необходимо задать **Основные параметры** (рис. 2.99):

- В раскрывающемся списке **Базовая фигура построения** выберите одну из фигур: тетраэдр, октаэдр, икосаэдр.
- Укажите **Радиус сферы**.
- Если требуется получить фрагмент фигуры в виде неполной сферы, тогда установите флажок **Высота фрагмента** и введите требуемое значение в активизированном поле. Высота фрагмента отсчитывается от верха фигуры.
- Укажите **Частоту** разбивки.
- Выберите **Способ разбивки** — элементы, из которых создается купол.
- Чтобы сгладить отображаемую поверхность купола, установите флажок **Гладкая поверхность купола**.

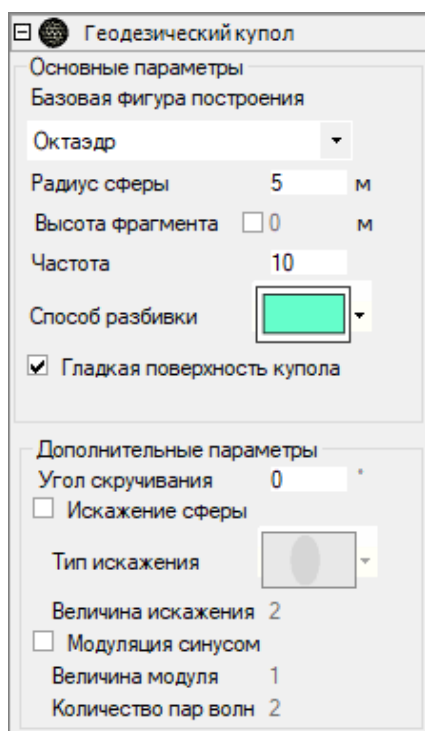


Рис. 2.99. Закладка **Геодезический купол**

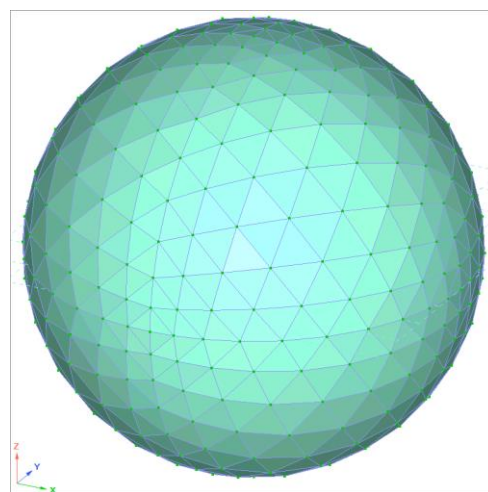



Рис. 2.100. Пример геодезического купола

 При задании параметров в закладке **Геодезический купол** используется сферическая система координат.

**Дополнительные параметры** геодезического купола задаются аналогично дополнительным параметрам **Сфера** (см. предыдущий пункт).

### Привязка и расположение фрагмента

Вкладка позволяет задать привязку и расположение фрагмента.

В раскрывающемся списке **Тип вставки** (рис. 2.101) необходимо выбрать один из типов вставки.

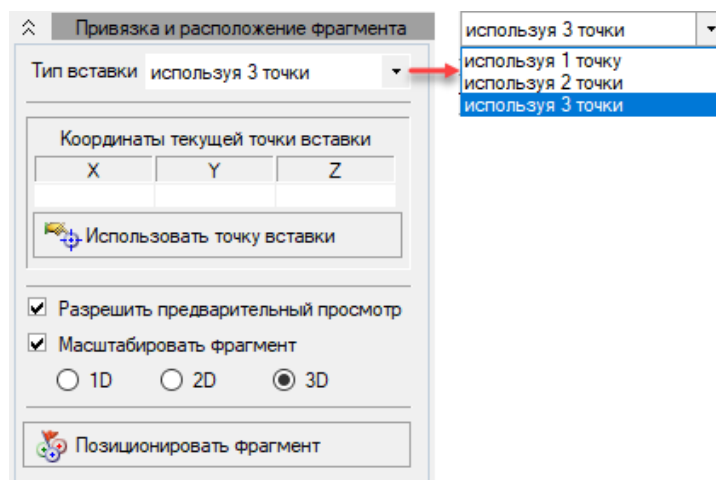


Рис. 2.101. Вкладка **Привязка и расположение фрагмента**

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек возможно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;

- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.102). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.102);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2 или 3** (рис. 2.103).

Установка флажка **Разрешить предварительный просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком мыши по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

### Параметры операции

Вкладка позволяет выполнить автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими. Для этого нужно установить флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

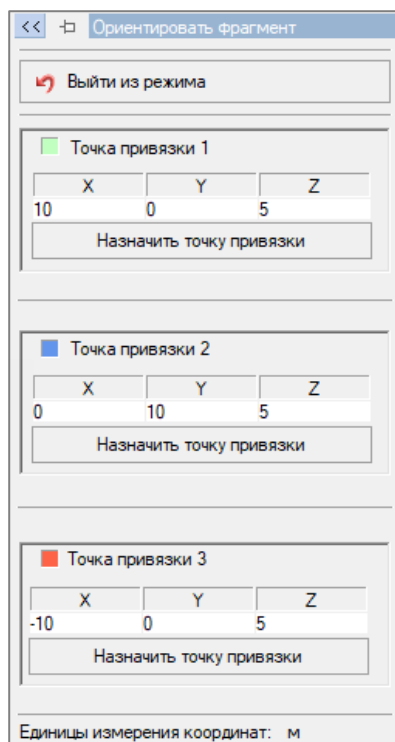


Рис. 2.102. Вкладка  
Ориентировать фрагмент

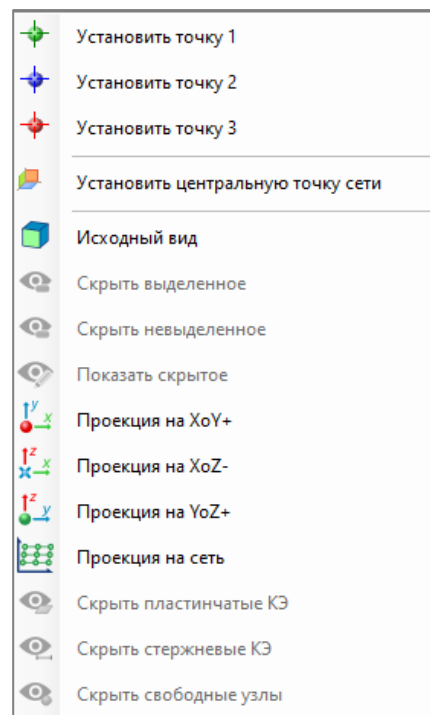




Рис. 2.103. Контекстное меню при  
позиционировании фрагмента

#### 2.4.6 Добавление фрагмента перемещением (вращением) образующей

Для добавления в расчетную схему фрагмента перемещением (вращением) образующей необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Перемещение образующей** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активируется режим **Добавить движением образующей**, с помощью которого возможно создание пространственной расчетной схемы из плоского фрагмента (образующей) по одному из типов движения:

- перемещение образующей;
- вращение образующей.

 *Перед выполнением операции необходимо отметить соответствующие узлы и элементы.*

Данная панель состоит из трех вкладок (рис. 2.104).

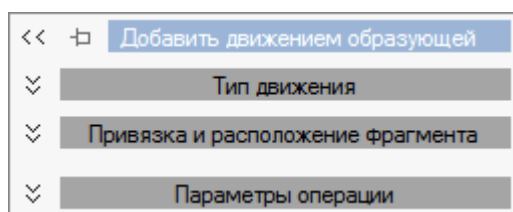


Рис. 2.104. Режим **Добавить движением образующей**

### Тип движения

Вкладка, в свою очередь, состоит из двух закладок (рис. 2.105).

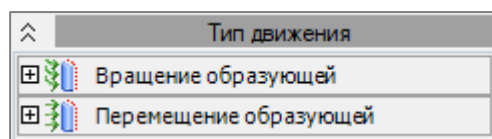


Рис. 2.105. Вкладка **Тип движения**

- **Вращение образующей**

Данная закладка (рис. 2.106) позволяет создать пространственную расчетную схему из плоского фрагмента (образующей) путем вращения образующей. Для этого необходимо ввести **Основные параметры** (рис. 2.107). Выберите в раскрывающемся списке способ задания объекта и в соответствующих полях введите необходимые параметры:

- **По 2 точкам** — задаются координаты двух точек, через которые пройдет ось вращения —  $dX1, dY1, dZ1$  и  $dX2, dY2, dZ2$ ;
- **Точка и вектор** — задаются координаты первой точки  $dX1, dY1, dZ1$ , с которой начнется ось вращения, и второй —  $dX2, dY2, dZ2$ . Таким образом указывается направление и длина направляющего вектора;
- **Угол поворота,  $f_i$**  — угол раскрытия образующей;
- **Количество шагов,  $n$**  — задается количество копий заданной образующей;
- **Подъем спирали** — расстояние  $dh$  между образующей и ее последней копией вдоль оси вращения для создания спиралеобразной конструкции.

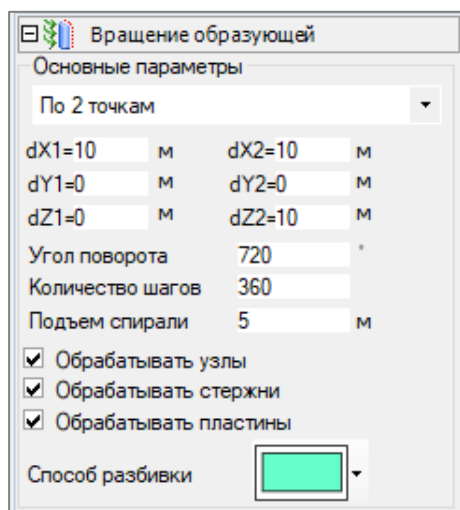


Рис. 2.106. Закладка **Вращение образующей**

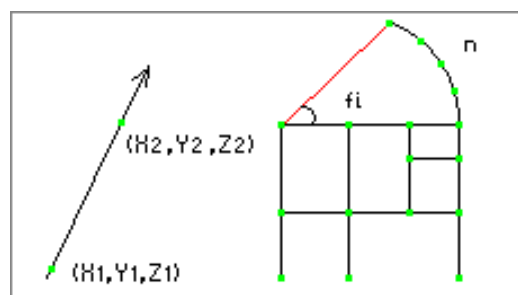


Рис. 2.107. Основные параметры

Образование объекта происходит копированием образующей. Копии последовательно соединяются по следующему принципу:

- **Обрабатывать узлы** — узлы преобразуются в стержни;
- **Обрабатывать стержни** — стержни преобразуются в пластины;
- **Обрабатывать пластины** — пластины преобразуются в объемные элементы.

При генерации геометрии схемы элементы получают тип КЭ, выбранный в окне **Способ разбивки**.

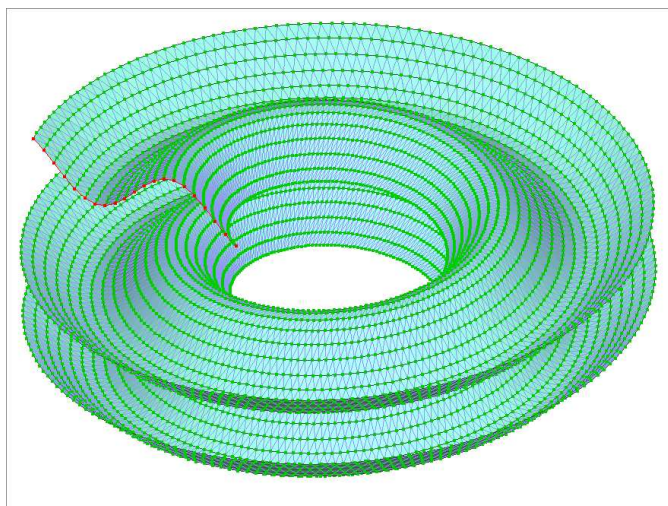


Рис. 2.108. Пример

После задания всех необходимых параметров нужно нажать кнопку **Использовать фрагмент**.

- **Перемещение образующей**

Закладка (рис. 2.109) позволяет создать пространственную расчетную схему из плоского фрагмента (образующей) путем перемещения образующей. Необходимо ввести **Основные параметры** (рис. 2.110), для этого нужно выбрать способ задания объекта:

- **Приращением координат:**

- **dX, dY, dZ** — расстояния между образующей и ее последней копией вдоль соответствующей оси (перемещение только в плоскости образующей некорректно);
- **Количество шагов, n** — количество копий заданной образующей.

- **Вектор перемещения и длина:**

- **dX, dY, dZ** — направление вектора перемещения образующей;
- **Длина вектора** — задается длина направляющей (вектора);
- **Количество шагов, n** — количество копий заданной образующей.

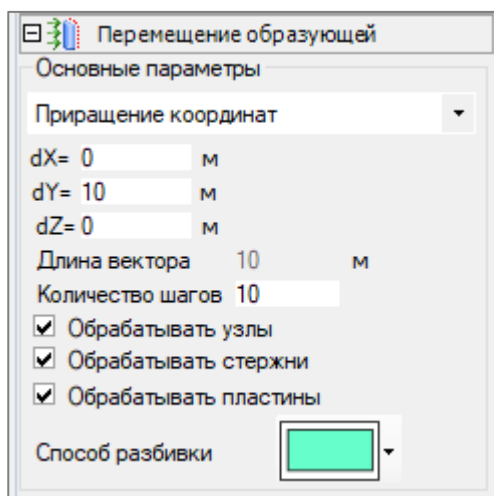


Рис. 2.109. Закладка  
**Перемещение образующей**

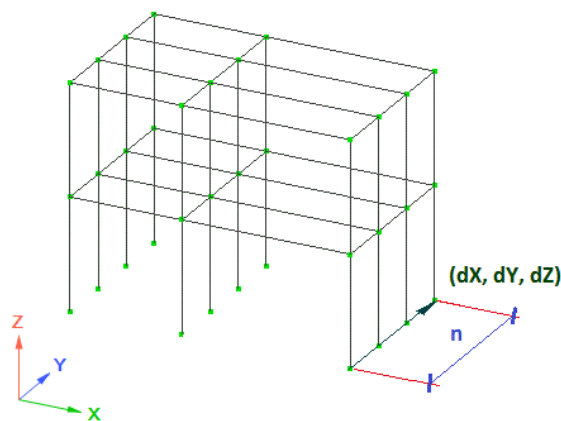


Рис. 2.110. Основные параметры

Образование объекта происходит копированием образующей. Копии последовательно соединяются по следующему принципу (в соответствии с установленными флажками):

- **Обрабатывать узлы** — узлы преобразуются в стержни;
- **Обрабатывать стержни** — стержни преобразуются в пластины;
- **Обрабатывать пластины** — пластины преобразуются в объемные элементы.

При генерации геометрии схемы элементы получают тип КЭ, выбранный в окне **Способ разбивки**.

После задания всех необходимых параметров нужно нажать кнопку **Использовать фрагмент**.

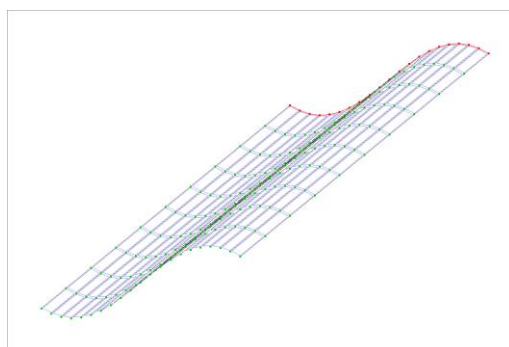


Рис. 2.111. Пример

### Привязка и расположение фрагмента

Вкладка позволяет задать привязку и расположение фрагмента.

В раскрывающемся списке **Тип вставки** (рис. 2.112) необходимо выбрать один из типов вставки.

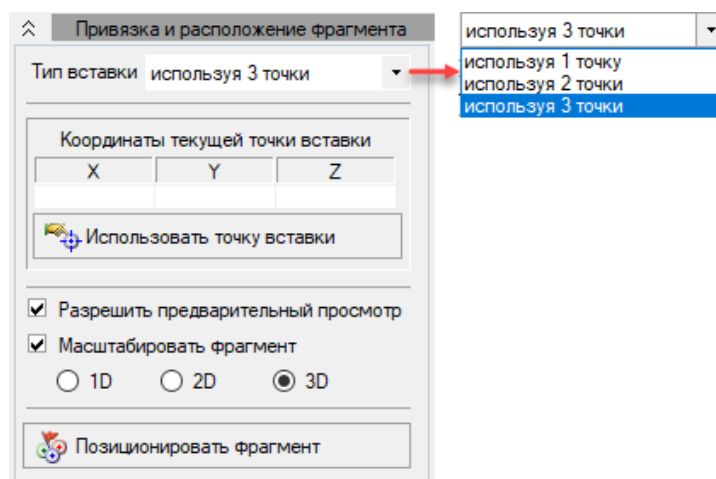


Рис. 2.112. Вкладка **Привязка и расположение фрагмента**

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек возможно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;
- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.113). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.113);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2** или **3** (рис. 2.114).

Установка флажка **Разрешить предварительный просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком мыши по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

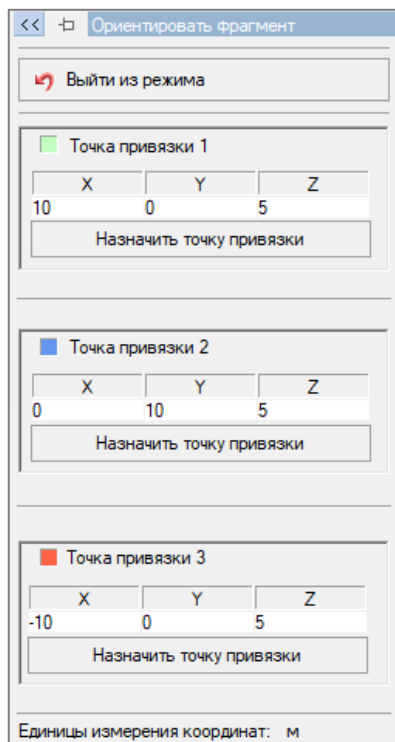


Рис. 2.113. Вкладка **Ориентировать фрагмент**

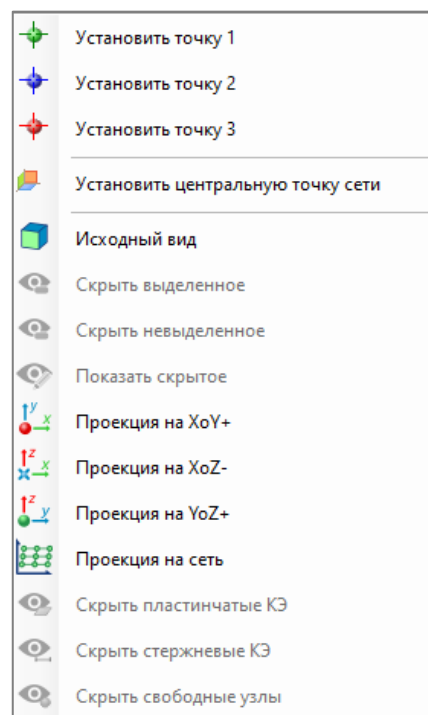



Рис. 2.114. Контекстное меню при позиционировании фрагмента

### Параметры операции

Вкладка позволяет выполнить автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими. Для этого нужно установить флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

### 2.4.7 Добавление плиты

Для добавления плиты в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Плоская плита** либо же кнопкой  на панели инструментов. Панель активного режима **Добавить плиту** предназначена для создания плит по шаблону и содержит 3 вкладки (рис. 2.115).

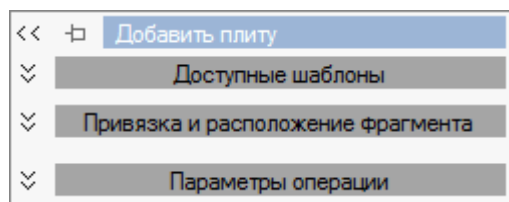


Рис. 2.115. Режим **Добавить плиту**

#### Доступные шаблоны

В свою очередь, вкладка **Доступные шаблоны** содержит 2 закладки (рис. 2.116).

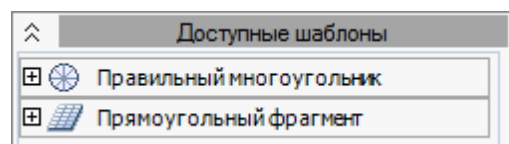


Рис. 2.116. Вкладка **Доступные шаблоны**

- **Правильный многоугольник**

Инструменты данной закладки (рис. 2.117) позволяют быстро построить плиту, которая имеет геометрию правильного многоугольника.

Необходимо ввести **Основные параметры** правильного многоугольника в соответствующих полях ввода:

- **Внешний радиус** — радиус описанной окружности;
- **Внутренний радиус** — радиус вписанной окружности (в случае задания кольца);
- **Узлов на окружности** — количество узлов на описанной/вписанной окружности;
- **Промежуточных узлов** — количество промежуточных узлов, расположенных на отрезках между узлами на окружности;
- **Количество колец** — количество колец, включая внутренний радиус;
- **Раскрытие сектора**.

В раскрывающемся списке **Плоскость построения** необходимо задать ориентацию фрагмента в глобальных осях координат: **XOY**; **XOZ**; **YOZ**.

В раскрывающемся списке **Способ разбивки** (рис. 2.118) предоставляется выбор способа разбивки создаваемой схемы сетью КЭ.

При необходимости использования архитектурных элементов в расчетной схеме плиты установите флажок **Использовать архитектурные элементы**.

Чтобы завершить ввод данных, нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.



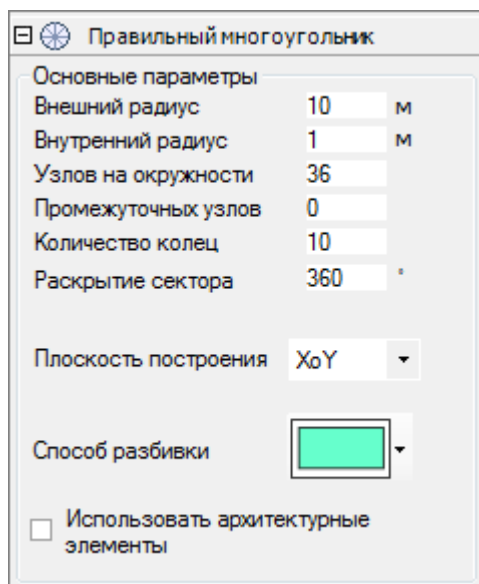


Рис. 2.117. Закладка **Правильный многоугольник**

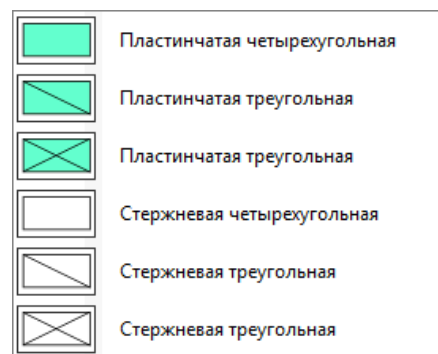


Рис. 2.118. Способы разбивки

#### • Прямоугольный фрагмент

Инструменты данной закладки (рис. 2.119) позволяют быстро построить плиту, которая имеет геометрию прямоугольника.

Необходимо выбрать **Плоскость построения** XOY; XOZ; YOZ.

В таблицах **Параметры по оси X/Y/Z** нужно указать:

- **Шаг** — длина шага разбивки вдоль соответствующей оси X/Y в текущих единицах измерения;
- **Повторов** — количество повторов с заданным шагом;
- **N** — количество элементов, образуемых в заданном шаге.

В раскрывающемся списке **Способ разбивки** (рис. 2.118) предоставляется выбор способа разбивки создаваемой схемы сетью КЭ.

При необходимости использования архитектурных элементов в расчетной схеме плиты установите флажок **Использовать архитектурные элементы**.

Чтобы завершить ввод данных, нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

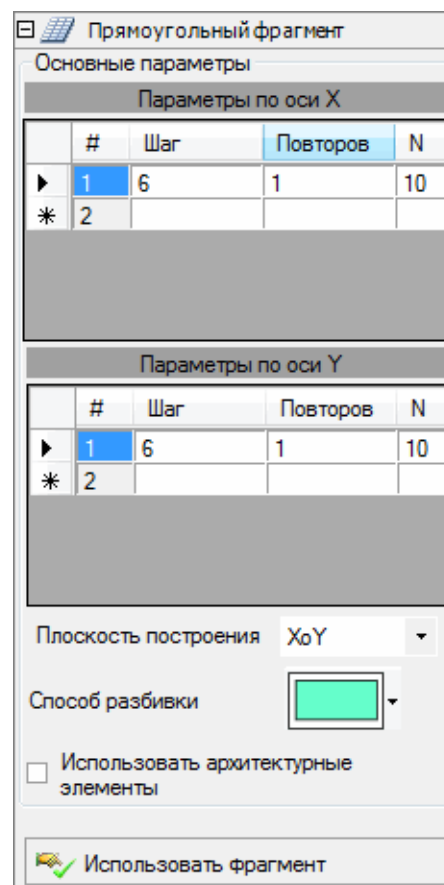


Рис. 2.119. Закладка **Прямоугольный фрагмент**

### Привязка и расположение фрагмента

Вкладка позволяет задать привязку и расположение фрагмента.

В раскрывающемся списке **Тип вставки** (рис. 2.120) необходимо выбрать один из типов вставки.

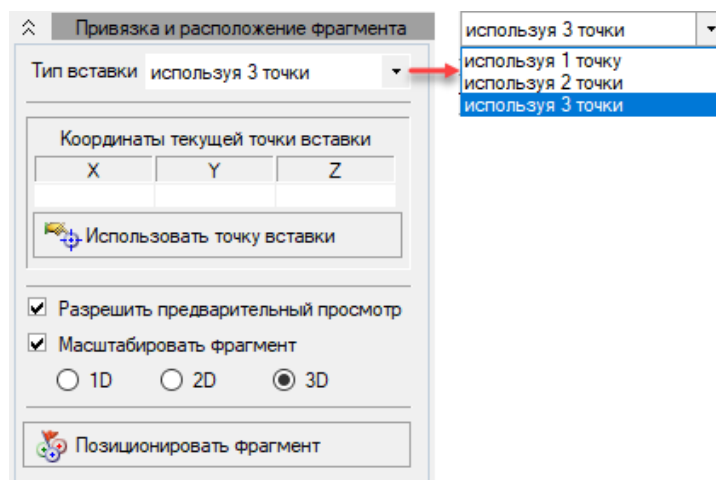


Рис. 2.120. Вкладка **Привязка и расположение фрагмента**

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек возможно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;

- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.121). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.121);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2 или 3** (рис. 2.122).

Установка флажка **Разрешить предварительный просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком мыши по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

### Параметры операции

Вкладка позволяет выполнить автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими. Для этого нужно установить флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

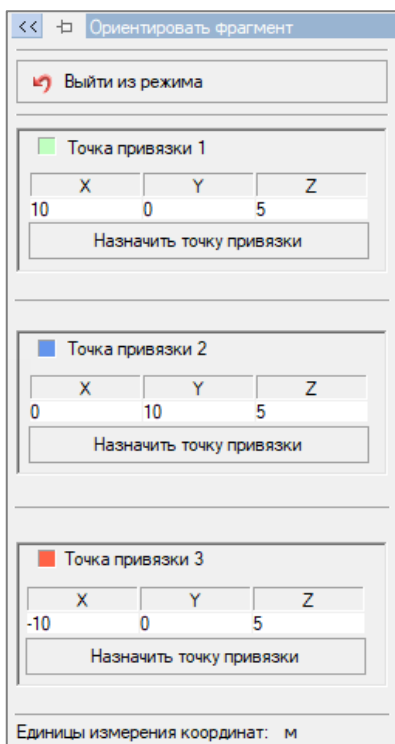


Рис. 2.121. Вкладка **Ориентировать фрагмент**

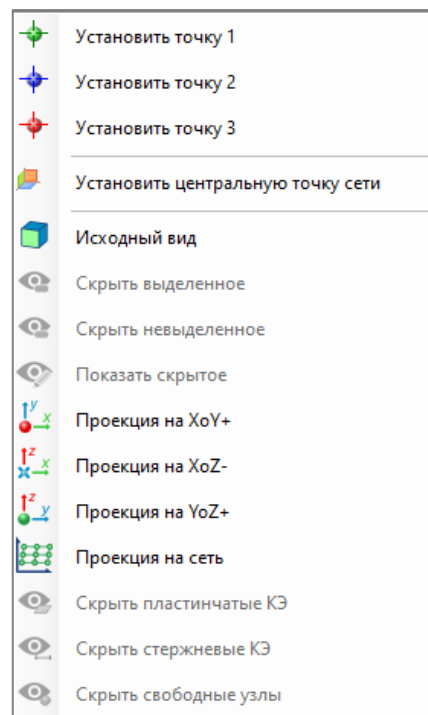



Рис. 2.122. Контекстное меню при позиционировании фрагмента

## 2.4.8 Добавление фермы

Для добавления фермы в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Ферма** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активируется режим **Добавить ферму**, с помощью которого возможно создание ферм по шаблону. Содержит 3 вкладки (рис. 2.123).

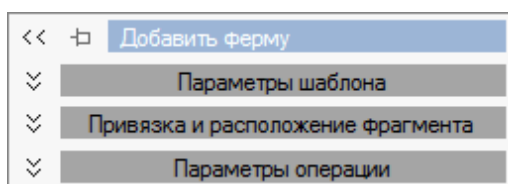


Рис. 2.123. Режим **Добавить ферму**

### Параметры шаблона

В текущей вкладке необходимо выбрать требуемую конфигурацию фермы по очертанию поясов (рис. 2.124).

Щелкнув на кнопке с требуемым изображением (рис. 2.125), задайте в активных окнах параметры фермы:

- **Высоту фермы (h);**
- **Расстояние до конька (L);**
- **Отметку конька (H);**
- **Плоскость построения (XoZ или YoZ).**



Рис. 2.124. Вкладка **Параметры шаблона**

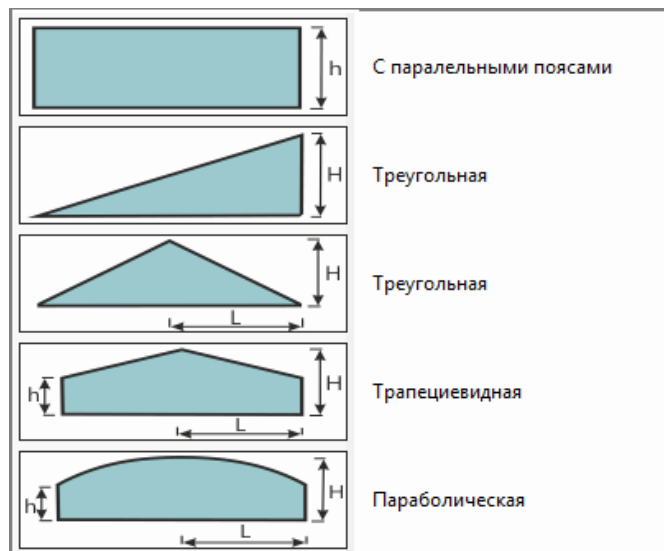



Рис. 2.125. Шаблоны конфигураций фермы

В **Таблице панелей** нужно указать:

- **Длину** панелей;
- количество **Повторов**.

 Если панели разные, то для каждой следует задавать свой шаблон.

Раскрывающийся список **Шаблонные заполнения панелей** содержит набор шаблонов, облегчающих построение (рис. 2.126).

Также шаблон можно создать самостоятельно, используя **Шаблон для рисования панелей** (рис. 2.127).

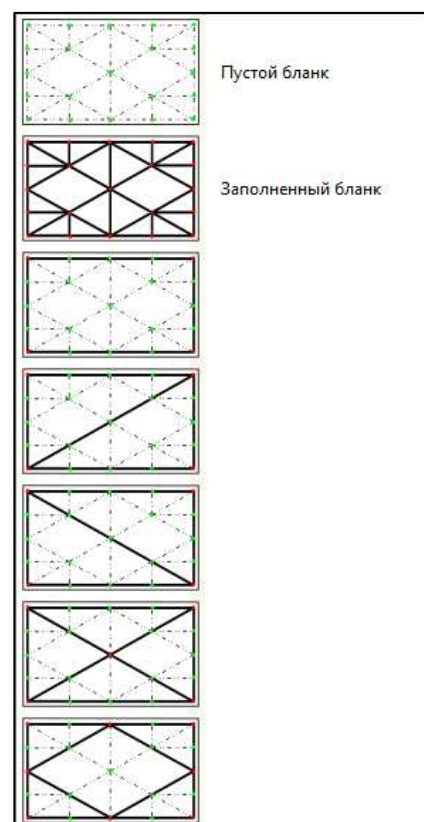


Рис. 2.126. Шаблоны заполнения панелей

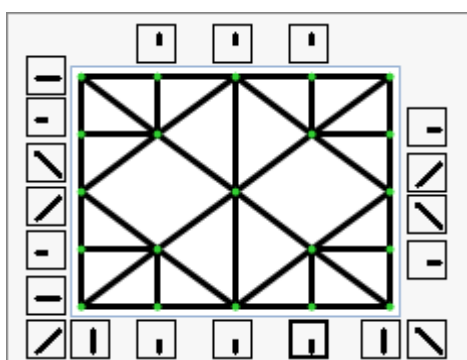


Рис. 2.127. Шаблон для рисования панелей

Для добавления заданной фермы на рабочую область нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

### Привязка и расположение фрагмента

Вкладка позволяет задать привязку и расположение фрагмента.

В раскрывающемся списке **Тип вставки** (рис. 2.128) необходимо выбрать один из типов вставки.

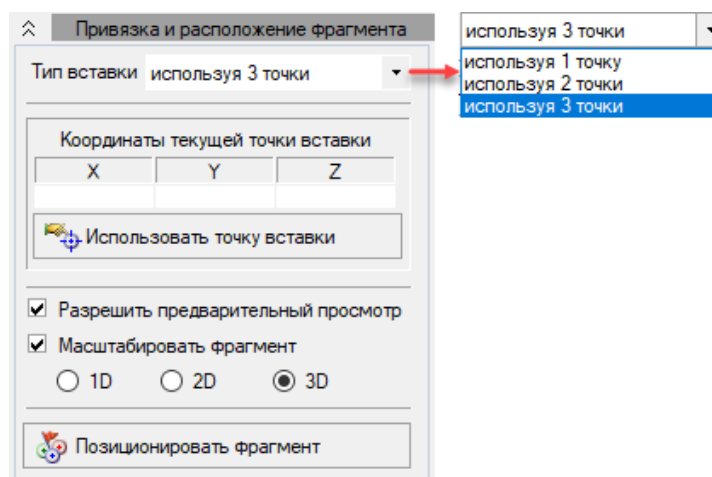


Рис. 2.128. Вкладка **Привязка и расположение фрагмента**

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек возможно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;
- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.129). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.129);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2** или **3** (рис. 2.130).

Установка флажка **Разрешить предварительный просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком

мышью по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

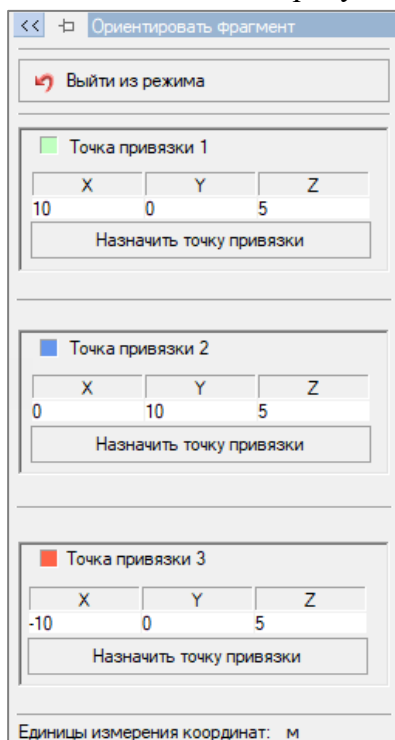


Рис. 2.129. Вкладка **Ориентировать фрагмент**

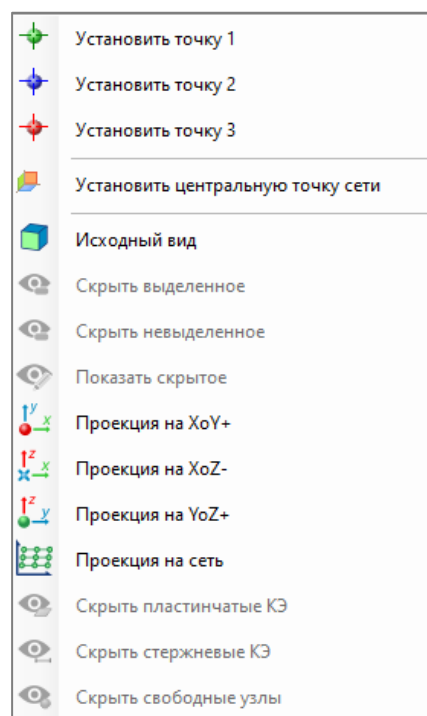



Рис. 2.130. Контекстное меню при позиционировании фрагмента

### Параметры операции

Вкладка позволяет выполнить автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими. Для этого нужно установить флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

### 2.4.9 Добавление линий по шаблону

Для добавления линий по шаблону в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Линия по шаблону** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активируется режим **Добавить линии**, который содержит три вкладки (рис. 2.131).

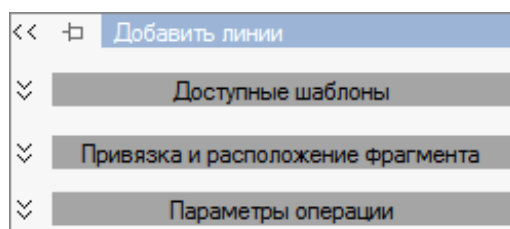


Рис. 2.131. Режим **Добавить линии**

## Доступные шаблоны

В свою очередь, вкладка **Доступные шаблоны** содержит 3 закладки (рис. 2.132).

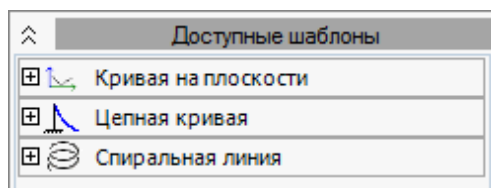


Рис. 2.132. Вкладка **Доступные шаблоны**

- **Кривая на плоскости**


Закладка предназначена для автоматического задания кривых на плоскости и имеет две кнопки:

- $$\begin{cases} Y = f(X) \\ R = f(\varphi) \end{cases}$$
 — для задания простых кривых;
- $$\begin{cases} X = f(T) \\ Y = f(T) \end{cases}$$
 — для задания кривых, описанных системой уравнений.

$$\begin{cases} Y = f(X) \\ R = f(\varphi) \end{cases}$$

При нажатии на кнопку 
$$\begin{cases} Y = f(X) \\ R = f(\varphi) \end{cases}$$
 в соответствующее поле ввода (рис. 2.133) записывается формула кривой на плоскости:

- $Y = f(X)$  — для **декартовой** системы координат;
- $R = f(\varphi)$  — для **полярной** системы координат.

 *Синтаксис формульного задания поверхностей должен полностью соответствовать синтаксису и правилам использования языка программирования C Sharp (C#). Т.е. допускается создание пользовательских переменных любых типов данных, доступных в C#, использование любых видов циклов, написание различных условий и ограничений на параметры функций и т.д.*

*В таблице 2.2 перечислены основные математические функции и константы, которые можно использовать для задания функций поверхности.*

Таблица 2.2. Список базовых функций и констант

Название функции	Описание функции	Название функции	Описание функции
Sin(x)	Синус	Log(x)	Натуральный логарифм
Cos(x)	Косинус	log10(x), lg(x)	Логарифм по основанию 10
Tan(x)	Тангенс	Sqrt(x)	Корень квадратный
Asin(x)	Арксинус	Pow(x,n)	Возведения x в степень n, $x^n$
Acos(x)	Арккосинус	Abs(x)	Абсолютная величина числа
Atan(x)	Арктангенс	Exp(x)	Вычисление экспоненты
Sinh(x)	Гиперболический синус	pi	Константа $\pi = 3,1415926535$
Cosh(x)	Гиперболический косинус	e	Константа $e = 2,7182818284$
Tanh(x)	Гиперболический тангенс	—	—

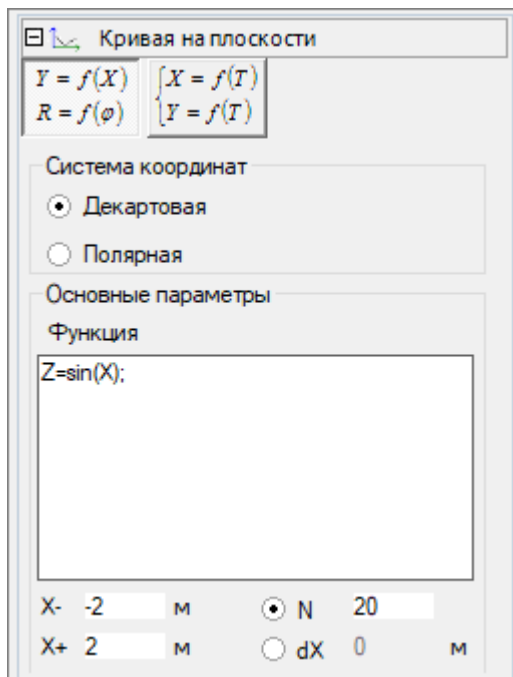


Рис. 2.133. Закладка **Кривая на плоскости** (для задания простых кривых)

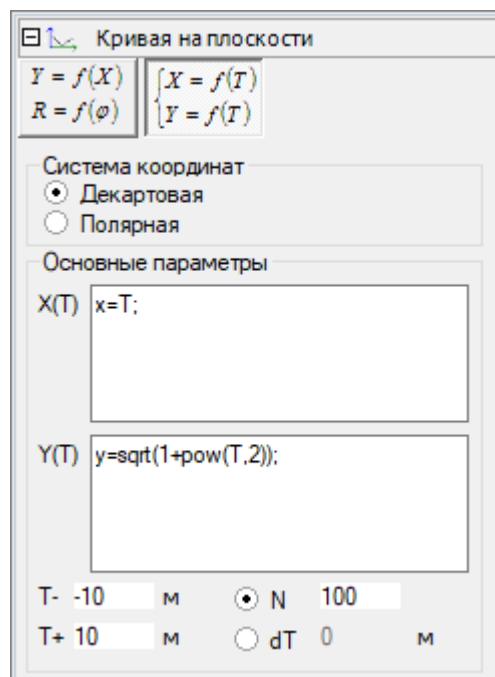


Рис. 2.134. Закладка **Кривая на плоскости** (описанных системой уравнений)

На закладке **Кривая на плоскости** имеются соответствующие переключатели для выбора количества точек на контуре **N** или приращения координат **dX**.

Задав требуемую кривую, нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

$$\begin{cases} X = f(T) \\ Y = f(T) \end{cases}$$

Кнопка  $\begin{cases} X = f(T) \\ Y = f(T) \end{cases}$  предназначена для задания кривых, описанных системой уравнений. Для задания кривой (рис. 2.134):

1. Выберите систему координат (декартова или полярная).
2. В соответствующих полях ввода задайте функции **X(T)**, **Y(T)**.
3. В соответствующих полях ввода укажите граничные значения (**T-**, **T+**), а также количество точек на контуре **N** или приращение координат **dT**.
4. Задав требуемую кривую, нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

• **Цепная кривая**

Закладка предназначена для автоматического задания нитей и вант.

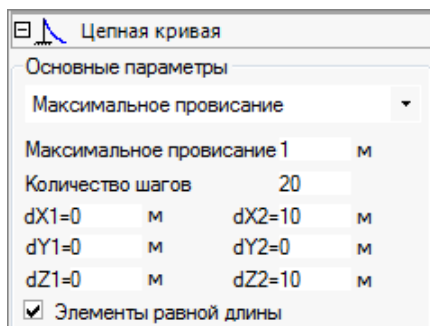


Рис. 2.135. Закладка **Цепная кривая**.

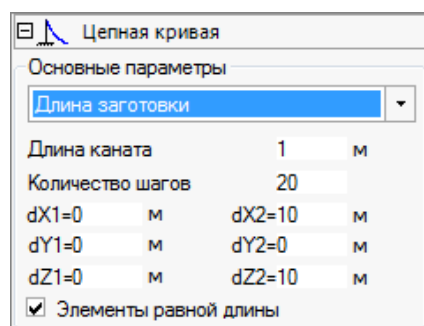


Рис. 2.136. Закладка **Цепная кривая**.



Максимальное провисание

Длина заготовки

Для создания **Цепной кривой** необходимо указать **Основные параметры**:

- **Максимальное провисание** (рис. 2.135) — провисании в середине пролета:
  - **Максимальное провисание** — задается требуемое значение в текущих единицах измерения;
  - **Количество шагов** — количество промежуточных участков;
  - **dX1, dY1, dZ1** — координаты начальной точки;
  - **dX2, dY2, dZ2** — координаты конечной точки;
- **Длина заготовки** (рис. 2.136):
  - **Длина каната** — реальная длина;
  - **Количество шагов**;
  - **dX1, dY1, dZ1, dX2, dY2, dZ2** — начальные и конечные координаты точки.

В результате на экране появится цепная линия, разбитая на заданное количество участков равной длины по кривой или по проекции.

После задания всех необходимых параметров нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

#### • **Спиральная линия**

Закладка (рис. 2.137) позволяет добавлять спиральные линии.

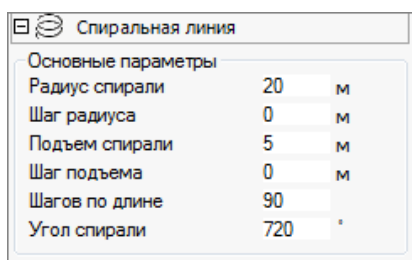


Рис. 2.137. Закладка **Спиральная линия**

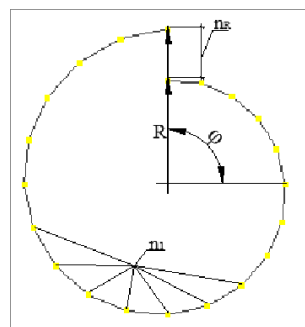


Рис. 2.138. Основные параметры

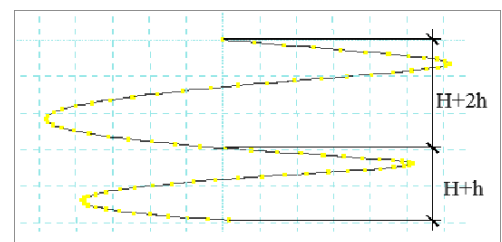



Рис. 2.139. Основные параметры

Для создания нужно указать **Основные параметры** (рис. 2.138–2.139):

- **Радиус спирали R**;
- **Шаг радиуса, nR** — шаг радиуса спирали;
- **Подъем спирали, H** — высота подъема спирали;
- **Шаг подъема, h** — шаг высоты подъема спирали;
- **Шагов по длине, n1** — элементов по окружности;
- **Угол спирали, phi** — угол раскрытия.

 На рисунке:  $H+h$ ,  $H+2h$  — это увеличение последующего витка спирали. Каждый виток спирали увеличивается на высоту подъема.

После задания всех необходимых параметров нажмите кнопку **Использовать фрагмент**.

### Привязка и расположение фрагмента

Вкладка позволяет задать привязку и расположение фрагмента.

В раскрывающемся списке **Тип вставки** (рис. 2.140) необходимо выбрать один из типов вставки.

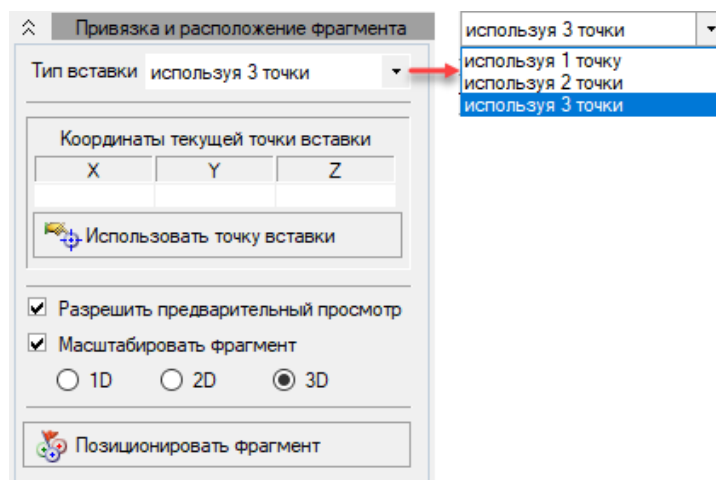


Рис. 2.140. Вкладка **Привязка и расположение фрагмента**

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек возможно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;

- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.141). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.141);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2 или 3** (рис. 2.142).

Установка флажка **Разрешить предварительный просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком мыши по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

### Параметры операции

Вкладка позволяет выполнить автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими. Для этого нужно установить флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

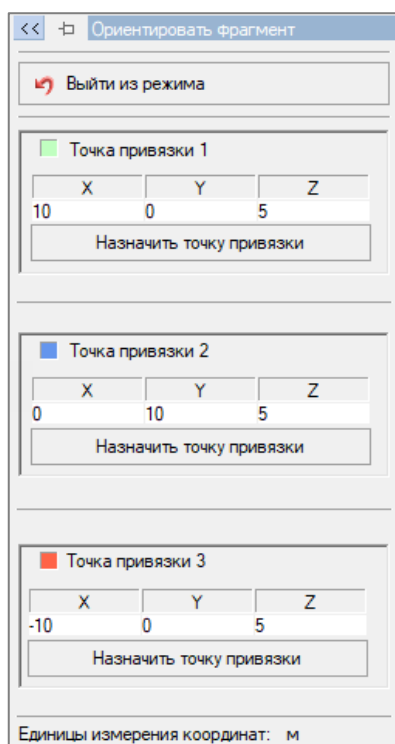


Рис. 2.141. Вкладка  
**Ориентировать фрагмент**

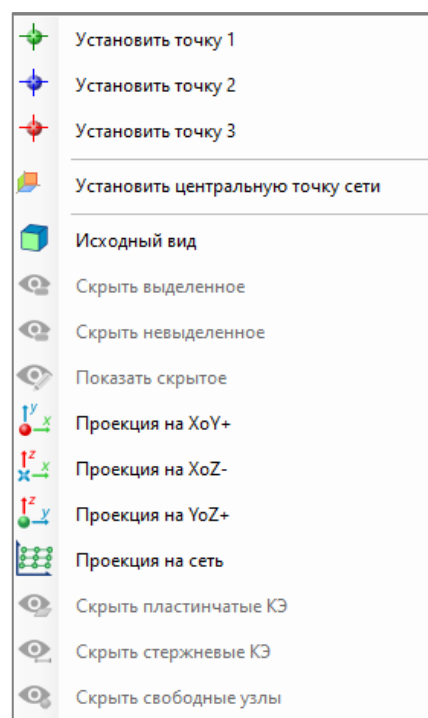




Рис. 2.142. Контекстное меню при  
позиционировании фрагмента

#### 2.4.10 Добавление импортированного фрагмента

Для добавления импортированного фрагмента в расчетную схему необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Импортировать фрагмент**

либо же кнопкой  на панели инструментов. Активизируется панель активного режим **Импортировать**, которая предназначена для импорта расчетных схем в ПК ЛИРА 10 (подробнее см. Приложение Б).

#### 2.4.11 Табличное редактирование

Для табличного редактирования параметров модели необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Добавить** или меню **Схема** ⇒ **Табличное редактирование** либо же кнопкой  на панели инструментов. Раскрывается диалоговое окно **Табличное редактирование** (рис. 2.143), в котором доступно задание и редактирование следующих параметров модели:

- координаты и закрепления узлов;
- топология и свойства конечных элементов (КЭ);
- геометрия и свойства архитектурных элементов (АЭ);
- параметры упругого основания пластин и стержней для КЭ и АЭ.

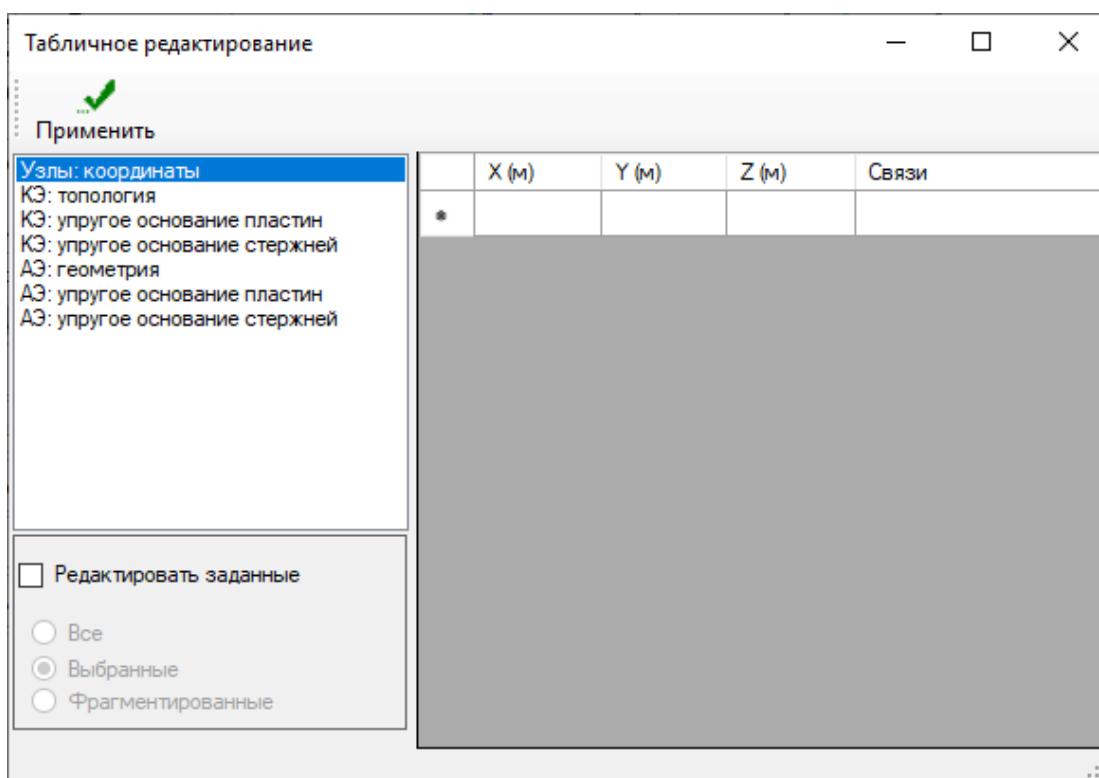


Рис. 2.143. Окно **Табличное редактирование**

В таблице **Узлы: координаты** (рис. 2.144) можно создавать новые узлы. Для этого вводятся значения координат и направления связей при необходимости.

	X (м)	Y (м)	Z (м)	Связи
	2	2	0	X,Y,Z,UX,UY,UZ
▶	5	2	3	


Рис. 2.144. Таблица **Узлы: координаты**

С помощью таблицы **КЭ: топология** (рис. 2.145) можно добавлять в модель новые конечные элементы. Для этого нужно обязательно указать тип КЭ и номера узлов, на которых будет построен элемент, а также, по желанию, номера сечения и материала в соответствии с их нумерацией в текущей задаче.

	Тип	Сечение	Материал	Узлы
▶	44	2	1	10, 11, 14, 13

Рис. 2.145. Таблица **КЭ: топология**

Для добавления в расчетную схему новых архитектурных элементов нужно воспользоваться таблицей **АЭ: геометрия** (рис. 2.146), задав тип КЭ и координаты точек построения элемента.

 *Нумерация добавленных в модель узлов и элементов выполняется автоматически.*

	Тип	Сечение	Материал	Геометрия, (м)
	10	3	2	(1; 0; 0) (1; 0; 3)
	42	4	1	(1; 0; 3) (1; 4; 3) (5; 4; 3) (5; 0; 3)

Рис. 2.146. Таблица АЭ: геометрия

В таблицах **КЭ (АЭ): упругое основание пластин (стержней)** (рис. 2.147 и 2.148), указав номер элемента, можно назначить на него параметры упругого основания. Все параметры соответствуют параметрам в режиме **Упругое основание** (см. п. 2.11.9).

	Номер	Уточнять по модели грунта	Pz (тс/м <sup>2</sup> )	C1 (тс/м <sup>3</sup> )	C2 (тс/м)	Cx (тс/м <sup>3</sup> )	Cy (тс/м <sup>3</sup> )	Cx,y = μ·C1	μ
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	7.5244	347.22	1837.1	243.05	243.05	<input checked="" type="checkbox"/>	0.7
	2	<input checked="" type="checkbox"/>	7.5812	347.28	1837.4	0	0	<input type="checkbox"/>	0.7

Рис. 2.147. Таблица КЭ (АЭ): упругое основание пластин

	Номер	Уточнять по модели грунта	Pz (тс/м <sup>2</sup> )	C1z (тс/м <sup>3</sup> )	C2z (тс/м)	Wz из сечения
▶*		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>

	Wz (см)	C1y (тс/м <sup>3</sup> )	C2y (тс/м)	Wy из сечения	Wy (см)	Cx (тс/м <sup>3</sup> )	Wx (см)	Cx = μ·C1	μ
→				<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	

Рис. 2.148. Таблица КЭ (АЭ): упругое основание стержней

Также во все таблицы можно вставлять табличные данные из других источников. Для этого нужно, чтобы данные соответствовали столбцам в таблицах **Табличного редактирования**. В столбцах с флажками: установленный флажок — это True, а сброшенный — False. После того как вы скопировали данные, откройте необходимую таблицу, нажмите левой кнопкой мыши на ячейку, от которой будет выполняться вставка (она подсветится синим цветом), и нажмите сочетание клавиш **Ctrl+V**.

При включенном флажке **Редактировать заданные** (рис. 2.149) в таблицах будут отображаться данные по уже существующим узлам и элементам. При внесении правок в эти таблицы будут изменяться и исходные данные. Также с помощью переключателя можно указать, какие элементы стоит отобразить в таблицах: **Все**, **Выбранные** или **Фрагментированные**.

Редактировать заданные  
 Все  
 Выбранные  
 Фрагментированные

Рис. 2.149. Редактировать заданные

После внесения новых данных в одну из таблиц необходимо нажать кнопку **Применить**, иначе при переходе на другую таблицу или закрытии окна все изменения будут утеряны.

### 2.4.12 Добавление объемных элементов

ПК ЛИРА 10 предоставляет возможность создания 4-, 5-, 6- и 8-узловых объемных конечных элементов.

Создание объемных элементов осуществляется двумя способами:

- Необходимо добавить узлы, которые должны лежать в одной плоскости (рис. 2.150). Затем при помощи команды **Копировать выбранный фрагмент** скопировать их на определенную высоту (рис. 2.151) и, используя панель активного режима **Добавить элемент**, нажать кнопку **Добавить** (рис. 2.152).

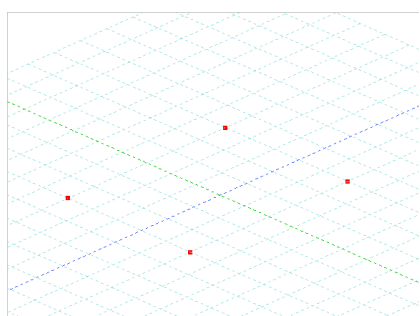


Рис. 2.150

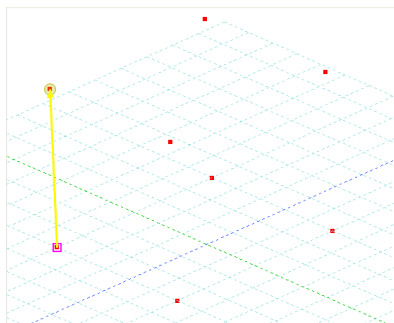


Рис. 2.151

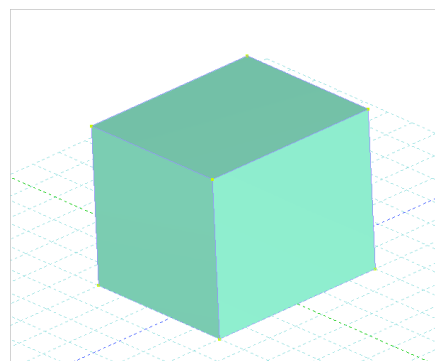


Рис. 2.152

- При помощи команды **Добавить КЭ** нужно задать плоскость (рис. 2.153). Затем, используя вкладку **Перемещение образующей** на панели активного режима **Добавить движением образующей**, задать параметры объемного элемента (рис. 2.154). Наведя курсор на сеть рабочего поля, установить элемент (рис. 2.155).

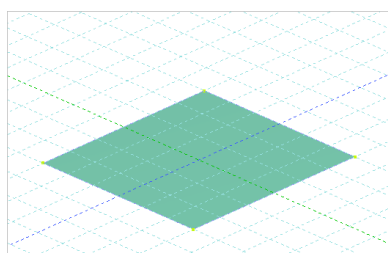


Рис. 2.153

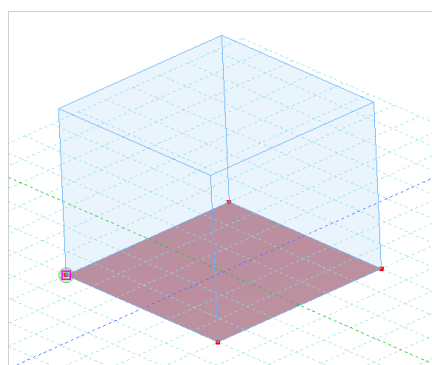


Рис. 2.154

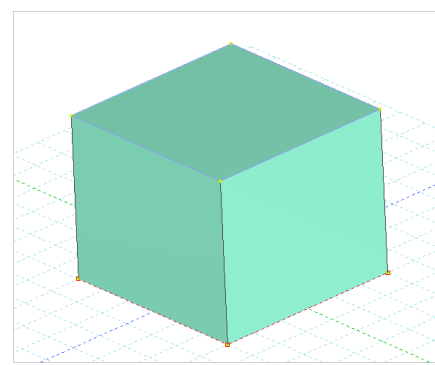




Рис. 2.155

## 2.5 ВЫДЕЛЕНИЕ И ФРАГМЕНТАЦИЯ

### 2.5.1 Выделение узлов и элементов

Любое действие с объектами ПК ЛИРА 10 (удаление, назначение сечения, материала, конструирования, смена типа конечного элемента и т.д.) сопровождается действиями предварительного выбора (выделения). В среде ПК ЛИРА 10 имеется множество способов выделения, используемых в зависимости от ситуации.

 К объектам ПК ЛИРА 10 относятся узлы, элементы и нагрузки на модель. Элементы, в свою очередь, разделяются на классы: одноузловые, стержневые, пластинчатые и объемные.

Для выделения объектов воспользуйтесь вкладкой ленты **Вид и выбор** или меню **Выбор** ⇔ **Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов). Активизируется панель активного режима **Параметры выбора объектов**, которая содержит три вкладки: **Рамка выбора**, **Выбирать** и **Дополнительно**.

Данная панель по умолчанию отображается в левой части экрана при открытии или создании новой задачи.

#### Рамка выбора

В данной вкладке (рис. 2.156) пользователю нужно указать способ выделения.

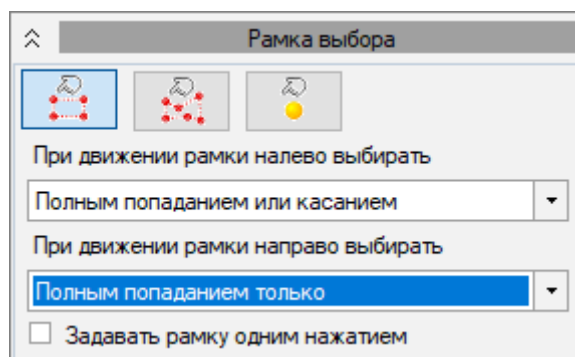


Рис. 2.156. Вкладка **Рамка выбора**

Для активизации нужного режима следует нажать на одну из кнопок:



— прямоугольная рамка выбора, позволяет выбрать объекты прямоугольной областью, заданной двумя точками. При работе с прямоугольной рамкой доступно два свойства движения рамки, каждому из них можно установить определенный параметр:

- **Полным попаданием только** — позволяет выбрать все объекты, полностью находящиеся внутри прямоугольной области.
- **Полным попаданием или касанием** — позволяет выбрать объекты, находящиеся внутри и пересекающие область.




— полигональная рамка выбора, позволяет выбрать объекты произвольной областью, заданной множеством точек. При работе с полигональной рамкой, независимо от

способа обхода точек, доступен только один из параметров — или **Только полным попаданием**, или **Полным попаданием или касанием**.



— одиночный выбор, позволяет выбрать объект точечным указанием курсора. Если в область курсора попадает несколько объектов, пользователю предлагается диалоговое окно выбора со списком объектов. При этом объект отмечается цветом.

 При установке курсора на схеме и нажатии правой кнопки мыши появляется контекстное меню, содержащее команды отмены выбора (рис. 2.157).

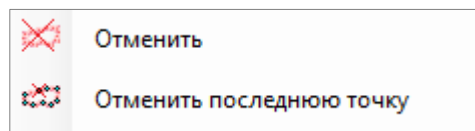


Рис. 2.157. Команды отмены выбора

### Выбирать

Вкладка (рис. 2.158) позволяет ограничить выбор объектов. Установка или снятие флажка, связанного с объектом, приводит к включению или выключению объекта, который будет выделяться.

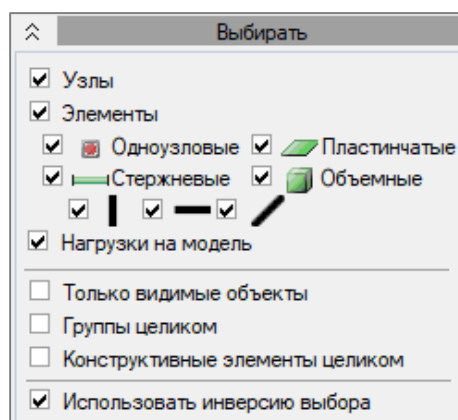



Рис. 2.158. Вкладка **Выбирать**

Установка флажка **Только видимые объекты** позволяет отметить:

- только видимые элементы, если был сброшен флажок с выделения узлов (**Узлы**);
- видимые узлы и элементы + примыкающие к выделенным узлам элементы, при установленном флажке **Узлы**.


 *Объект считается невидимым, если он полностью скрывается на видовом экране по отношению к зрителю за другими объектами.*

Установка флажка **Группы целиком** или **Конструктивные элементы целиком** приводит к выделению всех элементов группы. Выделяются элементы, попавшие в область выделения, и все элементы группы, если один из элементов группы попал в эту область.

 *Для выделения группы достаточно выделить один элемент, входящий в эту группу.*

Установка флажка **Использовать инверсию выбора** приводит к снятию выделения с ранее отмеченных узлов и элементов и выделению не отмеченных ранее узлов и элементов.



 Горячие клавиши позволяют быстро переключаться между типами выбираемых объектов:

- *N* — узлы;
- *S* — объемные;
- *O* — одноузловые;
- *P* — пластинчатые;
- *V* — стержневые.

### Дополнительно

Вкладка (рис. 2.159) предоставляет дополнительные возможности для ускорения выбора.

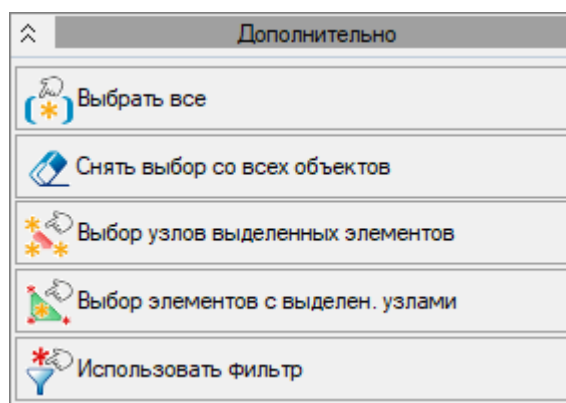






Рис. 2.159. Вкладка **Дополнительно**

Содержит следующие кнопки:

- **Выбрать все** — выбор всех объектов с учетом установленных во вкладке **Выбирать**.
- **Снять выбор со всех объектов** — снятие выделения с ранее отмеченных объектов.
- **Выбор узлов выделенных элементов** — выделение узлов, принадлежащих ранее выделенным элементам.
- **Выбор элементов с выделен. узлами** — выделение элементов, примыкающих к отмеченным узлам.
- **Использовать фильтр** — переход в режим **Фильтр выбора**.

 Функция кнопки **Выбрать все** , размещенной на панели инструментов **Выбор**, отличается тем, что данная кнопка позволяет выбрать все не скрытые узлы и элементы независимо от действия установленных параметров на панели активного режима **Параметры выбора объектов**.

### Пример 2.5.1. Выбор объектов прямоугольной областью

1. Создайте фрагмент плоской плиты  $1 \times 1$  м с шагом сетки 0.5 м.
2. Вызовите панель активного режима **Параметры выбора объектов** .
3. Во вкладке **Рамка выбора** активизируйте кнопку **Прямоугольная рамка** :
  - при движении рамки влево установите параметр **Полным попаданием или касанием**;
  - при движении рамки направо установите параметр **Полным попаданием только**.
4. Во вкладке **Выбирать** установите флажки **Узлы** и **Элементы**, как показано на рисунке 2.158, если они не установлены.
5. Укажите курсором мыши две точки движением слева направо для определения прямоугольной области, как показано на рисунке 2.160.

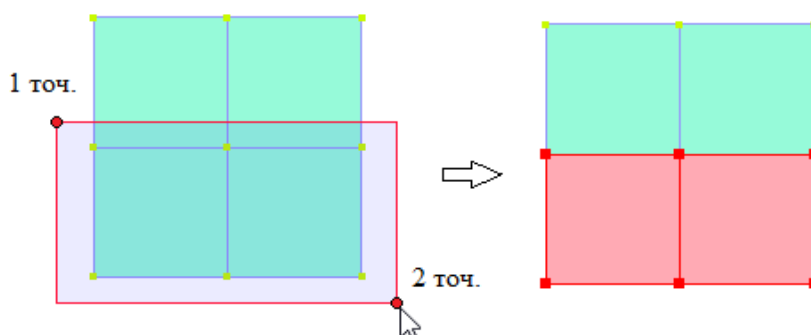


Рис. 2.160. Прямоугольная область выделения **Полным попаданием только**

Направление, в котором перемещается курсор из начальной точки в конечную, определяет свойства выбора объектов, в данном случае — **Полным попаданием только**. Узлы и элементы, полностью заключенные в прямоугольную область, выделяются.

6. Во вкладке **Дополнительно** нажмите на кнопку **Снять выбор со всех объектов**.
7. Укажите курсором мыши две точки движением справа налево, как показано на рис. 2.161. В этом случае определяются свойства — **Полным попаданием или касанием**. Узлы и элементы, полностью заключенные в прямоугольную область, а также пересекающие ее, выделяются.

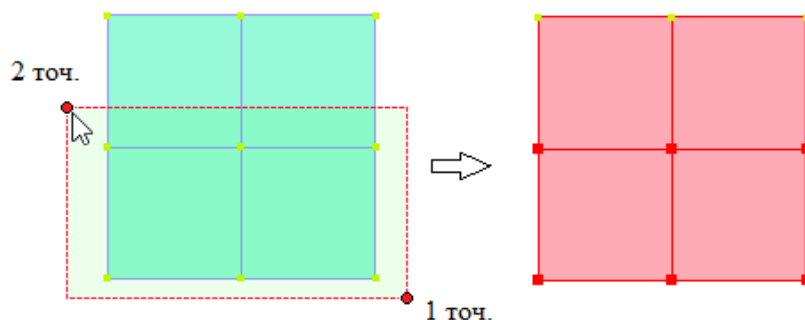

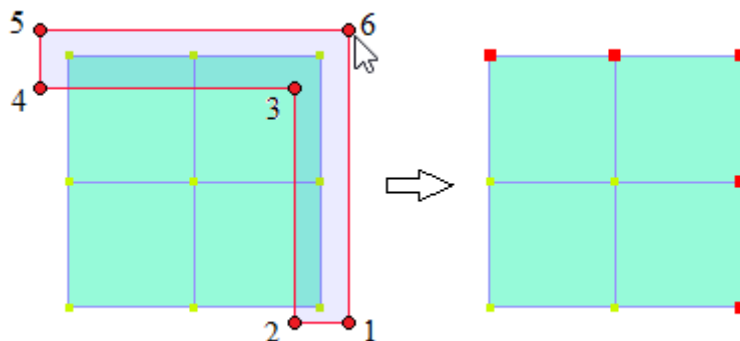



Рис. 2.161. Прямоугольная область выделения **Полным попаданием или касанием**

### Пример 2.5.2. Выбор объектов полигональной областью

1. Повторите действия, указанные в пунктах 1, 2 примера 2.5.1.
2. Во вкладке **Рамка выбора** активизируйте кнопку **Полигональная рамка** .
3. В поле **При движении рамки налево** установите параметр **Полным попаданием только**.
4. Укажите курсором мыши множество точек, как показано на рис. 2.162, для подтверждения ввода полигональной области, последнюю точку полигона укажите двойным щелчком.

Рис. 2.162. Полигональная область выделения **Полным попаданием**

### Пример 2.5.3. Выбор объекта одиночным указанием курсора

1. Повторите действия, указанные в пунктах 1, 2 примера 2.5.1.
2. Во вкладке **Рамка выбора** активизируйте кнопку **Одиночный выбор** .
3. Точечным указанием курсора мыши выберите узел (рис. 2.163).
4. В область курсора попадает несколько объектов. В предложенном диалоговом окне выберите объект. Выбранный объект подсвечивается как в самом списке, так и на схеме (рис. 2.163, а). Для выделения объекта на схеме выберите двойным щелчком объект из списка (рис. 2.163, б).

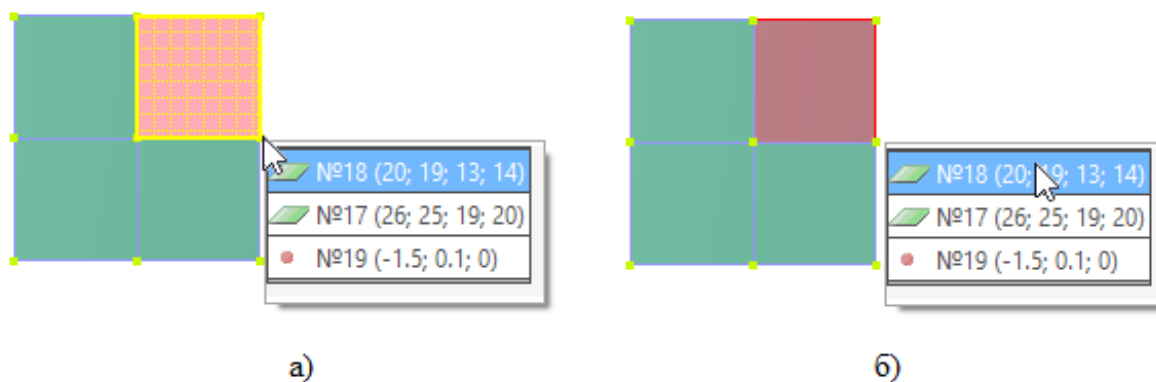




Рис. 2.163. Одиночный выбор

## 2.5.2 Фильтр выбора

Работа с большим количеством объектов вызывает определенные трудности, так как созданные в ПК ЛИРА 10 объекты имеют много характеризующих свойств. Поэтому в ПК ЛИРА 10 имеется возможность задать критерии и свойства объектов для их поиска в схеме, что позволяет выбрать именно те, которые нужны для работы в данный момент. Таким инструментом является **Фильтр выбора**.


Для выбора определенных объектов по их критериям и свойствам/параметрам воспользуйтесь вкладкой ленты **Вид и выбор** или меню **Выбор ⇒ Фильтр выбора** (кнопка  на панели инструментов). Активизируется панель активного режима **Параметры выбора объектов** (рис. 2.164), которая включает в себя два раскрывающихся блока: **Рамка выбора** и **Ограничения выбора**.

Блок **Рамка выбора** аналогичен по функционалу блоку панели **Параметры выбора объектов**, за исключением отсутствия кнопки **Одиночный выбор** и наличия дополнительной кнопки **Взять свойства с объекта** .

В блоке **Ограничения выбора** содержатся восемь вкладок фильтров по критериям и свойствам. Для каждой из вкладок диалоговое окно принимает вид, соответствующий его назначению. В каждом окне присутствуют критерии выбора, отметка которых открывает доступ к соответствующим полям ввода.

Первая вкладка, **Фильтр по узлам**, позволяет пользователю ограничить выбор узлов по следующим критериям:

- **по номеру** — выбор узлов по их номеру;

 В активизированном поле номера узлов вводятся в любой последовательности и комбинации. При этом нужно соблюдать определенные правила: номера друг от друга отделяются пробелом или запятой, а диапазоны указываются через дефис (пример: 1, 10, 11-19, 23).

- **по координатам** — выбор узлов по заданным координатам;
- **по закреплениям** — выбор узлов по заданным граничным условиям;
- **назначена локальная система координат** — выбор узлов с назначенной локальной системой координат;
- **принадлежит группе объединения перемещения** — выбор узлов, принадлежащих группе объединения перемещения;
- **принадлежат твердому телу** — выбор узлов, принадлежащих к твердым телам;
- **продавливание** — выбор узлов, принадлежащих к группе продавливания.

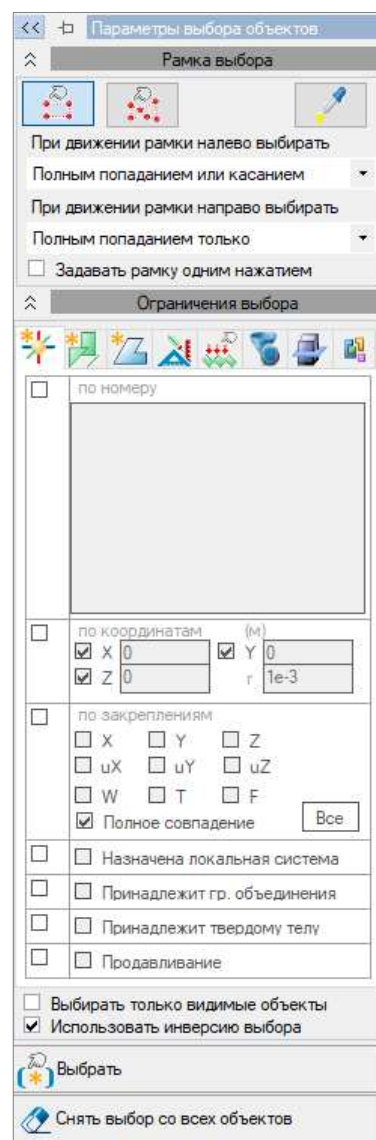



Рис. 2.164. Панель **Параметры выбора объектов**

 При одновременном выборе нескольких критериев реализуется более строгое ограничение. Выделяются только те объекты, которые полностью соответствуют активным критериям и их свойствам (параметрам).

Вторая вкладка, **Фильтр по элементам**, позволяет пользователю ограничить выбор элементов по следующим критериям (рис. 2.165):

- **по номеру** — выбор элементов по их номеру;
- **по типу** — выбор элементов по типу КЭ;
- **по сечению** — выбор элементов по назначенному сечению;
- **по материалу** — выбор элементов по назначенному материалу;
- **по параметрам конструирования** — выбор элементов по назначенному параметру конструирования;
- **по конструктивным элементам** — выбор элементов, входящих в группу конструктивных элементов;
- **по ориентации** — выбор элементов по ориентации в пространстве путем выбора следующих переключателей:
  - **XOY, XOZ, YOZ** — выбор элементов, параллельных плоскости активного переключателя;
  - **|| X, || Y, || Z** — выбор элементов, параллельных глобальным осям активного переключателя;
  - **Под углом к осям** — выбор элементов, находящихся под углом к глобальным осям;
- **назначены жесткие вставки** — выбор элементов с жесткими вставками;
- **назначены шарниры** — выбор элементов с назначенными шарнирами;
- **назначены локальные оси** — выбор стержневых элементов с назначенными локальными осями или пластинчатых и объемных КЭ с заданными осями согласования;
- **назначены оси ортотропии** — выбор элементов с назначенными осями ортотропии.

Третья вкладка, **Фильтр по архитектурным элементам**, позволяет ограничить выбор архитектурных элементов по следующим критериям (рис. 2.166):

- **по номеру** — выбор АЭ по их номеру;
- **по типу** — выбор архитектурных элементов по назначенному типу КЭ;
- **по сечению** — выбор архитектурных элементов по назначенному сечению;

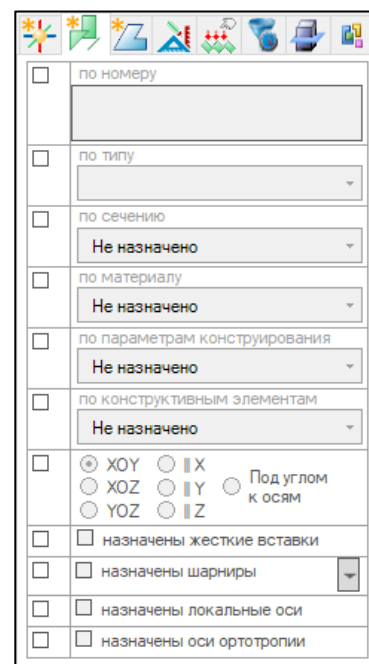


Рис. 2.165. Вкладка **Фильтр по элементам**

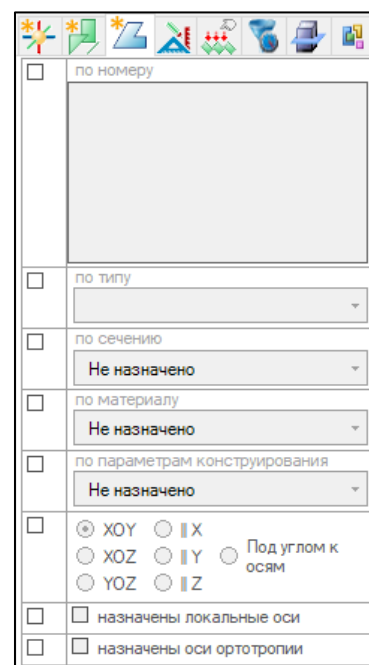


Рис. 2.166. Вкладка **Фильтр по архитектурным элементам**

- **по материалу** — выбор архитектурных элементов по назначенному материалу;
- **по параметрам конструирования** — выбор архитектурных элементов по назначенному параметру конструирования;
- **по ориентации** — выбор архитектурных элементов по ориентации в пространстве;
- **назначены локальные оси** — выделяются архитектурные стержневые элементы с назначенными локальными осями или пластинчатые элементы с заданными осями согласования;
- **назначены оси ортотропии** — выбор архитектурных элементов с назначенными осями ортотропии.

Четвертая вкладка, **Фильтр по геометрии КЭ**, позволяет ограничить выбор КЭ по их геометрическим параметрам (рис. 2.167). При установке флажка **критерий выбора** пользователь получает доступ к следующим критериям:

- **стержень - длина** — выбор стержневых элементов по их длине;
- **пластина - площадь** — выбор пластинчатых элементов по их площади;
- **пластина - длина ребра** — выбор пластинчатых элементов по длине ребер;
- **пластина - угол** — выбор пластинчатых элементов по углам между ребрами;
- **объемник - объем** — выбор объемных элементов по их объему;
- **объемник - площадь грани** — выбор объемных элементов по площадям граней;
- **объемник - длина ребра** — выбор объемных элементов по длинам ребер;
- **узел - удален от точки** — выбор узлов, равноудаленных от указанной пользователем точки.

После выбора необходимого критерия из раскрывающегося списка необходимо активизировать один из переключателей:

- **Интервал** — открывает доступ к полям ввода интервала значений **от** и **до**, которые по умолчанию заполнены минимальным и максимальным значениями.
- **Дискретно** — открывает доступ к полю ввода **Значения**, для которого необходимо также в соответствующем поле задать величину отклонения (**Окрестность**).

При установленном флажке **по ориентации** выбор элементов осуществляется по ориентации в пространстве.

Пятая вкладка, **Фильтр по нагрузкам**, позволяет пользователю ограничить выбор узлов и элементов по назначенным нагрузкам (рис. 2.168).

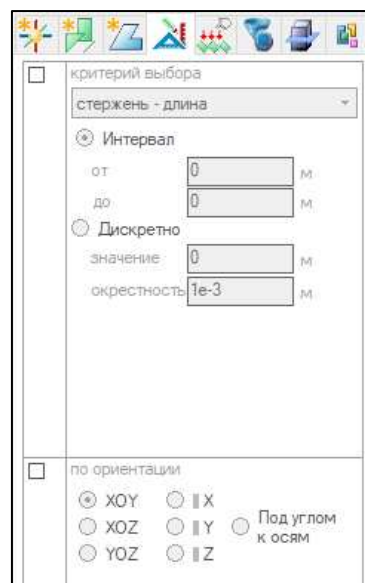


Рис. 2.167. Вкладка **Фильтр по геометрии КЭ**

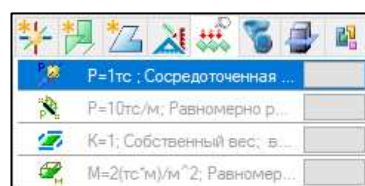


Рис. 2.168. Вкладка **Фильтр по нагрузкам**

В диалоговом окне формируется список однотипных нагрузок с равными значениями, принадлежащих к различным элементам и узлам.

Шестая вкладка, **Фильтр по значениям**, позволяет пользователю ограничить выбор узлов и элементов по значениям (рис. 2.169). Для отметки узлов или элементов по их значениям необходимо вначале визуализировать сами значения соответствующих факторов (усилия, напряжения, перемещения и т.д.).

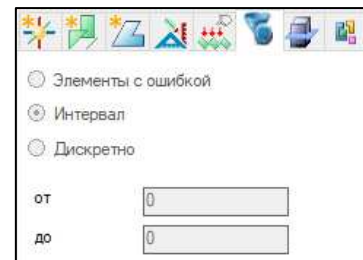


Рис. 2.169. Вкладка **Фильтр по значениям**

Выбрав нужный фактор для визуализации, выведите на экран доступные значения (мозаика, изополя или эпюры). Не закрывая режим визуализации значений, вызовите **Фильтр выбора** и перейдите на вкладку **Фильтр по значениям**.

В открывшемся диалоговом окне необходимо активизировать один из переключателей:

- **Элементы с ошибкой** — выбор элементов с ошибками.
- **Интервал** — открывает доступ к полям ввода интервала значений **от** и **до**, которые по умолчанию заполнены минимальным и максимальным значениями.
- **Дискретно** — открывает доступ к полю ввода значения, для которого необходимо также в соответствующем поле задать величину отклонения (окрестность).

 *В интервал диапазона значения входят включительно.*

Седьмая вкладка, **Фильтр сечение и отсечение**, позволяет ограничить выбор узлов и элементов секущей или отсекающей плоскостью (рис. 2.170). В диалоговом окне выберите один из переключателей:

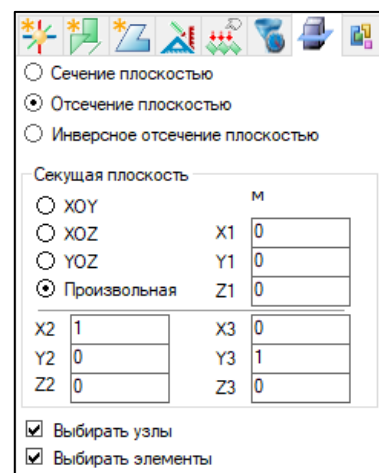


Рис. 2.170. Вкладка **Фильтр сечение и отсечение**

- **Сечение плоскостью** — выбор узлов и элементов, принадлежащих секущей плоскости;
- **Отсечение плоскостью** — выбор узлов и элементов, принадлежащих самой плоскости и отсекаемому плоскостью полупространству;
- **Инверсное отсечение плоскостью** — выбор узлов и элементов, принадлежащих самой плоскости или противоположному отсекаемому плоскостью полупространству.

В блоке **Секущая плоскость** путем выбора соответствующих переключателей задается вид и положение секущей/отсекающей плоскости:

- **ХОУ, ХОZ, YOZ** — секущая плоскость параллельна плоскости активного переключателя. Положение плоскости определяется одной точкой, для этого в левой части панели в соответствующих полях ввода необходимо указать координаты точки, принадлежащей этой плоскости. Также положение выбранной плоскости можно указать курсором мыши. Подведите курсор к узлу или к пересечению вспомогательной сети построения, вызовите контекстное меню, нажав на правую кнопку мыши, и в контекстном меню выберите **Установить в качестве вспомогательного узла**.

- **Произвольная** — произвольная секущая/отсекающая плоскость. Положение плоскости определяется тремя точками. Выбор данного переключателя открывает дополнительные поля ввода координат точек, принадлежащих этой плоскости. В соответствующих полях ввода необходимо указать координаты этих точек. Также положение выбранной плоскости можно указать курсором мыши, в этом случае необходимо поочередно указать три точки.

Установка или снятие флажков **Выбирать узлы** и **Выбрать элементы** приводит к включению или выключению объектов, которые будут выделяться секущей или отсекающей плоскостью.

Восьмая вкладка, **Фильтр групп и свойств**, предназначена для выбора объектов по назначенным группам или свойствам, принадлежащим к одному классу параметров (рис. 2.171):

- Для **Элементов** доступны следующие классы параметров:

- **Группы элементов** — выбор элементов, входящих в группы элементов;
- **Группы унификации РСУ** — выбор элементов, входящих в группы унификаций РСУ;
- **Конструктивные элементы** — выбор элементов, входящих в конструктивные элементы;
- **Конденсация масс** — выбор элементов, входящих в группы конденсации масс;
- **Сечения** — выбор элементов по назначенным сечениям;
- **Материалы** — выбор элементов по назначенным материалам;
- **Параметры конструирования** — выбор элементов по назначенным параметрам конструирования.

- Для **Узлов** доступны следующие классы параметров:

- **Объединение перемещений** — выбор узлов по назначенным группам объединения перемещений;
- **Абсолютно твердые тела** — выбор узлов, входящих в состав твердых тел;
- **Конденсация масс** — выбор узлов по назначенным группам конденсации масс.

Установка одного из переключателей для вышеперечисленных классов параметров формирует в нижней части блока доступный список назначенных групп или свойств в соответствии с указанным классом. Выбранная из списка группа или свойство выделяется. Также при удержании клавиши **Ctrl** из списка можно выбрать несколько групп или свойств.

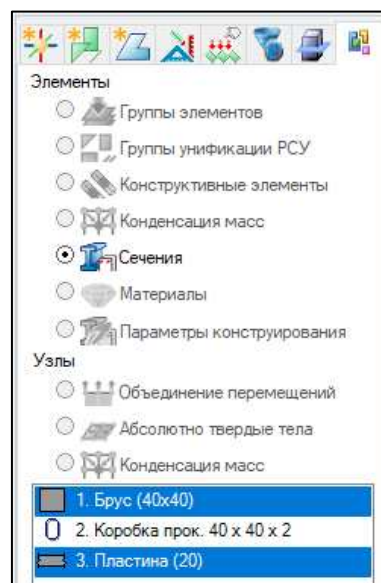


Рис. 2.171. Вкладка **Фильтр групп и свойств**

### 2.5.3 Лавинообразный выбор

Лавинообразный выбор реализован для того, чтобы выбирать узлы и элементы связанной поверхности по критерию угла между соседними гранями (для пластин и объемных



элементов) или стержнями (для стержней). Примерный алгоритм этого выбора приведен на рис. 2.172. Изначально выбирается один элемент. На первой итерации программа ищет все элементы, которые имеют общий узел (для стержней) или общую кромку (для пластин и объемных элементов). Если угол между выбранным элементом и его «соседями» меньше заданного, то соседний элемент попадает в выделенный массив. На второй итерации уже проверяются по этому условию элементы, которые были добавлены в выделенные на прошлой итерации, и т.д. Если на какой-то итерации в выделенный массив не добавилось ни одного элемента, то выполнение алгоритма прекращается.

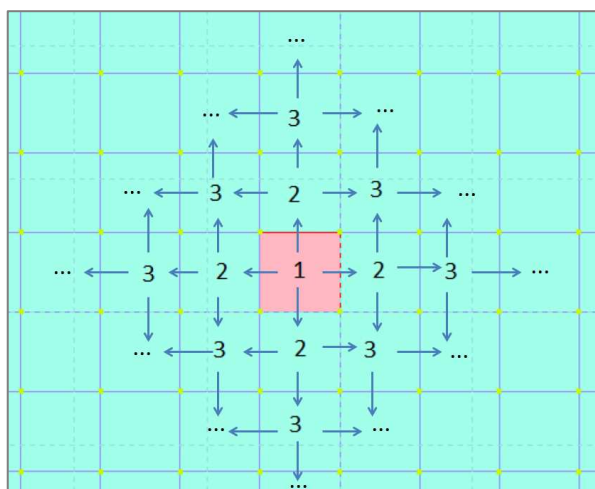


Рис. 2.172. Алгоритм лавинообразного выбора

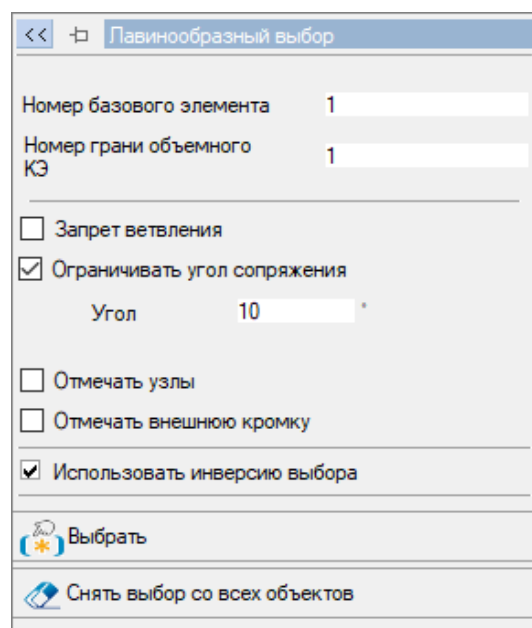




Рис. 2.173. Режим Лавинообразный выбор


Для активизации данного режима воспользуйтесь вкладкой ленты **Вид и выбор** или меню **Выбор** ⇒ **Лавинообразный выбор** (кнопка  на панели инструментов). Активируется режим **Лавинообразный выбор** (рис. 2.173), который содержит следующие параметры:

- **Номер базового элемента** — номер любого элемента, принадлежащего массиву, который необходимо выделить.
- **Номер грани объемного КЭ** — номер грани объемного конечного элемента, по которой будет осуществляться лавинообразный выбор. Нужно указать одну конкретную грань, так как для объемных массивов выбираются элементы, принадлежащие поверхности.

 *Поля с номерами можно заполнить вручную либо же кликнуть мышкой на нужном элементе на самой модели и номера будут введены автоматически. Но при этом также будет выполняться выбор по указанным параметрам. Поэтому сначала нужно установить все необходимые флажки.*

- **Запрет ветвления** — установленный флажок прерывает выделение элементов в местах стыковки более трех стержней или пластин, так как такие элементы не считаются «соседними».

- **Ограничивать угол сопряжения** — установленный флажок прерывает выделение элементов в местах, где угол сопряжения больше заданного.

 *Угол сопряжения* — это угол, на который один элемент отклоняется от плоскости соседнего элемента.

- **Отмечать узлы** — установленный флажок позволяет выбирать узлы на поверхности.
- **Отмечать внешнюю кромку** — с установленным флажком будут выделены все пластины в выбранном массиве, которые имеют кромку, не принадлежащую другим элементам. Если при этом установлен флажок **Отмечать узлы**, то по свободным кромкам также будут выделены узлы.

- **Использовать инверсию выбора** — установленный флажок позволяет снять выделение с элементов при щелчке на выделенном массиве или на кнопке **Выбрать**.

- **Выбрать** — кнопка подтверждения выбора.

- **Снять выбор со всех объектов** — кнопка, которая снимает выделение со всех элементов.

## 2.5.4 Фрагментация

В ПК ЛИРА 10 имеется возможность ограничить отображение объектов в окне главного вида, скрывая ненужные элементы и узлы. Таким инструментарием является **Фрагментация**.

Для того чтобы скрыть те или иные объекты, воспользуйтесь соответствующей командой вкладки ленты **Вид и выбор** или меню **Вид** либо же вызовите контекстное меню, щелкнув в окне главного вида правой кнопкой мыши.

Доступны следующие команды фрагментации (рис. 2.174):

- **Скрыть выделенное** — скрывает в текущей проекции выделенные объекты.
- **Скрыть невыделенное** — скрывает в текущей проекции невыделенные объекты.
- **Показать скрытое** — восстанавливает в текущей проекции ранее скрытые объекты.
- **Скрыть объемные КЭ** — скрывает в текущей проекции все объемные конечные элементы.
- **Скрыть пластинчатые КЭ.**
- **Скрыть стержневые КЭ.**
- **Скрыть одноузловые КЭ.**
- **Скрыть свободные узлы** — скрывает в текущей проекции узлы скрытых элементов.
- **Скрыть нагрузки на расчетную схему** — скрывает в текущей проекции все нагрузки на расчетную схему.
- **Предыдущий фрагмент** — возвращает к предыдущему виду.

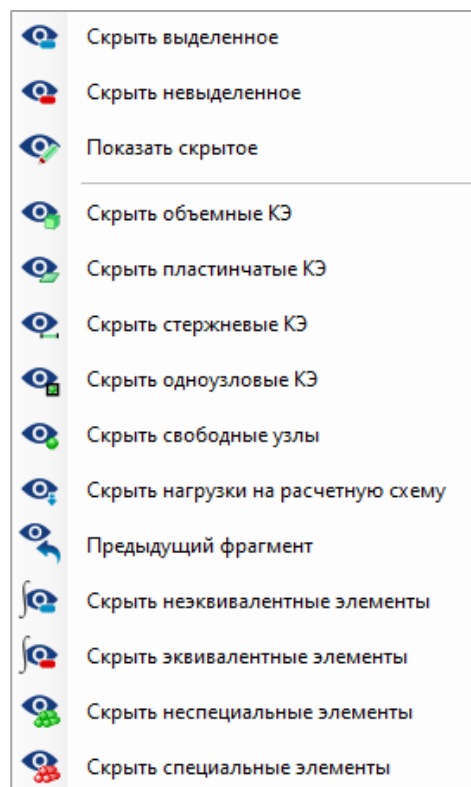


Рис. 2.174. Команды фрагментации

- **Скрыть неэквивалентные элементы** — скрывает в текущей проекции все неэквивалентные элементы.
- **Скрыть эквивалентные элементы.**
- **Скрыть неспециальные элементы.**
- **Скрыть специальные элементы** — скрывает в текущей проекции все специальные элементы.

## 2.6 КОПИРОВАНИЕ И ПЕРЕНОС ФРАГМЕНТОВ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

Для копирования или переноса фрагментов расчетной схемы необходимо воспользоваться вкладкой ленты или меню **Правка** либо же панелью инструментов **Перемещение/Копирование** (рис. 2.175) и выбрать одну из команд:

- копировать выбранный фрагмент;
- переместить выбранный фрагмент;
- повернуть выбранный фрагмент;
- симметрично копировать выбранный фрагмент;
- масштабировать выбранный фрагмент;
- удалить выделенное.



Рис. 2.175. Панель **Перемещение/Копирование**

### 2.6.1 Копировать выбранный фрагмент

Панель активного режима состоит из трех вкладок и флажка **Выполнить пересечение добавляемых элементов с существующими** (рис. 2.176). При установленном флажке скопированные элементы сразу же будут пересекаться с уже существующими.

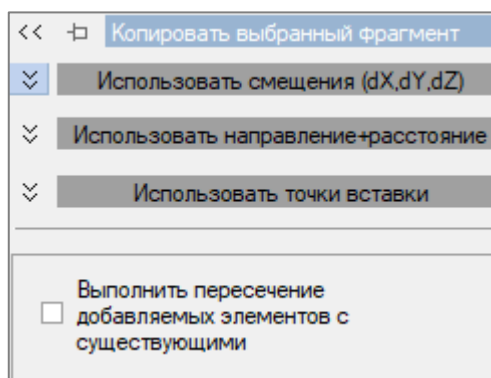


Рис. 2.176. Режим **Копировать выбранный фрагмент**

Раскрывающаяся вкладка **Использовать смещение (dX,dY,dZ)** необходима для ввода координат, в направлении которых будет копироваться выделенный фрагмент, а также задания количества копируемых элементов (рис. 2.177).

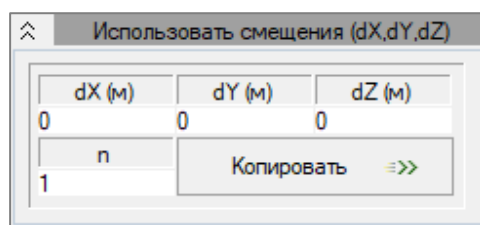


Рис. 2.177. Вкладка **Использовать смещение (dX,dY,dZ)**

При работе со вкладкой **Использовать направление + расстояние** (рис. 2.178) необходимо задать:

- вектор, указав координаты его начальной и конечной точки;
- **L** — длину шага копирования в текущих единицах измерения;
- **n** — количество шагов копирования.

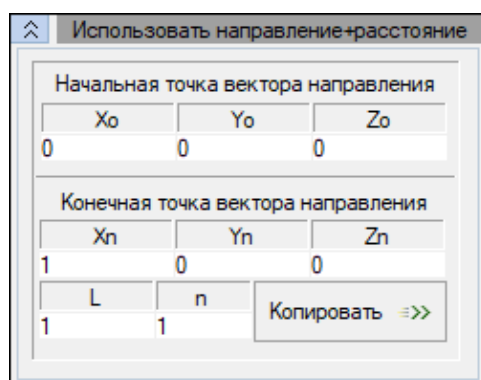


Рис. 2.178. Вкладка **Использовать направление + расстояние**

При наведении курсора мыши на сеть координат или на узел копируемого объекта на экране появится пиктограмма (рис. 2.179), которая предварительно указывает место расположения копируемого объекта.

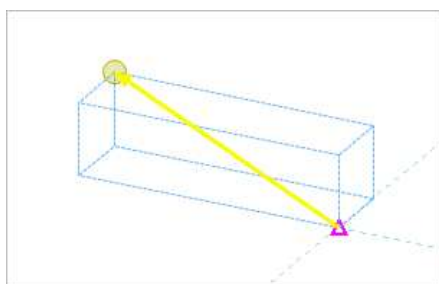


Рис. 2.179. Пиктограмма

Во вкладке **Использовать точки вставки** в раскрывающемся списке **Тип вставки** необходимо выбрать один из типов вставки (рис. 2.180).

Изменить расположение 1 (текущей) точки, 2 и 3 точек возможно, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

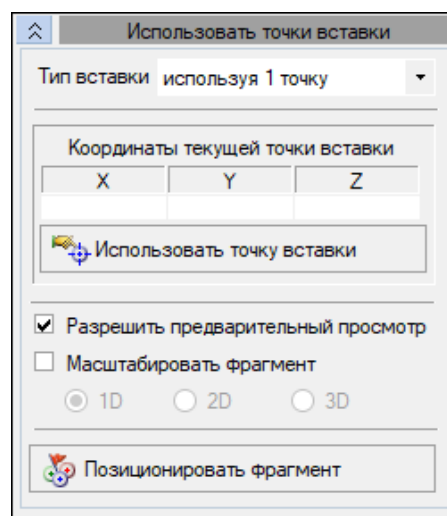


Рис. 2.180. Вкладка **Использовать точки вставки**

Если выбран элемент **используя 1 точку**, то можно задать текущую точку одним из двух способов:

- либо указать **Координаты текущей точки вставки** с подтверждением **Использовать точку вставки**;
- либо указать текущую точку на схеме, нажав на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Если выбрана строка **используя 2(3) точки**, то далее необходимо нажать на кнопку **Позиционировать фрагмент**.

Позиционирование фрагмента осуществляется в новой вкладке **Ориентировать фрагмент** (рис. 2.181). Которую после назначения точек вставки необходимо закрыть, нажав на кнопку **Выйти из режима**.

Назначение точек может быть осуществлено:

- указанием координат в соответствующих полях ввода (рис. 2.181);
- графически: наведите курсор на нужные узлы, щелкните правой кнопкой мыши и выберите в появившемся контекстном меню **Установить точку 1, 2** или **3** (рис. 2.182).

Установка флажка **Разрешить предварительны просмотр** поможет установить положение объекта.

Установленный флажок **Масштабировать фрагмент** вместе с выбором соответствующего переключателя позволяет выполнить масштабирование фрагмента по линии (**1D**), в плоскости (**2D**) или в пространстве (**3D**). Это действие осуществляется щелчком мыши по сети построения и проведением отрезка. Отношение длины этого отрезка и габарита тела будет множителем к габариту, который параллелен отрезку.

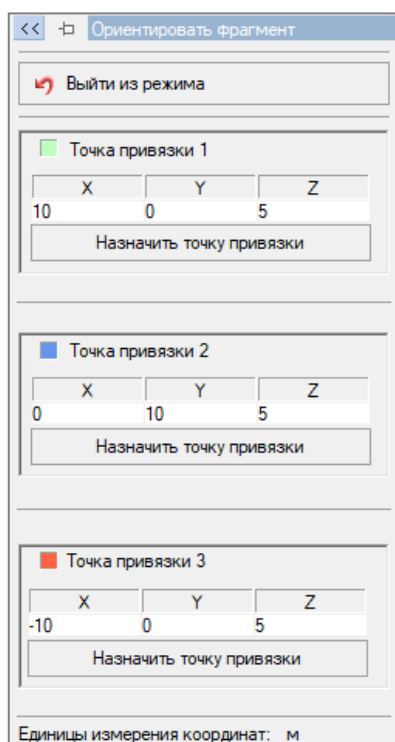


Рис. 2.181. Вкладка **Ориентировать фрагмент**

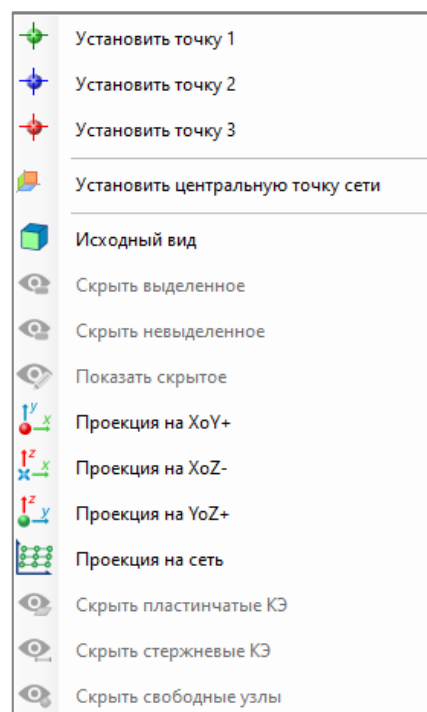


Рис. 2.182. Контекстное меню при позиционировании фрагмента

## 2.6.2 Переместить выбранный фрагмент

Панель этого режима состоит из вкладок, которые позволяют выполнять различные операции по перемещению объектов.

Раскрывающаяся вкладка **Использовать смещения (dX, dY, dZ)** необходима для ввода координат, в направлении которых будет перемещаться выделенный фрагмент (рис. 2.183). При установленном флажке **Перемещать всю модель** по указанным параметрам будет смещаться вся модель, независимо от выделенного фрагмента.

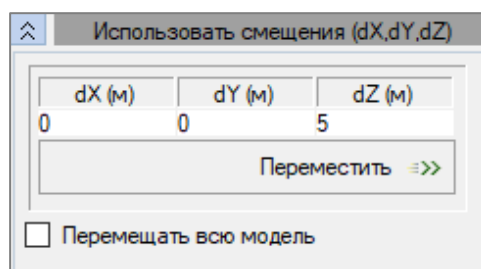


Рис. 2.183. Вкладка **Использовать смещение (dX,dY,dZ)**

При работе со вкладкой **Использовать направление + расстояние** (рис. 2.184) необходимо задать вектор, указав его начальную и конечную точку. Также нужно назначить **L** — длину шага перемещения в текущих единицах измерения.

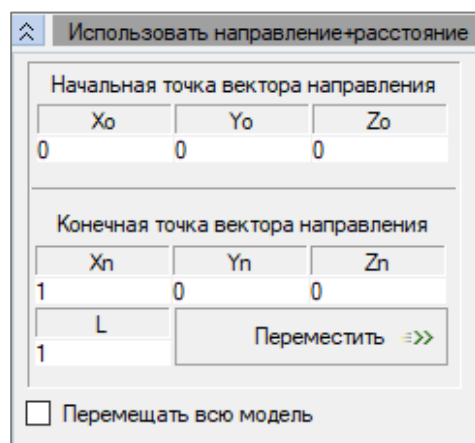


Рис. 2.184. Вкладка **Использовать направление + расстояние**

При наведении курсора мыши на сеть координат или на узел смещаемого объекта на экране появится пиктограмма (рис. 2.185), которая предварительно указывает место расположения смещаемого объекта.

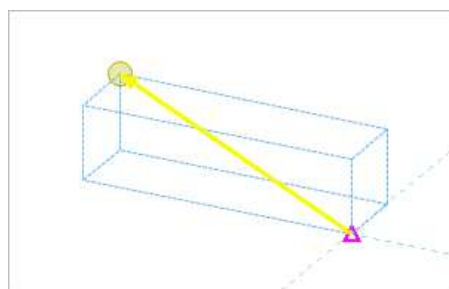


Рис. 2.185. Пиктограмма

Работа вкладки **Использовать точку вставки** аналогична предыдущему пункту.

Вкладка **Притянуть узлы к плоскости** (рис. 2.186) позволяет перемещать узлы к заданной плоскости. При помощи переключателя нужно указать плоскость, затем ввести координаты вспомогательного узла или установить его щелчком правой кнопкой мыши по рабочей области. Перемещение происходит ортогонально плоскости. Если необходимо выполнить перемещение параллельно прямой, активизируйте соответствующий переключатель и задайте координаты прямой. Также задать прямую можно правой кнопкой мыши, устанавливая первую и вторую точку прямой на рабочей области.

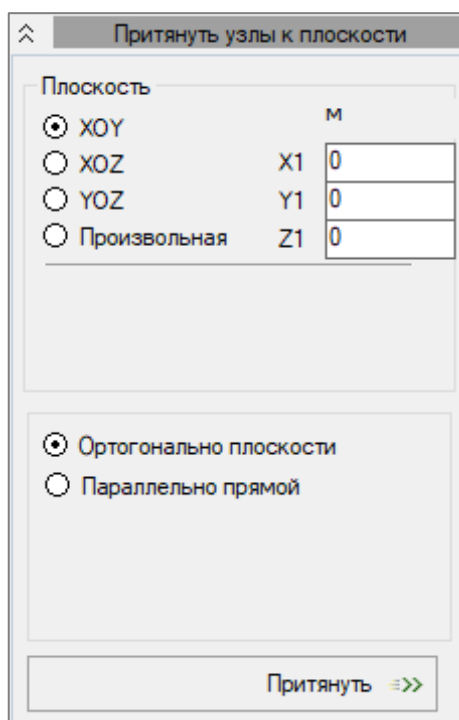


Рис. 2.186. Вкладка  
**Притянуть узлы к плоскости**

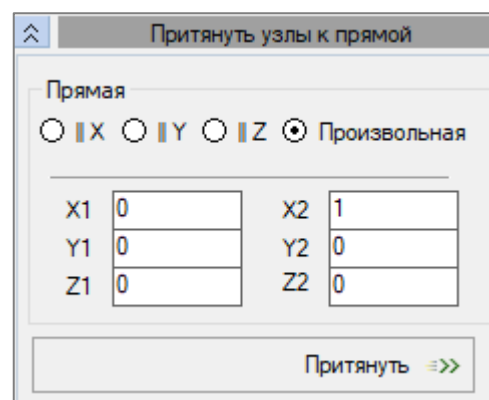


Рис. 2.187. Вкладка  
**Притянуть узлы к прямой**

Вкладка **Притянуть узлы к прямой** (рис. 2.187) позволяет перемещать выбранные узлы к заданной прямой. Для этого необходимо задать ее координаты или установить вспомогательный узел, щелкнув правой кнопкой мыши на рабочей области.

Вкладка **Политика перемещения** (рис. 2.188) позволяет выбрать, удалять ли весь переходной ряд элементов при перемещении фигуры либо только некорректные элементы переходного ряда.

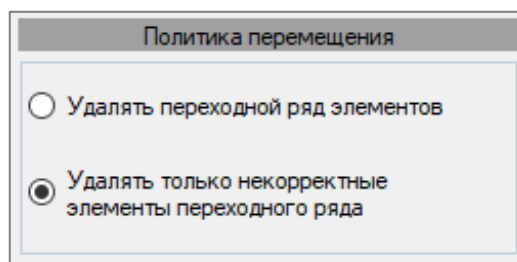


Рис. 2.188. Вкладка **Политика перемещения**

### 2.6.3 Повернуть выбранный фрагмент

Панель позволяет выполнять операции по вращению объектов.

Если необходимо выполнять поворот фрагментов с их копированием, то нужно установить соответствующий флажок (рис. 2.189). В поле ввода **N** укажите количество копируемых фрагментов.

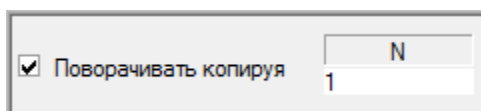


Рис. 2.189. Поворачивать копируя

В раскрывающейся вкладке **Относительно глобальных осей** (рис. 2.190) нужно задать положение полюса вращения, относительно которого будет повернут выделенный фрагмент, а также на какой угол необходимо повернуть фрагмент. После задания необходимых параметров следует нажать кнопку **Повернуть**.

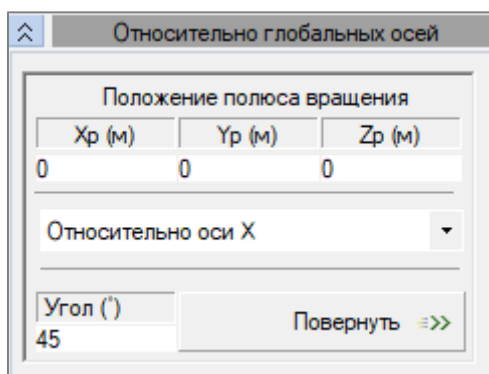


Рис. 2.190. Вкладка **Относительно глобальных осей**

При работе со вкладкой **Относительно произвольной оси** (рис. 2.191) необходимо задать вектор, указав его начальную и конечную точку, а также угол поворота в текущих единицах измерения.

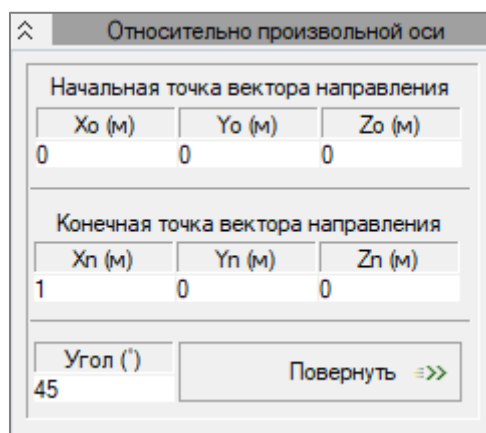


Рис. 2.191. Вкладка **Относительно произвольной оси**



При наведении курсора мыши на сеть координат или на узел поворачиваемого объекта на экране появится пиктограмма, которая предварительно указывает место расположения поворачиваемого объекта.

Вкладка **Политика перемещения** (рис. 2.192) становится активной при снятом флажке **Поворачивать копируя** и позволяет выбрать, удалять ли весь переходной ряд элементов при перемещении фигуры либо только некорректные элементы переходного ряда.

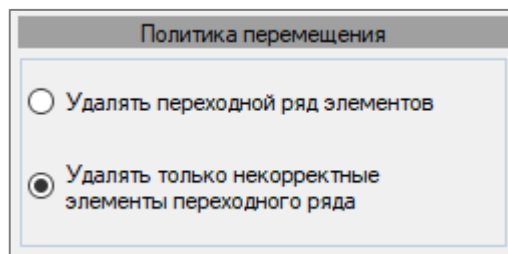


Рис. 2.192. Вкладка **Политика перемещения**

#### 2.6.4 Симметрично копировать выбранный фрагмент

Этот режим служит для симметричного копирования всей схемы или ее фрагмента относительно плоскости, проходящей через вспомогательную точку. Симметричное копирование выполняется в двух плоскостях отображения: ортогональной и произвольной.

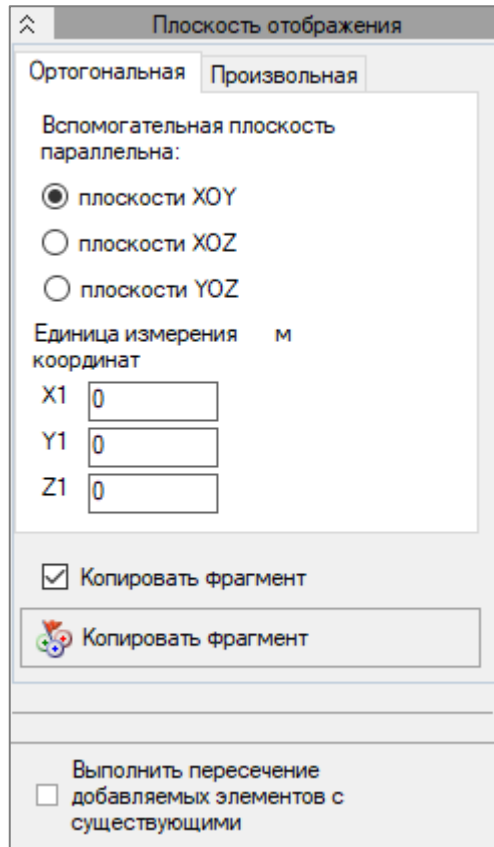


Рис. 2.193. **Ортогональная**  
плоскость отображения

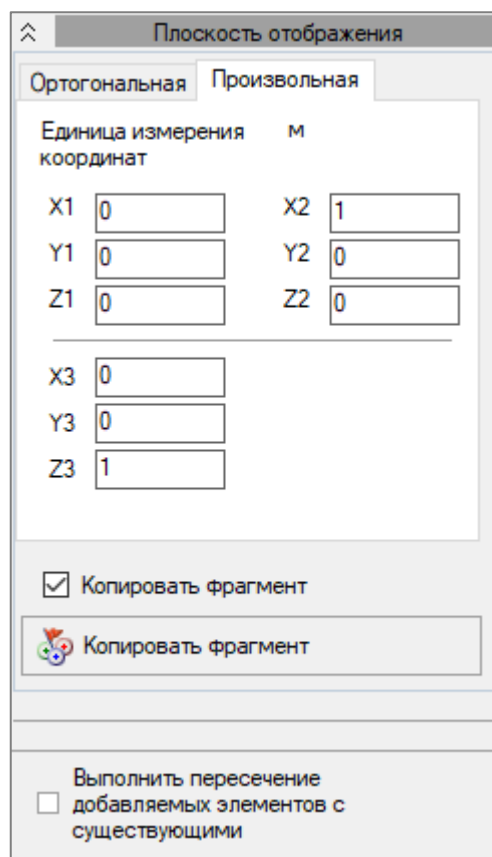


Рис. 2.194. **Произвольная**  
плоскость отображения

### Ортогональная

Путем выбора соответствующего переключателя (рис. 2.193) задайте плоскость, относительно которой будет произведено копирование (ХОУ, ХОZ или YOZ). Далее введите координаты вспомогательной точки в полях ввода или установите эту точку на схеме, щелкнув правой кнопкой мыши на рабочей области (рис. 2.195).

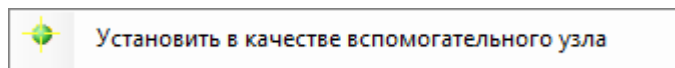


Рис. 2.195

### Произвольная

Задайте координаты вспомогательных точек плоскости в соответствующих полях ввода (рис. 2.194) либо установите эти точки на схеме при помощи команд контекстного меню, поместив курсор на рабочую область и нажав правую кнопку мыши (рис. 2.196).

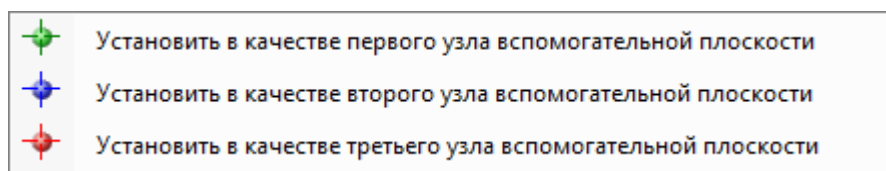


Рис. 2.196

Точки окрасятся соответственно очередности.


 При наведении курсора мыши на узел элемента схемы появляется направляющая стрелка, указывающая, в какую точку произойдет копирование (рис. 2.197).



Рис. 2.197

Для завершения операции симметричного копирования нажмите на кнопку **Копировать фрагмент**.

Чтобы задать автоматическое пересечение добавляемых элементов с уже существующими, установите флажок **Выполнять пересечения добавляемых элементов с существующими**.

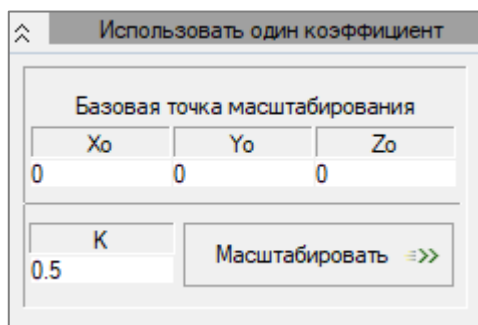
### 2.6.5 Масштабировать выбранный фрагмент

Панель активного режима **Масштабирование** служит для перемещения и масштабирования схемы либо выбранного фрагмента схемы.

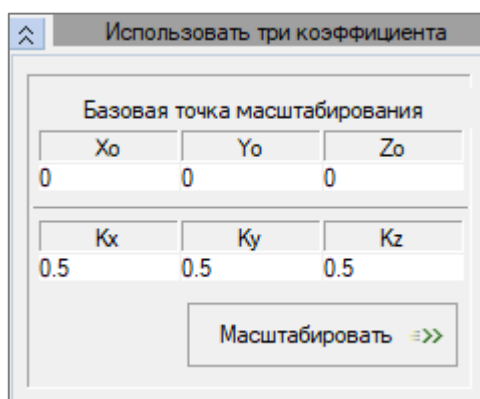
Вкладка **Использовать один коэффициент** (рис. 2.198) служит для изменения размеров расчетной схемы или ее фрагментов в указанном направлении.

При помощи **Базовой точки масштабирования** задается направление перемещения копируемого фрагмента.

Задав коэффициент масштабирования **К**, можно либо увеличить выделенную схему (если  $K > 1$ ) либо уменьшить (если  $0 < K < 1$ ).

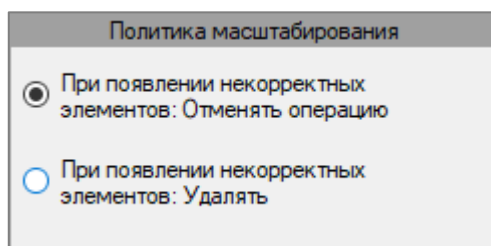
Рис. 2.198. Вкладка **Использовать один коэффициент**

Вкладка **Использовать три коэффициента** (рис. 2.199) позволяет задавать коэффициенты масштабирования **Kx**, **Ky**, **Kz** для каждой оси отдельно.

Рис. 2.199. Вкладка **Использовать три коэффициента**

Вкладка **Политика масштабирования** (рис. 2.200) служит для выбора действий в случае появления некорректных элементов при масштабировании. Требуется выбрать один из двух переключателей:

- **При появлении некорректных элементов: Отменить операцию**
- **При появлении некорректных элементов: Удалять**


Рис. 2.200. Вкладка **Политика масштабирования**

По завершении операции масштабирования необходимо нажать на кнопку **Масштабировать**.

## 2.7 СГУЩЕНИЕ, ОБЪЕДИНЕНИЕ И ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Данные команды используются для построения и редактирования расчетной схемы в ПК ЛИРА 10.

### 2.7.1 Дробление элементов

Для сгущения сети элементов и для дробления стержней необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Правка** или меню **Схема** ⇒ **Дробление элементов** (кнопка  на панели инструментов). Панель активного режима **Дробление элементов** состоит из двух вкладок: **Сгущение сети элементов** и **Дробление стержней**.

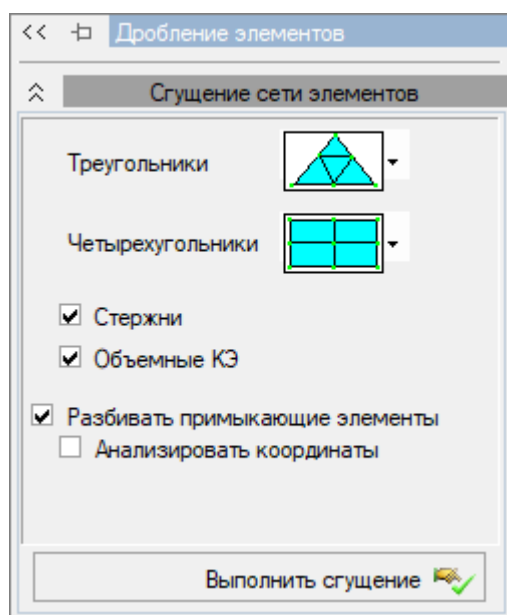


Рис. 2.201. Вкладка **Сгущение сети элементов**

Вкладка **Сгущение сети элементов** (рис. 2.201) предназначена для дробления пластинчатых КЭ. В раскрывающихся списках **Треугольники** и **Четырехугольники** нужно выбрать тип сгущения сети (рис. 2.202 и 2.203).

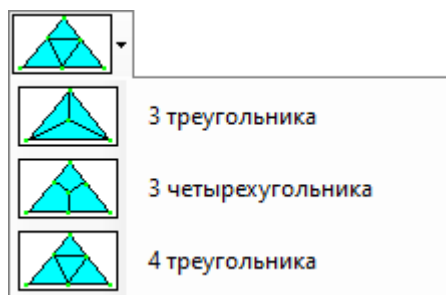


Рис. 2.202. Типы дробления 3-узловых КЭ

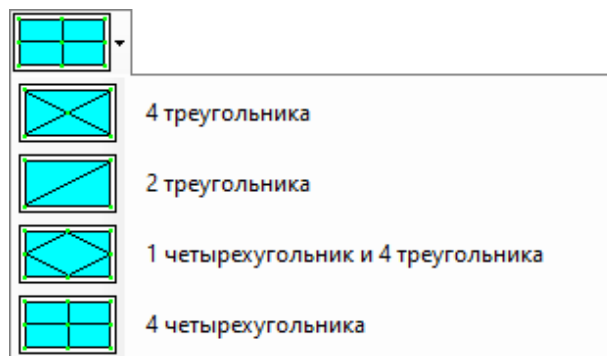


Рис. 2.203. Типы дробления 4-узловых КЭ

При установленных флажках:

- **Стержни** — программа будет разбивать выделенные стержни;
- **Объемные КЭ** — программа будет разбивать выделенные объемные КЭ;
- **Разбивать примыкающие элементы** — примыкающие элементы, которые имеют общую грань с выделенным элементом, также разбиваются на КЭ;
- **Анализировать координаты** — анализируются координаты примыкающих элементов (поиск выполняется по принадлежащим дополнительным узлам либо по координатам). Этот параметр доступен только при установленном флажке **Разбивать примыкающие элементы**.

После задания всех параметров сгущения нужно нажать кнопку **Выполнить сгущение**.

Вкладка **Дробление стержней** предназначена для дробления стержней. Существует два типа деления:

- **На равные части** (рис. 2.204). Это значит, что выбранные стержни будут разбиты на  $n$  равных частей, их количество задается в строке **Количество частей**.
- **Цепочкой привязок** (рис. 2.205). Заданная цепочка привязок будет использоваться как расстояния между точками в текущих единицах измерения. Если установить флажок **Использовать привязки как относительные соотношения при разбивке между заданными точками**, то привязки будут использоваться как коэффициенты к реальному расстоянию между точками.

Флажок **Индикация дробления** позволяет предварительно увидеть точки дробления стержня.

После задания параметров дробления нужно нажать кнопку **Дробить**.

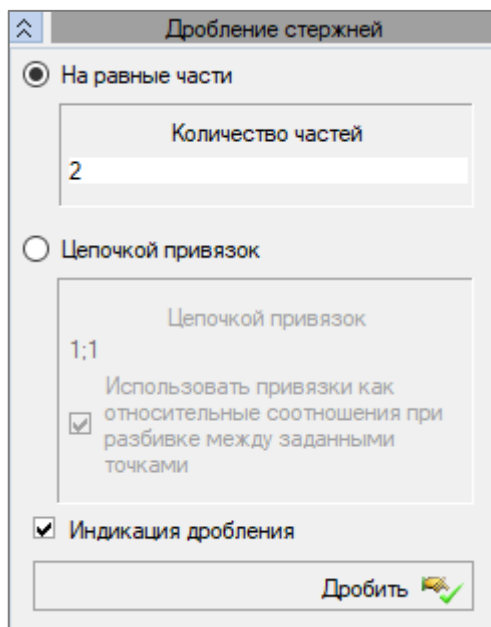


Рис. 2.204. Вкладка **Дробление стержней**,  
**На равные части**

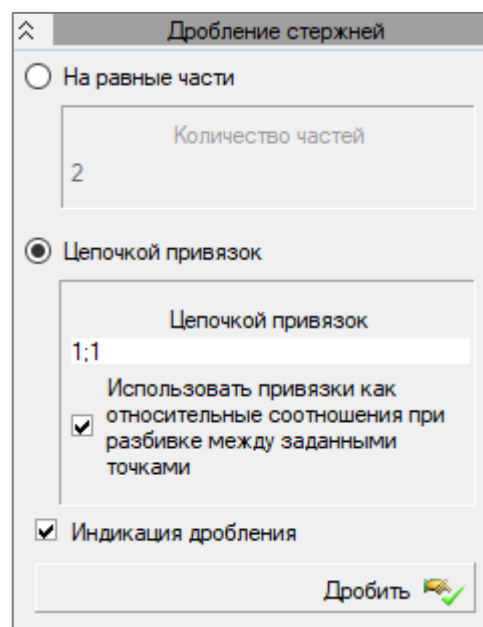



Рис. 2.205. Вкладка **Дробление стержней**,  
**Цепочкой привязок**

## 2.7.2 Объединение КЭ

Для объединения элементов необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Правка** или меню **Схема** ⇒ **Объединение КЭ** (кнопка  на панели инструментов). Панель активного режима **Объединение КЭ** состоит из трех вкладок: **Объединение треугольников**, **Объединение стержней** и **Преобразование сети КЭ**.

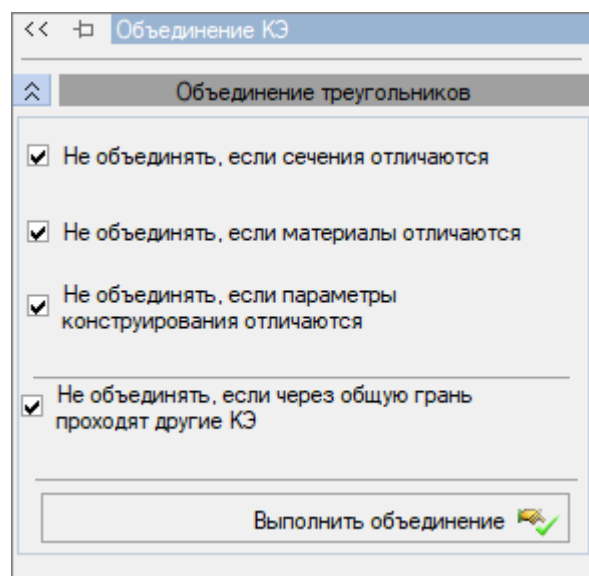


Рис. 2.206. Вкладка **Объединение треугольников**

Вкладка **Объединение треугольников** (рис. 2.206) предназначена для объединения 3-узловых пластинчатых элементов в 4-узловые (рис. 2.207). На этой вкладке доступны функции: **Не объединять, если сечения/материалы/параметры конструирования отличаются**; **Не объединять, если через общую грань проходят другие КЭ**. Если установить любой из флажков, то 3-узловые элементы, которые соответствуют выбранным параметрам, объединяться не будут.

После выделения элементов, которые требуется объединить, нужно нажать кнопку **Выполнить объединение**.

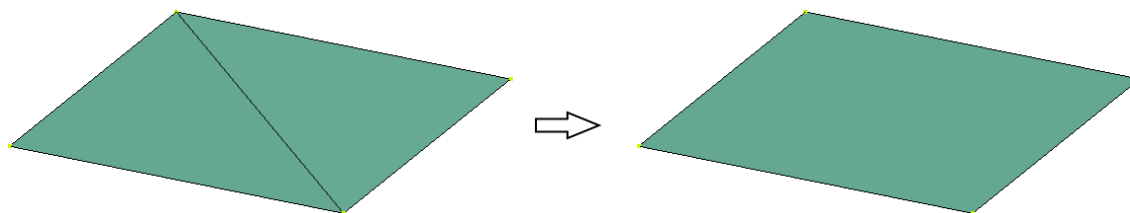
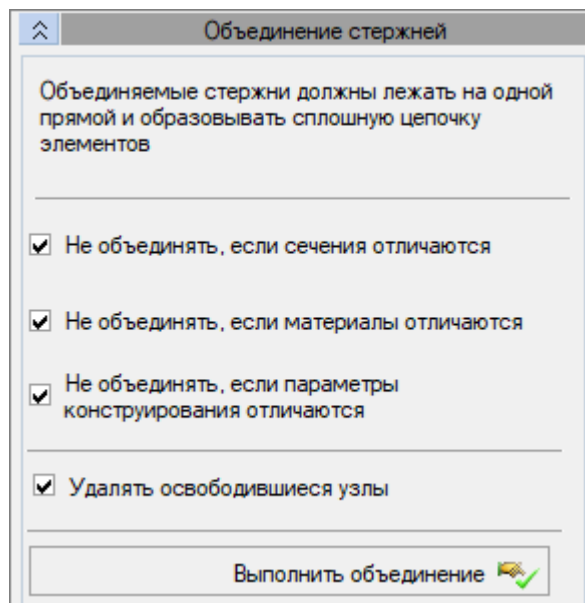


Рис. 2.207. Объединение 3-узловых пластин в одну 4-узловую


Для объединения стержней воспользуйтесь вкладкой **Объединение стержней** (рис. 2.208). Доступные параметры:

- **Не объединять, если сечения/материалы/параметры конструирования отличаются.** При установке данного флажка стержни не будут объединены в случае отличных параметров конструирования, различных материалов и сечений.

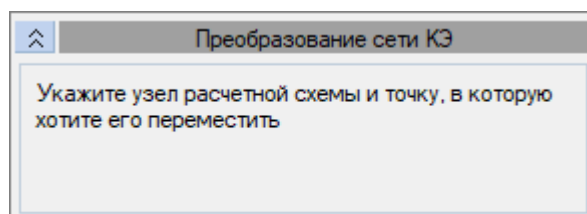
- **Удалять освободившиеся узлы.** При установке данного флажка узлы, которые находились между объединяемыми стержнями, будут удалены.

Рис. 2.208. Вкладка **Объединение стержней**


После выделения стержней, которые требуется объединить, нужно нажать кнопку **Выполнить объединение**.

 *Объединяемые стержни должны лежать на одной прямой и образовывать сплошную цепочку элементов.*

При переходе на вкладку **Преобразование сети КЭ** (рис. 2.209) появляется возможность перемещать существующие узлы. Для перемещения необходимо указать узел расчетной схемы и точку, в которую нужно его переместить. Точкой перемещения может быть существующий узел схемы либо точка пересечения сети построения.

Рис. 2.209. Вкладка **Преобразование сети КЭ**

### 2.7.3 Пересечение КЭ

Для пересечения элементов или групп элементов воспользуйтесь вкладкой ленты **Правка** или меню **Схема** ⇨ **Пересечение КЭ** (кнопка  на панели инструментов). Панель активного режима **Пересечение КЭ** состоит из трех вкладок: **Пересечение групп КЭ**, **Пересечение всех КЭ** и **Пересечение плоскостью**.

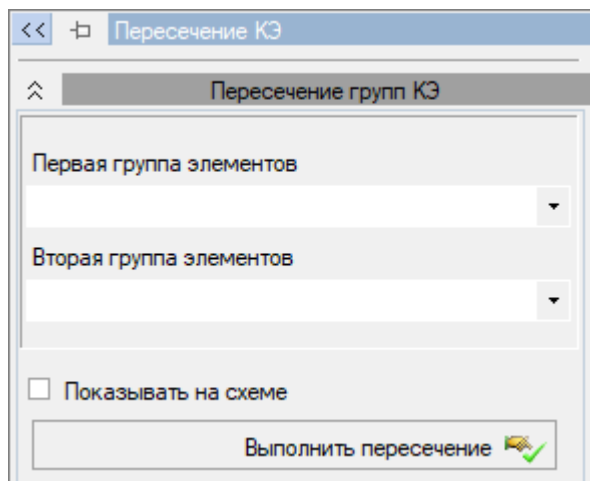


Рис. 2.210. Вкладка **Пересечение групп КЭ**

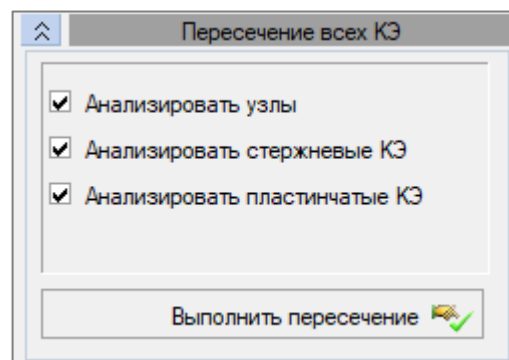



Рис. 2.211. Вкладка **Пересечение стержневых КЭ**

На вкладке **Пересечение групп КЭ** (рис. 2.210) есть два раскрывающихся списка:

- **Первая группа элементов;**
- **Вторая группа элементов.**

В каждом из списков находится перечень групп в порядке их создания. Группы создаются автоматически при использовании шаблонов построения. При создании отдельных КЭ группы не создаются, но их можно создать вручную в режиме **Редактирование групп элементов** .

Для пересечения отдельных групп КЭ нужно в первом списке выбрать первую группу, а во втором — вторую.

При установленном флажке **Показать на схеме** произойдет индикация выбранных групп на схеме.

Для того чтобы выполнить пересечение групп, нужно нажать кнопку **Выполнить пересечение**.

Во вкладке **Пересечение всех КЭ** (рис. 2.211) присутствует ряд параметров, которые можно отметить флажком:

- **Анализировать узлы** — обозначает, что в пересечении участвуют все узлы, в том числе отдельно стоящие.
- **Анализировать стержневые КЭ** — в пересечении участвуют все стержневые КЭ.
- **Анализировать пластинчатые КЭ** — в пересечении участвуют все пластинчатые конечные элементы.

Если какой-то из параметров не отмечен флажком, то эти элементы не будут участвовать в пересечении.



КЭ или группа КЭ предварительно должна быть выделена для того, чтобы программа определила, для каких именно элементов нужно выполнить пересечение.

После выбора нужных параметров необходимо нажать кнопку **Выполнить пересечение**.

Вкладка **Пересечение плоскостью** (рис. 2.212) используется для пересечения плоскостью элементов или групп элементов. Здесь при помощи переключателей нужно указать плоскость пересечения (**ХОУ**, **ХОZ**, **YOZ** или **Произвольная**) и задать требуемые координаты.

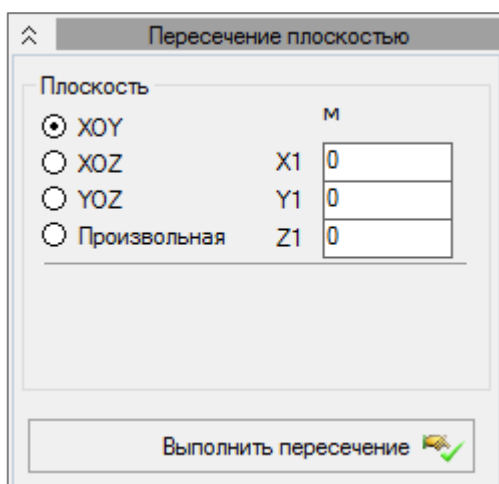


Рис. 2.212. Вкладка **Пересечение плоскостью**

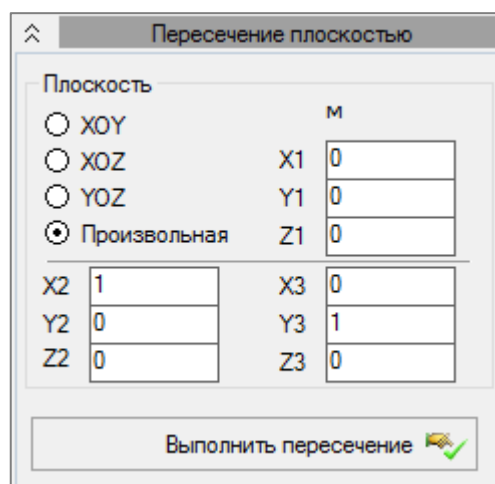


Рис. 2.213. Поля задания координат узлов для произвольной плоскости

При выборе переключателя **Произвольная** появляются поля для заполнения координат второго и третьего узла произвольной плоскости (рис. 2.213).

Эти координаты можно задать вручную либо воспользоваться контекстным меню. В случае использования контекстного меню откроется список, где нужно выбрать, в качестве какого узла будет установлен выбранный (рис. 2.214). Указанные узлы подсвечиваются на схеме соответствующим цветом.

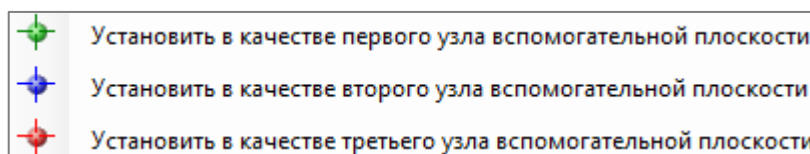




Рис. 2.214

 Чтобы выбрать узлы с помощью контекстного меню, следует навести курсор на нужный существующий узел (вокруг узла образуется розовый квадрат) либо на точку пересечения сети построения (появится розовый треугольник) и щелкнуть правой кнопкой мыши.

После задания всех параметров нужно нажать кнопку **Выполнить пересечение**.

## 2.8 УПАКОВКА И ПЕРЕНУМЕРАЦИЯ

### 2.8.1 Упаковать/Расшить

Для управления параметрами упаковки созданной схемы после выполнения различных операций с геометрией (копирование, удаление, и т.п.) необходимо воспользоваться командой меню **Правка ⇔ Упаковать/Расшить** (кнопка  на панели инструментов). Панель активного режима **Упаковка/Расшивка** состоит из трех вкладок (рис. 2.215).

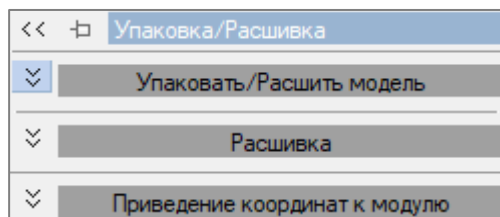


Рис. 2.215. Панель режима **Упаковка/Расшивка**

### Упаковать/Расшить модель


Данная вкладка (рис. 2.216) состоит из четырех областей.

В верхней области нужно активизировать один из переключателей:

- **Упаковать всю схему** — это означает, что упаковка будет проводиться по всей схеме и ничего предварительно выделять не нужно.
- **Упаковать выделенные фрагменты** — упаковка будет проводиться по определенным элементам, которые изначально нужно выделить.

Далее с помощью флажков можно выбрать:

- **Упаковать узлы** — позволяет упаковывать узлы текущей схемы (с заданной в поле ввода погрешностью).

 Если расстояние между узлами меньше числа, заданного в поле **погрешность**, то эти узлы объединяются в один узел; при этом у соответствующих элементов производится корректировка нумерации узлов.

- **Упаковывать элементы** — позволяет упаковывать элементы текущей схемы.

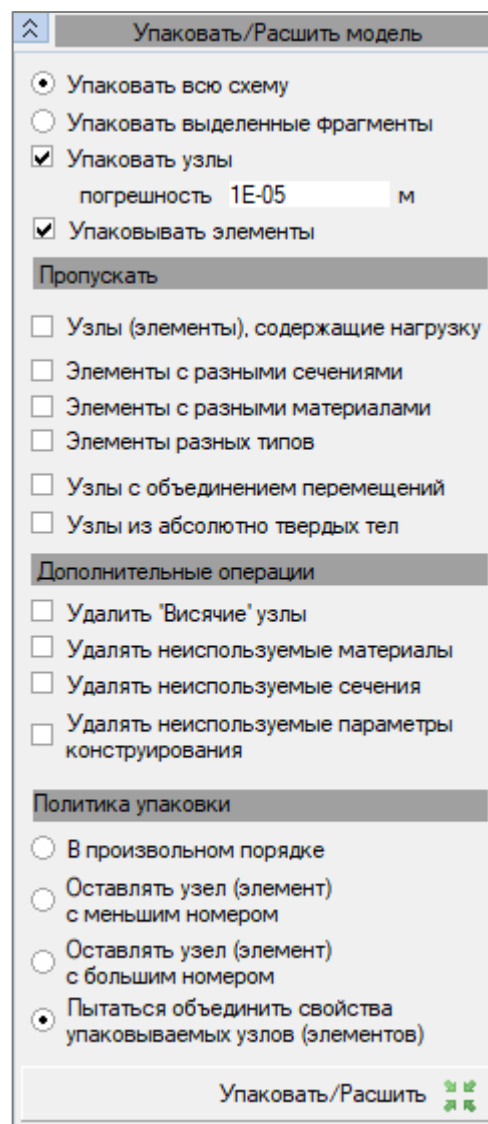


Рис. 2.216. Вкладка  
Упаковать/Расшить модель

В области **Пропускать** можно при необходимости установить следующие флажки:

- **Узлы (элементы), содержащие нагрузку** — позволяет не выполнять упаковку для узлов (элементов) схемы, содержащих нагрузку (включая собственный вес).
- **Элементы с разными сечениями/материалами** — позволяет не выполнять упаковку для элементов с разными сечениями/материалами, содержащих узлы с одинаковыми координатами.
- **Элементы разных типов** — позволяет избежать объединения элементов в один элемент (например, несколько одноузловых конечных элементов, входящих в один и тот же узел).
- **Узлы с объединением перемещений** — помогает избежать сшивки узлов с объединением перемещений в один узел.
- **Узлы из абсолютно твердых тел** — при упаковке сохраняются узлы, которые формируют АТТ.

В области **Дополнительные операции** можно установить такие флажки:

- **Удалить “Висячие” узлы.** После выполнения процедуры упаковки все узлы, к которым не присоединен ни один элемент, будут безвозвратно удалены из схемы, а оставшиеся узлы получают новую последовательную нумерацию.
- **Удалять неиспользуемые материалы/сечения.** После выполнения процедуры упаковки все неиспользуемые материалы/сечения будут безвозвратно исключены из задачи (из Редактора материалов / Редактора сечений), а оставшиеся материалы/сечения получают новую последовательную нумерацию.
- **Удалять неиспользуемые параметры конструирования.** После выполнения процедуры упаковки все неиспользуемые параметры конструирования будут исключены из задачи (из Редактора параметров конструирования), оставшиеся параметры конструирования получают новую последовательную нумерацию.




*В результате упаковки уничтожается история создания схемы.*

*Конечные элементы схемы, объединенные в результате упаковки в единый элемент, окрашиваются красным цветом.*

*При расчете неупакованной схемы удаленные узлы и элементы рассматриваются как несуществующие, но их номера сохраняются до тех пор, пока не выполнена упаковка.*

В области **Политика установки** выберите один из следующих переключателей:

- **В произвольном порядке.** Это означает, что элементы будут упаковываться в произвольном порядке, т.е. без каких-либо приоритетов.
- **Оставлять узел (элемент) с меньшим номером** — при упаковке удаляется узел (элемент) с большим номером, оставшиеся узлы (элементы) получают новую последовательную нумерацию.
- **Оставлять узел (элемент) с большим номером** — при упаковке удаляется узел (элемент) с меньшим номером, оставшиеся узлы (элементы) получают новую последовательную нумерацию.
- **Пытаться объединить свойства упаковываемых узлов (элементов).**

 К свойствам узлов (элементов) относятся: группа элементов, тип КЭ, сечение, материал, нагрузки, шарниры, жесткие вставки, угол вращения, коэффициенты постели  $C1$ ,  $C2$ .

После выбора всех необходимых параметров нужно нажать кнопку **Упаковать**.

### Расшивка

Данная вкладка (рис. 2.217) предназначена для расшивки схемы, т.е. для нарушения совместности перемещений каких-либо элементов схемы по линии их стыка. Такая необходимость может возникнуть, в частности, при моделировании шарниров в пластинах и т.п.

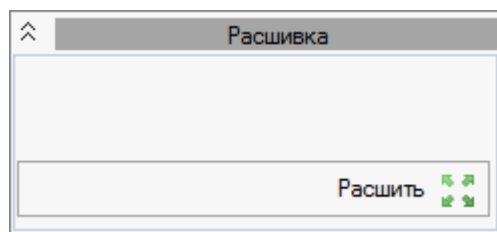


Рис. 2.217. Вкладка **Расшивка**

Для выполнения этой команды необходимо отметить узлы стыка отсоединяемого фрагмента, в которых должна быть нарушена совместность перемещений. Следует также отметить и элементы, которые должны принадлежать отсоединяемому фрагменту.

В результате выполнения команды произойдет раздвоение узлов на линии стыка, т.е. в одних и тех же координатах появится по два узла. При этом образовавшиеся узлы получат большие номера, чем ранее заданные и будут принадлежать элементам отсоединяемого фрагмента.

### Приведение координат к модулю

Во вкладке (рис. 2.218) в поле ввода **Величина модуля** задается точность округления координат. Также доступны параметры приведения координат. Сбросив соответствующий флажок, можно исключить приведение координат для выбранной группы (узлы / архитектурные элементы / нагрузки на расчетную схему). Для подтверждения действия нажмите кнопку **Привести**.

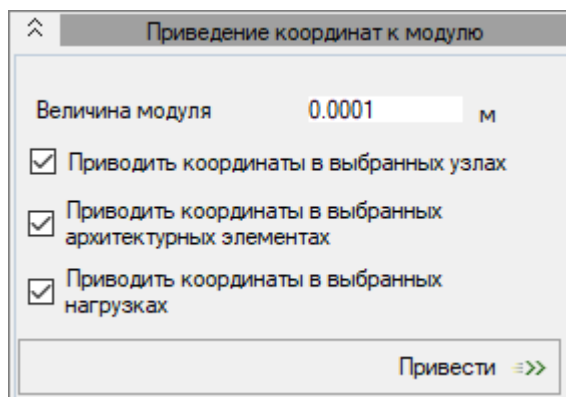



Рис. 2.218. Вкладка **Приведение координат к модулю**

## 2.8.2 Перенумерация

Для упорядочивания нумерации узлов и/или элементов нужно воспользоваться командой меню **Правка ⇨ Перенумерация** (кнопка  на панели инструментов). Как правило, эта операция выполняется после завершения работы над созданием расчетной схемы.

Панель активного режима **Перенумерация** состоит из трех областей (рис. 2.219).

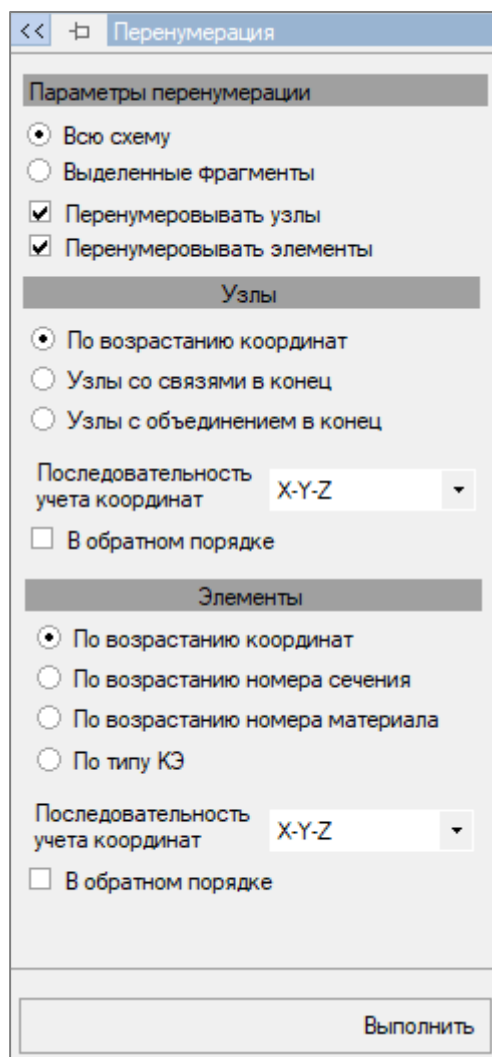


Рис. 2.219. Панель режима **Перенумерация**

В области **Параметры перенумерации** нужно выбрать один из переключателей:

- **Всю схему** — перенумерация будет выполнена по всей схеме.
- **Выделенные фрагменты** — перенумерация будет выполнена только по выделенным элементам.

При необходимости можно установить флажки:

- **Перенумеровать узлы** — позволяет перенумеровывать узлы текущей схемы/фрагмента.
- **Перенумеровать элементы** — позволяет перенумеровывать элементы текущей схемы/фрагмента.

В областях **Узлы** и **Элементы** необходимо указать критерии, в соответствии с которыми будет произведено упорядочивание нумерации.

В области **Узлы** нужно выбрать один из переключателей:

- **По возрастанию координат** — перенумерация будет происходить в порядке возрастания координат.
- **Узлы со связями в конец** — узлы, в которых наложены связи, будут перенумерованы в последнюю очередь.
- **Узлы с объединением в конец** — узлы, в которых есть объединение перемещений, будут перенумеровываться в последнюю очередь.

В области **Элементы** нужно выбрать один из переключателей:

- **По возрастанию координат** — перенумерация будет происходить в порядке возрастания координат центра тяжести.
- **По возрастанию номера сечения** — перенумерация будет происходить в порядке возрастания номера сечения в соответствии с нумерацией в **Редакторе сечений/жесткостей**.
- **По возрастанию номера материала** — перенумерация будет происходить в порядке возрастания номера материала в соответствии с нумерацией в **Редакторе материалов**.
- **По типу КЭ** — перенумерация будет происходить в порядке возрастания номера типа конечного элемента.

В раскрывающемся списке **Последовательность учета координат** можно выбрать последовательность координат, в которой будет происходить перенумерация (рис. 2.220).

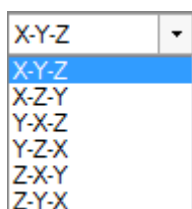




Рис. 2.220. Последовательность учета координат

 Выбор той или иной комбинации координат определяет направление упорядочения. Так, например, при комбинации *Y-Z-X* упорядочение номеров будет произведено сначала в направлении оси *Y*, затем, соответственно, в направлениях осей *Z* и *X*.

При необходимости можно установить флажок **В обратном порядке**, который позволяет установить инверсный порядок упорядочения нумерации.

После выбора всех необходимых параметров перенумерации нужно нажать кнопку **Выполнить**.

## 2.9 АТТРИБУТЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Для изменения атрибутов представления необходимо воспользоваться вкладкой ленты **Вид и выбор** или меню **Вид ⇨ Атрибуты представления** либо же кнопкой  на панели инструментов. Панель активного режима **Атрибуты представления** предназначена для редактирования параметров отображения рабочей схемы и результатов расчета.

Панель активного режима содержит следующие каталоги опций (рис. 2.221):


- **Проекция** (рис. 2.222);
- **Узлы** (рис. 2.223);
- **Элементы: базовые** (рис. 2.224);
- **Элементы: значения** (рис. 2.224);
- **Элементы: вид** (рис. 2.224);
- **Элементы: цвет** (рис. 2.225);
- **Элементы: маркировка** (рис. 2.225).


Для отображения необходимого атрибута установите флажок в соответствующем поле ввода.


В нижней части панели находятся дополнительные параметры отображения.

При установке флажка **Использовать выделенные объекты** атрибуты представления применяются для отмеченных объектов. Это значит, что будет визуализирована информация в соответствии с установленными флажками, а выделение объектов погаснет.

Также при необходимости возможно отображение текста для элементов в две строки и добавление префиксов к значениям.

При щелчке на кнопке **Сохранить текущие**  появится таблица, где можно задать имя для сохранения текущей конфигурации атрибутов представления. Введите имя в соответствующее поле и нажмите кнопку **Сохранить**.

Кнопка **Удалить**  удаляет выбранную в списке конфигурацию атрибутов представления.

Кнопка **Выбрать и назначить**  позволяет выбрать в списке сохраненную конфигурацию атрибутов представления и назначить ее текущей.

Для назначения требуемого атрибута представления установите напротив него флажок и нажмите кнопку **Назначить**.

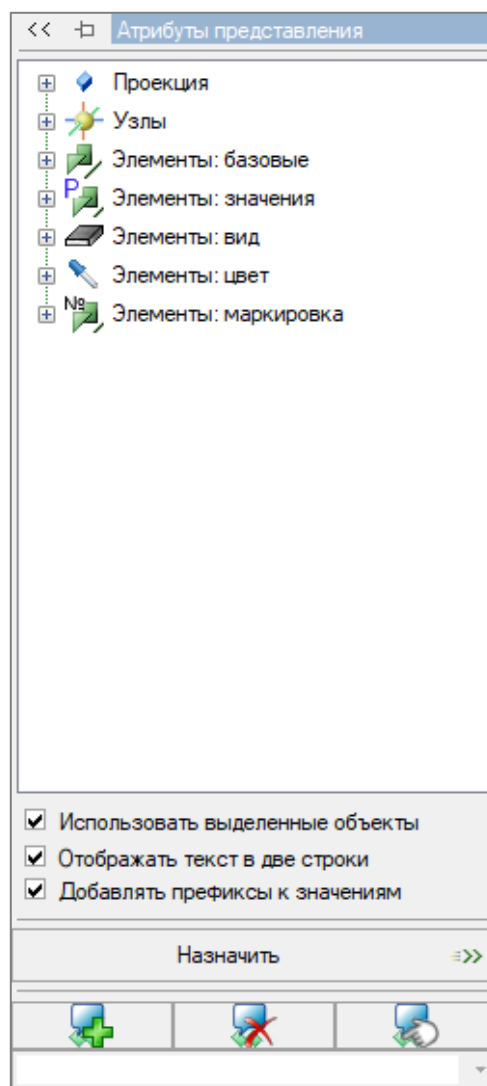


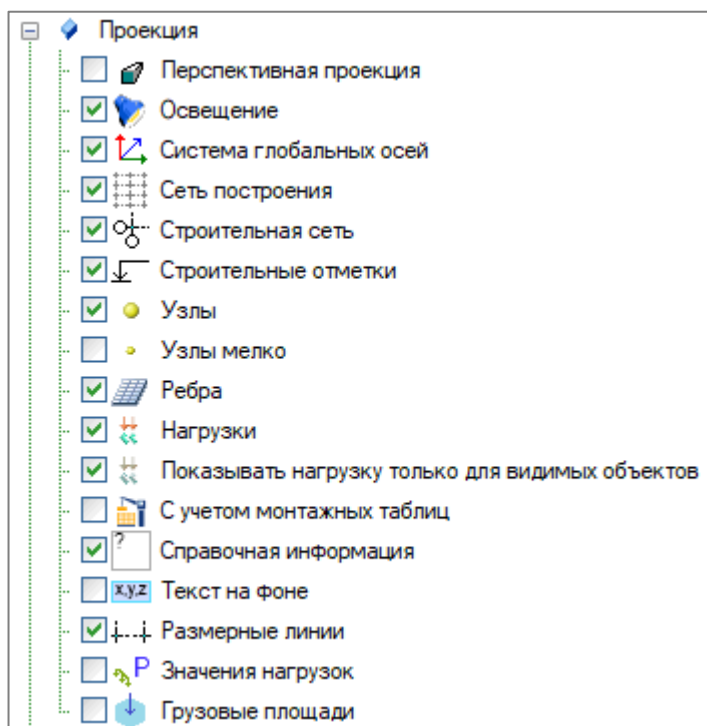
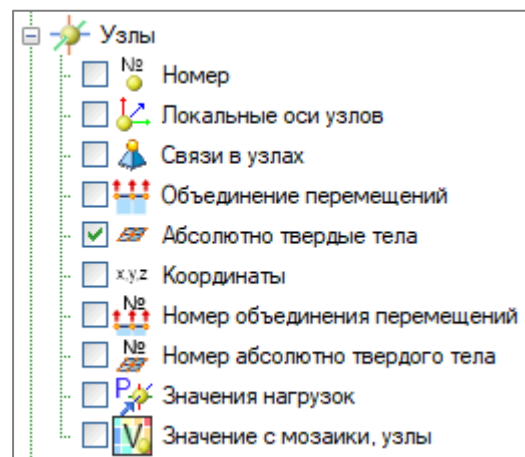
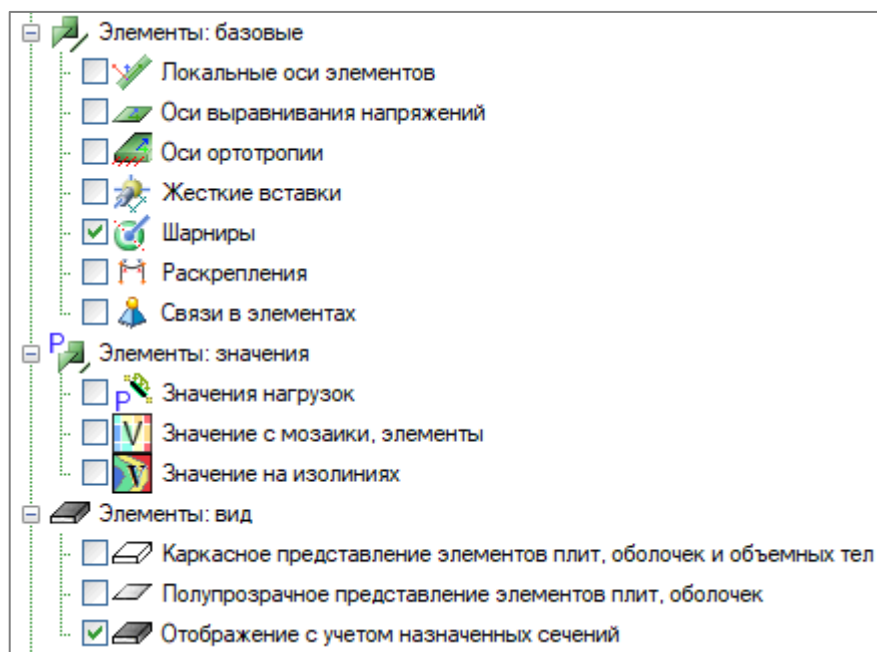


Рис. 2.221. Панель режима **Атрибуты представления**



 Атрибуты представления можно выставить по умолчанию: меню **Сервис** (или кнопка ) ⇒ **Настройки среды**.

Рис. 2.222. Каталог **Проекция**Рис. 2.223. Каталог **Узлы**Рис. 2.224. Каталоги **Элементы: базовые/значения/вид**

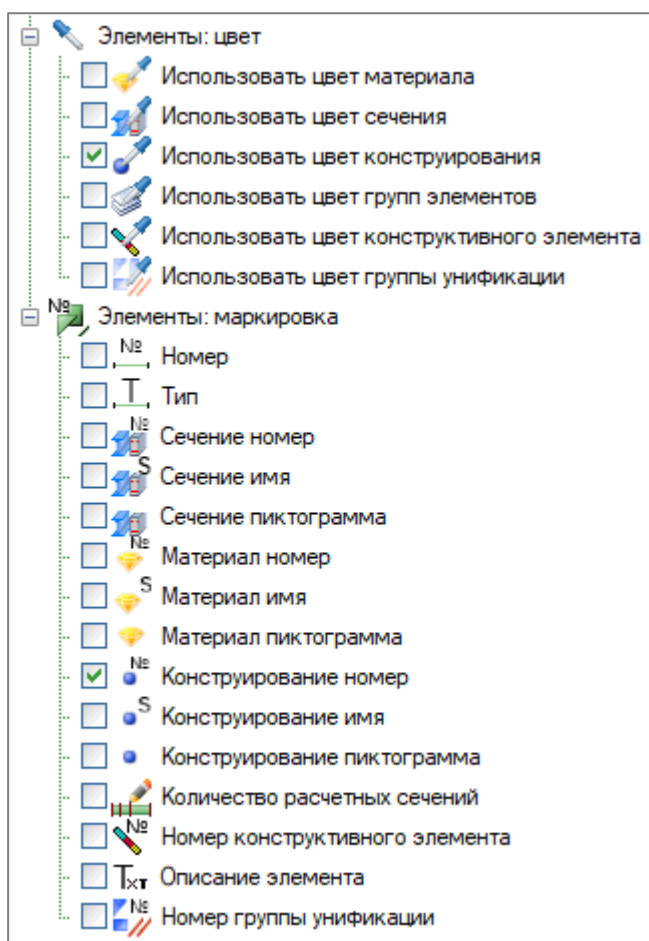


Рис. 2.225. Каталоги Элементы: цвет/маркировка

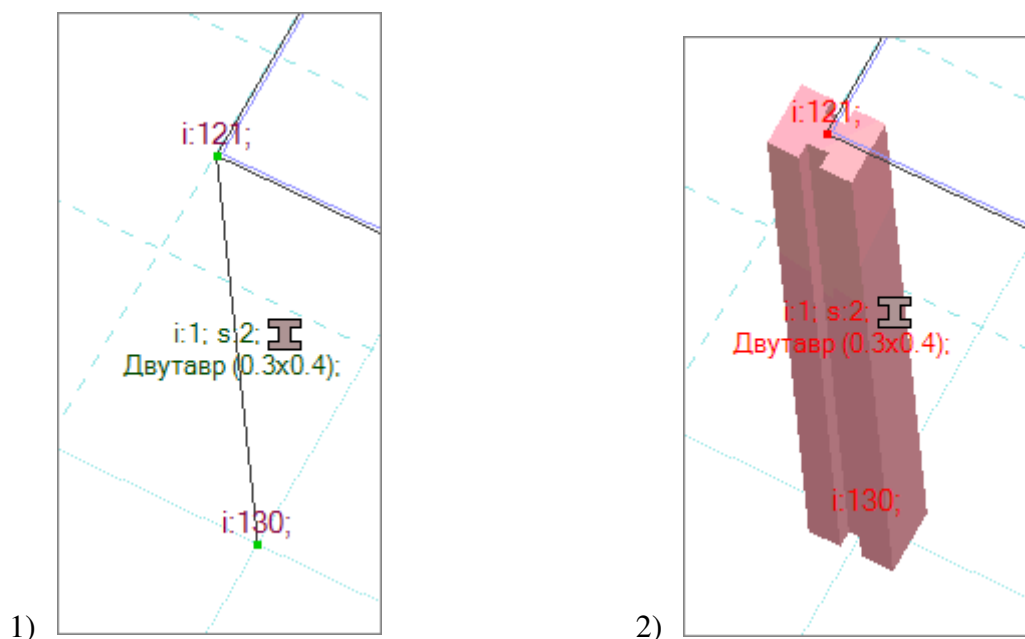



Рис. 2.226. Примеры

## 2.10 НАГРУЗКИ

Для добавления нагрузок на узлы и элементы необходимо воспользоваться вкладкой ленты или меню **Назначение** ⇒ **Нагрузки** либо же кнопкой  на панели инструментов.

На панели активного режима (рис. 2.227) находятся раскрывающиеся вкладки для задания и редактирования различных нагрузок на узлы и элементы.

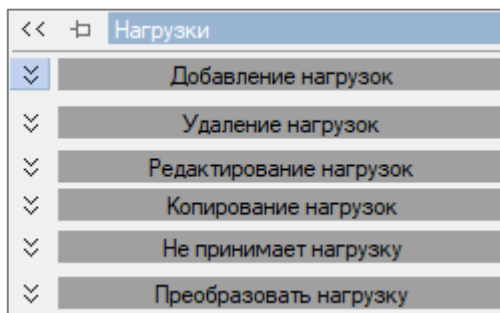


Рис. 2.227. Режим **Нагрузки**

Вкладка **Добавление нагрузок** содержит раскрывающийся список **Библиотека нагрузок**, где необходимо выбрать тип нагрузки и задать ее параметры (рис. 2.228).

Библиотека нагрузок включает:

- нагрузки на узел;
- нагрузки на одноузловой элемент;
- нагрузки на стержень;
- нагрузки на пластину;
- нагрузки на объемные КЭ;
- нагрузки на архитектурный стержень;
- нагрузки на архитектурную пластину;
- интерактивные нагрузки;
- нагрузки на расчетную схему;
- другие типы нагрузок.

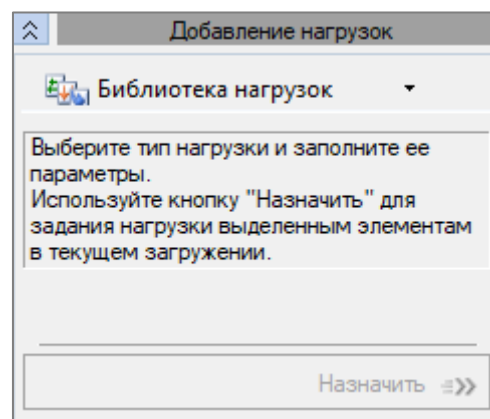


Рис. 2.228. Вкладка **Добавление нагрузок**

### Нагрузки на узел:

#### ▪ Сосредоточенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.229), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание.

Окно содержит переключатели для задания систем координат (глобальной или локальной) и направления воздействия (X, Y, Z). Необходимо также задать величину нагрузки, введя требуемое значение в текстовую строку. Величина силы отображается в установленных единицах измерения.

Для применения силы нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Сосредоточенный момент**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.230), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание.

Окно содержит переключатели для задания систем координат (глобальной или локальной) и направления воздействия (X, Y, Z). Необходимо также задать величину момента, введя требуемое значение в текстовую строку. Величина момента отображается в установленных единицах измерения.

Для применения момента нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Заданное смещение**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.231), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание.

Задание нагрузки возможно только в локальной системе координат, направления воздействия — X, Y, Z. Необходимо также задать величину смещения (введя значение в текстовую строку). Величина смещения отображается в установленных единицах измерения.

Для применения смещения нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

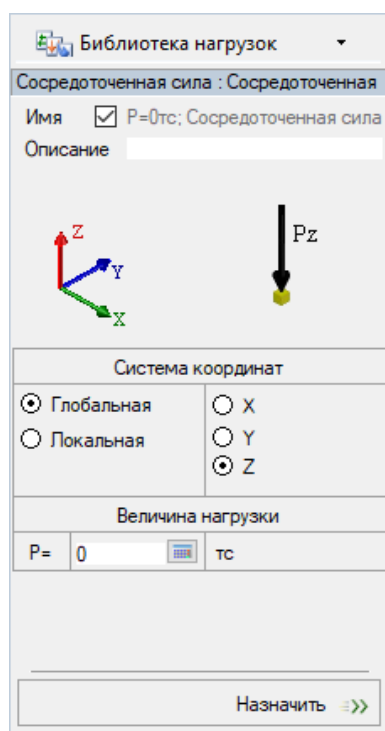


Рис. 2.229.  
Сосредоточенная сила

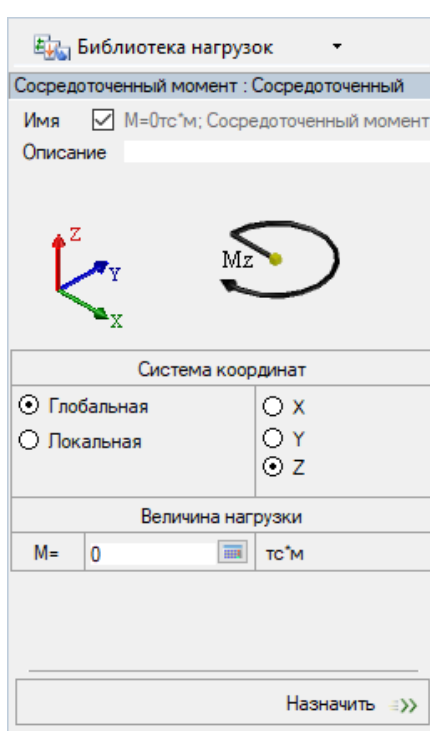


Рис. 2.230.  
Сосредоточенный момент



Рис. 2.231.  
Заданное смещение

▪ **Заданный поворот**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.232), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание.

Задание нагрузки возможно только в локальной системе координат, направления воздействия — X, Y, Z. Необходимо также задать величину поворота (введя значение в текстовую строку). Значение поворота отображается в установленных единицах измерения.

Для применения поворота нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

- **Вес узловой массы (загружение Динамика во времени)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.233), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание.

Задание нагрузки возможно только в локальной системе координат, направления воздействия — X, Y, Z. Необходимо также задать величину веса (введя значение в текстовую строку). Величина силы отображается в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.



Рис. 2.232. Заданный поворот

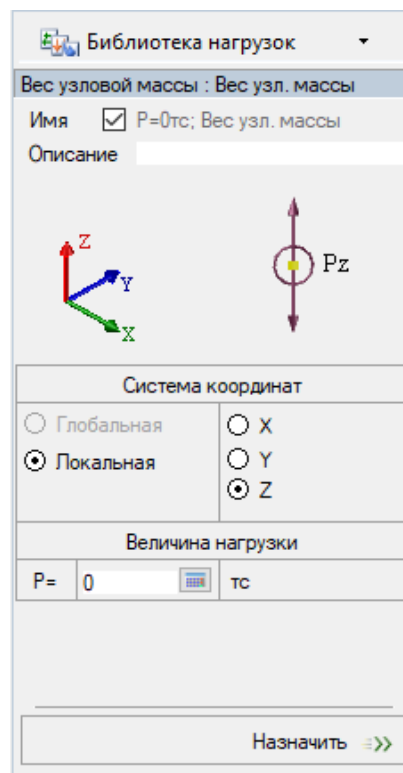


Рис. 2.233. Вес узловой массы

- **Ломаная с произвольным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.235), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание. После чего выберите направление воздействия.

Для построения графика ломаной задайте начальные параметры: **Количество точек**, **Время** и **Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 2.234).

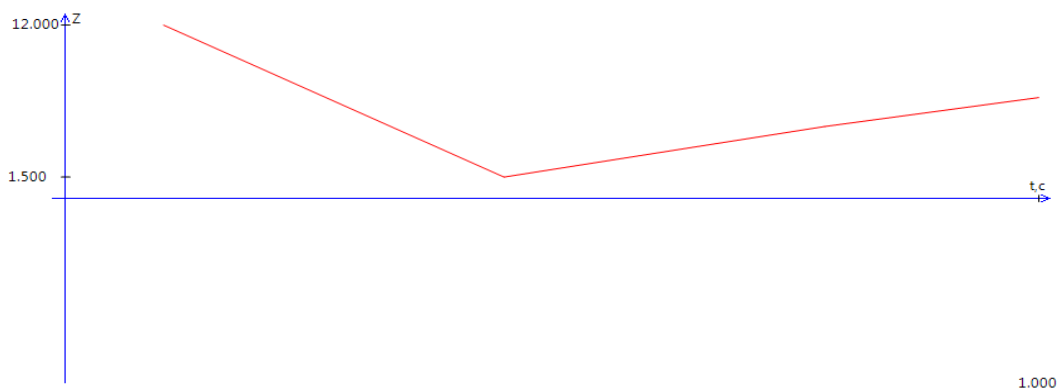


Рис. 2.234. График ломаной

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

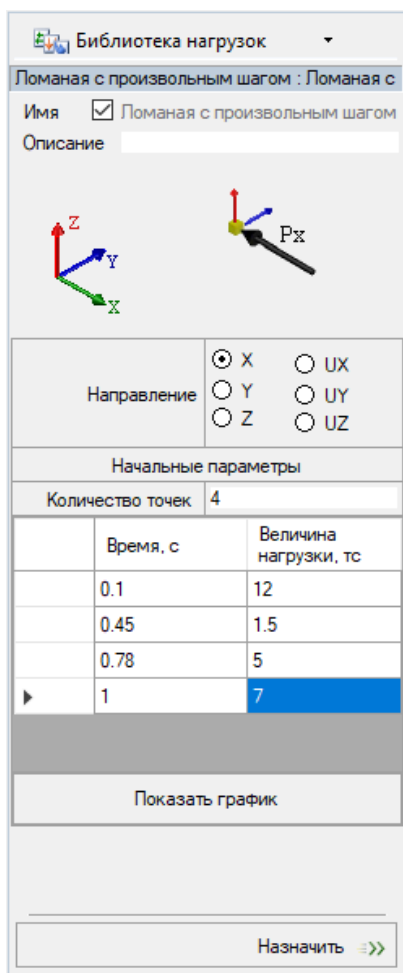


Рис. 2.235. Ломаная с произвольным шагом



Рис. 2.236. Синусоидальная

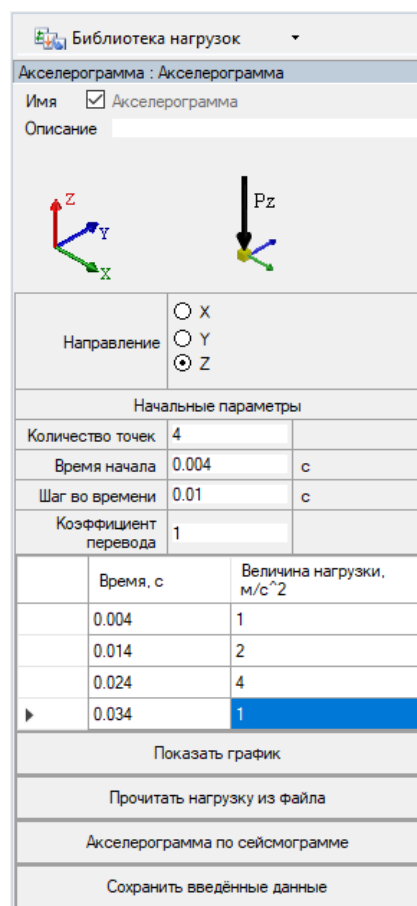


Рис. 2.237. Акселерограмма

▪ **Синусоидальная (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.236), в котором можно указать в текстовой строке имя либо же оставить имя по умолчанию. Также при необходимости введите описание. После чего выберите направление воздействия (X, Y, Z, UX, UY, UZ).

Для построения синусоиды задайте параметры: **Амплитуда, Частота, Сдвиг фаз, Время начала, Время окончания**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 2.238).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

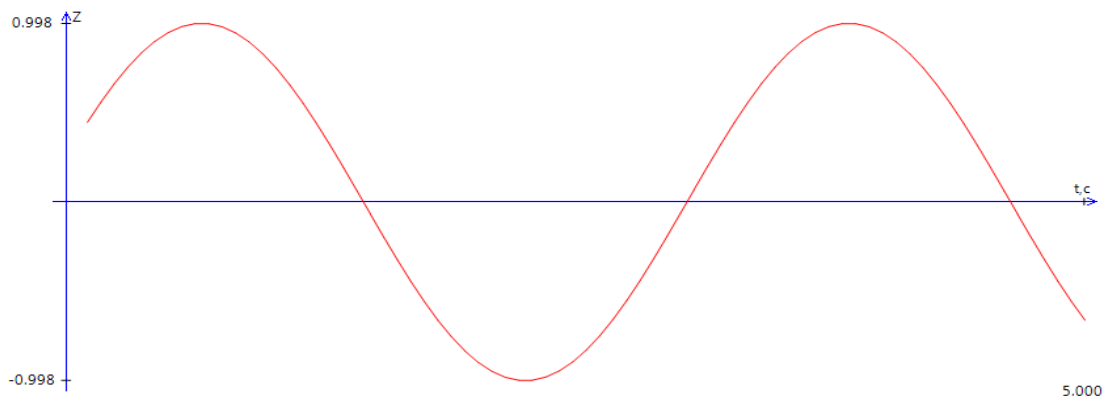


Рис. 2.238. График синусоиды

▪ **Акселерограмма (загрузка Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.237), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего выберите направление воздействия (X, Y, Z).

Для построения акселерограммы задайте начальные параметры: **Количество точек, Время начала, Шаг во времени и Величину нагрузки**.

После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 2.239).

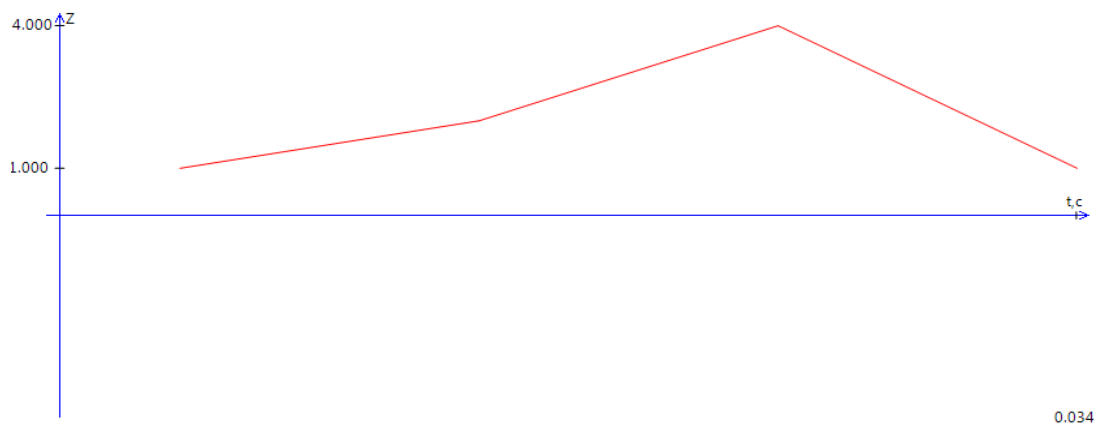


Рис. 2.239. График акселерограммы

С помощью **Коэффициента перевода** (коэффициента нагрузки) можно изменить уже заданные величины нагрузки на кратную величину.

Также можно прочесть нагрузку из уже существующих файлов, получить акселерограмму по имеющейся сейсмограмме (см. п. 13.1.3) или сохранить введенные данные в отдельный файл, для повторного использования в динамических задачах.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Ломаная с равномерным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.240), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего выберите направление воздействия (X, Y, Z, UX, UY, UZ).

Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек, Время начала, Шаг во времени и Величину нагрузки.**

После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 2.241).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

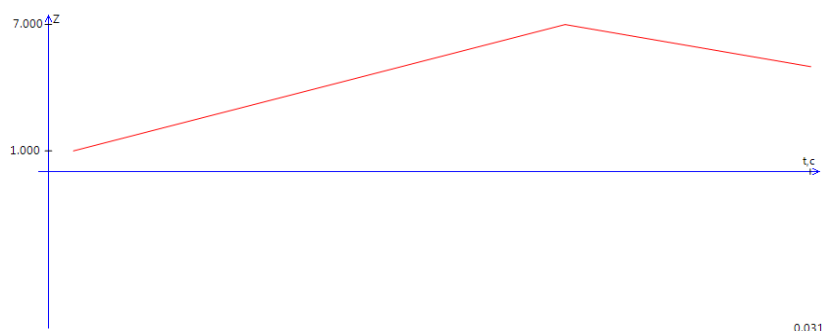


Рис. 2.241. График ломаной

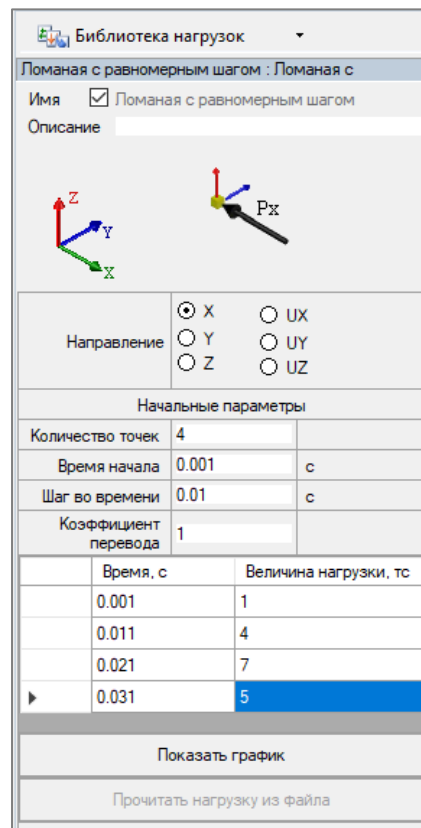


Рис. 2.240. Ломаная с равномерным шагом

▪ **Сейсмограмма (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.242), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего выберите направление воздействия (X, Y, Z).

Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек, Время начала, Шаг во времени, Время и Величину нагрузки.**

После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 2.243).

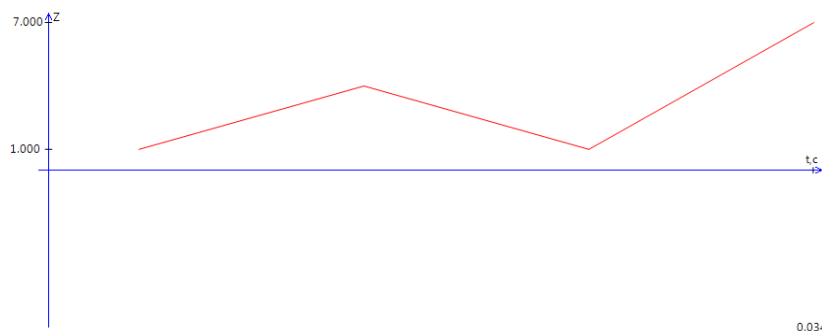


Рис. 2.243. График сейсмограммы

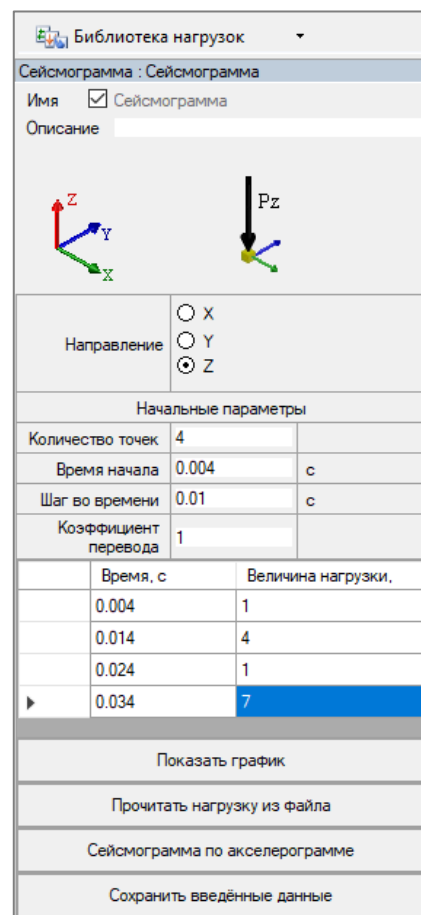


Рис. 2.242. Сейсмограмма



С помощью **Коэффициента перевода** (коэффициента нагрузки) можно изменить уже заданные величины нагрузки на кратную величину.

Также можно прочесть нагрузку из уже существующих файлов, получить сейсмограмму по имеющейся акселерограмме (см. п. 13.1.3) или сохранить введенные данные в отдельный файл, для повторного использования в динамических задачах.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Заданная температура в узле с равномерным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.244), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек**, **Время начала**, **Шаг во времени**, **Время** и **Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график.

С помощью **Коэффициента перевода** (коэффициента нагрузки) можно изменить уже заданные величины нагрузки на кратную величину.

При активированном флажке **Учитывать как приращение**, величина нагрузки будет учтена, как сумма начальной температуры и указанного прироста.

Также можно прочесть нагрузку из уже существующих файлов или сохранить введенные данные в отдельный файл, для повторного использования в динамических задачах.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Сосредоточенный тепловой поток с равномерным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.245), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек**, **Время начала**, **Шаг во времени**, **Время** и **Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график.

С помощью **Коэффициента перевода** (коэффициента нагрузки) можно изменить уже заданные величины нагрузки на кратную величину.

Также можно прочесть нагрузку из уже существующих файлов или сохранить введенные данные в отдельный файл, для повторного использования в динамических задачах.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

The screenshot shows a software dialog box titled 'Библиотека нагрузок' (Library of loads). The selected option is 'Заданная температура в узле с равномерным шагом' (Specified temperature in node with uniform step). The dialog includes fields for 'Имя' (Name) and 'Описание' (Description), with a checked checkbox for 'Заданная температура в узле с равномерным шагом'. Below these are 'Начальные параметры' (Initial parameters) in a table:

Начальные параметры		
Количество точек	0	
Время начала	0	с
Шаг во времени	0.01	с
Коэффициент перевода	1	

At the bottom, there are two columns: 'Время, с' (Time, s) and 'Величина нагрузки, Δt °C' (Load magnitude, Δt °C). The dialog features several buttons: 'Показать график' (Show graph), 'Прочитать нагрузку из файла' (Read load from file), 'Сохранить введенные данные' (Save entered data), a checked checkbox for 'Учитывать как приращение' (Consider as increment), and a 'Назначить >>>' (Assign >>>) button.

Рис. 2.244. Заданная температура в узле с равномерным шагом

- **Заданная температура в узле с произвольным шагом (загрузка Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.246), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек, Время и Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график.

При установленном флажке **Учитывать как приращение** величина нагрузки будет учтена как сумма начальной температуры и указанного прироста.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

- **Сосредоточенный тепловой поток с произвольным шагом (загрузка Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.247), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек, Время и Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

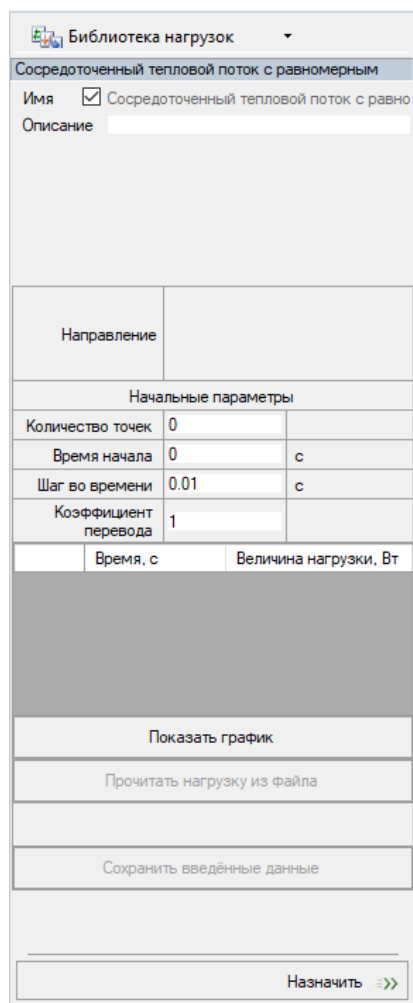


Рис. 2.245. Сосредоточенный тепловой поток с равномерным шагом

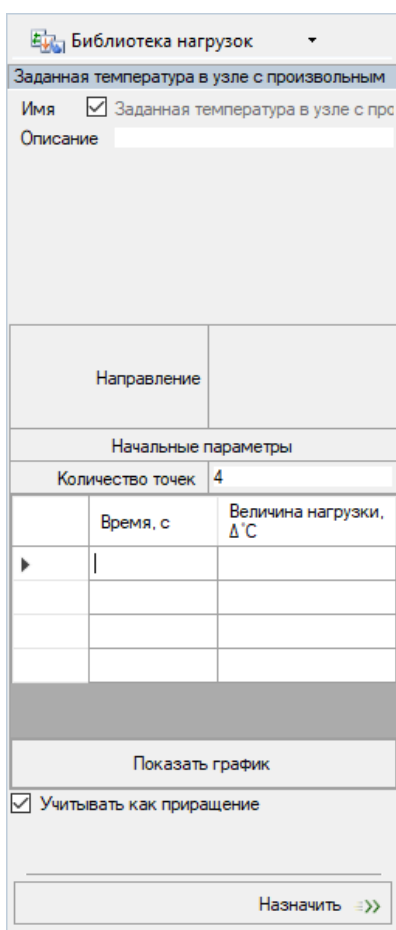


Рис. 2.246. Заданная температура в узле с произвольным шагом

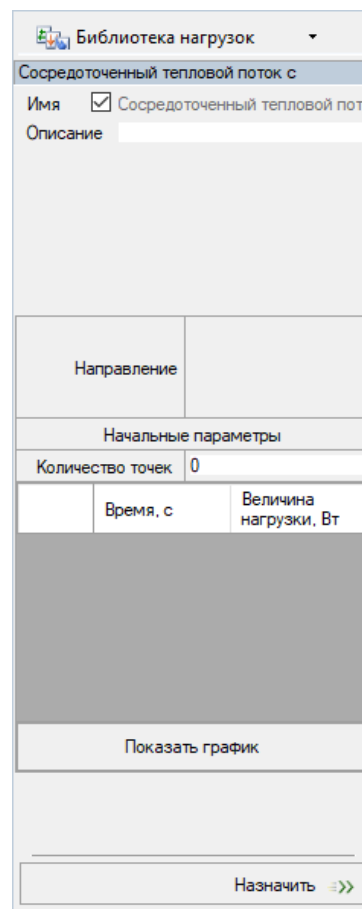


Рис. 2.247. Сосредоточенный тепловой

поток с произвольным  
шагом

▪ **Заданная температура в узле (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.248), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте температуру в узле (введя значение в текстовую строку). Величина температуры отображается в установленных единицах измерения.

При установленном флажке **Учитывать как приращение** величина нагрузки будет учтена как сумма начальной температуры и указанного прироста.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Сосредоточенный тепловой поток (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.249), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте мощность теплового потока в узле (введя значение в текстовую строку). Величина потока отображается в установленных единицах измерения. Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Давление жидкости для фильтрации (загрузка Стадия нелинейного нагружения с расчетом фильтрации)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.250), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте давление жидкости в узле. Величина давления отображается в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

Рис. 2.248. Заданная температура в узле

Рис. 2.249. Сосредоточенный тепловой поток

Рис. 2.250. Давление жидкости для фильтрации

▪ **Импульсная нагрузка** (загружение **Импульсное воздействие**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.252), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте форму импульса (рис. 2.251), значение дополнительной узловой массы, время действия одного импульса, период повторения, количество повторений, направление воздействия и величину силы импульса. Величины отображаются в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Ударная нагрузка** (загружение **Ударное воздействие**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.253), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте форму удара (рис. 2.251), вес ударяющего тела, время действия одного удара, период повторения, количество повторений, направление воздействия и величину силы удара. Величины отображаются в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

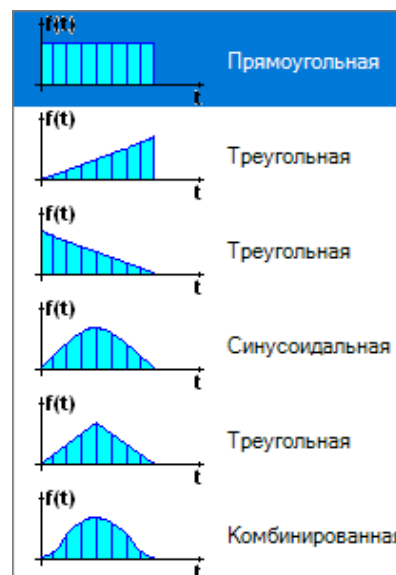


Рис. 2.251. Формы воздействия

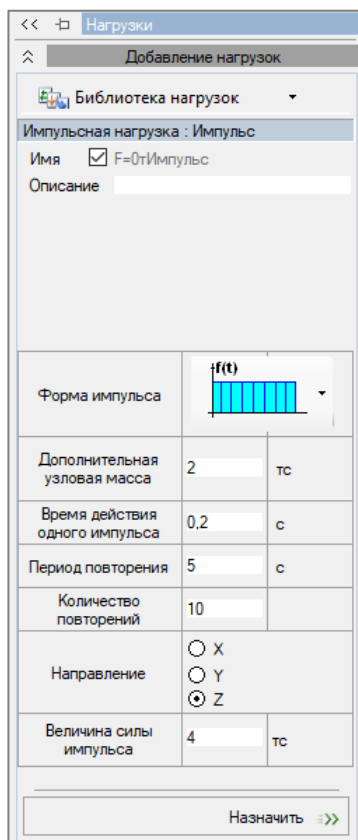


Рис. 2.252. Импульсная нагрузка

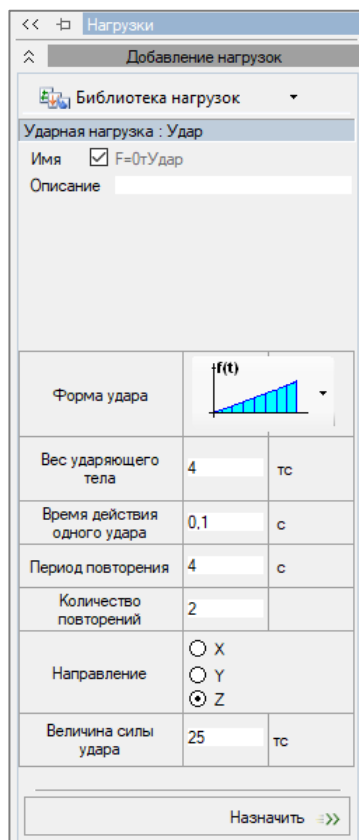


Рис. 2.253. Ударная нагрузка

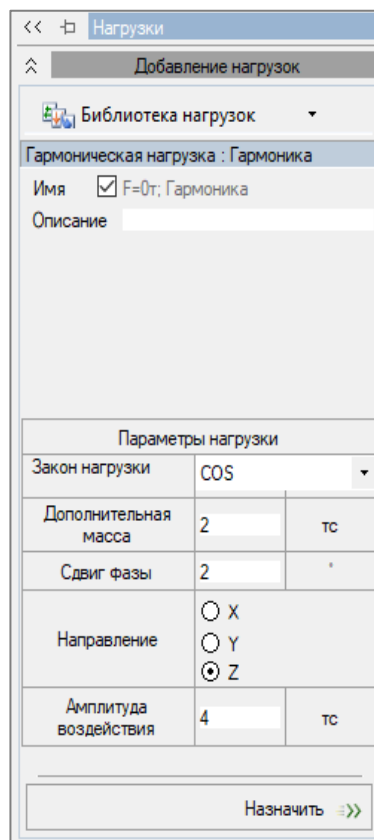


Рис. 2.254. Гармоническая нагрузка

- **Гармоническая нагрузка (загружение Гармоническое воздействие)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.254), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте закон нагрузки (Sin или Cos), значение дополнительной массы, сдвиг фазы, направление воздействия и амплитуду воздействия. Величины отображаются в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий узел и нажать кнопку **Назначить**.

#### Нагрузка на одноузловой элемент:

- **Температура окружающей среды (загружение Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.255), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего нужно задать температуру окружающей среды. Нагрузка назначается на одноузловой КЭ 151. Величина температуры отображается в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

- **Температура окружающей среды с равномерным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.256), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек, Время начала, Шаг во времени, Время и Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график.

С помощью **Коэффициента перевода** (коэффициента нагрузки) можно изменить уже заданные величины нагрузки на кратную величину.

Также можно прочесть нагрузку из уже существующих файлов или сохранить введенные данные в отдельный файл, для повторного использования в динамических задачах. Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

- **Температура окружающей среды с произвольным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.257), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для построения графика задайте начальные параметры: **Количество точек, Время и Величину нагрузки**. После нажатия кнопки **Показать график** в отдельном диалоговом окне будет построен график.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

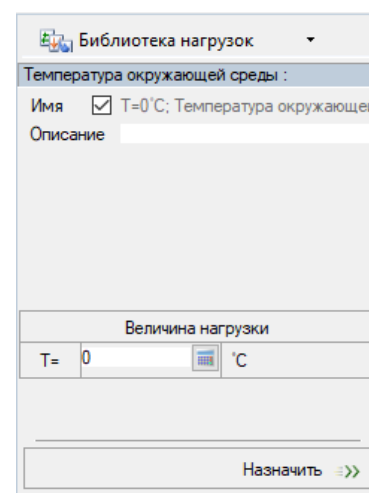


Рис. 2.255. Температура окружающей среды

Библиотека нагрузок

Температура окружающей среды с равномерным

Имя  Температура окружающей среды с равн

Описание

Направление

Начальные параметры

Количество точек	0	
Время начала	0	с
Шаг во времени	0.01	с
Козфициент перевода	1	

Время, с	Величина нагрузки, °C

Показать график

Прочитать нагрузку из файла

Сохранить введенные данные

Назначить =>>

Рис. 2.256. Температура окружающей среды с равномерным шагом

Библиотека нагрузок

Температура окружающей среды с

Имя  Температура окружающей сред

Описание

Направление

Начальные параметры

Количество точек	0
------------------	---

Время, с	Величина нагрузки, °C

Показать график

Назначить =>>

Рис. 2.257. Температура окружающей среды с произвольным шагом

### Нагрузки на стержень:

- **Сосредоточенная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.258), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину силы (**P**) и привязку ее к первому узлу стержня (расстояние **A** от первого узла). При наличии жестких вставок расстояние измеряется от начала гибкой части. Допускается задание этой нагрузки на жесткие вставки. Также при помощи ввода значений в текстовую строку задаются эксцентриситеты **dY** и **dZ**.

Для применения сосредоточенной силы нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

### ▪ Сосредоточенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.259), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения сосредоточенного момента, прилагаемого в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину момента ( $M$ ) и его привязку к началу стержня (расстояние  $A$  от первого узла). При наличии жестких вставок расстояние  $A$  измеряется от начала гибкой части. Допускается задание этой нагрузки на жесткие вставки.

Для применения сосредоточенного момента нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

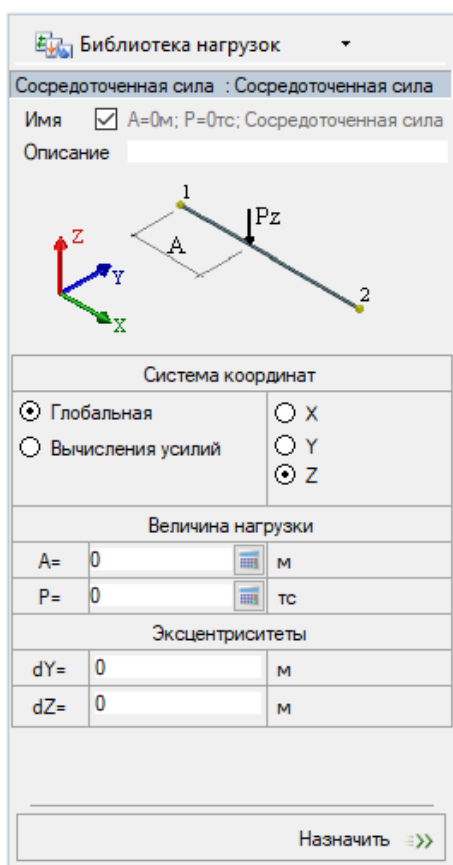


Рис. 2.258. Сосредоточенная сила

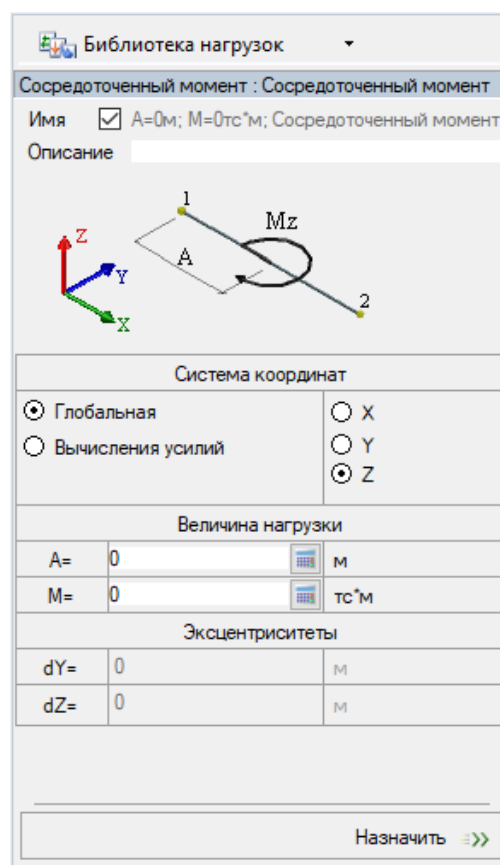


Рис. 2.259. Сосредоточенный момент

### ▪ Равномерно распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.260), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня (исключая жесткие вставки), необходимо в диалоговом окне ввести ее интенсивность ( $P$ ). Чтобы действие нагрузки распространялось также и на жесткую вставку (в случае если ее проекция удлиняет гибкую часть), нужно установить флажок в соответствующем поле. Эксцентриситеты  $dY$  и  $dZ$  задаются путем ввода значений в текстовую строку.

Для применения силы нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Равномерно распределенный момент**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.261), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня, необходимо в диалоговом окне задать величину момента ( $M$ ). Чтобы действие нагрузки распространялось также и на жесткую вставку (в случае если ее проекция удлиняет гибкую часть), нужно установить флажок в соответствующем поле.

Для применения равномерно распределенного момента нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

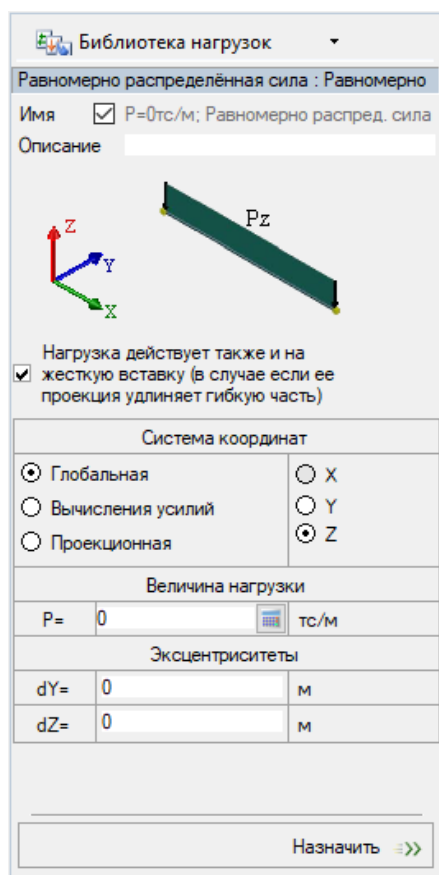


Рис. 2.260. Равномерно распределенная сила

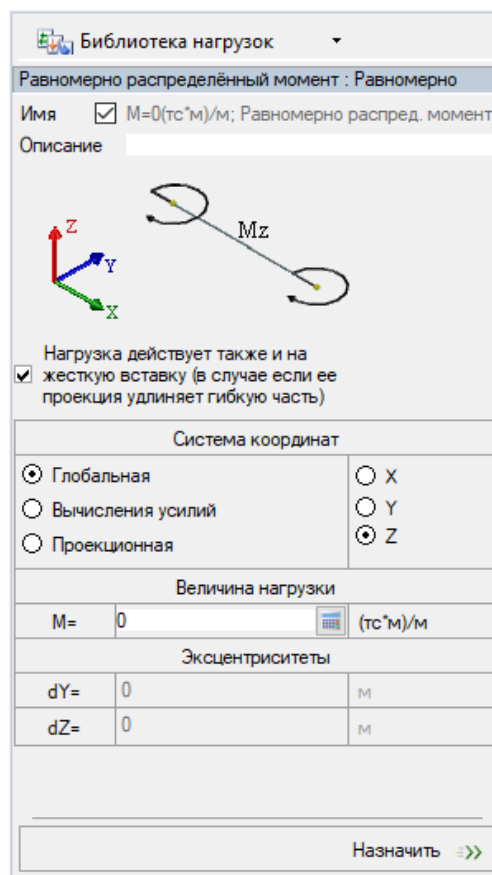


Рис. 2.261. Равномерно распределенный момент

▪ **Трапецевидная распределенная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.262), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения трапецевидной нагрузки необходимо в диалоговом окне задать интенсивности нагрузки в начале и в конце ее приложения ( $P1$  и  $P2$ ), а также их привязку к первому узлу стержня (расстояния от первого узла  $A1$  и  $A2$ ). При наличии жестких вставок расстояния  $A1$  и  $A2$  измеряются от начала гибкой части.

Для применения трапецевидной распределенной силы нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.



### ▪ Трапецевидный распределенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.263), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня (включая и жесткие вставки), необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента в начале и в конце приложения ( $M1$ ,  $M2$ ), а также его привязку к первому узлу стержня (расстояния от первого узла  $A1$  и  $A2$ ). При наличии жестких вставок расстояния  $A1$  и  $A2$  измеряются от начала гибкой части.

Для применения трапецевидного распределенного момента нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

Библиотека нагрузок

Трапецевидная распределённая сила : Трапец.

Имя  A1=0м; P1=0тс/м; A2=0м; P2=0тс/м; Трап

Описание

Система координат

Глобальная  X

Вычисления усилий  Y

Проекционная  Z

Величина нагрузки

A1= 0 м

P1= 0 тс/м

A2= 0 м

P2= 0 тс/м

Эксцентриситеты

dY= 0 м

dZ= 0 м

Назначить =>>

Рис. 2.262. Трапецевидная распределенная сила

Библиотека нагрузок

Трапецевидный распределённый момент : Трапец.

Имя  A1=0м; M1=0(тс\*м)/м; A2=0м; M2=0(тс\*м)/

Описание

Система координат

Глобальная  X

Вычисления усилий  Y

Проекционная  Z

Величина нагрузки

A1= 0 м

M1= 0 (тс\*м)/м

A2= 0 м

M2= 0 (тс\*м)/м

Эксцентриситеты

dY= 0 м

dZ= 0 м

Назначить =>>

Рис. 2.263. Трапецевидный распределенный момент

### ▪ Равномерный нагрев (охлаждение)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.264), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для задания равномерного нагрева стержня в диалоговом окне назначается изменение температуры ( $T$ ).

При наличии жестких вставок эта нагрузка воздействует только на гибкую часть стержня.

Для применения равномерного нагрева нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Температурный изгиб**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.265), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для задания температурного изгиба стержня в диалоговом окне назначаются: изменение температуры в верхнем волокне (**T1**), изменение температуры в нижнем волокне (**T2**), расстояние между верхним и нижним волокнами (**L**). Также необходимо задать направление перепада вдоль местной оси: **Y1**, **Z1** (при помощи раскрывающего списка).

При наличии жестких вставок эта нагрузка воздействует только на гибкую часть стержня.

Для применения равномерного нагрева нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

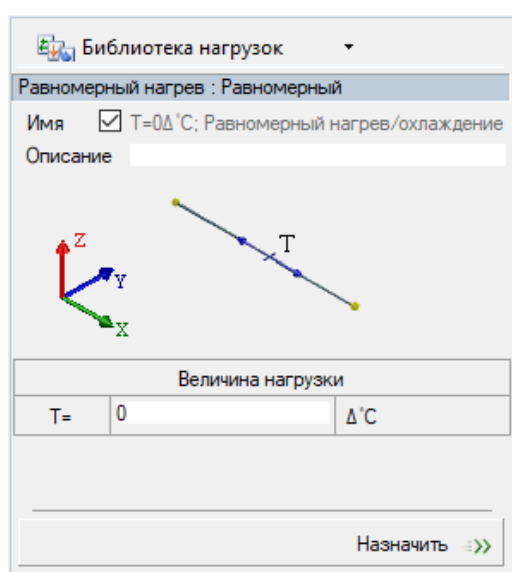


Рис. 2.264. Равномерный нагрев (охлаждение)

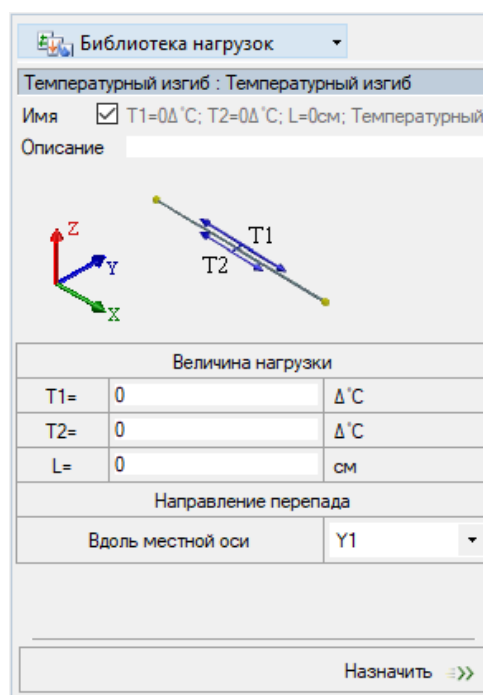


Рис. 2.265. Температурный изгиб

▪ **Натяжение/Домкрат (нелинейное загрузжение)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.266), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения натяжения необходимо в диалоговом окне задать величину силы натяжения (**P**).

Для применения натяжения нужно выделить требуемый стержень и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Вес динамической массы (загрузжение Динамика во времени)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.267), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне ввести величину динамической массы (**P**). Чтобы действие нагрузки распространялось также и на жесткую вставку (в случае если ее проекция удлиняет гибкую часть), необходимо установить

соответствующий флажок. Для применения динамической массы нужно выделить требуемый стержень и нажать кнопку **Назначить**.

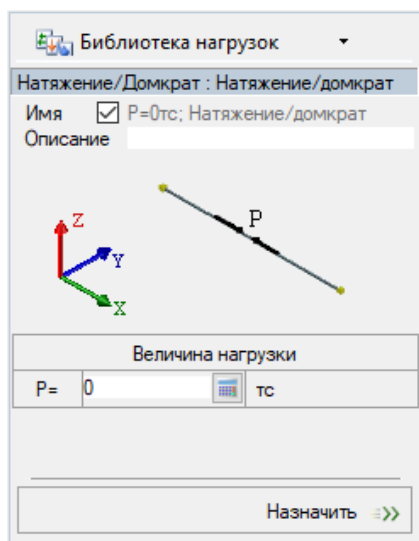


Рис. 2.266. Натяжение/Домкрат

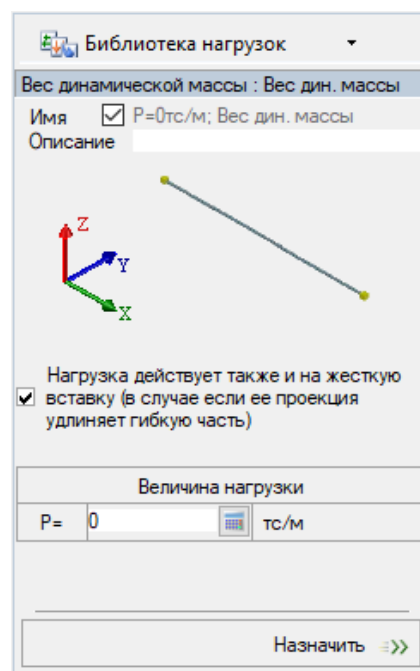


Рис. 2.267. Вес динамической массы

- **Температура окружающей среды с равномерным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.256).

- **Температура окружающей среды с произвольным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.257).

- **Сосредоточенный тепловой поток (загружение Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.268), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать мощность теплового потока ( $Q$ ) и привязку ее к первому узлу стержня (расстояние  $A$  от первого узла). При наличии жестких вставок расстояние  $A$  измеряется от начала гибкой части. Задание этой нагрузки на жесткие вставки не допускается.

Для применения равномерного нагрева нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

- **Равномерно распределенный тепловой поток (загружение Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.269), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой по всей длине стержня (исключая жесткие вставки), необходимо в диалоговом окне ввести интенсивность потока ( $Q$ ). Чтобы действие нагрузки распространялось также и на жесткую вставку (в случае если ее проекция удлиняет гибкую часть), нужно установить флажок в соответствующем поле.

Для применения теплового потока нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

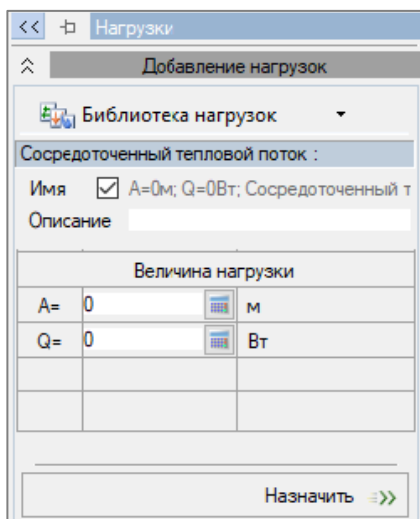


Рис. 2.268. Сосредоточенный тепловой поток

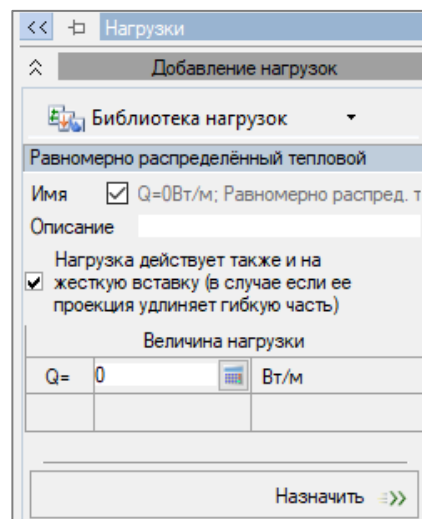


Рис. 2.269. Равномерно распределенный тепловой поток

- **Неравномерно распределенный тепловой поток (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.270), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения неравномерного потока необходимо в диалоговом окне задать интенсивности потока в начале и в конце его приложения (**Q1** и **Q2**), а также их привязку к первому узлу стержня (расстояния от первого узла **A1** и **A2**). При наличии жестких вставок расстояния **A1** и **A2** измеряются от начала гибкой части. Для применения теплового потока нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

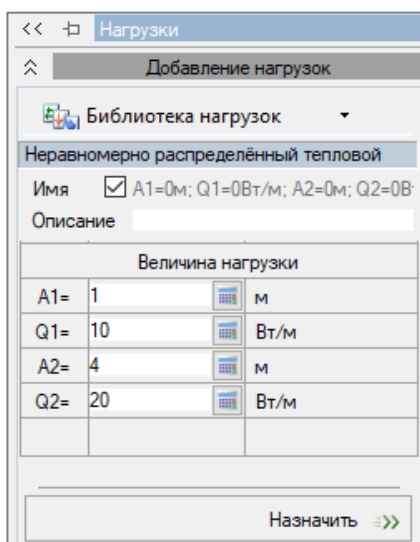


Рис. 2.270. Неравномерно распределенный тепловой поток

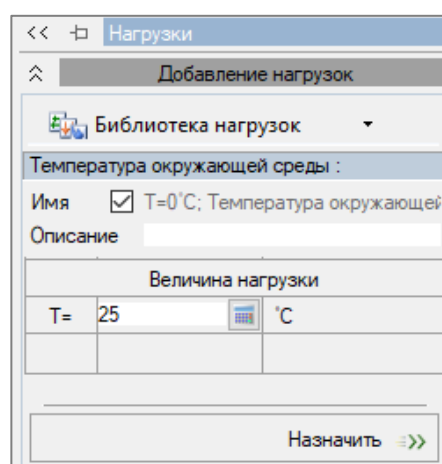


Рис. 2.271. Температура окружающей среды

- **Температура окружающей среды (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.271), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего нужно задать температуру окружающей среды. Нагрузка назначается на стержневой КЭ 168. Величина температуры отображается в установленных единицах измерения. Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий стержень и нажать кнопку **Назначить**.

### Нагрузки на пластину:

#### ▪ Сосредоточенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.272), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину силы (**P**) и ее привязки (**A**) и (**B**) в местной или глобальной системе координат. Затем нужно задать эксцентриситет **dZ** приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения силы нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

Библиотека нагрузок

Сосредоточенная сила : Сосредоточенная

Имя  P=0тс; Сосредоточенная сила

Описание

Система координат

Глобальная  X

Локальная  Y

Выравнивания  Z

Величина нагрузки

A= 0 м

B= 0 м

P= 0 тс

Эксцентриситеты

dZ= 0 м

Назначить =>>

Рис. 2.272. Сосредоточенная сила

Библиотека нагрузок

Сосредоточенный момент : Сосредоточенный

Имя  M=0тс\*м; Сосредоточенный момент

Описание

Система координат

Глобальная  X

Локальная  Y

Выравнивания  Z

Величина нагрузки

A= 0 м

B= 0 м

M= 0 тс\*м

Эксцентриситеты

dZ= 0 м

Назначить =>>

Рис. 2.273. Сосредоточенный момент

#### ▪ Сосредоточенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.273), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения сосредоточенного момента, прилагаемого в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину момента (**M**) и его привязки (**A**) и (**B**) в местной или глобальной системе координат.

Для применения момента нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Равномерно распределенная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.274), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**P**). Затем нужно задать эксцентриситет **dZ** приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения силы нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Равномерно распределенный момент**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.275), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента (**M**).

Для применения момента нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

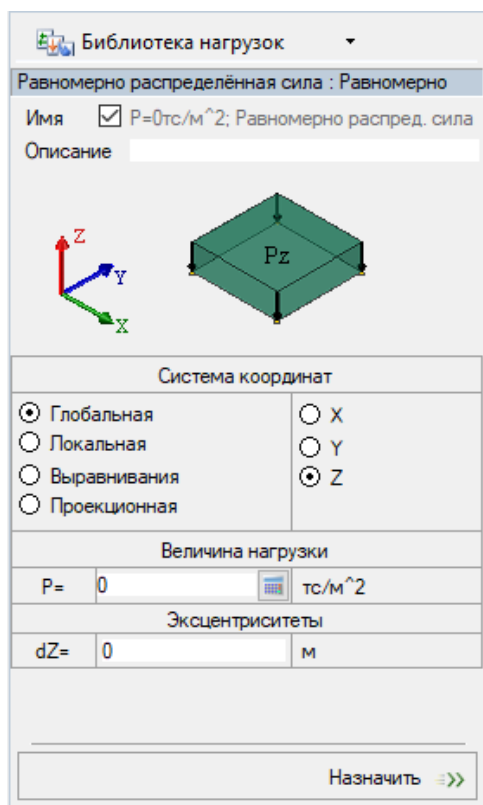


Рис. 2.274. Равномерно распределенная сила

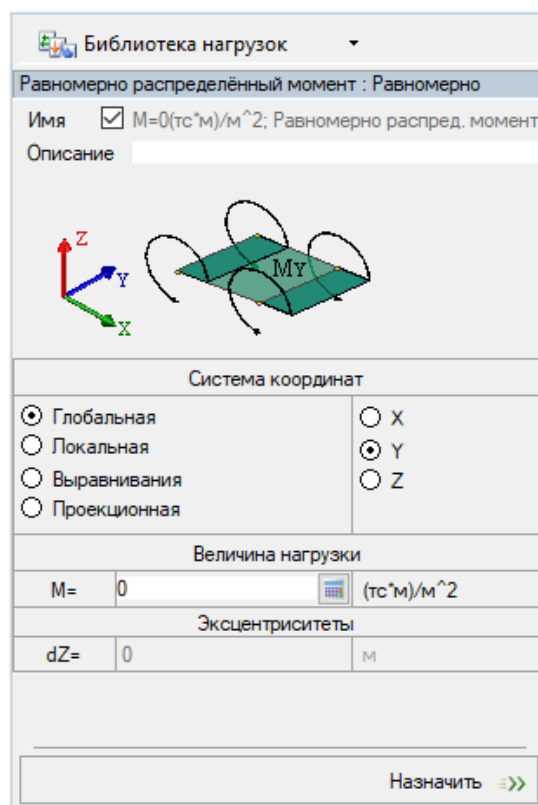


Рис. 2.275. Равномерно распределенный момент

#### ▪ Трапециевидная распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.276), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения трапециевидной нагрузки необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность в вершинах элемента (**P1**, **P2**, **P3** и **P4**). Затем нужно задать эксцентриситет **dZ** приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения силы нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

#### ▪ Трапециевидный распределенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.277), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента в вершинах элемента (**M1**, **M2**, **M3** и **M4**).

Для применения момента нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

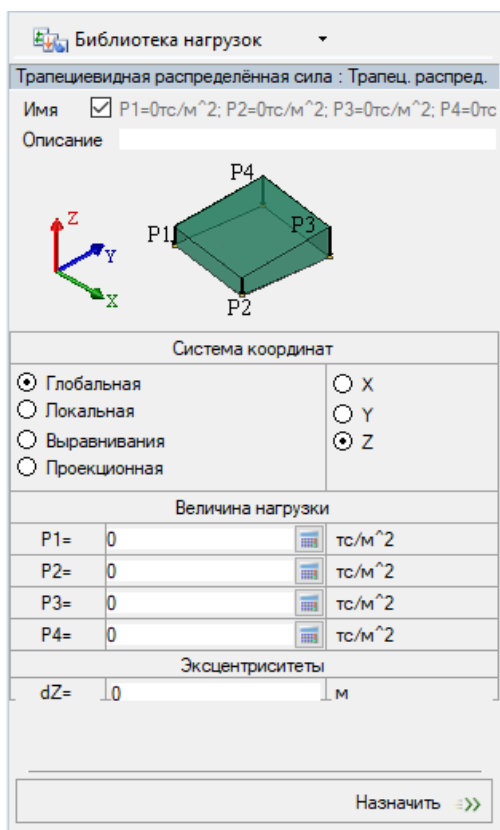


Рис. 2.276. Трапециевидная распределенная сила

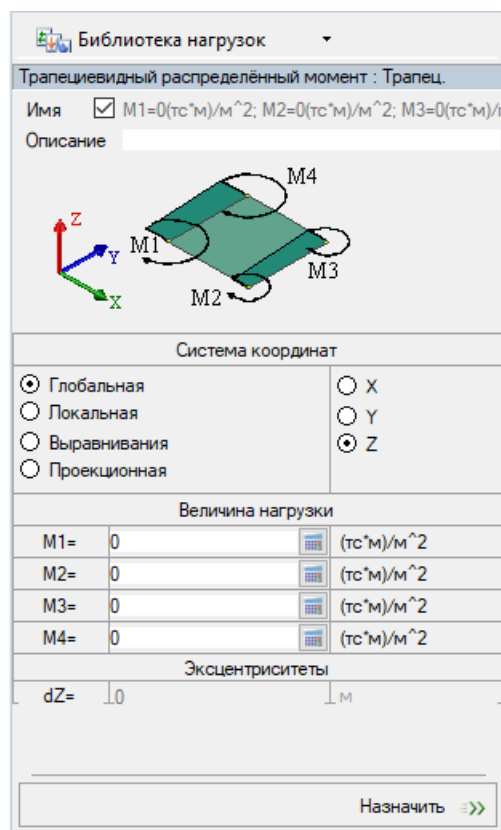


Рис. 2.277. Трапециевидный распределенный момент



### ▪ Произвольная трапецевидная распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.278), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать координаты точек и интенсивность силы, после чего нажать кнопку **Добавить**. Точки задаются расстоянием относительно базового узла КЭ. Эту операцию нужно провести для всех точек полигона нагрузки. Затем нужно задать эксцентриситет  $dZ$  приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

### ▪ Произвольный трапецевидный распределенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.279), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать координаты точек и интенсивность момента, после чего нажать кнопку **Добавить**. Эту операцию нужно провести для всех точек полигона нагрузки.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

Библиотека нагрузок

Произвольная трапецевидная распределённая сила : Про

Имя  Произвольная трапец. распредел. сила

Описание

Система координат

Глобальная  X

Локальная  Y

Выравнивания  Z

Проекционная

Эксцентриситеты

dZ=  м

Величина нагрузки

X1  Y1  P

X1 (м)	Y1 (м)	P (тс/м)

Рис. 2.278. Произвольная трапецевидная распределенная сила

Библиотека нагрузок

Произвольный трапецевидный распределённый момент :

Имя  Произвольный трапец. распредел. момент

Описание

Система координат

Глобальная  X

Локальная  Y

Выравнивания  Z

Проекционная

Эксцентриситеты

dZ=  м

Величина нагрузки

X1  Y1  M=

X1 (м)	Y1 (м)	M ((тс*м)/м)

Рис. 2.279. Произвольный трапецевидный распределенный момент

▪ **Равномерный нагрев (охлаждение)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.280), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Нагрузка моделирует действие температуры по полю конечного элемента во всех направлениях или вдоль одной из местных осей ортотропии ( $X1$ ,  $Y1$ ).

В диалоговом окне необходимо задать величину изменения температуры  $T$ .

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Температурный изгиб**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.281), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Нагрузка моделирует действие температуры по элементу во всех направлениях или вдоль одной из местных осей ортотропии ( $X1$ ,  $Y1$ ).

В диалоговом окне задаются следующие величины:

$T1$  — равномерный по толщине температурный нагрев (охлаждение);

$T2$  — разность температур между верхней (вдоль оси  $Z1$ ) и нижней (против оси  $Z1$ ) поверхностями.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

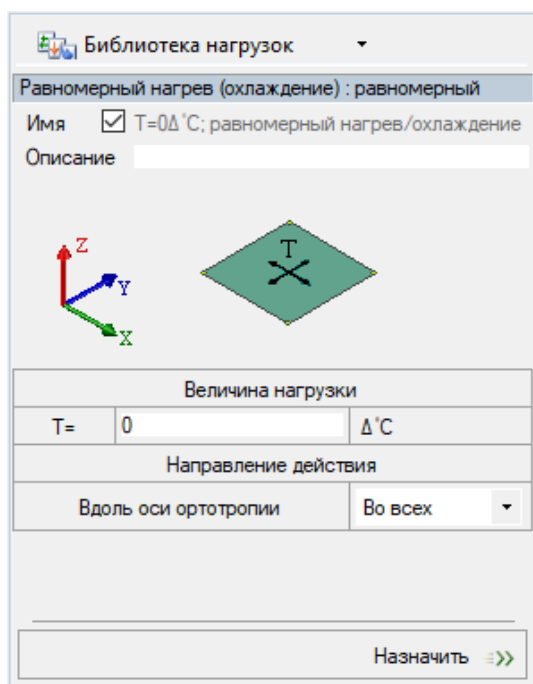


Рис. 2.280. Равномерный нагрев (охлаждение)

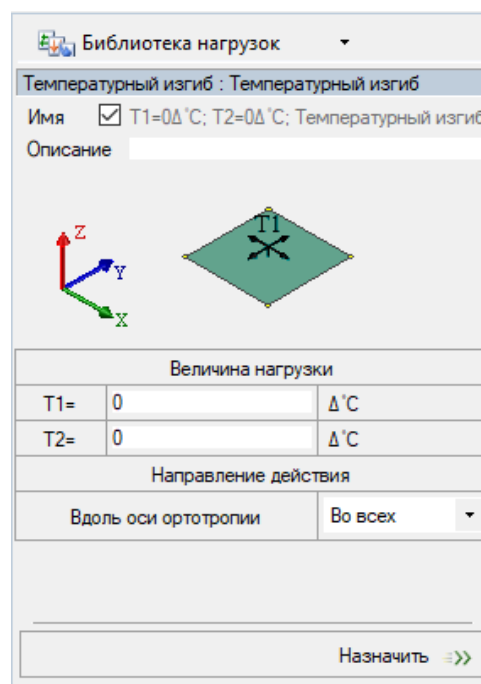


Рис. 2.281. Температурный изгиб

▪ **Равномерно распределенная сила по линии**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.282), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей. Допускается нагрузка на сторону и по диагонали. Чтобы задать нагрузку, необходимо отметить не только требуемый элемент, но и те его узлы, между которыми нужно приложить нагрузку.

Для задания равномерной нагрузки на сторону пластины в диалоговом окне необходимо указать значение нагрузки ( $P$ ), а также при помощи установки флажка указать номера узлов КЭ пластины, между которыми прикладывается равномерно распределенная сила. Затем нужно задать эксцентриситет  $dZ$  приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения силы нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

#### ▪ Равномерно распределенный момент по линии

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.283), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей. Допускается нагрузка на сторону и по диагонали. Для задания этой нагрузки необходимо отметить не только требуемый элемент, но и те его узлы, между которыми нужно приложить нагрузку.

Для задания равномерно распределенного момента на сторону пластины в диалоговом окне необходимо указать значение момента ( $M$ ) и номера узлов КЭ пластины, между которыми прикладывается равномерно распределенный момент.

Для применения момента нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.



Библиотека нагрузок

Равномерно распределённая сила по линии : Равномерно

Имя  P=0(тс/м; Равномерно распред. сила по линии

Описание

Система координат

Глобальная  X

Локальная  Y

Выравнивания  Z

Проекционная

Величина нагрузки

P= 0 тс/м

Номера узлов

Узел №1

Узел №2

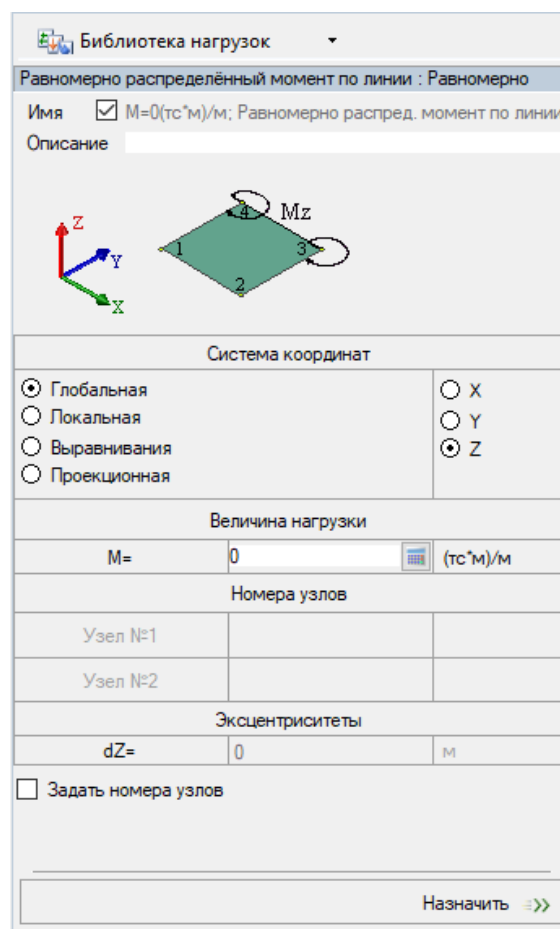
Эксцентриситеты

dZ= 0 м

Задать номера узлов

Назначить =>>

Рис. 2.282. Равномерно распределенная сила по линии



Библиотека нагрузок

Равномерно распределённый момент по линии : Равномерно

Имя  M=0(тс\*м)/м; Равномерно распред. момент по линии

Описание

Система координат

Глобальная  X

Локальная  Y

Выравнивания  Z

Проекционная

Величина нагрузки

M= 0 (тс\*м)/м

Номера узлов

Узел №1

Узел №2

Эксцентриситеты

dZ= 0 м

Задать номера узлов

Назначить =>>

Рис. 2.283. Равномерно распределенный момент по линии

▪ **Трапецевидная распределенная сила по линии**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.284), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей. Допускается нагрузка на сторону и по диагонали. Для задания этой нагрузки необходимо отметить не только требуемый элемент, но и те его узлы, между которыми нужно приложить нагрузку.

Для задания трапецевидной распределенной силы на сторону пластины в диалоговом окне необходимо указать значения нагрузок ( $P1$ ,  $P2$ ) и номера узлов КЭ пластины, между которыми прикладывается трапецевидная распределенная сила. Затем нужно задать эксцентриситет  $dZ$  приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения силы нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

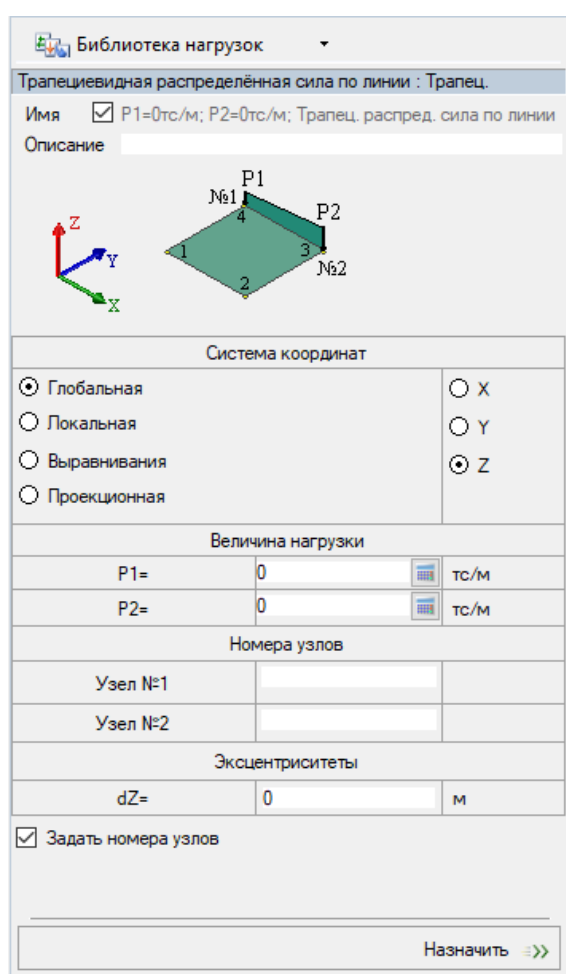


Рис. 2.284. Трапецевидная распределенная сила по линии

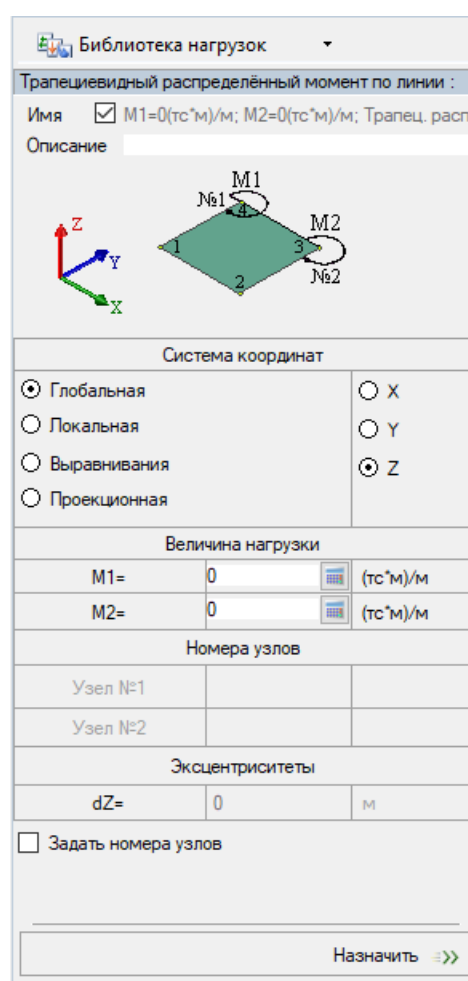


Рис. 2.285. Трапецевидный распределенный момент по линии

▪ **Трапецевидный распределенный момент по линии**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.285), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей. Допускается нагрузка на сторону и по диагонали.

Для задания этой нагрузки необходимо отметить не только требуемый элемент, но и те его узлы, между которыми нужно приложить нагрузку.

Для задания трапециевидного распределенного момента на сторону пластины в диалоговом окне необходимо указать значения моментов ( $M1$ ,  $M2$ ) и номера узлов КЭ пластины, между которыми прикладывается трапециевидный распределенный момент.

Для применения момента нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Вес динамической массы**  
(загрузка **Динамика во времени**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.286), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для применения динамической массы нужно задать величину силы ( $P$ ), выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Сосредоточенный тепловой поток**  
(загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.287), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать мощность теплового потока ( $Q$ ) и его привязки ( $A$ ) и ( $B$ ) в местной или глобальной системе координат.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

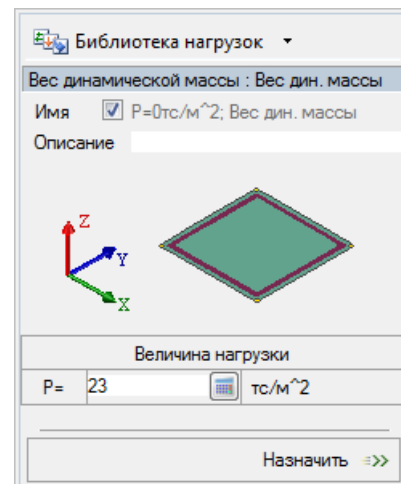


Рис. 2.286. Вес динамической массы

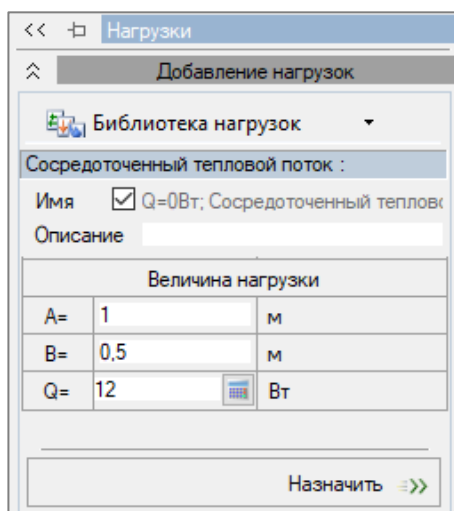


Рис. 2.287. Сосредоточенный тепловой поток

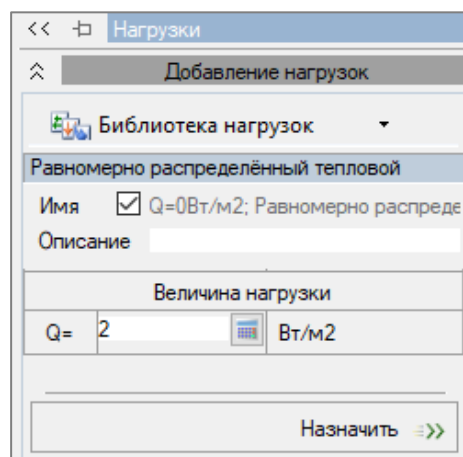


Рис. 2.288. Равномерно распределенный тепловой поток

- **Равномерно распределенный тепловой поток** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.288), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**Q**).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Неравномерно распределенный тепловой поток** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.289), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения неравномерного потока необходимо в диалоговом окне задать его плотность во всех узлах элемента (**Q1**, **Q2**, **Q3** и **Q4**).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Равномерно распределенный тепловой поток по линии** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.290), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Чтобы задать нагрузку, необходимо отметить не только требуемый элемент, но и те его узлы, между которыми нужно приложить нагрузку.

Для задания равномерного теплового потока на сторону пластины в диалоговом окне необходимо указать значение нагрузки (**Q**), а также путем установки флажка указать номера узлов КЭ пластины, между которыми прикладывается равномерно распределенный тепловой поток.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

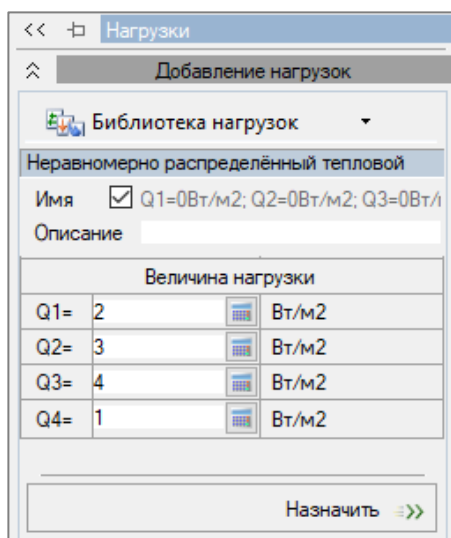


Рис. 2.289. Неравномерно распределенный тепловой поток

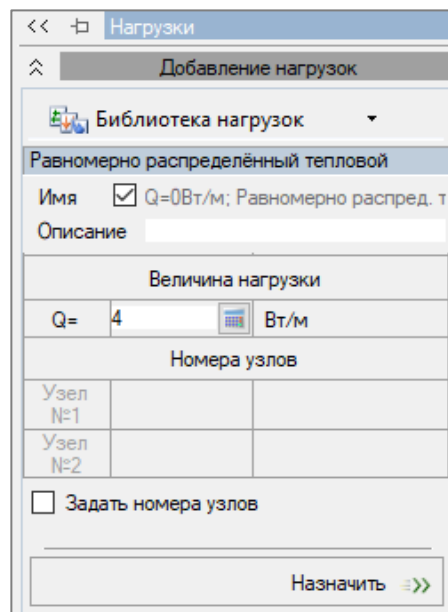


Рис. 2.290. Равномерно распределенный тепловой поток по линии

- **Неравномерно распределенный тепловой поток по линии (загружение Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.291), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Чтобы задать нагрузку, следует отметить не только требуемый элемент, но и те его узлы, между которыми нужно приложить нагрузку.

Для задания неравномерного теплового потока на сторону пластины в диалоговом окне необходимо указать значения нагрузок ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ), а также путем установки флажка указать номера узлов КЭ пластины, между которыми прикладывается неравномерно распределенный тепловой поток.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую пластину и нажать кнопку **Назначить**.

- **Температура окружающей среды (загружение Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.292), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

После чего нужно задать температуру окружающей среды. Нагрузка назначается на пластинчатый КЭ 162,164. Величина температуры отображается в установленных единицах измерения.

Для применения равномерного нагрева нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

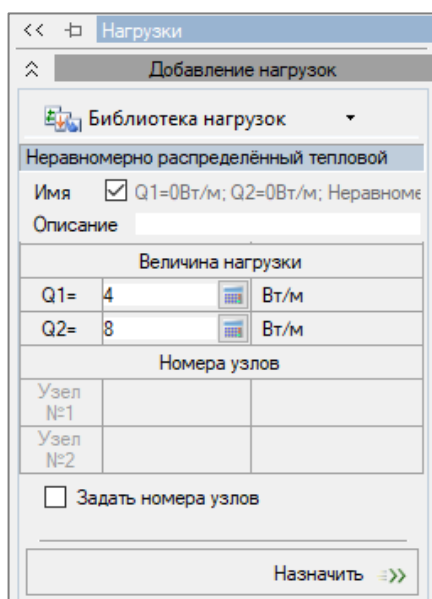


Рис. 2.291. Неравномерно распределенный тепловой поток по линии

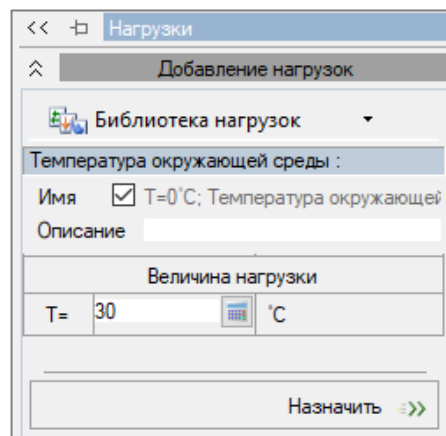


Рис. 2.292. Температура окружающей среды

- **Температура окружающей среды с равномерным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.256).

- **Температура окружающей среды с произвольным шагом (загружение Динамическая нагрузка (узловые силы))**

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.257).

## Нагрузки на объемные КЭ:

### ▪ Сосредоточенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.293), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину силы ( $P$ ) и ее привязки к сторонам объемного КЭ ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) в местной или глобальной системе координат. Для применения силы нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

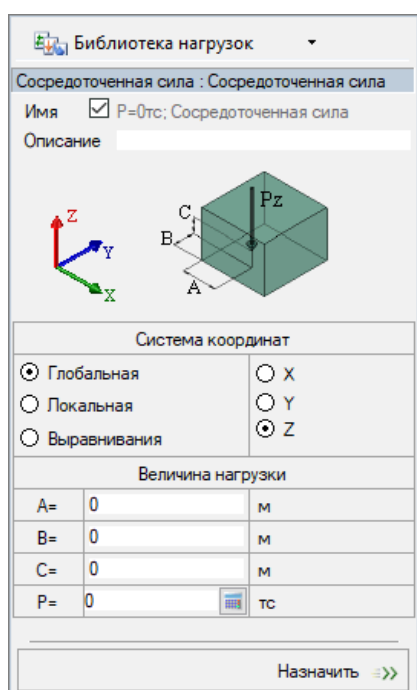


Рис. 2.293. Сосредоточенная сила

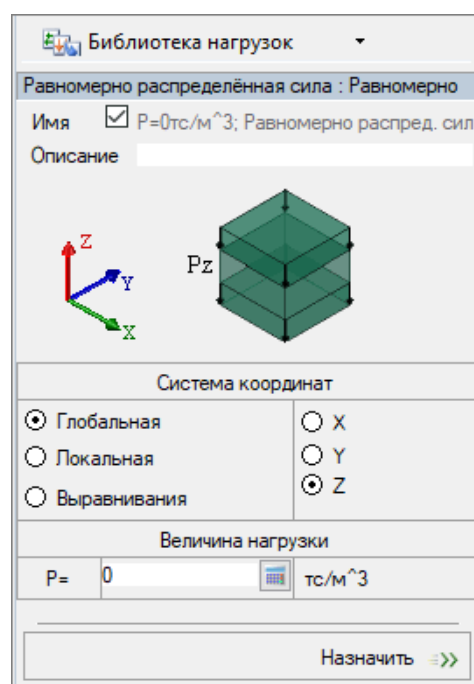


Рис. 2.294. Равномерно распределенная сила

### ▪ Равномерно распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.294), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задать систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения равномерно распределенной силы необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность ( $P$ ).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

### ▪ Равномерно распределенная сила на грань

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.295), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задать систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для задания нагрузки можно выбрать грань по выделенным узлам (при помощи установки флажка в соответствующем поле) или указать номер соответствующей грани. Порядок нумерации граней обусловлен нумерацией узлов объемного КЭ.



Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по одной из граней объемного КЭ, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**P**).

Для применения силы нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

- **Равномерный нагрев (охлаждение)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.296), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Далее задайте величину температуры (**T**). Нагрузка моделирует действие температуры во всех направлениях или вдоль одной из местных осей ортотропии (**X1**, **Y1**, **Z1**).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

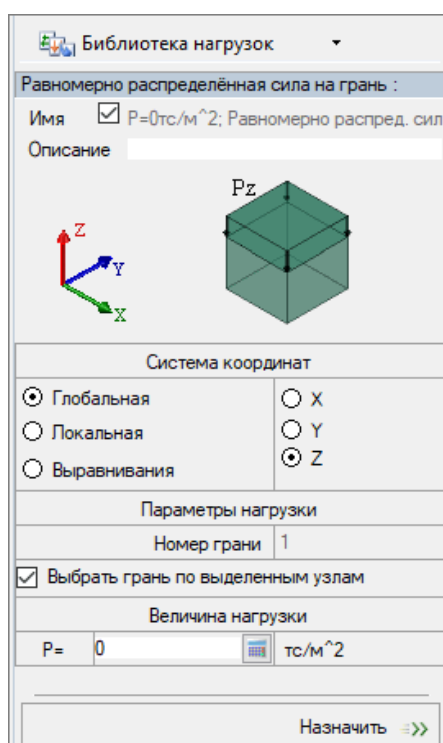


Рис. 2.295. Равномерно распределенная сила на грань

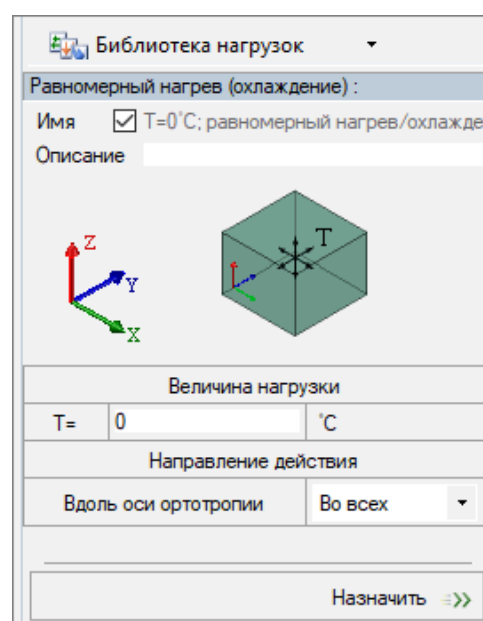


Рис. 2.296. Равномерный нагрев (охлаждение)

- **Вес динамической массы (загрузка Динамика во времени)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.297), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки необходимо задать величину силы (**P**), выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

- **Сосредоточенный тепловой поток (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.298), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать мощность теплового потока (**Q**), а также его привязки (**A**, **B**, **C**) в местной или глобальной системе координат.

Для применения нагрузки нужно выделить элемент и нажать кнопку **Назначить**.

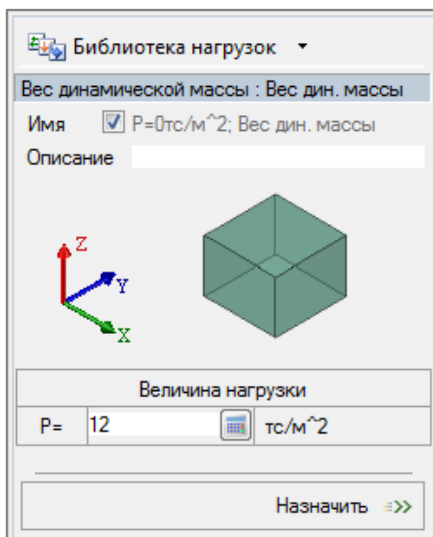


Рис. 2.297. Вес динамической массы

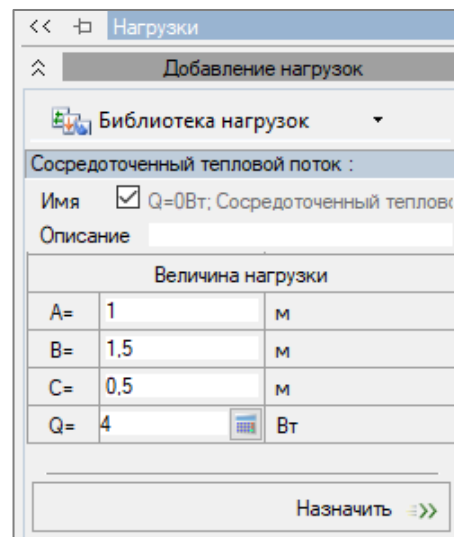


Рис. 2.298. Сосредоточенный тепловой поток

- **Равномерно распределенный тепловой поток (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.299), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). Для назначения этой нагрузки следует в диалоговом окне задать ее плотность ( $Q$ ). Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

- **Равномерно распределенный тепловой поток на грань (загрузка Вычисление температурного поля)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.300), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для задания нагрузки можно выбрать грань по выделенным узлам (путем установки соответствующего флажка) или указать номер требуемой грани. Порядок нумерации граней обусловлен нумерацией узлов объемного КЭ.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по одной из граней объемного КЭ, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность ( $Q$ ). Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

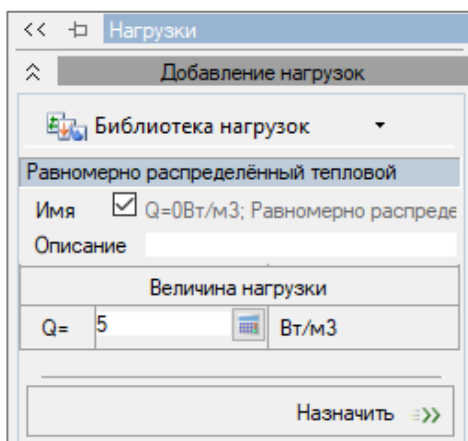


Рис. 2.299. Равномерно распределенный тепловой поток

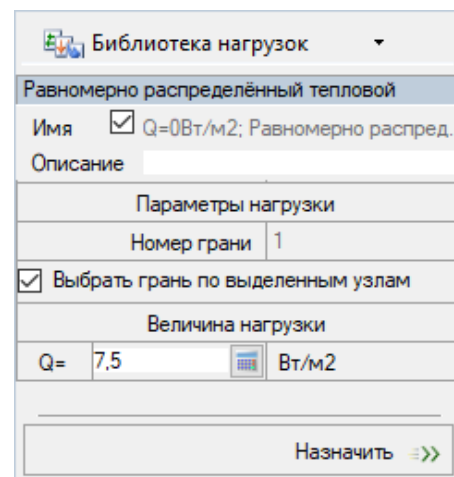


Рис. 2.300. Равномерно распределенный тепловой поток на грань

## Нагрузки на архитектурный стержень:

### ▪ Равномерно распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.301), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

В случае, если приложенная нагрузка действует также и на жесткие вставки, установите соответствующий флажок.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность ( $P$ ).

Для задания эксцентриситетов  $dY$ ,  $dZ$  необходимо ввести значения в текстовую строку.

Далее нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

### ▪ Равномерно распределенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.302), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Чтобы действие нагрузки распространялось также и на жесткую вставку (в случае, если ее проекция удлиняет гибкую часть), нужно установить соответствующий флажок.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня, необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента ( $M$ ), выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

Рис. 2.301. Равномерно распределенная сила

Рис. 2.302. Равномерно распределенный момент

▪ **Сосредоточенная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.303), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину силы (**P**) и привязку ее к первому узлу стержня (расстояние **A** от первого узла). При наличии жестких вставок расстояние **A** измеряется от начала гибкой части. Допускается задание этой нагрузки на жесткие вставки.

Также можно задать эксцентриситеты **dY**, **dZ** путем ввода значений в текстовую строку. Для применения силы нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Сосредоточенный момент**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.304), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения сосредоточенного момента, прилагаемого в одной точке, необходимо в диалоговом окне задать величину момента (**M**) и его привязку к началу стержня (расстояние **A** от первого узла).

При наличии жестких вставок расстояние **A** измеряется от начала гибкой части. Допускается задание этой нагрузки на жесткие вставки.

Для применения момента нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

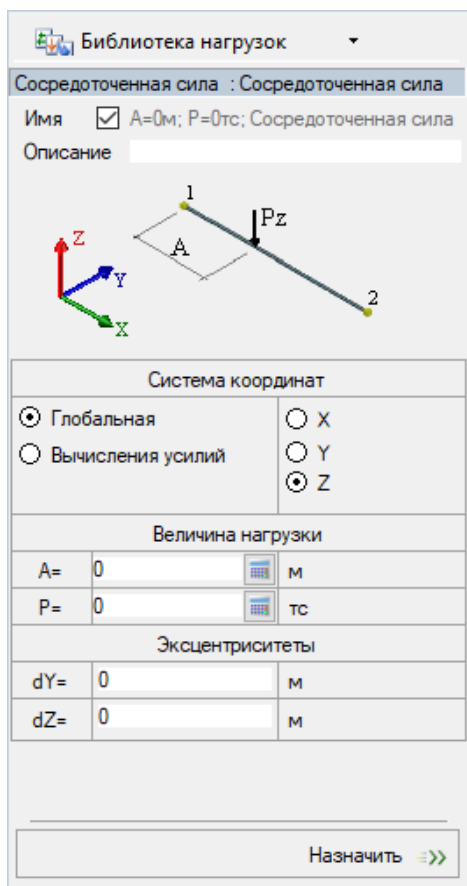


Рис. 2.303. Сосредоточенная сила

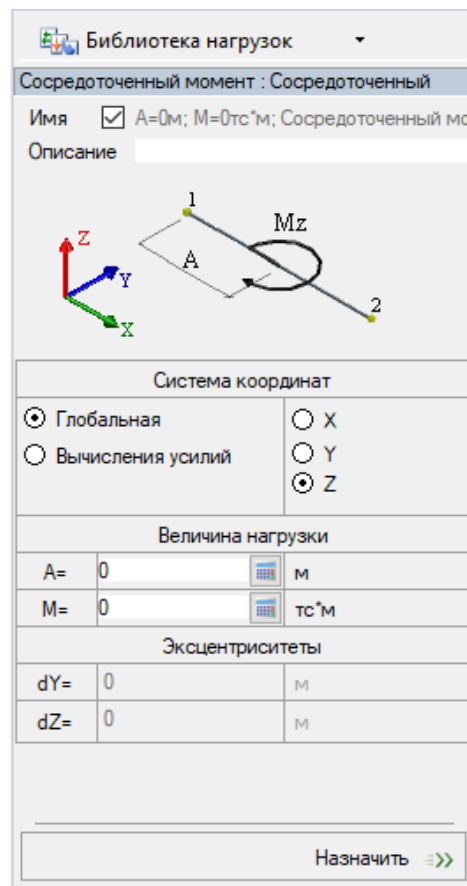


Рис. 2.304. Сосредоточенный момент

### ▪ Трапецевидная распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.305), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения трапецевидной нагрузки необходимо в диалоговом окне задать интенсивность нагрузки в начале и в конце приложения (**P1** и **P2**), а также ее привязку к первому узлу стержня (расстояния от первого узла **A1** и **A2**).

При наличии жестких вставок расстояния **A1** и **A2** измеряются от начала гибкой части.

Также можно задать эксцентриситеты **dY**, **dZ** путем ввода значений в текстовую строку. Для применения распределенной силы нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

Библиотека нагрузок

Трапецевидная распределённая сила : Трапец.

Имя  A1=0м; P1=0тс/м; A2=0м; P2=0тс/м;

Описание

Система координат

Глобальная  X

Вычисления усилий  Y

Проекционная  Z

Величина нагрузки

A1= 0 м

P1= 0 тс/м

A2= 0 м

P2= 0 тс/м

Эксцентриситеты

dY= 0 м

dZ= 0 м

Назначить >>>

Рис. 2.305. Трапецевидная распределенная сила

Библиотека нагрузок

Трапецевидный распределённый момент :

Имя  A1=0м; M1=0(тс\*м)/м; A2=0м; M2=0(тс\*м)/м

Описание

Система координат

Глобальная  X

Вычисления усилий  Y

Проекционная  Z

Величина нагрузки

A1= 0 м

M1= 0 (тс\*м)/м

A2= 0 м

M2= 0 (тс\*м)/м

Эксцентриситеты

dY= 0 м

dZ= 0 м

Назначить >>>

Рис. 2.306. Трапецевидный распределенный момент

### ▪ Трапецевидный распределенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.306), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня (включая и жесткие вставки), необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента в начале и в конце

приложения (**M1**, **M2**), а также его привязку к первому узлу стержня (расстояния от первого узла **A1** и **A2**).

При наличии жестких вставок расстояния **A1** и **A2** измеряются от начала гибкой части.

Для применения распределенного момента нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Равномерный нагрев (охлаждение)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.307), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для задания равномерного нагрева стержня в диалоговом окне назначается изменение температуры (**T**).

При наличии жестких вставок эта нагрузка воздействует только на гибкую часть стержня.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Температурный изгиб**

Для задания температурного изгиба стержня в диалоговом окне (рис. 2.308) назначаются: изменение температуры в верхнем волокне (**T1**), изменение температуры в нижнем волокне (**T2**), расстояние между верхним и нижним волокнами (**L**). Также необходимо задать направление перепада вдоль местной оси: **Y1**, **Z1** (при помощи раскрывающего списка). При наличии жестких вставок эта нагрузка воздействует только на гибкую часть стержня.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

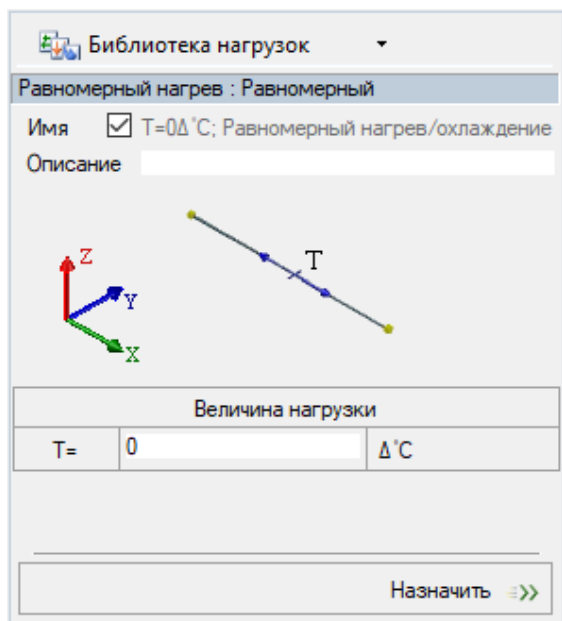


Рис. 2.307. Равномерный нагрев (охлаждение)



Рис. 2.308. Температурный изгиб

- **Вес динамической массы** (загружение **Динамика во времени**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.309), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

В случае, если приложенная нагрузка действует также и на жесткие вставки, нужно установить соответствующий флажок.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**P**), выделить требуемый архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

- **Сосредоточенный тепловой поток**  
(загружение **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.310), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой в одной точке, следует в диалоговом окне задать мощность теплового потока (**Q**) и привязку ее к первому узлу стержня (расстояние **A** от первого узла). При наличии жестких вставок расстояние **A** измеряется от начала гибкой части. Задание этой нагрузки на жесткие вставки не допускается.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

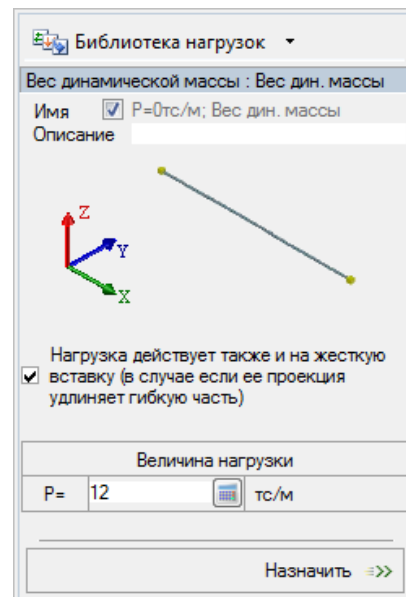


Рис. 2.309. Вес динамической массы

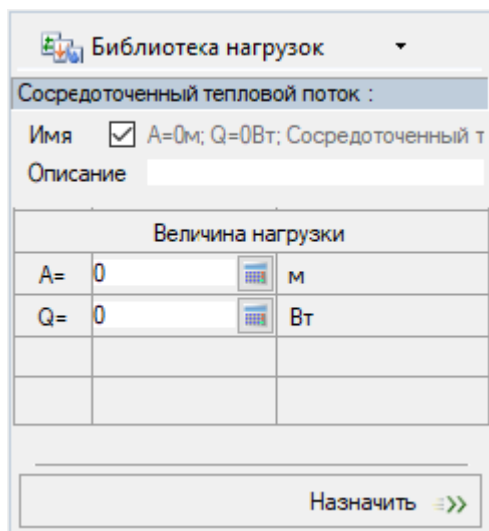


Рис. 2.310. Сосредоточенный тепловой поток

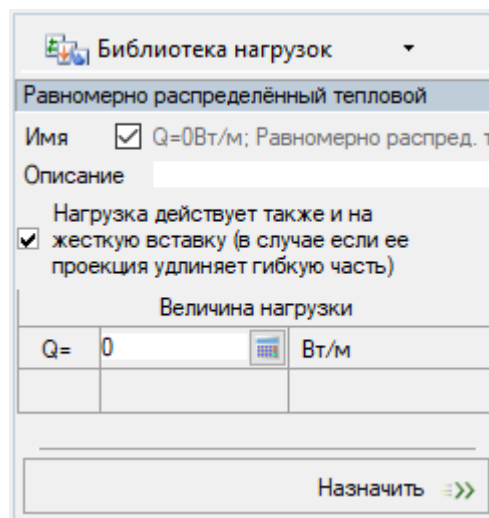


Рис. 2.311. Равномерно распределенный тепловой поток

- **Равномерно распределенный тепловой поток** (загружение **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.311), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей длине стержня (исключая жесткие вставки), необходимо в диалоговом окне ввести ее интенсивность (**Q**).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

- **Неравномерно распределенный тепловой поток** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.312), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения неравномерного потока необходимо в диалоговом окне задать интенсивность потока в начале и в конце его приложения (**Q1** и **Q2**), а также их привязку к первому узлу стержня (расстояния от первого узла **A1** и **A2**). При наличии жестких вставок расстояния **A1** и **A2** измеряются от начала гибкой части.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

- **Температура окружающей среды** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.313), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего нужно задать температуру окружающей среды. Нагрузка назначается на стержневой КЭ 168. Величина температуры отображается в установленных единицах измерения.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующий архитектурный стержень и нажать кнопку **Назначить**.

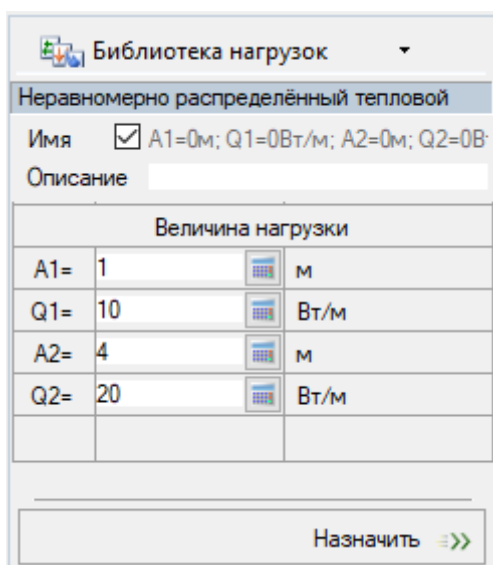


Рис. 2.312. Неравномерно распределенный тепловой поток

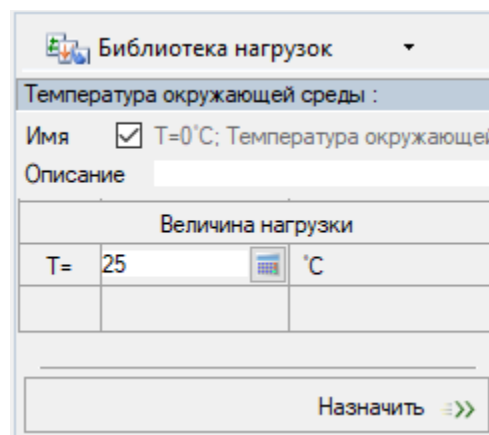


Рис. 2.313. Температура окружающей среды

- **Температура окружающей среды с равномерным шагом** (загрузка **Динамическая нагрузка (узловые силы)**)

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.256).

- **Температура окружающей среды с произвольным шагом** (загрузка **Динамическая нагрузка (узловые силы)**)

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.257).



## Нагрузки на архитектурную пластину:

### ▪ Равномерно распределенная сила

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.314), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**P**), привязку относительно базового узла вдоль выбранной оси **X** (**A**) и привязку относительно базового узла вдоль выбранной оси **Y** (**B**).

Затем нужно задать эксцентриситет **dZ** приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

Рис. 2.314. Равномерно распределенная сила

Рис. 2.315. Равномерно распределенный момент

### ▪ Равномерно распределенный момент

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.315), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения сосредоточенного момента, прилагаемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента (**M**), привязку относительно

базового узла вдоль выбранной оси X (**A**) и привязку относительно базового узла вдоль выбранной оси Y (**B**).

Далее нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Произвольная трапецевидная распределенная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.316), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать координаты точек и интенсивность силы, после чего нажать кнопку **Добавить**. Точки задаются расстоянием относительно базового узла КЭ в выбранной системе координат. Эту операцию нужно провести для всех точек полигона нагрузки.

Затем нужно задать эксцентриситет **dZ** приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

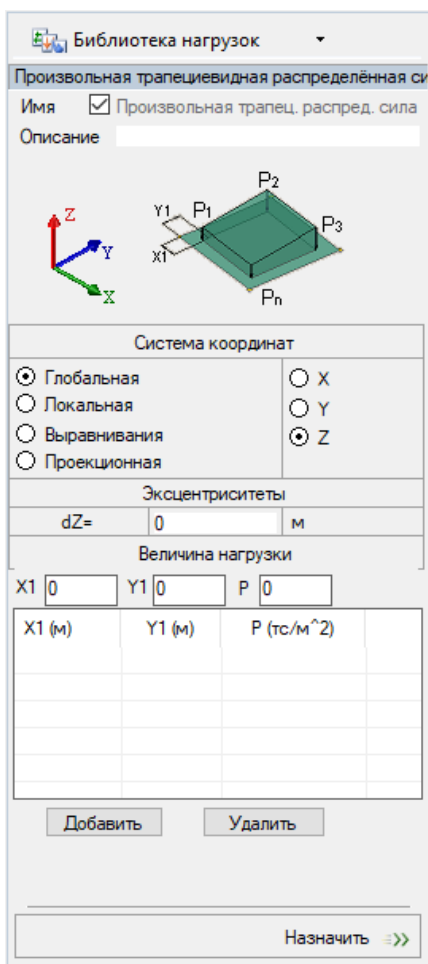


Рис. 2.316. Произвольная трапецевидная распределенная сила

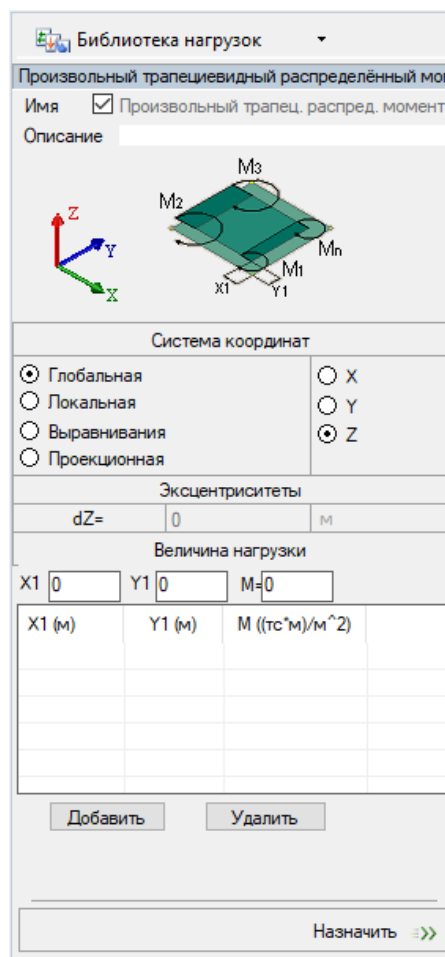


Рис. 2.317. Произвольный трапецевидный распределенный момент

#### ▪ **Произвольный трапециевидный распределенный момент**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.317), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать координаты точек и интенсивность момента, после чего нажать кнопку **Добавить**. Эту операцию нужно провести для всех точек полигона нагрузки.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

#### ▪ **Трапециевидная распределенная сила по линии**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.318), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать координаты точек и интенсивность силы, после чего нажать кнопку **Добавить**. Точки задаются расстоянием относительно базового узла КЭ в выбранной системе координат. Эту операцию нужно провести для всех точек воздействия нагрузки.

Затем нужно задать эксцентриситет **dZ** приложения нагрузки относительно срединной плоскости, чтобы учесть момент от сил, действующих в плоскости пластины.

Для применения силы нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

#### ▪ **Трапециевидный распределенный момент по линии**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.319), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки необходимо в диалоговом окне задать координаты точек и интенсивность момента, после чего нажать кнопку **Добавить**. Эту операцию нужно провести для всех точек воздействия нагрузки.

Для применения момента нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

#### ▪ **Равномерно распределенная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.320), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**P**).

Для применения силы нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

#### ▪ **Равномерно распределенный момент**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.321), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

Для назначения этой нагрузки, прилагаемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать интенсивность момента (**M**).

Для применения момента нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

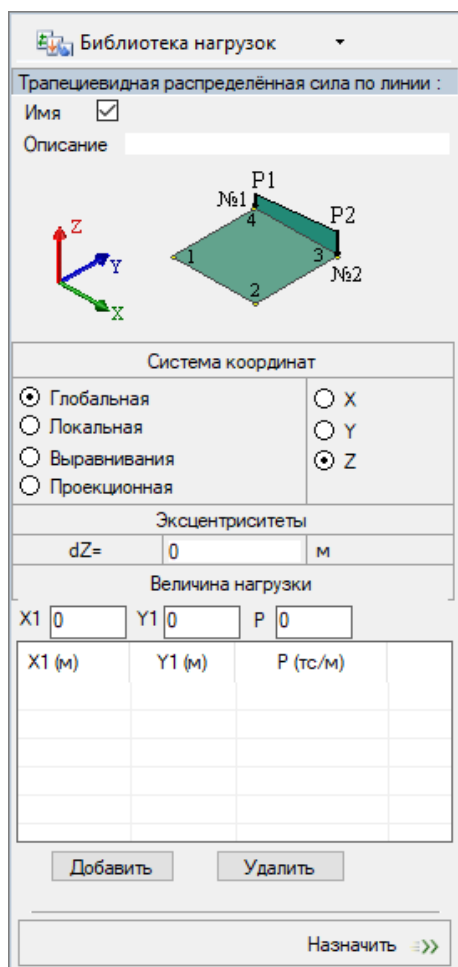


Рис. 2.318. Трапециевидная распределенная сила по линии

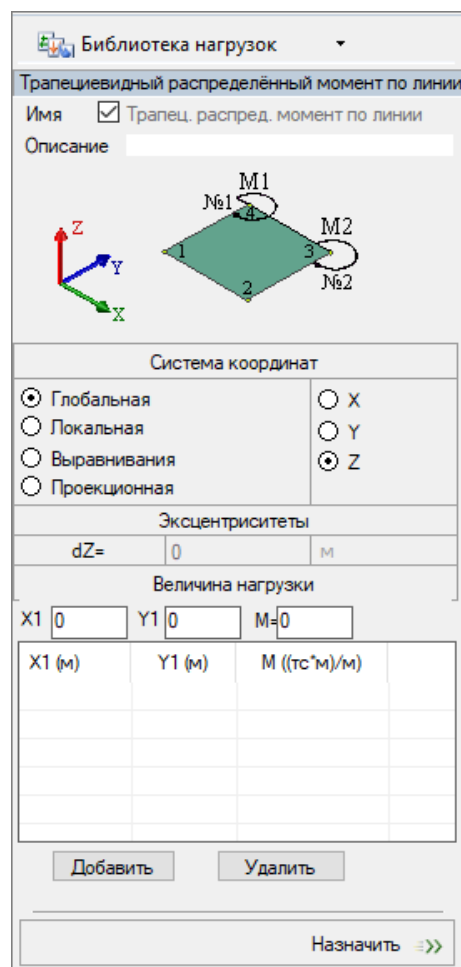


Рис. 2.319. Трапециевидный распределенный момент по линии

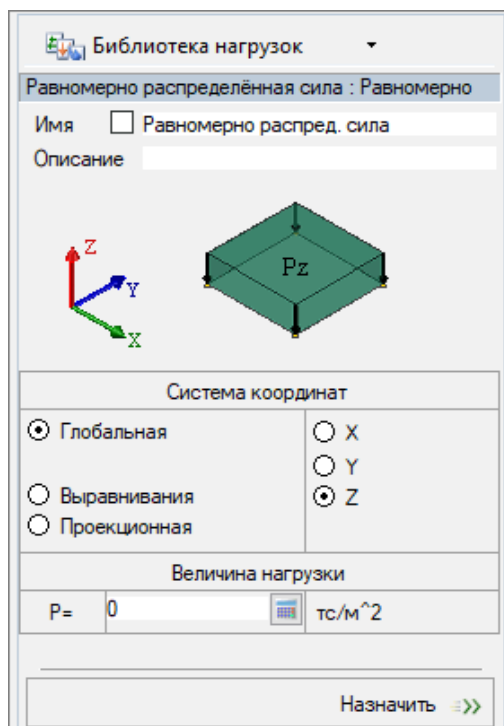


Рис. 2.320. Равномерно распределенная сила

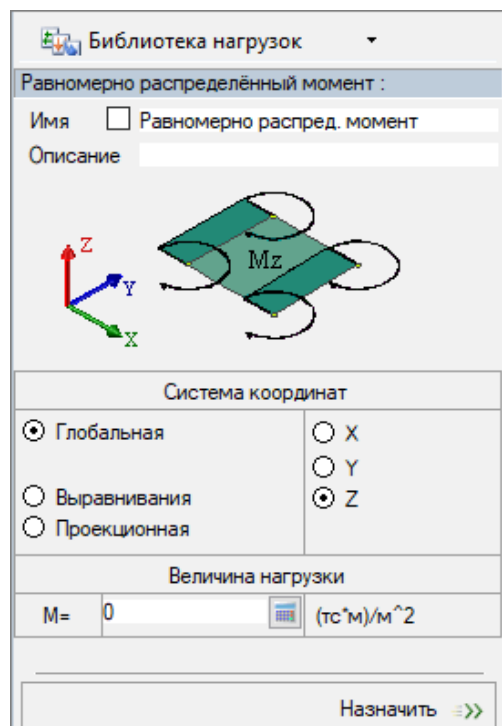


Рис. 2.321. Равномерно распределенный момент

### ▪ **Равномерный нагрев (охлаждение)**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.322), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Нагрузка моделирует действие температуры по полю элемента во всех направлениях или вдоль одной из местных осей ортотропии (**X1**, **Y1**).

В диалоговом окне необходимо задать величину изменения температуры **T**.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

### ▪ **Температурный изгиб**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.323), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Нагрузка моделирует действие температуры по элементу во всех направлениях или вдоль одной из местных осей ортотропии (**X1**, **Y1**).

В диалоговом окне задаются следующие величины:

**T1** — равномерный по толщине температурный нагрев (охлаждение);

**T2** — разность температур между верхней (вдоль оси **Z1**) и нижней (против оси **Z1**) поверхностями.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

Рис. 2.322. Равномерный нагрев (охлаждение)

Рис. 2.323. Температурный изгиб

▪ **Вес динамической массы** (загрузка **Динамика во времени**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.324), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для применения динамической массы нужно задать величину силы (**P**), выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

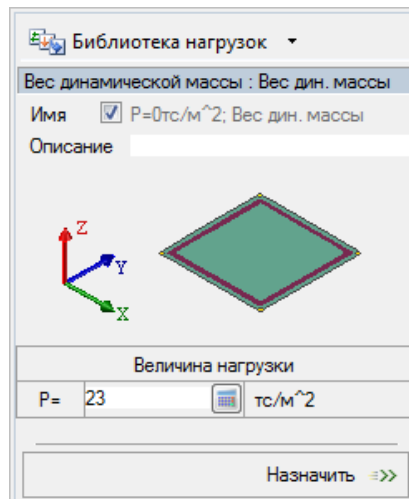


Рис. 2.324. Вес динамической массы

▪ **Равномерно распределенный тепловой поток** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.325), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Для назначения этой нагрузки, прикладываемой по всей площади пластины, необходимо в диалоговом окне задать ее интенсивность (**Q**). Для применения нагрузки нужно выделить соответствующую архитектурную пластину и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Температура окружающей среды** (загрузка **Вычисление температурного поля**)

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.326), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

После чего нужно задать температуру окружающей среды. Нагрузка назначается на пластинчатый КЭ 162,164. Величина температуры отображается в установленных единицах измерения. Для применения равномерного нагрева нужно выделить соответствующий элемент и нажать кнопку **Назначить**.

▪ **Температура окружающей среды с равномерным шагом** (загрузка **Динамическая нагрузка (узловые силы)**)

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.256).

▪ **Температура окружающей среды с произвольным шагом** (загрузка **Динамическая нагрузка (узловые силы)**)

Аналогично соответствующей нагрузке на одноузловой элемент (рис. 2.257).

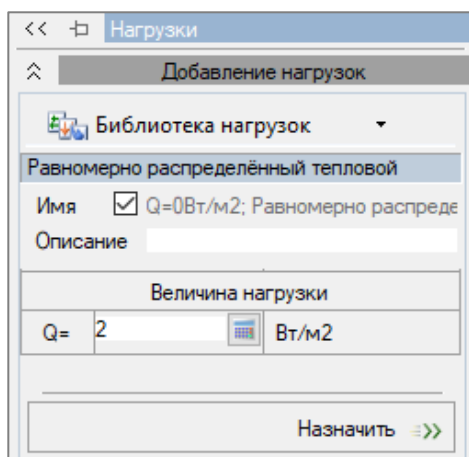


Рис. 2.325. Равномерно распределенный тепловой поток

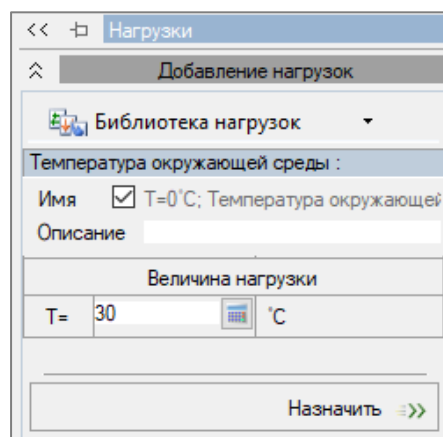


Рис. 2.326. Температура окружающей среды

## Интерактивные нагрузки:

### ▪ Собственный вес

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.327), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

В соответствующем поле ввода нужно задать коэффициент к собственному весу, выбрать направление воздействия (X, Y, Z) и после нажатия кнопки **Назначить** ко всем или к выделенным элементам конструкции будет автоматически приложена равномерно распределенная нагрузка, равная погонному весу элементов.

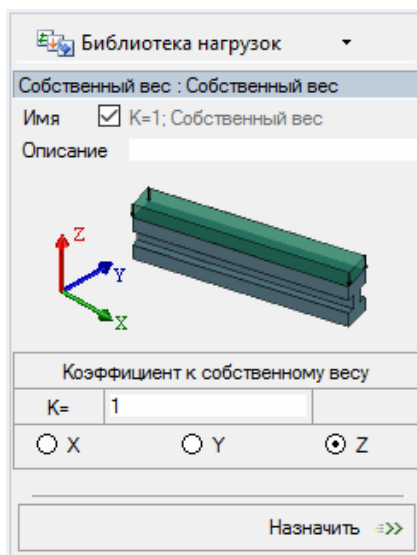


Рис. 2.327. Собственный вес

### ▪ Гололед

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.328), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

В раскрывающемся списке нужно выбрать **Строительные нормы** для задания гололедной нагрузки. Доступны следующие нормы: СНиП 2.01.07-85, СП 20.13330.2011 (СП 20.13330.2016), ДБН В.1.2-2:2006, СП 267.1325800.2016 и СП 296.1325800.2017.

В соответствующем поле ввода нужно указать:

- Вертикальную **Z-координату поверхности земли**.
- **Гололедный район: I, II, III, IV** или **Обследование**.
- **Толщину стенки гололеда (b)** на высоте 10, 200, 300 и 400 метров над поверхностью земли (в зависимости от выбранного района, в таблице будут отображены те или иные параметры толщины стенки гололеда).

- **Периметр (часть) сечения** — периметр сечения, который покрыт гололедом (если установить данный флажок, периметр будет вычислен автоматически из сечения элемента).

- **Коэффициент ( $\mu_2$ )** — отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению, к полной площади поверхности элемента.

- **Коэффициент надежности ( $\gamma_f$ )**.

- **Коэффициент надежности ( $\gamma_a$  п.6.7)** — данная опция доступна при выборе норм СП 296.1325800.2017.

После нажатия кнопки **Назначить** к выделенным стержневым элементам конструкции будет автоматически приложена равномерно распределенная нагрузка, равная гололедной нагрузке.

▪ **Центробежная сила**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.329), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

В соответствующих полях ввода нужно ввести **Параметры нагрузки**:

- угловую скорость  $\omega$ ;
- угловое ускорение  $\epsilon$ ;
- масштабный множитель **К** (во сколько раз изменить вычисленное значение нагрузки).

Также нужно указать координаты **оси вращения**, которая может быть параллельной оси X, оси Y, оси Z или произвольно расположенной.

После нажатия кнопки **Назначить** к выделенным элементам конструкции будет автоматически приложена центробежная нагрузка.

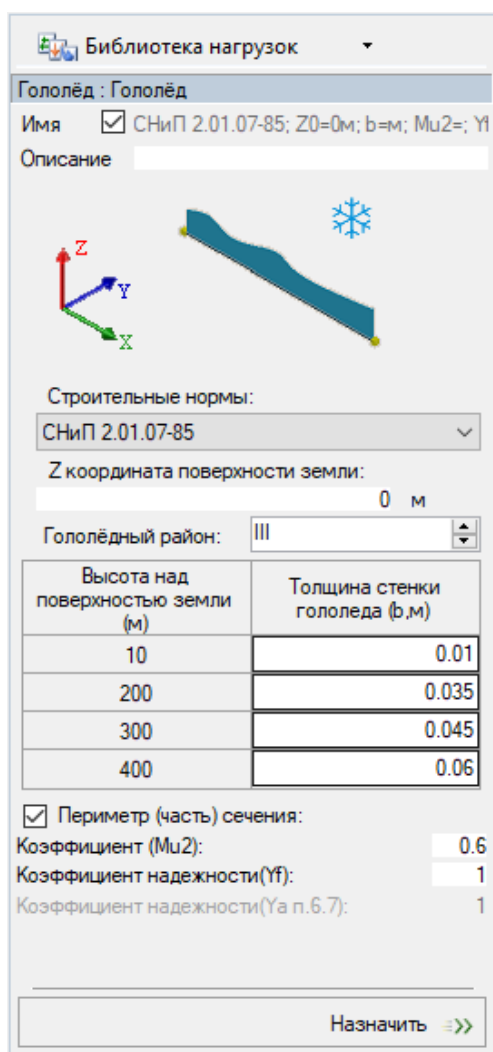


Рис. 2.328. Гололед

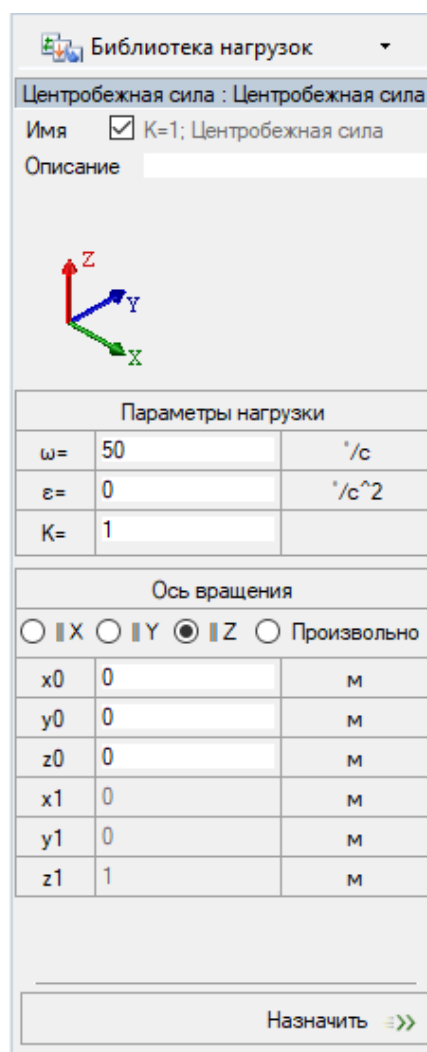


Рис. 2.329. Центробежная сила




## Нагрузки на расчетную схему


Данные нагрузки не привязаны к элементам и являются самостоятельными элементами расчетной схемы. Привязка этих нагрузок осуществляется по пространственным координатам. Данные нагрузки собираются в процессе расчета.

### ▪ Произвольная нагрузка на линию

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.331), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.


В блоке **Параметры нагрузки** с помощью переключателя нужно выбрать тип нагрузки: **Регулярная** или **Нерегулярная**. Если выбран регулярный тип нагрузки, то в окне ввода нужно указать ее интенсивность **P**, а также указать координаты полигона, вводя их в таблице или указывая на сети построения мышью. Если выбран нерегулярный тип нагрузки, то интенсивность нагрузки **P** нужно указывать в таблице для каждой точки.

Кнопка  позволяет автоматически сгенерировать линию по крайним точкам выделенного участка расчетной схемы.

Кнопка  позволяет задавать точки, характеризующие контур поверхности, на расчетной схеме.

Добавление нагрузки в расчетную схему произойдет после нажатия кнопки **Назначить**.

Произвольная нагрузка на линию прикладывается к элементам, которые находятся в области ее действия (пластинам или стержням). При этом все точки линии нагрузки должны находиться в одной плоскости с элементами, к которым прикладывается нагрузка.

 В случае приложения нагрузки на конечные элементы, отличные от пластинчатых, после запуска на расчет на экране появится предупреждение (рис. 2.330). После нажатия на кнопку **ОК** расчет будет продолжен, при этом нагрузки на линию, приложенные не на пластинчатые элементы, обнуляются.

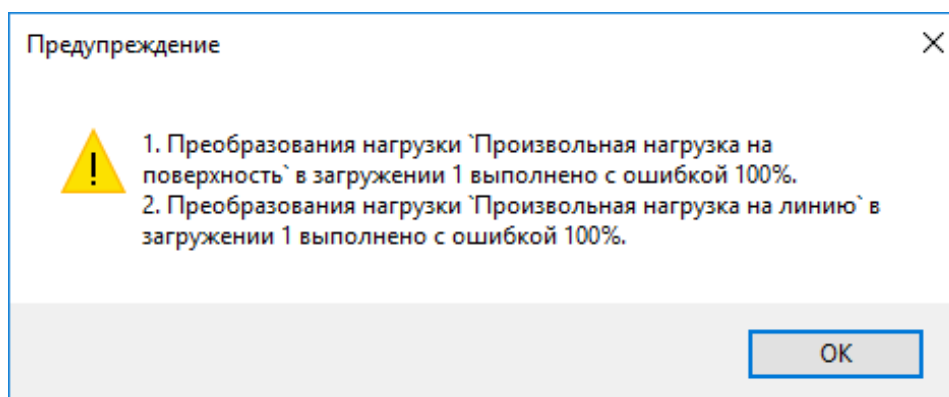




Рис. 2.330. Предупреждение


### ▪ Произвольная нагрузка на поверхность


При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.332), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости). После чего задайте систему координат и направление воздействия при помощи переключателей.

В блоке **Прикладывать к** нужно с помощью переключателя выбрать, к чему будет прикладываться нагрузка: **к узлам**, **к стержням** или **к пластинам**. Для нагрузок, прикладываемых к стержням, также можно выбрать ориентацию стержней.

В блоке **Параметры нагрузки** с помощью переключателя нужно выбрать тип нагрузки: **Регулярная** или **Нерегулярная**. Если выбран регулярный тип нагрузки, то в окне ввода нужно указать ее интенсивность **P**, а также указать координаты полигона, вводя их в таблице или указывая на сети построения мышью. Если выбран нерегулярный тип нагрузки, то интенсивность нагрузки **P** нужно указывать в таблице для каждой точки.

Кнопки  и  позволяют добавлять и удалять закладки, содержащие точки контура воздействия нагрузки. Если на поверхности, принимающей нагрузку, необходимо указать участок, который не будет участвовать в принятии нагрузки, следует создать новую вкладку с точками данного контура.

Кнопка  позволяет автоматически сгенерировать линию по крайним точкам выделенного участка расчетной схемы.

Кнопка  позволяет задавать точки, характеризующие контур поверхности, на расчетной схеме.

Добавление нагрузки в расчетную схему произойдет после нажатия кнопки **Назначить**.

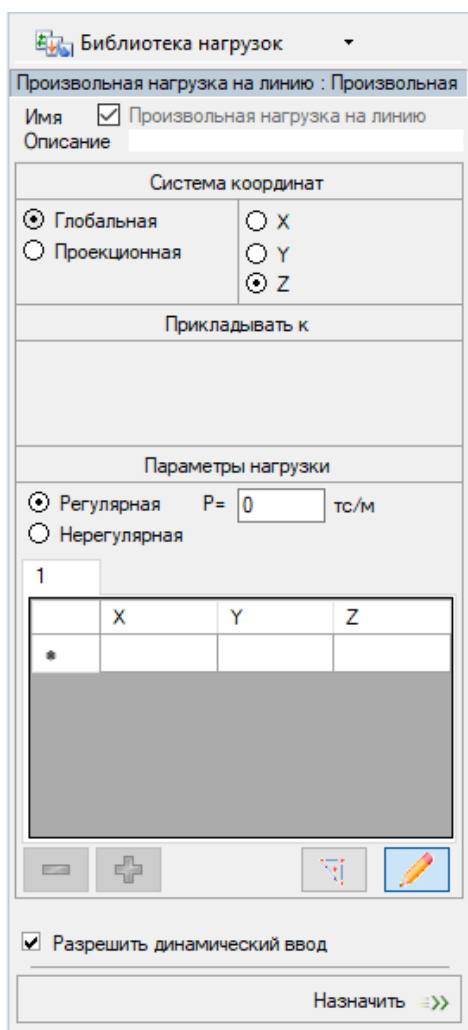


Рис. 2.331. Произвольная нагрузка на линию

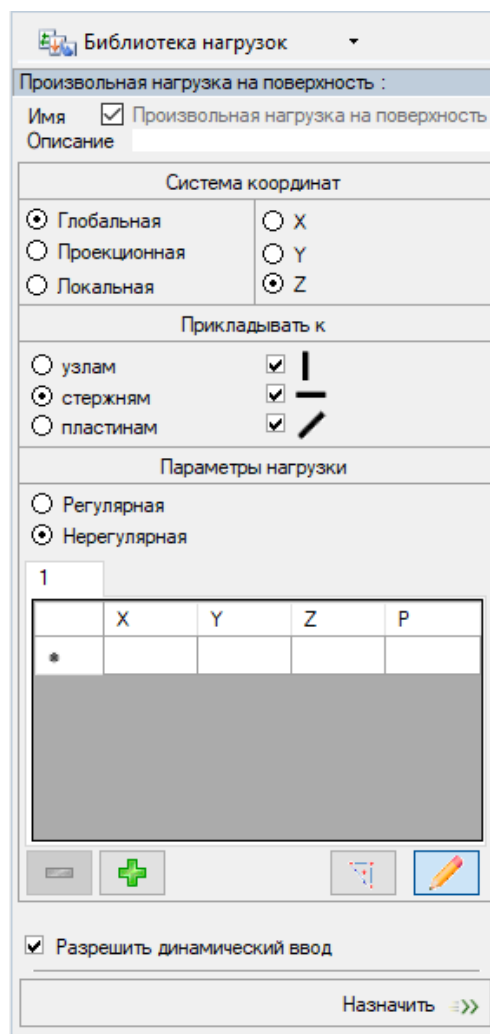





Рис. 2.332. Произвольная нагрузка на поверхность


### ▪ Ветровая нагрузка на поверхность

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.333), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Следует также выбрать элементы, к которым будет приложена нагрузка, и задать параметры нагрузки.

Кнопки  и  позволяют добавлять и удалять закладки, содержащие точки контура воздействия нагрузки. Если на поверхности, принимающей нагрузку, необходимо указать участок, который не будет участвовать в принятии нагрузки, нужно создать новую вкладку с точками данного контура.

Кнопка  позволяет автоматически сгенерировать линию по крайним точкам выделенного участка расчетной схемы.

Кнопка  позволяет задавать точки, характеризующие контур поверхности, на расчетной схеме.

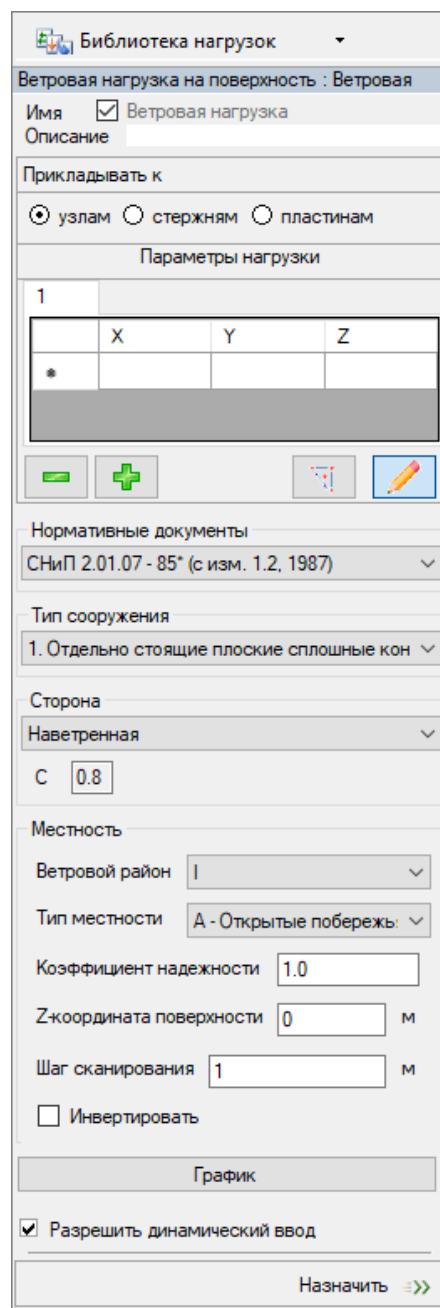
При выборе соответствующего нормативного документа в раскрывающемся списке **Нормативные документы** будут доступны для ввода те или иные параметры ветровой нагрузки:

- **Тип сооружения.**
- **Сторона** — наветренная, подветренная, пользовательская. В поле ввода ниже введите значение аэродинамического коэффициента  $C$ .
- **Местность:**
  - Ветровой район;
  - Тип местности;
  - Коэффициент надежности;
  - Z-координата поверхности;
  - Шаг сканирования.

Установите флажок **Инвертировать**, чтобы изменить направление действия нагрузки.

Нажмите кнопку **График**, чтобы отобразить график расчетного значения давления. При выборе в раскрывающемся списке **Нормативные документы** элемента **Пользовательские нормы** график расчетного значения давления задается вручную.

Задав требуемые параметры, нажмите кнопку **Назначить**.



Библиотека нагрузок

Ветровая нагрузка на поверхность : Ветровая

Имя  Ветровая нагрузка

Описание

Прикладывать к

узлам  стержням  пластинам

Параметры нагрузки

1	X	Y	Z
*			

Нормативные документы

СНиП 2.01.07 - 85\* (с изм. 1.2, 1987)

Тип сооружения

1. Отдельно стоящие плоские сплошные кон

Сторона

Наветренная

$C$

Местность

Ветровой район

Тип местности

Коэффициент надежности

Z-координата поверхности  м

Шаг сканирования  м

Инвертировать

График

Разрешить динамический ввод



Назначить =>>


Рис. 2.333. Ветровая нагрузка на поверхность


▪ **Снеговая нагрузка на поверхность**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.334), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Необходимо также выбрать элементы, к которым будет приложена нагрузка, и задать параметры нагрузки.

Кнопки  и  позволяют добавлять и удалять закладки, содержащие точки контура воздействия нагрузки. Если на поверхности, принимающей нагрузку, необходимо указать участок, который не будет участвовать в принятии нагрузки, следует создать новую вкладку с точками данного контура.

Кнопка  позволяет автоматически сгенерировать линию по крайним точкам выделенного участка расчетной схемы.

Кнопка  позволяет задавать точки, характеризующие контур поверхности, на расчетной схеме.

При выборе соответствующего нормативного документа в раскрывающемся списке **Нормативные документы** будут доступны для ввода те или иные параметры снеговой нагрузки (на примере нормативного документа EN 1991-1-3:2010 (рис. 2.335)):

- Снеговой район.
- Тип сооружения.
- Климатический регион.

-  $\mu$  — коэффициент формы, учитывающий переход от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие. При установке данного флажка  **$\mu$ -переменная** можно выбрать направление нагрузки — вдоль оси X или Y. При этом станут доступны для ввода значения коэффициентов  $\mu_1$  и  $\mu_2$ .

- $C_e$  — коэффициент, учитывающий режим эксплуатации кровли.
- $C_t$  — термический коэффициент.
- $\gamma_{fe}$  — коэффициент надежности по эксплуатационному значению снеговой нагрузки.
- $A$  — высота местности над уровнем моря.

Задав требуемые параметры, нажмите кнопку **Назначить**.

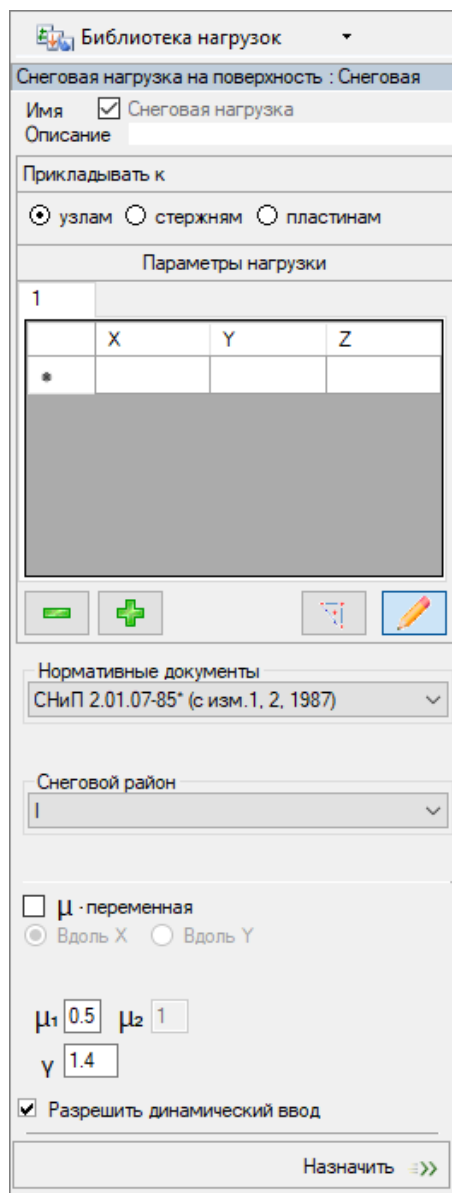


Рис. 2.334. Снеговая нагрузка на поверхность

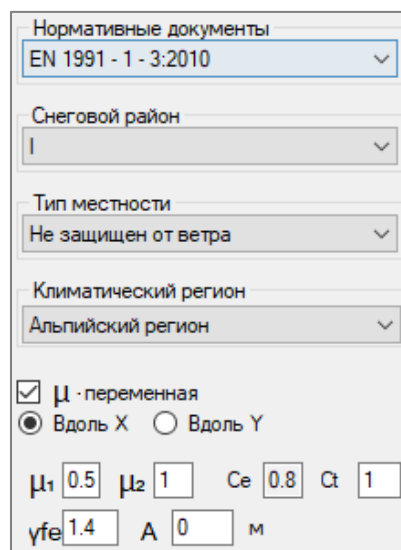



Рис. 2.335. Параметры снеговой нагрузки для EN 1991-1-3:2010

 При вводе всех перечисленных выше нагрузок на расчетную схему имеется возможность динамического ввода данных. Для этого нужно установить флажок **Разрешить динамический ввод**. При наведении курсора мыши на узел сети или схемы появляется окно динамического ввода, куда можно вписывать необходимые значения для построения контура.

Существует три способа задания параметров для назначения следующей точки (рис. 2.336): **Приращение** по трем осям, **Координаты X, Y, Z** и **Длина отрезка** с возможностью отклонения в горизонтальной плоскости на угол  $\alpha$  и в вертикальной плоскости на угол  $\beta$ .

Чтобы переключиться между вводом приращения, координат, либо длины отрезка, нужно нажать на клавиатуре **PageUp/PageDown** или стрелку вверх/вниз. А для перехода между полями ввода используется клавиша **Tab**. После задания параметров нужно подтвердить ввод клавишей **Enter**.

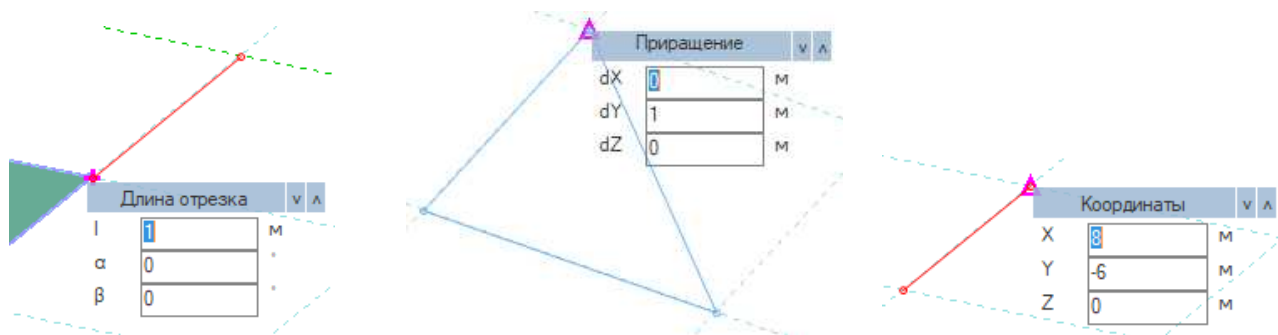


Рис. 2. 336. Режимы динамического ввода

#### ▪ Произвольная нагрузка в точке

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.337), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

С помощью переключателей нужно выбрать тип нагрузки: **сила** вдоль оси X, Y или Z, либо **момент** вокруг оси X, Y или Z.

В блоке **Параметры нагрузки** нужно указать ее интенсивность.

А в блоке **Координата** в соответствующих полях указать координаты расположения нагрузки.

Добавление нагрузки в расчетную схему произойдет после нажатия кнопки **Назначить**.

Библиотека нагрузок		
Произвольная нагрузка в точке :		
Имя <input type="checkbox"/> Произвольная нагрузка в точке		
Описание		
Сила	Момент	
<input type="radio"/> X	<input type="radio"/> Mx	
<input type="radio"/> Y	<input type="radio"/> My	
<input checked="" type="radio"/> Z	<input type="radio"/> Mz	
Параметры нагрузки		
<input type="text" value="0"/> тс		
Координата		
X	Y	Z
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> м
Назначить =>>		

Рис. 2.337. Произвольная нагрузка в точке

**Другие типы нагрузок:**

▪ **Трапецевидная распределенная нагрузка на группу элементов**

При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.338), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Путем выбора соответствующего переключателя нужно задать группу элементов (**Узлы, Стержни, Пластины**), а также указать нагрузку (**Сила, Момент, Смещение**).

Окно содержит переключатели для задания систем координат — глобальной, локальной или проекционной, и направления воздействия — X, Y, Z.

Для назначения трапецевидной распределенной нагрузки на группу элементов в диалоговом окне задается значение нагрузки в начале и в конце ее приложения (**P1** и **P2**) и направление, по которому изменяется величина нагрузки.

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующие элементы и нажать кнопку **Назначить**.

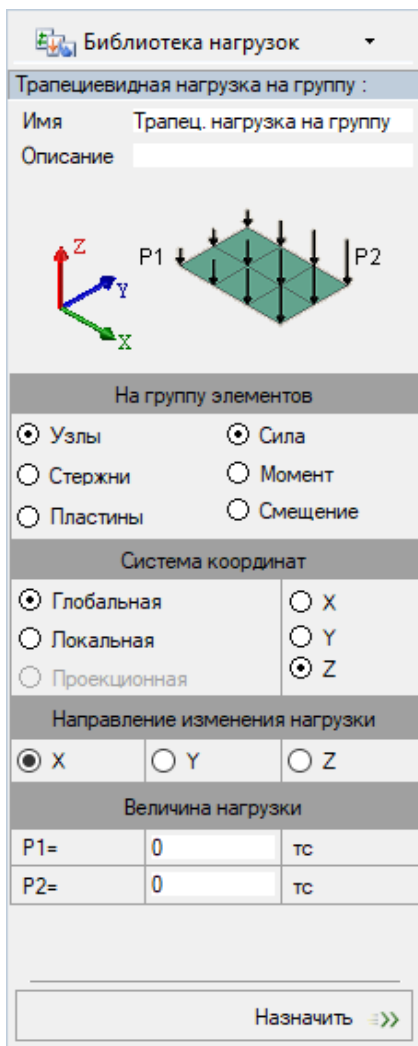


Рис. 2.338. Трапецевидная распределенная нагрузка на группу элементов

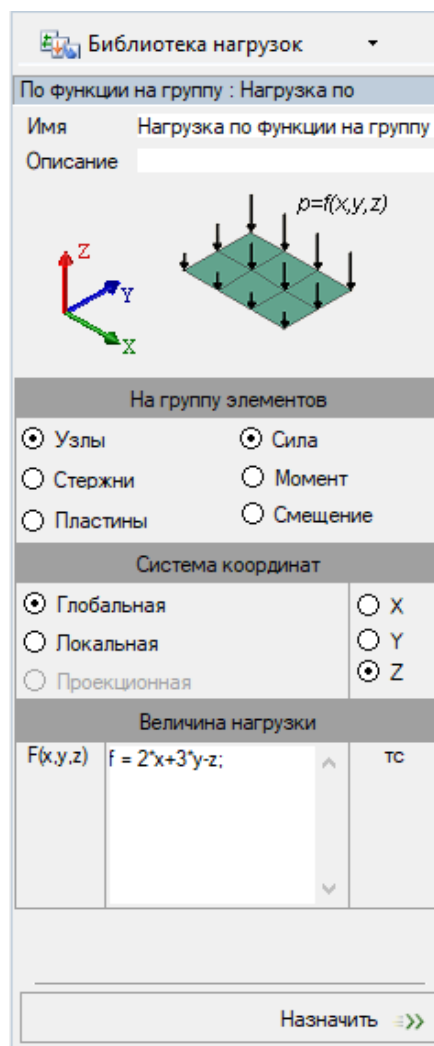


Рис. 2.339. Распределенная нагрузка по функции на группу элементов

### ▪ Распределенная нагрузка по функции на группу элементов


При выборе этого вида нагрузки открывается диалоговое окно (рис. 2.339), в котором можно указать имя и описание нагрузки (при необходимости).

Путем выбора соответствующего переключателя нужно задать группу элементов (**Узлы, Стержни, Пластины**), а также указать нагрузку (**Сила, Момент, Смещение**).

Окно содержит переключатели для задания систем координат — глобальной, локальной или проекционной, и направления воздействия — X, Y, Z.

Для назначения распределенной нагрузки по функции в диалоговом окне задается значение нагрузки (в виде определенной функции).

Для применения нагрузки нужно выделить соответствующие элементы и нажать кнопку **Назначить**.

 *Синтаксис формульного задания линий и поверхностей должен полностью соответствовать синтаксису и правилам использования языка программирования C Sharp (C#). Т.е. допускается создание пользовательских переменных любых типов данных, доступных в C#, использование любых видов циклов, написание различных условий и ограничений на параметры функций и т.д.*

*В таблице 2.3 перечислены основные математические функции и константы, которые можно использовать для задания функций поверхности.*

Таблица 2.3. Список базовых функций и констант

Название функции	Описание функции	Название функции	Описание функции
Sin(x)	Синус	Log(x)	Натуральный логарифм
Cos(x)	Косинус	log10(x), lg(x)	Логарифм по основанию 10
Tan(x)	Тангенс	Sqrt(x)	Корень квадратный
Asin(x)	Арксинус	Pow(x,n)	Возведения x в степень n, $x^n$
Acos(x)	Арккосинус	Abs(x)	Абсолютная величина числа
Atan(x)	Арктангенс	Exp(x)	Вычисление экспоненты
Sinh(x)	Гиперболический синус	pi	Константа $\pi = 3,1415926535$
Cosh(x)	Гиперболический косинус	e	Константа $e = 2,7182818284$
Tanh(x)	Гиперболический тангенс	—	—

Вкладка **Удаление нагрузок** (рис. 2.340) панели активного режима **Нагрузки** содержит **Библиотеку нагрузок**, в которой при помощи раскрывающегося списка необходимо произвести выбор типа нагрузки для удаления его на выделенных элементах.

Если необходимо применить удаление только к выделенным элементам, установите флажок **Применять только к выделенным**.

Далее нажмите кнопку **Удалить нагрузки из текущего загрузения**.

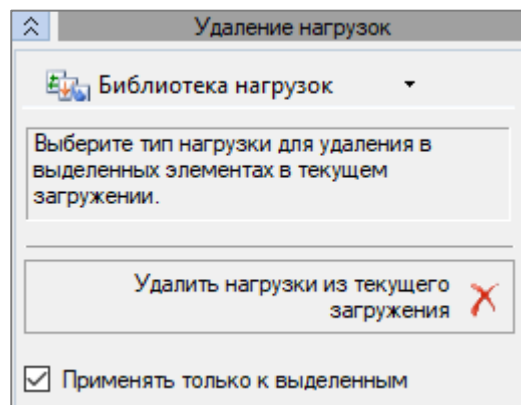


Рис. 2.340. Вкладка **Удаление нагрузок**

Вкладка **Редактирование нагрузок** (рис. 2.341) позволяет откорректировать ранее заданные нагрузки. Для этого необходимо выделить соответствующие элементы и в диалоговом окне отобразятся заданные на них нагрузки.

Если щелкнуть на серой кнопке справа от имени нагрузки, раскроется диалоговое окно параметров данной нагрузки.

При установке флажка **Отобразить** на созданной схеме будут показаны элементы с выбранной нагрузкой.

После внесения изменений в нагрузку необходимо нажать кнопку **Применить**.

Кнопка **Удалить нагрузку** служит для удаления указанной нагрузки.

Вкладка **Копирование нагрузок** (рис. 2.342) позволяет задавать нагрузки, идентичные ранее созданным.

В диалоговом окне отображается перечень загрузений, где путем установки флажка необходимо отметить те, в которые будет выполнено копирование нагрузок из текущего загрузения.

Коэффициент копирования задается вводом значения в соответствующее поле ввода.

Если требуется изменить направление действия нагрузки, установите флажок **Изменить направление**, а затем выберите требуемое направление **X**, **Y** или **Z**.

Если необходимо применить задачу только к выделенным элементам, то нужно установить флажок **Применять только к выделенным**.

Операция будет окончена при нажатии кнопки **Копировать**.

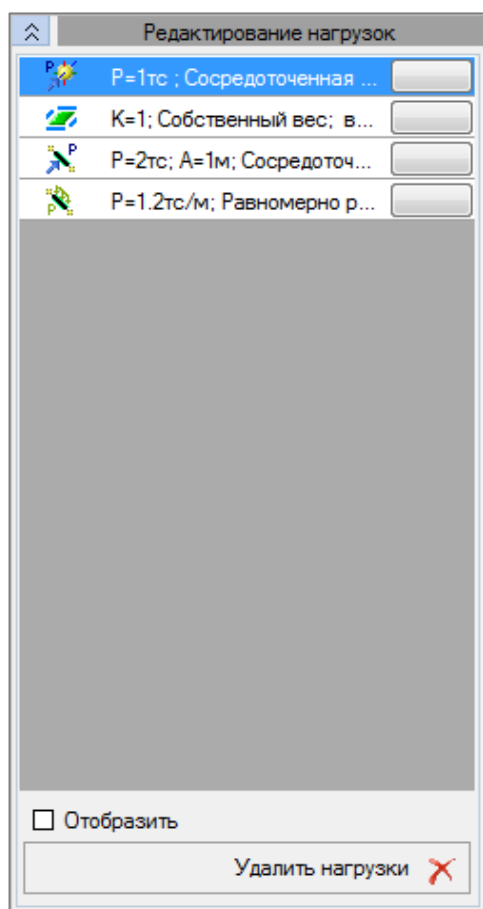


Рис. 2.341. Вкладка **Редактирование нагрузок**

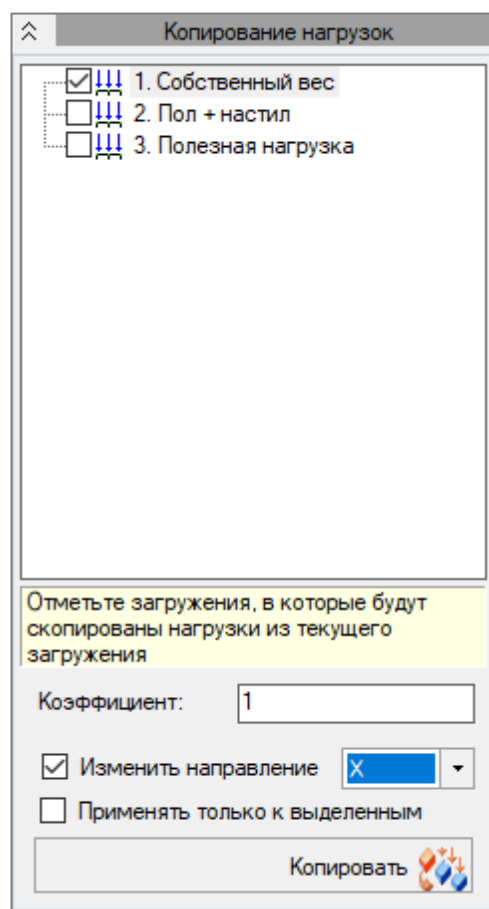


Рис. 2.342. Вкладка **Копирование нагрузок**



Вкладка **Не принимает нагрузку** (рис. 2.343) позволяет указать элементы, которые не будут принимать нагрузку. Для этого необходимо выделить необходимые элементы на расчетной схеме и нажать кнопку **Пополнить**. В соответствующих полях вкладки отобразятся номера выбранных элементов.

Для редактирования существующего списка элементов необходимо снять выделение или выделить новые элементы и воспользоваться кнопкой **Изменить**. Кнопка **Выделить** позволяет отобразить все указанные элементы в списке на расчетной схеме. Кнопка **Очистить** удаляет номера всех элементов из списка.

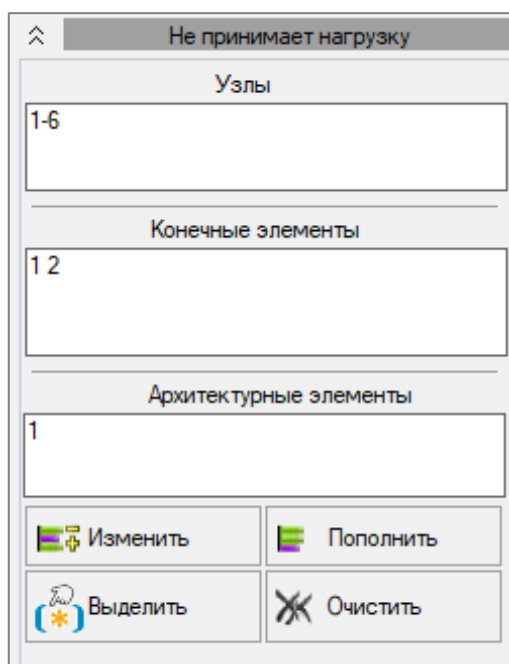


Рис. 2.343. Вкладка **Не принимает нагрузку**

Вкладка **Преобразовать нагрузку** (рис. 2.344) позволяет выполнить безвозвратное преобразование нагрузок на модель в нагрузки на узлы и элементы без запуска задачи на расчет, предварительно указав, в какие из элементов (узлы, конечные элементы или архитектурные элементы) преобразуемая нагрузка не должна попадать.

Затем достаточно лишь нажать кнопку **Преобразовать**.

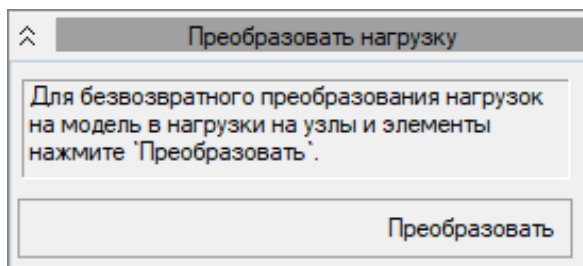



Рис. 2.344. Вкладка **Преобразовать нагрузку**

## 2.11 НАЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗЛАМ И ЭЛЕМЕНТАМ

### 2.11.1 Связи

Для закрепления элементов и архитектурных элементов необходимо воспользоваться вкладкой ленты или меню **Назначение** ⇒ **Связи** (кнопка  на панели инструментов). Панель активного режима **Связи** состоит из параметров закрепления и вкладки **Политика назначения** (рис. 2.345).

Для назначения связей нужно выбрать переключатель **Закрепить**, а для удаления, соответственно, **Освободить**.


В параметрах закрепления указываются направления связей:

- перемещения вдоль осей **X, Y, Z**;
- повороты относительно осей **X, Y, Z**;
- **депланация W** — для задач с семью степенями свободы в указанных узлах установка данного флажка подразумевает запрет депланации узла;
- **теплообмен T** — в задачах теплопроводности в указанных узлах установка данного флажка подразумевает, что температура равна нулю;
- **фильтрация F** — в задачах стационарной фильтрации в указанных узлах установка данного флажка подразумевает, что давление равно нулю.

Наличие необходимых связей фиксируется с помощью установки соответствующих флажков.

В случае, когда нужно отметить все направления, можно воспользоваться кнопкой **Все**.

В таблице **Назначенные закрепления** отображаются закрепления, которые заданы на схеме: буквами указаны закрепленные степени свободы и количество узлов, в которых такие связи наложены.

Флажок **Индикация назначения** предназначен для предварительного просмотра заданного шарнира , где три верхних квадрата обозначают повороты относительно осей X, Y, Z, три нижних треугольника — перемещения относительно осей X, Y, Z, горизонтальная линия под узлом — депланацию W, верхний левый треугольник — теплообмен T, верхний правый треугольник — фильтрацию F (цвета отметок соответствуют цветам осей системы координат).

Вкладка **Политика назначения** содержит два параметра на выбор:

- Заменить закрепление новым; Освободить все направления;
- Добавить закрепление по указанным направлениям; Освободить закрепление по указанным направлениям.

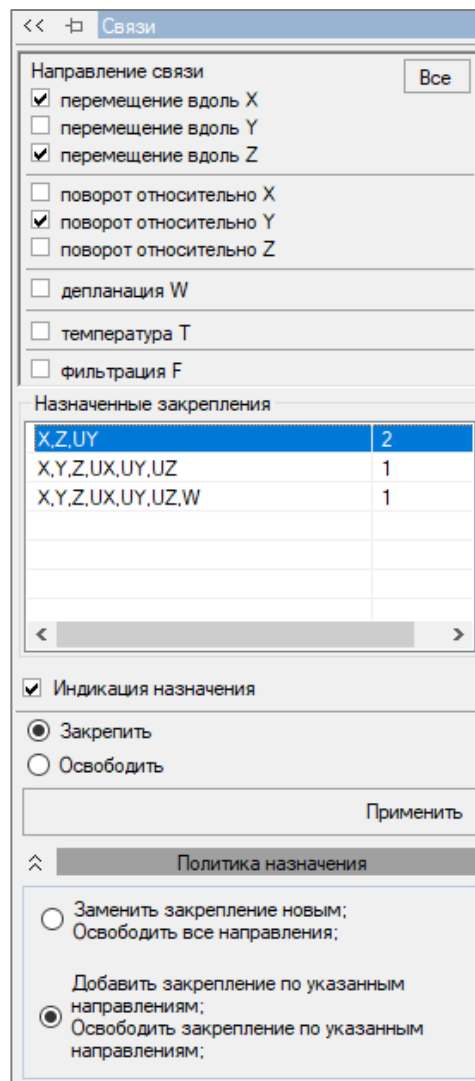


Рис. 2.345. Панель режима **Связи**

Назначить связи на элемент можно двумя способами:

- предварительно выделив нужные узлы, выбрать все необходимые параметры закрепления, после чего нажать кнопку **Применить**;
- при выбранных параметрах закрепления левой кнопкой мыши нажимать на нужный узел (сразу после щелчка мыши узел будет закреплен и появится визуальное обозначение назначенных связей).


Назначение связей для архитектурных элементов происходит следующим образом:

- **Для стержней:**
  - **Закрепление по всей длине.** Предварительно выделив нужный архитектурный стержень, выбрать все необходимые параметры закрепления, после чего нажать кнопку **Применить**. В этом случае стержень будет закреплен по всей длине, при последующей триангуляции все промежуточные узлы будут иметь такое же закрепление.
  - **Закрепление по всей длине.** При выбранных параметрах закрепления левой кнопкой мыши нажать на середину стержня (середина стержня подсветится значком **+**).
  - **Закрепление по краям стержня.** При выбранных параметрах закрепления левой кнопкой мыши выбрать крайнюю точку стержня (крайняя точка стержня подсветится значком **+**). В этом случае стержень будет закреплен только по краям, при последующей триангуляции все промежуточные узлы не будут иметь закреплений.
- **Для пластин:**
  - **Закрепление всей пластины.** Предварительно выделив нужную архитектурную пластину, выбрать все необходимые параметры закрепления, после чего нажать кнопку **Применить**. В этом случае пластина будет закреплена по всей площади, при последующей триангуляции все промежуточные элементы пластины будут закреплены аналогично.
  - **Закрепление внешней грани пластины.** При выбранных параметрах закрепления левой кнопкой мыши нажать на середину грани пластины (середина грани пластины подсветится значком **+**). В этом случае пластина будет закреплена по внешней грани, при последующей триангуляции все узлы внешней грани будут иметь такое же закрепление.
  - **Закрепление вершины пластины.** При выбранных параметрах закрепления левой кнопкой мыши выбрать вершину пластины (вершина пластины подсветится значком **+**). В этом случае при последующей триангуляции будет закреплена только вершина архитектурной пластины.

Освобождение связей в архитектурных элементах происходит аналогично закреплению, с той разницей, что при освобождении должен быть выбран переключатель **Освободить**.

### 2.11.2 Абсолютно твердые тела

Панель активного режима **Абсолютно твердое тело** (рис. 2.346) предназначена для моделирования работы фрагментов расчетной схемы как абсолютно твердых тел (АТТ). АТТ моделируется группой узлов. Например, при помощи АТТ может быть смоделирована область примыкания тела колонны к телу плиты перекрытия. При этом колонна и плита моделируются конечными элементами стержня и пластины соответственно.

Для создания и редактирования АТТ нужно воспользоваться вкладкой ленты или меню **Назначение** → АТТ (кнопка  на панели инструментов).

Чтобы создать АТТ, нужно отметить на схеме соответствующие узлы и присвоить одному из них статус базового узла.

*Все операции над АТТ: наложение связей, задание локальной системы координат узла, задание вынужденного смещения, объединение перемещений — производятся только с их базовыми узлами.*

На рис 2.347 показан пример списка существующих АТТ. В поле ниже отображается список номеров узлов, из которых состоит текущая группа АТТ.

№	Номер базового узла	Описание	Цвет
1	69	<...>	■

69-71 74

Рис. 2.347. Список существующих АТТ

№	Номер базового узла	Описание	Цвет

Индикация назначения

Добавить абсолютно твердое тело <

Пополнить список узлов <

Изменить список узлов <

Выделить на схеме >

Удалить текущее тело

Упаковать список твердых тел

Удалить узлы из твердых тел

⌆ **Политика назначения**

Переназначать выделенные узлы текущему абсолютно твердому телу, даже если они принадлежат другому абсолютно твердому телу

Игнорировать выделенные узлы, если они принадлежат другому абсолютно твердому телу


Рис. 2.346. Панель режима **Абсолютно твердое тело**

При установке флажка **Индикация назначения** текущее АТТ будет отображаться на экране.

Добавить или пополнить группу АТТ можно двумя способами:

1. Вписать в строку номер узла.
2. Выделить узлы на схеме.

После этого нужно нажать кнопку **Добавить абсолютно твердое тело** либо **Пополнить список узлов** соответственно.

 Одно и то же АТТ не может существовать в двух группах АТТ одновременно, поэтому, если создается новая группа с уже использованным ранее объектом, он будет удален из предыдущей группы или будет игнорироваться при выделении.


Также для редактирования групп АТТ предусмотрены дополнительные кнопки:

- **Изменить список узлов** — все узлы АТТ заменяются на выделенные. Если ни один узел на схеме не выделен, существующие узлы удаляются;
- **Выделить на схеме** — текущая группа АТТ будет выделена на схеме;
- **Удалить текущее тело** — удаляет текущее АТТ на схеме;
- **Упаковать список твердых тел** — «пустые группы», в которых нет узлов, будут удалены из списка;
- **Удалить узлы из твердых тел** — позволяет удалить выделенные узлы из соответствующих твердых тел.

На вкладке **Политика назначения** нужно выбрать один из переключателей:

- Переназначать выделенные узлы текущему абсолютно твердому телу, даже если они принадлежат другому абсолютно твердому телу;
- Игнорировать выделенные узлы, если они принадлежат другому абсолютно твердому телу.

### 2.11.3 Сечения, материалы и параметры конструирования

Для назначения элементам сечений, материалов и параметров конструирования воспользуйтесь вкладкой ленты **Назначение** (либо **Редакторы и конструирование**) или меню **Конструирование** ⇨ **Назначить сечение, материал, конструирование** (кнопка  на панели инструментов). Панель режима **Назначить жесткость** показана на рис. 2.348.

В параметрах назначения нужно выбрать требуемый переключатель:

- **Использовать все** (т.е. сечение, материал и конструирование);
- **Использовать сечение и материал;**
- **Использовать сечение;**
- **Использовать материал;**
- **Использовать конструирование.**

Для назначения параметров требуется предварительно выбрать нужные элементы.

Далее в раскрывающихся списках **Доступные сечения** / **Доступные материалы** / **Доступное конструирование** выбираются нужные параметры.

Список доступных сечений, материалов и параметров конструирования формируется на основе параметров, заданных ранее в редакторах сечений/жесткостей, материалов и конструирования.

В зависимости от выбранных параметров назначения становится активным раздел **Политика назначения** (рис. 2.349), где выбирается один из переключателей:

- **При несоответствии назначаемого элементу сечения уже назначенному материалу оставлять материал.** Это значит, что в случае конфликта с уже назначенными параметрами останутся ранее назначенные.

• При несоответствии назначаемого элементу сечения уже назначенному материалу оставлять сечение. В случае конфликта с ранее назначенными параметрами назначать новые (старые параметры деактивируются).

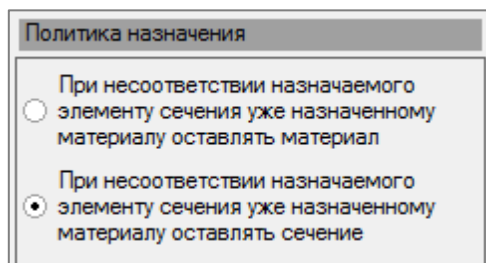


Рис. 2.349. Раздел **Политика назначения**

При назначении переменного сечения активизируется раздел **Политика для переменных сечений** (рис. 2.350).

При установке флажка **При назначении учитывать изменение координат** активизируются переключатели по направлениям **X**, **Y**, **Z**. Они используются в том случае, если, к примеру, стержень разбит на несколько частей, а нужно, чтобы переменное сечение было назначено равномерно на всю длину стержня, а не на его отдельные части. В таком случае следует выбрать направление, которое параллельно стержню.

Для того чтобы поменять направление изменения переменного сечения на противоположное, установите флажок **Инвертно**.

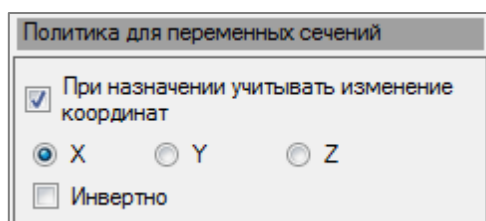


Рис. 2.350. Раздел **Политика для переменных сечений**

При установке флажка **Индикация непригодных для назначения элементов** эти элементы подсвечиваются на схеме (например, при выборе для назначения сечения стержня непригодным для назначения будет пластинчатый элемент).

После выбора всех необходимых параметров нужно нажать кнопку **Назначить**.

При нажатии кнопки **Выбрать** на схеме будут выделены элементы, параметры жесткости которых соответствуют выбранным параметрам сечения / материала / конструирования в панели активного режима.

Следующие кнопки используются для удаления всех или отдельных параметров жесткости в элементах (предварительно нужно выделить изменяемый элемент):

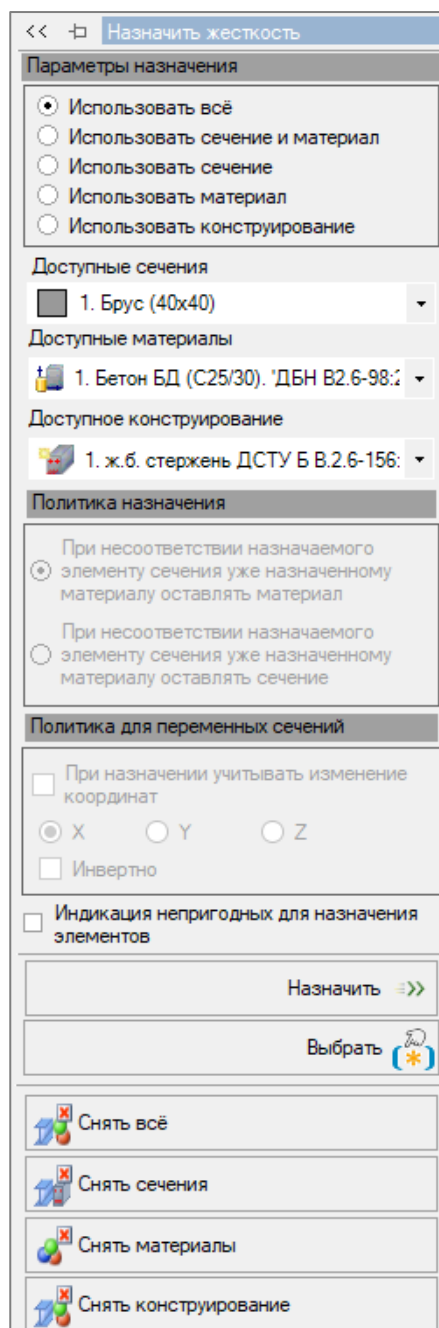



Рис. 2.348. Панель режима **Назначить жесткость**

- Снять все;
- Снять сечения;
- Снять материалы;
- Снять конструирование.

#### 2.11.4 Группы объединения перемещений

Для работы с группами объединения перемещений воспользуйтесь вкладкой ленты или меню **Назначение** ⇒ **Объединение перемещений** (кнопка  на панели инструментов). Панель активного режима **Объединение перемещений** (рис. 2.351) предназначена для создания и редактирования групп объединений перемещений (моделирования шарниров в пластинах).

Панель данного режима состоит из трех раскрывающихся вкладок: **Простая группа**, **Составная группа**, **Политика назначения**.

В верхней части панели находится окно для отображения списка созданных групп. Каждая созданная группа имеет номер и заданные направления связей, указанные в квадратных скобках. В окне ниже отображается список всех узлов, входящих в состав группы.

В области **Направление связи** путем установки соответствующих флажков следует выбрать объединяемые перемещения для выделенных узлов.

Установка флажка **Индикация назначения** используется для отображения на схеме узлов, входящих в выделенную группу объединения перемещений.

Для создания **Простой группы** объединения перемещений необходимо выделить на схеме узлы, с помощью флажков отметить направления связей и нажать кнопку **Добавить объединение перемещений** (рис. 2.352). После чего созданная группа появится в списке. При необходимости добавления узлов в ранее созданную группу необходимо отметить их на схеме и нажать кнопку **Пополнить список узлов**. При нажатии кнопки **Изменить список узлов** все узлы, входящие в состав выбранной группы, будут заменены отмеченными на схеме.

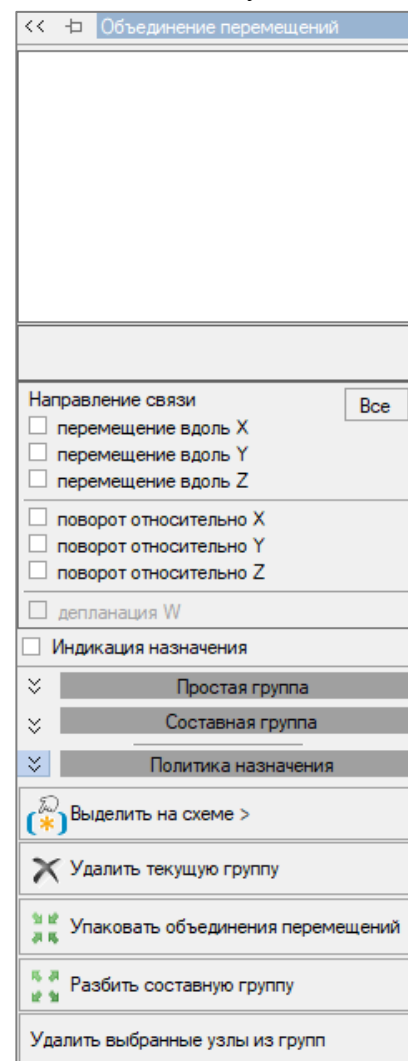


Рис. 2.351. Панель режима **Объединение перемещений**

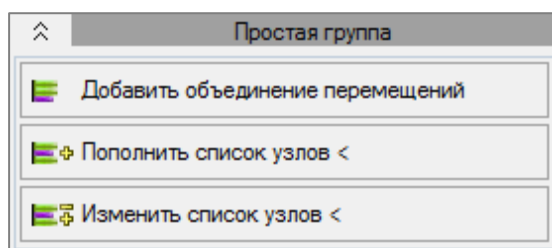


Рис. 2.352. Вкладка **Простая группа**

После создания простой группы все отмеченные узлы, входящие в ее состав, будут иметь одинаковые перемещения по указанным направлениям.

Алгоритм создания составной группы (рис. 2.353) аналогичен алгоритму создания простой группы. Но в этом случае элементы будут расшиты по выбранным узлам, выбранные узлы будут продублированы узлами, имеющими аналогичные координаты, после чего узлы, имеющие одинаковые координаты, будут объединены в подгруппы, которые, в свою очередь, будут образовывать составную группу.

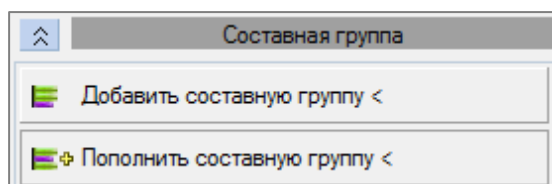


Рис. 2.353. Вкладка **Составная группа**

В раскрывающейся вкладке **Политика назначения** необходимо выбрать один из критериев создания групп (рис. 2.354).

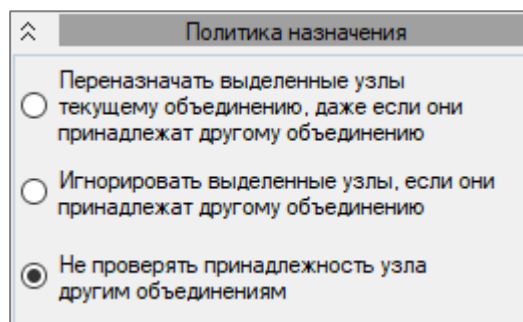


Рис. 2.354. Вкладка **Политика назначения**


В нижней области панели активного режима расположены следующие кнопки:

- **Выделить на схеме** — выделение на схеме узлов, входящих в состав выбранной группы.
- **Удалить текущую группу** — текущая группа будет удалена из списка.
- **Упаковать объединения перемещений** — при нажатии кнопки выполняется упаковка соответствующих объединений перемещений.
- **Разбить составную группу** — замена выбранной составной группы множеством простых, входящих в ее состав.
- **Удалить выбранные узлы из групп** — выполняется удаление выбранных узлов из групп.



### 2.11.5 Назначение типов конечных элементов

Для назначения типа конечного элемента необходимо воспользоваться вкладкой ленты или меню

**Правка** ⇒ **Изменить тип КЭ** либо же кнопкой  на панели инструментов. Активизируется режим **Изменить типы КЭ** (рис. 2.355), в панели которого список конечных элементов будет динамично изменяться в зависимости от выбранного ранее типа создаваемой задачи. Все элементы списка пронумерованы в соответствии с библиотекой конечных элементов.

Для назначения типа конечного элемента необходимо:

1. Выделить на схеме элементы.
2. Отобразить вкладку соответствующей категории КЭ путем выбора нужного переключателя.
3. Выбрать требуемый тип в перечне **Тип элементов** ⇒ **Доступные типы КЭ**.
4. Нажать кнопку **Изменить**.

Либо же выделить элементы, а затем дважды кликнуть мышью по требуемому типу КЭ.

На вкладке **Политика назначения** путем выбора соответствующего переключателя необходимо определить принцип назначения конечных элементов:

- Отменять изменение типа элемента при возникновении конфликтов с сечениями, материалами, параметрами конструирования или нагрузками.
- Отменять конфликтующие данные с новым типом элемента.

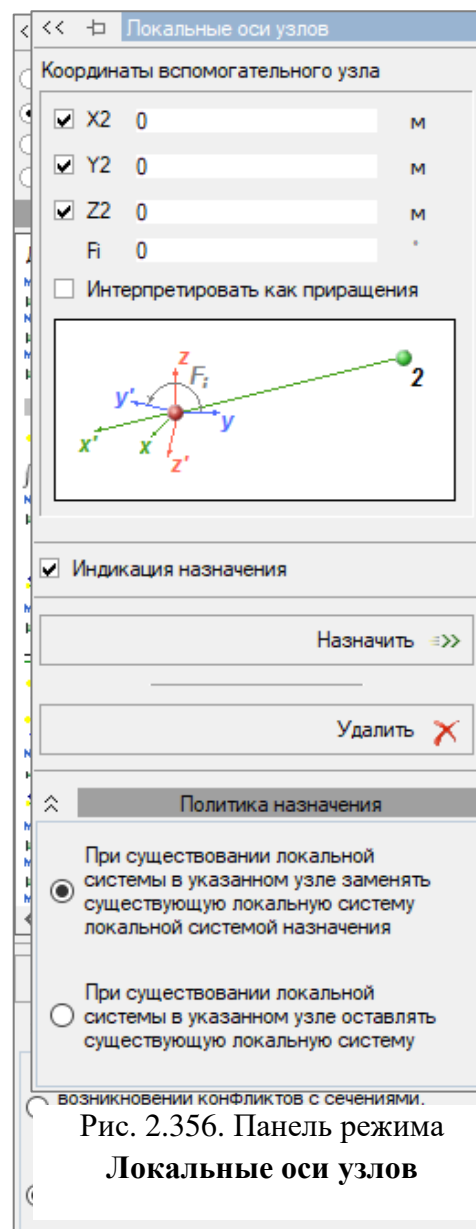



Рис. 2.356. Панель режима **Локальные оси узлов**

Рис. 2.355. Панель режима **Изменить типы КЭ**

### 2.11.6 Локальные оси, оси выравнивания напряжений и оси ортотропии

#### Назначить узлам локальные оси

Для назначения локальной системы координат узлам необходимо перейти в режим **Локальные оси узлов** (рис. 2.356), нажав кнопку  на панели инструментов либо выполнив команду **Назначение** ⇒ **Локальные оси узлов**. Локальные оси **X2**, **Y2**, **Z2** задаются для узла при необходимости приложения нагрузки или задания связи по направлению, не совпадающему ни с одной из осей глобальной системы координат, а также при необходимости получить перемещения узлов в системе координат, отличной от глобальной.

В режиме задаются координаты точки **2**, из которой к отмеченному узлу (узлам) пройдет локальная ось **X2**. Остальные оси по умолчанию сформируются в соответствии с правилом правой тройки: ось **Y2** параллельна глобальной горизонтальной плоскости  $XOY$ , ось **Z2**

направлена в верхнее полупространство. Угол  $\Phi_i$  задается при необходимости поворота локальных осей  $Y_2$ ,  $Z_2$  вокруг оси  $X_2$  относительно положения, принятого по умолчанию. Положительное направление поворота отсчитывается против часовой стрелки, если смотреть с конца оси  $X_2$ .

Координаты точки **2** задаются в глобальной системе координат в тех полях ввода, напротив которых установлены флажки.

Если в окне установлены все флажки, то для точки **2** необходимо задать все три координаты.

Если какой-либо флажок не установлен, то соответствующее поле ввода недоступно, а в качестве координаты будет учитываться соответствующая координата текущего узла.

Координаты точки **2** можно задавать курсором, для этого его нужно привести на необходимое местоположение, вызвать контекстное меню нажатием правой кнопки мыши и выбрать **Установить в качестве вспомогательного узла**.

Также можно установить следующие флажки:

- **Интерпретировать как приращения** — интерпретирует координаты второго узла как координаты первого плюс значения, введенные в поля  $X_2$ ,  $Y_2$ ,  $Z_2$ .

- **Индикация назначения** — предварительно (перед назначением) отображаются на экране локальные оси узлов.


После ввода всех необходимых данных нужно нажать кнопку **Назначить**.

Для удаления назначенных локальных осей нужно нажать кнопку **Удалить**.

Во вкладке **Политика назначения** необходимо указать критерий назначения, выбрав соответствующий переключатель:

- При существовании локальной системы в указанном узле заменять существующую локальную систему локальной системой назначения.
- При существовании локальной системы в указанном узле оставлять существующую локальную систему.

### Локальные оси стержней

При необходимости изменения направления локальных осей стержней нужно перейти в режим **Назначить стержням локальные оси** (рис. 2.357), нажав кнопку  в панели инструментов либо выбрав команду **Назначение**  $\Rightarrow$  **Назначить оси стержням**. Данная функция предназначена для задания угла чистого вращения стержней. К этой операции прибегают в том случае, когда ориентация главных осей инерции  $Y_1$  и  $Z_1$  сечения стержня не совпадает с направлением, принятым в ПК ЛИРА 10 по умолчанию.

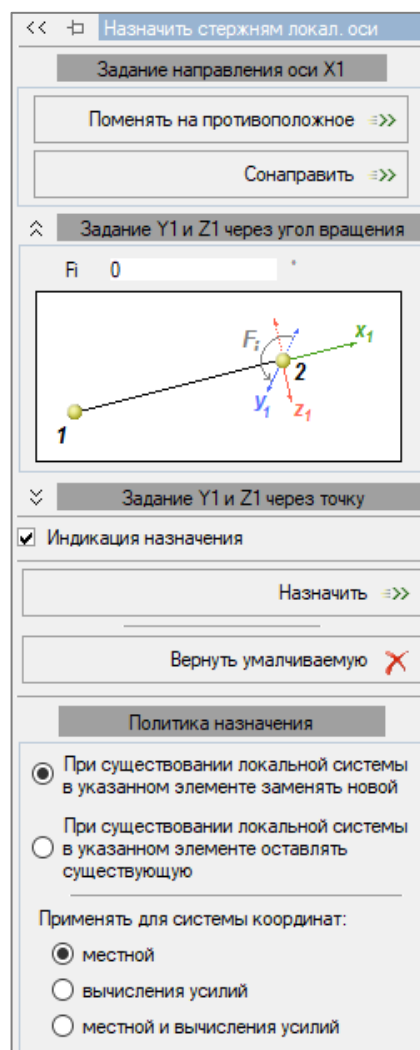


Рис. 2.357. Панель режима **Назначить стержням локальные оси**

Панель активного режима содержит четыре вкладки.


Во вкладке **Задание направления оси X1** доступны две команды:

- **Поменять на противоположное** — позволяет изменить направление оси **X1** на противоположное.
- **Сонаправить** — позволяет единообразно направить ось **X1** в отмеченных элементах.

Раскрывающаяся вкладка **Задание Y1 и Z1 через угол вращения** предоставляет возможность ввода угла поворота  **$\beta_i$**  оси **Y1** в текущих единицах измерения относительно направления, принятого по умолчанию.

Раскрывающаяся вкладка **Задание Y1 и Z1 через точку** (рис. 2.358) позволяет ввести координаты вспомогательного узла, через который будет проходить ось **Y1** (если при этом выбран переключатель **ось Y1**) или **Z1** (если при этом выбран переключатель **ось Z1**).

Если рядом с полями ввода координат установлены все флажки, то для вспомогательного узла необходимо задать все три координаты. Если какой-либо флажок рядом с полями ввода координат не установлен, то соответствующее поле ввода недоступно, а в качестве координаты будет учитываться соответствующая координата текущего узла.

 Для конечных элементов типов 1–4, заданных в схемах с признаками 1–5, задание угла чистого вращения запрещается.

Также можно установить следующие флажки:

- **Интерпретировать как приращения** — интерпретирует координаты узла №3 как координаты первого плюс координаты X3, Y3, Z3.
- **Поменять направление выбранной оси на противоположное** — направление выбранной оси будет изменено на противоположное.
- **Индикация назначения** — предварительно (перед назначением) отображаются на экране локальные оси стержней.

После ввода всех необходимых данных нужно нажать кнопку **Назначить**.

Для удаления назначенных локальных осей нужно нажать кнопку **Вернуть умалчиваемую**.

Во вкладке **Политика назначения** необходимо отметить переключателем критерий назначения локальных осей:

- При существовании локальной системы в указанном элементе заменять новой.
- При существовании локальной системы в указанном элементе оставлять существующую.

Также нужно выбрать систему координат, к которой будут применены выше назначенные параметры:

- **местной;**
- **вычисления усилий;**
- **местной и вычисления усилий.**

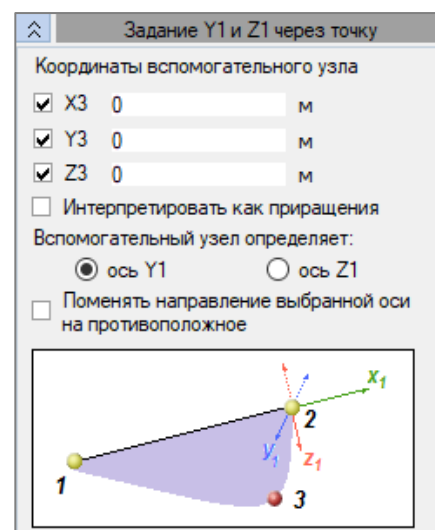



Рис. 2.358. Вкладка **Задание Y1 и Z1 через точку**

### Назначить пластинам оси выравнивания напряжений и оси ортотропии

Для того чтобы изменить направление осей пластин, необходимо перейти в режим

**Назначить пластинам оси** (рис. 2.359), воспользовавшись кнопкой  на панели инструментов либо командой **Назначение ⇌ Оси пластин**.

С помощью этого режима можно задать единообразную ориентацию осей выравнивания и осей ортотропии в предварительно отмеченных конечных элементах пластин — балки-стенки, плиты и оболочки. При этом задаваемые параметры ортотропного материала будут ориентированы относительно осей ортотропии, а полученные в результате расчета усилия и напряжения будут ориентированы относительно осей выравнивания.

На панели активного режима имеется пять вкладок.

Вкладка **Задания направления оси Z1** содержит следующие инструменты:

- **Поменять на противоположное** — позволяет изменить направление оси **Z1** на противоположное.
- **Сонаправить** — позволяет единообразно направить ось **Z1** в отмеченных элементах.
- **Координаты вспомогательного узла** — при необходимости можно задать в соответствующих полях координаты X, Y или Z для вспомогательного узла или установить вспомогательный узел с помощью контекстного меню, а затем нажать кнопку **Назначить**. Если рядом с полями ввода координат установлены все флажки, то для вспомогательного узла необходимо задать все три координаты. Если какой-либо флажок рядом с полями ввода координат не установлен, то соответствующее поле ввода недоступно, а в качестве координаты будет учитываться соответствующая координата текущего узла.
- **Инверсно** — флажок, позволяющий изменить получаемое направление **Z1** на противоположное.

Раскрывающаяся вкладка **Задание X1 и Y1 через угол вращения** (рис. 2.360) позволяет задать угол поворота основной местной оси (**X1** или **Y1**) вокруг оси **Z1**. Положительный знак угла соответствует повороту выбранной основной оси против часовой стрелки, если смотреть с конца оси **Z1**.

Раскрывающаяся вкладка **Задание X1 и Y1 через точку** позволяет ввести координаты вспомогательного узла, через который будет проходить ось **Y1** (если при этом выбран переключатель **ось Y1**) или **X1** (если при этом выбран переключатель **ось X1**).

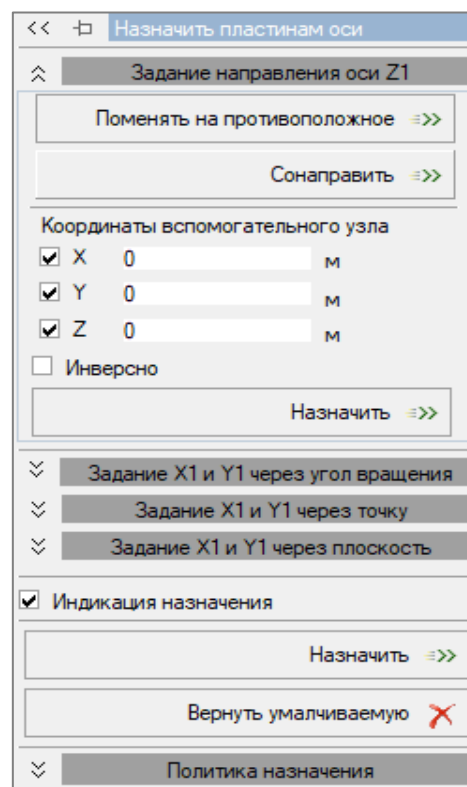


Рис. 2.359. Панель режима **Назначить пластинам оси**



Рис. 2.360. Вкладка **Задание X1 и Y1 через угол вращения**

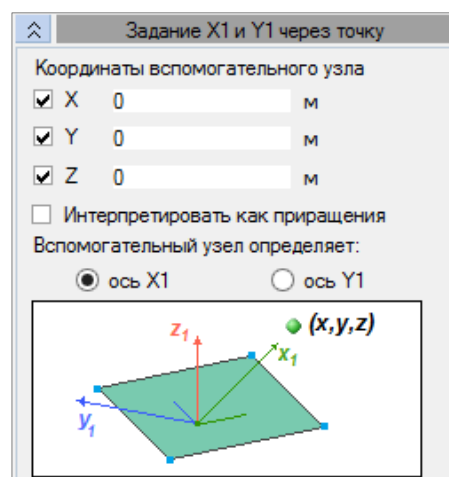


Рис. 2.361. Вкладка **Задание X1 и Y1 через точку**

Раскрывающаяся вкладка **Задание X1 и Y1 через плоскость** включает в себя две закладки: **Ортогональная** (рис. 2.362) и **Произвольная** (рис. 2.363).

При работе с закладкой **Ортогональная** вспомогательная плоскость будет параллельна плоскости, выбранной при помощи переключателя. Если параллели совпадают с плоскостью выделенного КЭ, то индикации осей не произойдет, так как вспомогательная плоскость не будет пересекать КЭ.

При работе с закладкой **Произвольная** необходимо задать положение вспомогательной плоскости, указав координаты трех точек, принадлежащих ей. Также расположение точек можно задать курсором, вызвав контекстное меню и нажав **Установить в качестве узла вспомогательной плоскости**.

Далее необходимо указать ось, которая будет определяться линией пересечения плоскости КЭ и вспомогательной, выбором переключателя **ось X1** или **ось Y1**.

Установка флажка **Поменять направление выбранной оси на противоположное** используется для изменения направлений осей назначаемой системы координат на противоположные.

В раскрывающейся вкладке **Политика назначения** выберите соответствующие переключатели, чтобы:

- заменять существующую локальную систему;
- оставлять существующую локальную систему.

Также задайте определяющие оси X1 и Y1:

- **оси выравнивания напряжений;**
- **оси ортотропии;**
- **оси выравнивания напряжений и оси ортотропии.**

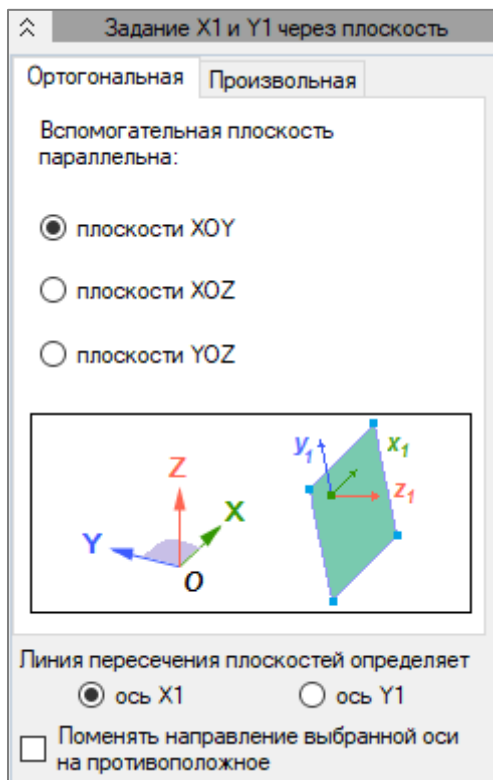


Рис. 2.362. Закладка **Ортогональная**

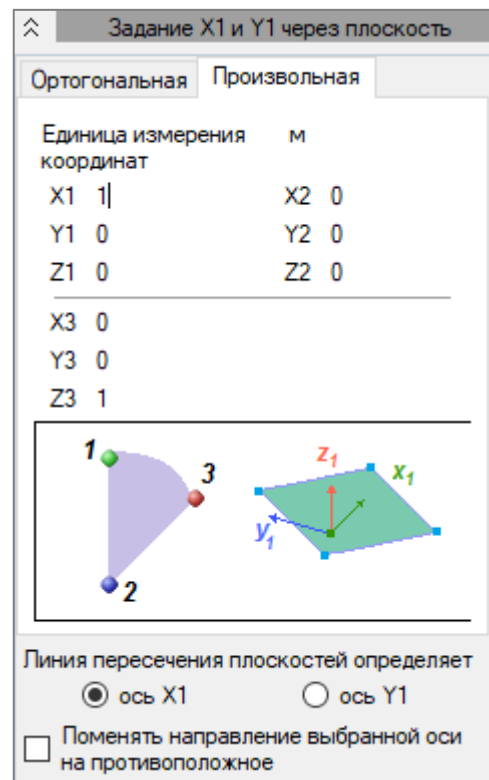



Рис. 2.363. Закладка **Произвольная**

### Назначить объемным КЭ оси выравнивания напряжений и оси ортотропии

Данный режим используется для задания направления главных осей ортотропии объемных КЭ, относительно которых будут ориентированы полученные в результате расчета напряжения. Переход в этот режим осуществляется с помощью команды **Назначение** ⇒ **Оси объемных КЭ** либо щелчком на кнопке  панели инструментов. После чего отобразится панель **Назначить оси объемным КЭ**.

В раскрывающейся вкладке **Задание углом** (рис. 2.364) данной панели доступно задание поворота локальных осей на угол  $\beta_i$  вокруг одной из них. При этом положительный знак угла соответствует повороту вокруг выбранной оси против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

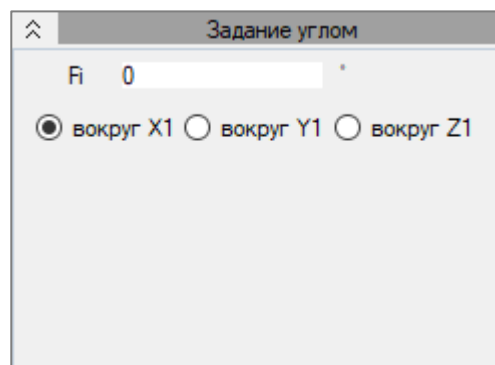
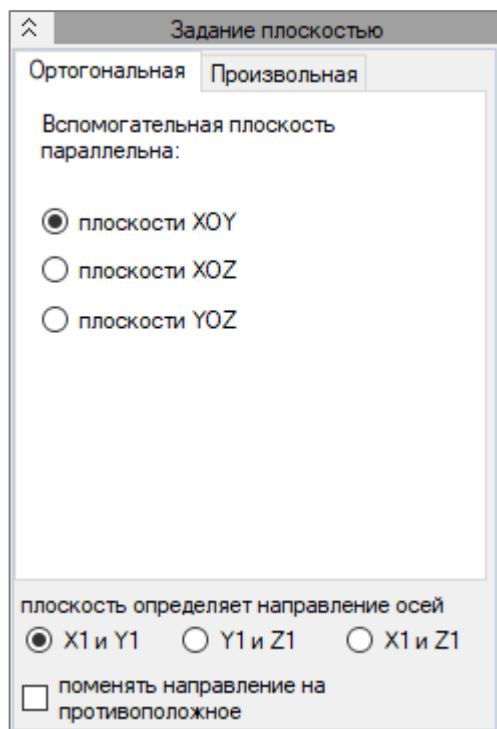
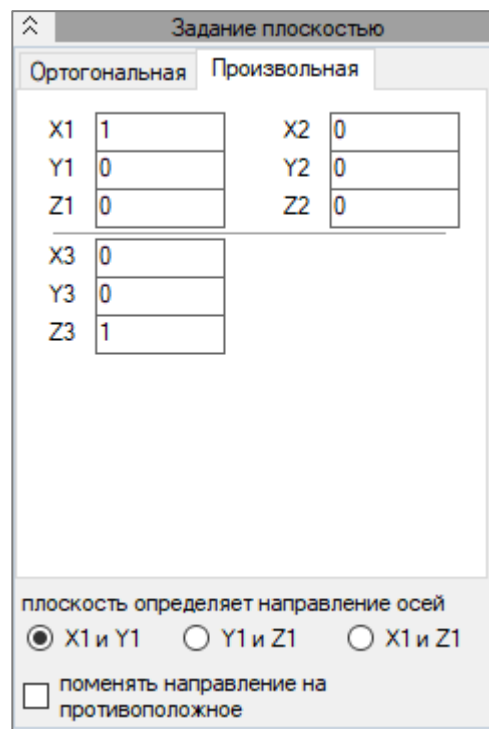


Рис. 2.364. Вкладка **Задание углом**

**Задание осей плоскостью** может выполняться двумя способами в зависимости от ориентации вспомогательной плоскости: **Ортогональной** (рис. 2.365) или **Произвольной** (рис. 2.366).

Рис. 2.365. Зкладка **Ортогональная**Рис. 2.366. Зкладка **Произвольная**

Назначение ориентации осей с помощью закладки **Ортогональная** происходит следующим образом. Сначала необходимо задать положение вспомогательной плоскости, выбрав один из трех переключателей, каждый из которых будет ориентировать вспомогательную плоскость параллельно одной из плоскостей, образуемой глобальными осями. Далее требуется указать, какие из осей ортотропии будут принадлежать вспомогательной плоскости.

Назначение осей в закладке **Произвольная** предоставляет возможность задания вспомогательной плоскости по трем точкам. Для этого необходимо указать координаты точек, заполнив соответствующие поля.

Установка флажка **поменять направление на противоположное** приведет к изменению направления назначенных осей на противоположное.

В раскрывающейся вкладке **Задание точкой** (рис. 2.367) доступно задание осей путем указания положения точки, через которую будет проходить ось, выбранная с помощью переключателя. Также оси можно повернуть на угол  $\mathbf{Fi}$  вокруг одной из них. При этом положительный знак угла соответствует повороту вокруг выбранной оси против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

Установка флажка **поменять направление на противоположное** приведет к изменению направления назначенных осей на противоположное.

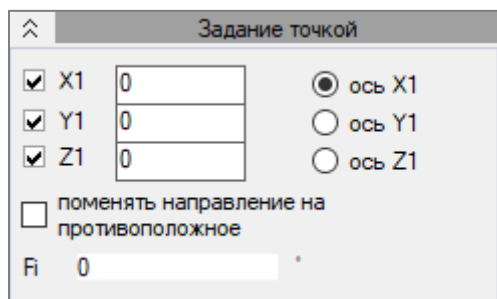


Рис. 2.367. Вкладка **Задание точкой**

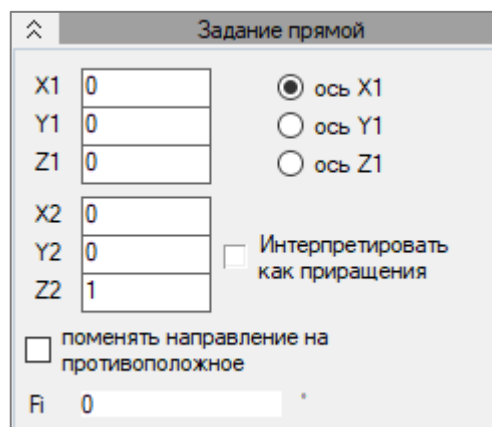


Рис. 2.368. Вкладка **Задание прямой**

В раскрывающейся вкладке **Задание прямой** (рис. 2.368) доступно задание осей путем указания прямой, перпендикулярно которой будет проходить ось, выбранная с помощью переключателя. Также оси можно повернуть на угол  $\mathbf{Fi}$  вокруг одной из них. При этом положительный знак угла соответствует повороту вокруг выбранной оси против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

При установленном флажке **Интерпретировать как приращения** система интерпретирует координаты второго узла как координаты первого плюс координаты X2, Y2, Z2.

Установка флажка **Индикация назначения** используется для предварительного отображения осей на экране.

После ввода всех необходимых данных нужно нажать кнопку **Назначить**.


Для удаления назначенных локальных осей, нужно нажать кнопку **Вернуть умалчиваемую**.

В раскрывающейся вкладке **Политика назначения** (рис. 2.369) необходимо выбрать действия путем установки переключателя:

- Заменять существующую систему осей выравнивания напряжений и/или осей ортотропии.
- Оставлять существующую систему осей выравнивания напряжений и/или осей ортотропии.

Также необходимо указать, какие оси будут назначены элементам:

- **оси выравнивания напряжений;**
- **оси ортотропии;**
- **оси выравнивания напряжений и оси ортотропии.**

 *Положение осей отображается на схеме при установке флажка **Оси выравнивания напряжений** или **Оси ортотропии** (**Вид** ⇨ **Атрибуты представления**).*

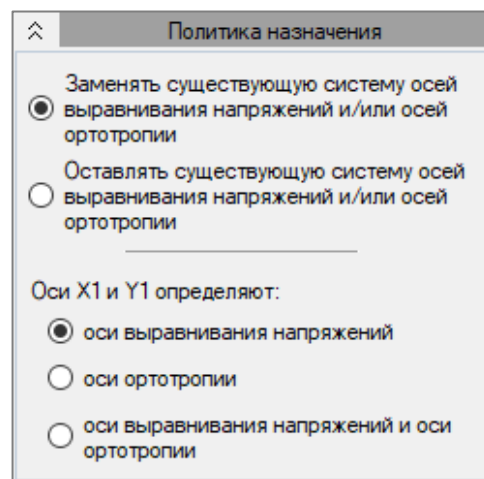



Рис. 2.369. Вкладка **Политика назначения**



## 2.11.7 Шарниры

Для назначения шарниров необходимо воспользоваться командой **Назначение** ⇨ **Шарниры** или кнопкой на панели инструментов . Откроется панель активного режима **Назначить шарниры** (рис. 2.370).

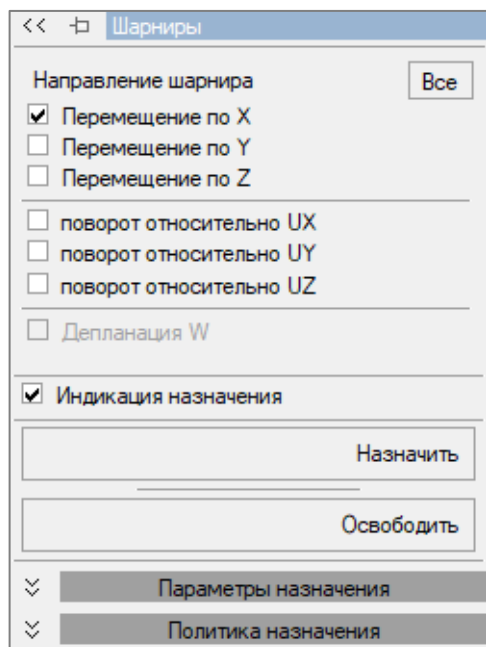


Рис. 2.370. Панель режима **Назначить шарниры**

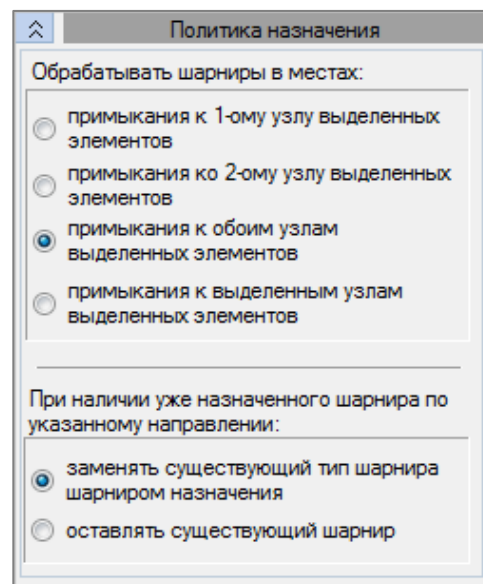



Рис. 2.371. Вкладка **Политика назначения**

Постановка шарнира подразумевает снятие или ограничение жесткости связи одного из концов стержня с узлом схемы. Шарнир возможно установить в начале и/или в конце стержня по какой-либо степени свободы в местной системе координат этого стержня. Перед назначением стержень необходимо выделить.

Для концов стержня с помощью установки соответствующих флажков указываются направления, по которым требуется ввести шарниры. Начало и конец стержня определяются направлением местной оси X. Допускается вводить как угловые (вокруг осей X, Y, Z), так и линейные (вдоль осей X, Y, Z) шарниры.

Установка флажка **Депланация W** подразумевает шарнир по седьмой степени свободы в указанных стержнях.

Отмечая флажком **Индикация назначения**, можно предварительно просмотреть заданный шарнир , где три верхних цвета обозначают перемещение вдоль X, Y, Z, а три нижних — поворот относительно X, Y, Z (цвет соответствует цвету оси).

Во вкладке **Параметры назначения** (рис. 2.372) нужно выбрать **Тип шарнира**:

- **Идеальный** — жесткость шарнира равна нулю;
- **Упругий** (дополнительно нужно задать жесткость линейного и углового направления);
- **Нелинейный** (доступен только для нелинейных задач).

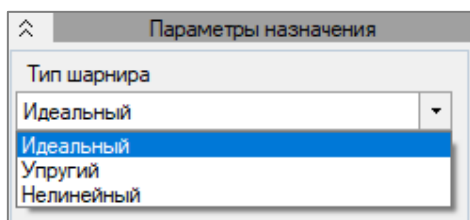


Рис. 2.372. Вкладка  
Параметры назначения

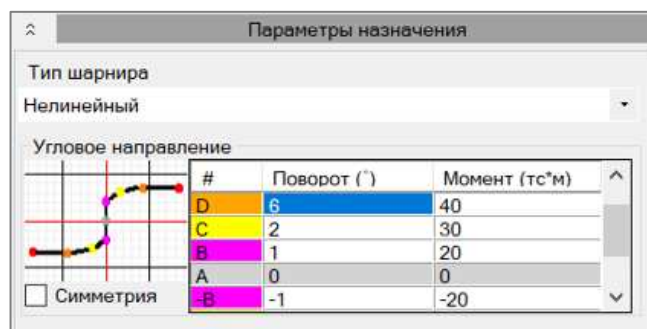


Рис. 2.373. Нелинейный шарнир

Нелинейные шарниры (рис. 2.373) могут моделировать упруго-пластичное поведение элемента 7-го или 10-го типа в выбранном крайнем узле.

Для описания закона в общем случае реализовано до 4 точек диаграммы на положительную и отрицательную ветку. Для удобства точки на диаграмме и в таблице отмечены одинаковым цветом.

Для корректной работы программы начальные текущие модули деформации положительной и отрицательной ветки (отношение усилия к перемещению в точке «B» и «-B») должны совпадать. Кроме того, при заполнении таблицы не допускается отрицательный наклон диаграммы (ниспадающая ветвь).

В нелинейном законе шарнира могут быть заполнены не все ячейки таблицы. После последней заполненной точки будет считаться, что шарнир после ее достижения работает как идеально пластичный.

Разгрузка шарнира происходит по начальному модулю. Если положительное и отрицательное направление шарнира работает одинаково, то для упрощения имеется возможность назначить симметричный закон, установив флажок **Симметрия** и заполнив диаграмму только в положительном направлении.

В раскрывающейся вкладке **Политика назначения** (рис. 2.371) нужно задать параметры размещения шарнира выделенного элемента.

После задания всех необходимых параметров нажмите кнопку **Назначить**.

Для того чтобы освободить КЭ от шарниров, необходимо нажать кнопку **Освободить**.

### 2.11.8 Жесткие вставки

Для назначения жестких вставок необходимо воспользоваться командой **Назначение** ⇨

**Жесткие вставки** или кнопкой  на панели инструментов.

Жесткие вставки используются, как правило, при нарушении соосности стыковки стержней в узле. Например, при моделировании двухступенчатой колонны (стык подкрановой и надкрановой части колонны), примыкания ригеля к колонне, моделирования ребристых плит и т.п.

Жесткие вставки ориентируются вдоль осей глобальной или местной системы координат по линейным направлениям X, Y, Z. При этом нагрузки, задаваемые на стержень с жесткими вставками, привязываются к началу гибкой части. Заданный шарнир располагается между жесткой вставкой и гибкой частью элемента.

Усилия вычисляются только в гибкой части стержня, поэтому при проверке равновесия в узле, где присутствует такой стержень, следует производить перенос усилий из гибкой части стержня в узел с учетом заданной нагрузки на жесткую вставку.

Панель активного режима назначения жестких вставок состоит из двух раскрывающихся вкладок:

- **Стержневые элементы;**
- **Пластинчатые элементы.**

### Стержневые элементы

При помощи диалогового окна (рис. 2.374) возможно задание жестких вставок в начале (1-й узел) и/или в конце (2-й узел) стержня.

В раскрывающемся списке вверху окна необходимо выбрать метод задания жестких вставок:

- **Приращение координат** — жесткие вставки задаются по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  в местных или глобальных осях в текущих единицах измерения и на предварительно выделенный элемент.

- **Вектор и длина** — жесткие вставки задаются как в предыдущем пункте, с указанием необходимой длины.

- **Сечение:  $Z1+$ ,  $Z1-$ ,  $Y1+$ ,  $Y1-$ ,  $Z1+Y1+$ ,  $Z1+Y1-$ ,  $Z1-Y1-$ ,  $Z1-Y1+$**  — жесткие вставки задаются относительно местных осей сечения элемента в указанном направлении.

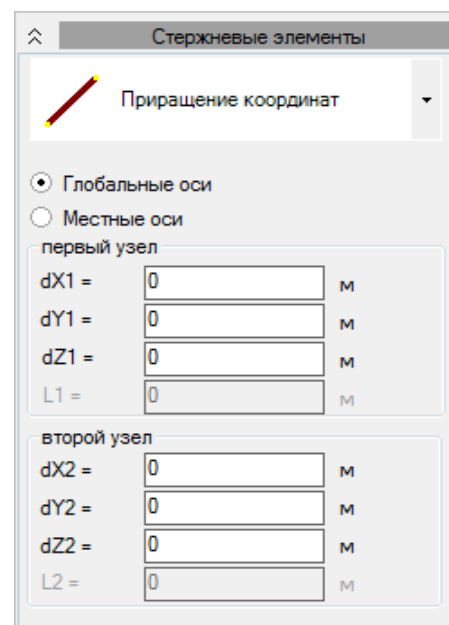


Рис. 2.374. Вкладка **Стержневые элементы**

### Пластинчатые элементы

Для задания жестких вставок на пластинчатые элементы необходимо воспользоваться диалоговым окном (рис. 2.375), где в раскрывающемся списке нужно выбрать метод задания жестких вставок:

- **Значение** — жесткие вставки задаются по координате  $Z$  в местных или глобальных осях в текущих единицах измерения и на предварительно выделенный элемент. Положительное направление вставки будет совпадать с направлением оси  $Z1$ .

- **Сечение:  $Z1+$ ,  $Z1-$**  — жесткие вставки задаются относительно местных осей сечения элемента в указанном направлении.

Жесткая вставка будет введена во все узлы конечного элемента пластины.

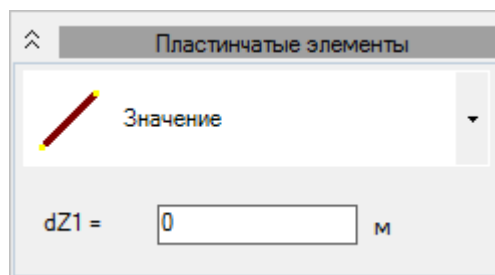


Рис. 2.375. Вкладка **Пластинчатые элементы**

При установке флажка **Индикация назначения** на экране отображаются назначаемые жесткие вставки.

Флажок **Отображать, используя относительный масштаб** оставляет масштаб жесткой вставки одного и того же размера, при этом используется коэффициент масштабирования во время отображения жесткой вставки на экране.


После задания всех необходимых параметров нажмите кнопку **Назначить**.

Для того чтобы освободить КЭ от жесткой вставки, необходимо нажать кнопку **Освободить**.

 Освобождаемый или назначаемый КЭ должен быть выделен.

### 2.11.9 Упругое основание

Для назначения упругого основания необходимо воспользоваться командой **Назначение**

⇒ **Упругое основание** либо кнопкой  на панели инструментов. Панель активного режима **Упругое основание** состоит из трех раскрывающихся вкладок.

Во вкладке **Назначение** (рис. 2.376) доступно непосредственное назначение параметров упругого основания выбранным элементам или их освобождение от ранее назначенных параметров.

В первую очередь необходимо выбрать тип КЭ из раскрывающегося списка (рис. 2.377).

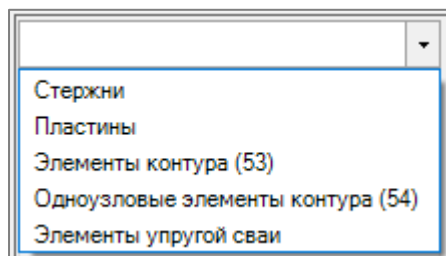


Рис. 2.377. Типы конечных элементов

После этого открывается доступ к полям ввода коэффициентов постели **C1** и **C2**, коэффициентов упругого основания вдоль стержня **Cx** и в плоскости **Cx** и **Cy**, а также ширины опирания (для стержней) и угла клина (в случае одноузловых элементов контура (54)).

При работе со стержневыми элементами их ширину можно задавать вручную путем ввода значения в соответствующее поле **Ширина** или она будет задана автоматически, основываясь на значении, назначенном в редакторе сечений при установке флажка **Ширина из сечения**.

**Ширина опирания Wz** — это ширина подошвы фундамента.

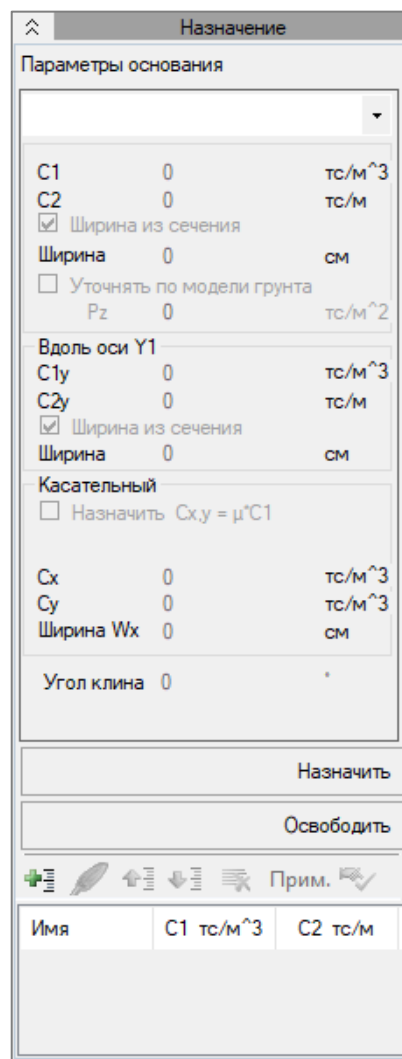



Рис. 2.376. Вкладка **Назначение**


**Ширина опирания  $W_y$**  — это ширина части фундамента, которая работает перпендикулярно основанию. Условно, это высота фундамента, имеющая контакт с грунтом.

 *Будьте внимательны! Параметры ширины опирания  $W_y$  и  $W_z$  привязаны к локальной системе координат стержня, к осям  $Y1$  и  $Z1$  соответственно. Для этой системы координат стержня будут посчитаны коэффициенты постели. Если локальные оси стержня на схемы были повернуты так, что ось  $Z1$  стержня не совпадает с направлением глобальной оси  $Z$ , то указанные выше определения для  $W_y$  и  $W_z$  могут быть не совсем точными, при повороте осей на 90 градусов определения для  $W_y$  и  $W_z$  «меняются местами». Это следует учитывать при манипуляциях со схемой.*

**Ширина  $W_x$**  — это длина контура сечения фундамента, которая контактирует с грунтом на сдвиг.

Поля **Уточнить по модели грунта** и  **$P_z$**  используются для дальнейшей работы с элементами в системе ГРУНТ (см. Главу 5).

Также в данной вкладке доступен переход к расчету коэффициентов постели под центром отдельно стоящего фундамента или фундаментной плиты по геологическим условиям из одной скважины.

Для добавления расчета скважины в список необходимо нажать кнопку . После чего появится диалоговое окно **Расчет коэффициентов постели  $C1$  и  $C2$**  (рис. 2.378).

Диалоговое окно дает возможность присвоить новое имя скважине (введя текст в строку **Имя**) либо оставить имя по умолчанию.

Также окно содержит три следующие вкладки (две первые относятся к заданию исходных данных, а третья — к отображению результатов):

- **Конструктивное решение;**
- **Геология;**
- **Результаты** (появляется после выполнения вычислений).

### Конструктивное решение

Первая вкладка окна исходных данных относится к конструктивному решению фундамента и выбору схем расчета (рис. 2.378).

Для описания конструктивного решения необходимо указать следующие параметры:

- вертикальную нагрузку на фундамент;
- эксцентриситет приложения нагрузки (путем выбора переключателя задать необходимое направление, затем задать значение в текстовую строку, место приложения нагрузки отобразится на эскизе в правой стороне окна);
- глубину заложения;
- удельный вес грунта выше подошвы фундамента;
- форму фундамента (путем выбора нужного переключателя);
- размер меньшей стороны фундамента;
- соотношение сторон фундамента;
- соотношение напряжений для ограничения глубины сжимаемой толщи.

Необходимо также выбрать требуемую схему расчета осадок:

- схему линейно деформируемого полупространства (схема ЛПП) в соответствии с пп. 1–6 Приложения 2 СНиП 2.02.01-83\*;

- схему линейно деформируемого слоя (схема ЛДС) в соответствии с пп. 7–8 Приложения 2 СНиП 2.02.01-83\*;
- схему линейно деформируемого полупространства (схема ЛПП) в соответствии с пп. 5.5.31-5.5.42 СП 50-101-2004;
- схему линейно деформируемого полупространства (схема ЛПП) в соответствии с пп. 5.6.31-5.6.41 СП 22.13330.2016;
- схему линейно деформируемого слоя (схема ЛДС) в соответствии с пп. Приложения В СП 22.13330.2016;
- схему линейно деформируемого полупространства (схема ЛПП) в соответствии с пп. Д.1–Д.10 Дополнения Д ДБН В.2.1-10:2009;
- быстрое определение осадки в соответствии с пп. Д.11–Д.12 Дополнения Д ДБН В.2.1-10:2009;
- при наличии динамических воздействий можно воспользоваться эмпирической формулой О.А. Савинова для вычисления  $C_1$ ;
- СП РК EN 1997-1: 2004/2011;
- EN 1997-1:2004 Eurocode 7.

Для определения нижней границы сжимаемой толщи по СНиП 2.02.01-83\* необходимо задать допускаемое отношение между дополнительным вертикальным напряжением и вертикальным напряжением от собственного веса грунта.

Для определения нижней границы сжимаемой толщи по СП 50-101-2004 отношение  $\lambda$  может быть вычислено автоматически и выдано в результатах расчета.

Вертикальная нагрузка	P	50	тс
Эксцентриситет	<input type="radio"/> ex	0	м
	<input type="radio"/> ey		
Глубина заложения	h0	1	м
Удельный вес грунта выше подошвы фундамента	g0	1.8	тс/м <sup>3</sup>
Форма фундамента			
<input checked="" type="radio"/> Прямоугольный		<input type="radio"/> Круглый	
Меньшая сторона фундамента	b	3	м
Соотношение сторон фундамента		1	
Соотношение напряжений для ограничения глубины сжимаемой толщи			
<input type="checkbox"/>	Вычислить	0.2	
Схема расчета			
<input checked="" type="radio"/> Схема линейно деформируемого полупространства по СНиП 2.02.01-83			
<input type="radio"/> Схема линейно деформируемого слоя по СНиП 2.02.01-83			
<input type="radio"/> Схема линейно деформируемого полупространства по СП 50-101-2004			
<input type="radio"/> Схема линейно деформируемого полупространства по СП 22.13330.2016			
<input type="radio"/> Схема линейно деформируемого слоя по СП 22.13330.2016 (Приложение В)			
<input type="radio"/> Схема линейно деформируемого полупространства по ДБН В.2.1-10:2009			
<input type="radio"/> Быстрое определение осадки по ДБН В.2.1-10:2009 (Дополнение Д)			
<input type="radio"/> Для динамических воздействий, используя эмпирическую формулу О.А. Савинова			
<input type="radio"/> СП РК EN 1997-1:2004/2011			
<input type="radio"/> EN 1997-1:2004 Eurocode 7			

Рис. 2.378. Расчет коэффициентов постели  $C_1$  и  $C_2$  (вкладка Конструктивное решение)

## Геология

Вторая вкладка окна исходных данных относится к инженерно-геологическим условиям (рис. 2.379).

Здесь задается количество слоев грунта, номер текущего слоя, цвет и его характеристики:

- $E_i$  — модуль деформации грунта (по ветви первичного нагружения);
- $k_i$  — коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения  $E_{e,i} = k_i * E_i$  (задается только при расчете по СП 50-101-2004);
- $m_i$  — коэффициент Пуассона;
- $h_i$  — толщина слоя;
- $g_i$  — удельный вес грунта.

Рис. 2.379. Вкладка Геология

Количество слоев грунта		n	1
Характеристики слоя			
Номер текущего слоя	i	1	
Цвет слоя			
Модуль деформации слоя	$E_i$	1500	тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент $k_i$	$E_{e,i} = k_i * E_i$	1	
Коэффициент Пуассона	$m_i$	0.35	
Толщина слоя	$h_i$	10	м
Удельный вес грунта	$g_i$	1.8	тс/м <sup>3</sup>
Признак грунта			
<input checked="" type="radio"/> Песчаный		<input type="radio"/> Пылевато-глинистый	
Признак воды			
Признак воды отсутствует			
Природная влажность	$w_i$	0.25	
Коэффициент пористости	$e_i$	0.5	
Коэффициент фильтрации	$K_f$	0.0001	м/с
Коэффициент жесткости для формулы О.А. Савинова	$Co_i$	1400	тс/м <sup>3</sup>

Рис. 2.379. Вкладка Геология

Для расчета по схеме ЛДС необходимо задать также признак грунта — **Песчаный** или **Пылевато-глинистый** (путем выбора соответствующего переключателя).

Нужно также указать соответствующий признак воды, выбрав из раскрывающегося списка (рис. 2.380).

Рис. 2.380. Признак воды

Также нужно задать следующие параметры грунта:

- $w_i$  — природная влажность;
- $e_i$  — коэффициент пористости;
- $K_{fi}$  — коэффициент фильтрации.

Чтобы воспользоваться эмпирической формулой О.А. Савинова, необходимо указать коэффициент жесткости  $Co_i$ , соответствующий виду грунта.

### Результат

Третья вкладка окна появляется после выполнения вычислений (рис. 2.381).

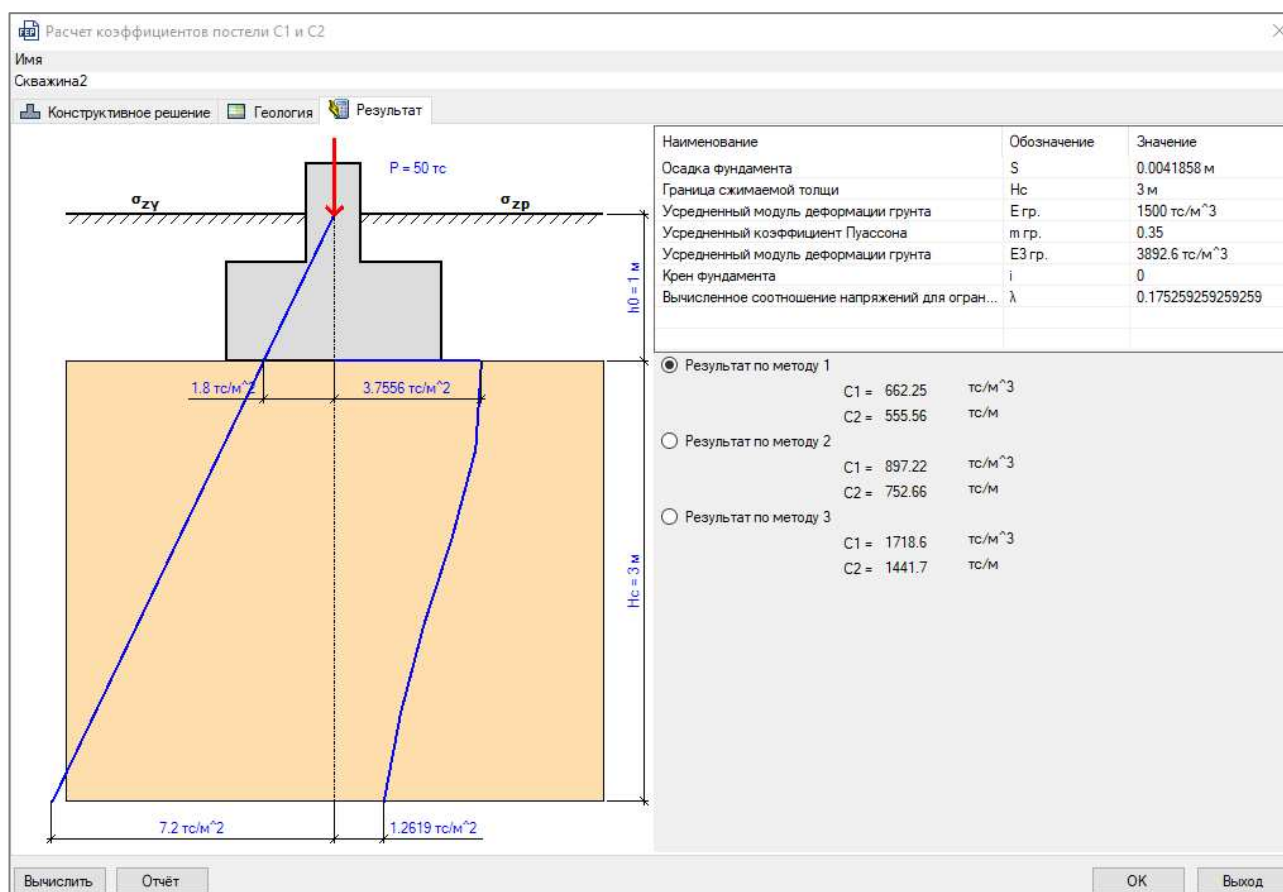


Рис. 2.381. Вкладка **Результат**

Отображаются следующие величины:

- Осадка фундамента — **S**;
- Граница сжимаемой толщи соответственно для схем ЛПП и ЛДС — **Hc**;
- Усредненный модуль деформации грунта — **E гр**;
- Усредненный коэффициент Пуассона — **m гр**;
- Усредненный модуль деформации грунта, вычисляемый из предположений об увеличении модуля деформации грунта по глубине и о равномерном распределении дополнительного напряжения — **E3 гр**;
- Крен фундамента по пп. 9-11 Приложения 2 СНиП 2.02.01-83\*; или пп. 5.5.43-5.5.45 СП 50-101-2004; п. Д.13 Дополнением Д ДБН В.2.1-10:2009; пп. 5.6.43-5.6.45 СП 22.13330.2016 — **i**;
- Вычисленное соотношение напряжений для ограничений глубины сжимаемой толщи —  $\lambda$ ;




- $C1$ ,  $C2$  — коэффициенты постели грунтового основания на сжатие и сдвиг.

При нажатии кнопки **Отчет** выполняется автоматическое формирование отчета в Word в соответствии с выведенными разделами.


Для сохранения расчета скважин в список необходимо нажать кнопку **ОК**, а для выхода без сохранения — **Выход**.

После выполнения расчетов коэффициентов постели на панели активного режима появится список вычисленных скважин.

Для расчета текущей скважины нужно нажать на кнопку  либо же дважды щелкнуть мышкой по строке с необходимой скважиной.

С помощью кнопок  и  можно перемещать элементы списка вверх или вниз.

Чтобы удалить расчет скважины из списка, воспользуйтесь кнопкой .

Для применения рассчитанных на текущей скважине коэффициентов постели необходимо нажать кнопку . Затем выделить элементы расчетной схемы и нажать кнопку **Назначить**.

Вкладка **Изменить значение** (рис. 2.382) позволяет изменять значения коэффициентов  $C1$ ,  $C2$ , а также  $Cx$  и  $Cy$  умножением их на заданную величину. Для этого в текстовые строки необходимо ввести числовые величины, на которые будут умножаться коэффициенты, а затем нажать кнопку **Изменить**.

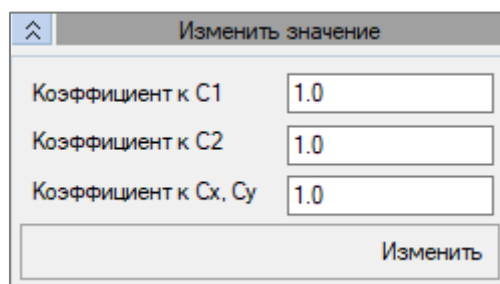


Рис. 2.382. Вкладка **Изменить значение**

Вкладка **Визуализация** (рис. 2.383) используется при необходимости отображения на экране коэффициентов постели или нагрузки для системы ГРУНТ (см. Главу 5). Для этого нужно отметить флажком типы КЭ и выбрать необходимый параметр, нажав на кнопку с соответствующим названием.

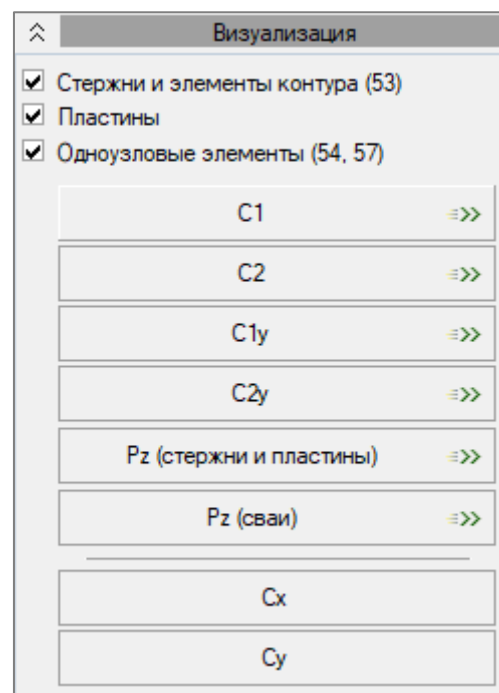



Рис. 2.383. Вкладка **Визуализация**


### 2.11.10 Группы элементов

Упростить работу с большим количеством элементов можно, используя группы элементов. Для работы с группами элементов необходимо перейти в режим **Редактировать группы элементов** (рис. 2.384), воспользовавшись командой **Конструирование** ⇨

**Группы элементов** либо нажав кнопку  на панели инструментов. Данная функция позволяет объединять элементы в группы для получения быстрого доступа к ним.

В верхней части панели активного режима отображен список существующих групп, в котором можно изменить имя группы и цвет ее индикации на экране. Под списком групп отображается список номеров узлов, из которых состоит текущая группа.

Если установить флажок **Индикация текущей группы**, то текущая группа будет предварительно отображаться на экране.

Для создания группы с отдельными КЭ нужно выделить необходимые КЭ в режиме  (**Выбрать объекты**) или вписать номера КЭ в список. Один и тот же КЭ или группа КЭ не может существовать в двух группах одновременно, поэтому если вы создаете новую группу уже с использованным ранее объектом, в этом случае он будет удален из предыдущей группы.

Когда элементы выделены, нужно нажать кнопку **Добавить группу элементов**.

Чтобы изменить список элементов в какой-то из групп, нужно ввести в список номера КЭ или выделить на схеме необходимую группу КЭ. А затем нажать на кнопку **Изменить список элементов**, после чего все элементы группы будут заменены на выделенные.

Чтобы добавить в существующую группу элементы, нужно выделить их на схеме или ввести номера в список и нажать кнопку **Пополнить список элементов**.

Кнопка **Выделить на схеме** выделяет элементы текущей группы на схеме. Кнопка **Удалить текущую группу** удаляет выбранную группу элементов. При помощи кнопки **Удалить пустые группы** можно удалить все группы, которые не содержат элементы.

Для создания множества групп выберите с помощью флажков параметры, которые будут учитываться при создании групп (сечения, материалы, параметры конструирования, типы элементов, этажи), а также укажите минимальную высоту этажа (расстояние между горизонтальными элементами, которые принадлежат одному этажу). После этого нажмите на кнопку **Создать множество групп**. Список созданных групп автоматически отобразится в таблице.

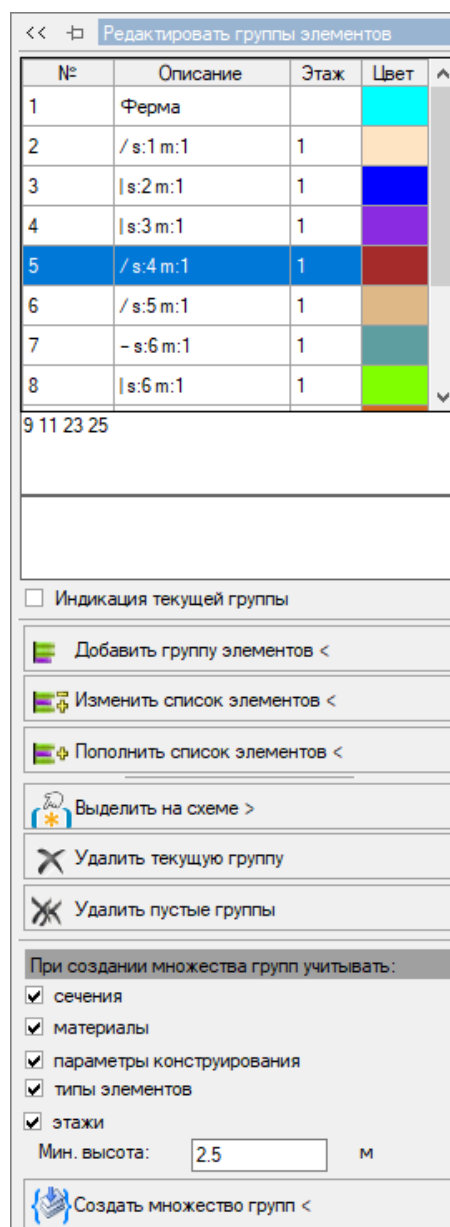



Рис. 2.384. Панель Редактировать группы элементов

### 2.11.11 Конструктивные элементы

Для работы с конструктивными элементами необходимо перейти в режим **Редактировать конструктивные элементы**, воспользовавшись командой **Конструирование** ⇨ **Конструктивные элементы** либо нажав кнопку  на панели инструментов (рис. 2.385).

Конечные элементы, объединенные в конструктивный, будут рассмотрены в совокупности при конструировании.

В окне режима отображен список существующих конструктивных элементов, в котором можно изменить имя группы и цвет ее индикации на экране. Под списком элементов отображается список номеров узлов, из которых состоит текущий элемент.

При установке флажка **Индикация текущего элемента** выбранный конструктивный элемент будет подсвечиваться на схеме.

При создании конструктивных элементов необходимо придерживаться следующих требований:

- Стержням должны быть назначены однотипные:
  - материал;
  - сечение;
  - параметры конструирования.
- Стержни должны иметь одинаковые направления локальных осей. В противоположном случае необходимо применить команду **Сонаправить** (в режиме **Назначить стержням локальные оси**), которая приводит к единообразной ориентации местных осей в предварительно отмеченных стержнях.
  - Стержни должны иметь общие узлы.
  - Элементы группы не должны входить в другие конструктивные элементы.

Для создания конструктивного элемента необходимо выделить группу стержней на расчетной схеме и нажать на панели активного режима кнопку **Добавить конструктивный элемент**.

При необходимости изменить список элементов нужно ввести в список номера конструктивных элементов или выделить на схеме необходимые элементы. После нажатия кнопки **Изменить конструктивный элемент** все конструктивные элементы будут заменены на выделенные.

Существующий конструктивный элемент может быть пополнен элементами. Для этого необходимо выделить элементы на схеме и воспользоваться кнопкой **Пополнить конструктивный элемент**.



Рис. 2.385. Панель  
**Редактировать  
конструктивные элементы**

Кнопка **Создать множество конструктивных элементов** позволяет автоматически создавать конструктивные элементы из конечных элементов, выбранных на схеме. Конструктивные элементы будут создаваться, исходя из следующих принципов:

- границей конструктивного элемента является:
  - узел, в который входят свыше двух стержней;
  - узел, в который входят стержни с разным направлением локальных осей;
  - замыкающий узел конструктивного элемента.

При создании множества конструктивных элементов есть возможность учитывать/не учитывать примыкания в промежуточных узлах. Для этого необходимо выбрать соответствующий переключатель на панели **Политика назначения множества**. При выбранной политике назначения **Учитывать примыкания в промежуточных узлах** узел, в который входит свыше двух стержней, не будет являться границей конструктивного элемента и программа будет продолжать поиск подходящих КЭ для добавления в конструктивный элемент. Назначение выполняется кнопкой **Создать множество конструктивных элементов**. После выполнения операции выбор автоматически снимается.


Кнопка **Выделить на схеме** выделяет на схеме КЭ, принадлежащие текущему конструктивному элементу.

Кнопка **Удалить текущий конструктивный элемент** удаляет выбранный конструктивный элемент.


При помощи кнопки **Удалить пустые конструктивные элементы** можно удалить все конструктивные элементы, которые не содержат КЭ.

В поле **Точность** вводится допустимая погрешность попадания узлов на геометрическую ось конструктивного элемента.

При создании конструктивного элемента необходимо задать его геометрию, установив соответствующий флажок в области **Геометрия конструктивного элемента**.


 *Геометрия конструктивного элемента **Окружность** и **Выпуклая фигура** не распространяется на создание множества конструктивных элементов.*

### 2.11.12 Копирование свойств узлов и элементов

Для копирования свойств с узлов/КЭ на уже существующие узлы/КЭ воспользуйтесь командой **Правка ⇒ Копировать свойства** либо нажмите кнопку  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Копировать свойства**, которая включает в себя три раскрывающиеся вкладки (рис. 2.386).


Данный режим ускоряет построение объемных задач, моделей с большим количеством примитивов и заданными параметрами свойств.

Для копирования свойств узла или КЭ необходимо:

1. В режиме  (**Выбрать объекты**) выделить группу узлов/КЭ, которые должны принять свойства.
2. Войти в режим **Копировать свойства**.
3. На вкладке **Выбрать** отметить флажками, какие элементы с назначенными свойствами необходимо выбирать.

4. Кликнуть мышкой по узлу/КЭ с назначенными параметрами (он подсветится желтой рамкой).
5. На вкладке **Выбор свойств для копирования** отметить флажками свойства, которые необходимо передать (рис. 2.387).
6. Затем нажать кнопку **Копировать**.

Аналогичным образом можно выполнить копирование загрузок при помощи инструментов вкладки **Загрузки**.

 *Режим копирования сохраняет проверку типов по геометрии. Это означает, что можно копировать свойства только однотипных элементов (узел — узел; пластина — пластина; архитектурный стержень — архитектурный стержень и т.д.).*

*В режиме представлена возможность выбрать один элемент копирования и множество элементов, которые принимают копируемые значения и параметры.*

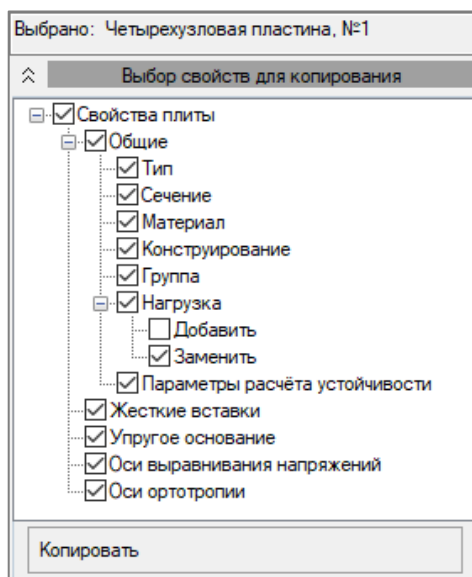


Рис. 2.387. Вкладка **Выбор свойств для копирования**

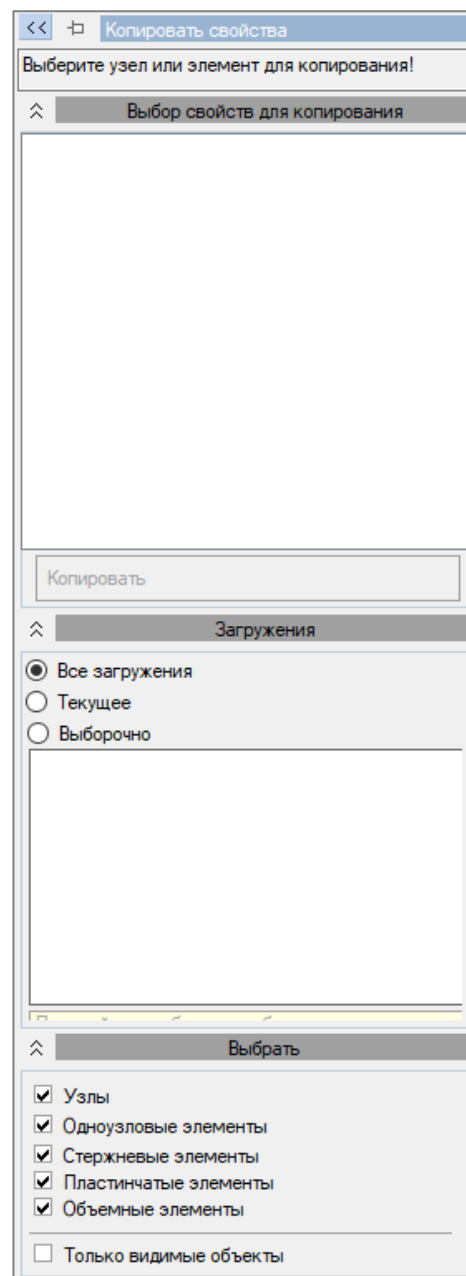





Рис. 2.386. Панель **Копировать свойства**

### 2.11.13 Информация об узле и элементе

Для просмотра информации об узле или элементе воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Информация** либо нажмите кнопку  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Информация об узле или элементе** (рис. 2.388), которая включает в себя три раскрывающиеся вкладки:

- **Свойства узла/элемента;**
- **Выбирать;**
- **Выбор по номеру.**

На вкладке **Свойства узла/элемента** (рис. 2.389) показаны исходные и рассчитанные (если они есть) свойства выбранного элемента. Свойства узла/элемента разбиты на пронумерованные категории. Названия категорий выделены жирным шрифтом. В каждой категории свойства представлены в виде динамических иерархических деревьев, т.е. некоторые свойства могут состоять из набора других свойств (значений). В свою очередь, некоторые из этих свойств состоят из наборов других свойств и т.д. Каждое из свойств имеет свое имя и значение. Чтобы открыть категорию, свойство или подсвойство выбранного свойства, выберите его и щелкните мышью на значке слева от имени свойства. Значения свойств, которые представлены обычным текстом, можно изменять. Для этого выберите нужное свойство. Далее возможны варианты:

- появился курсор в поле значения — просто измените с помощью клавиатуры это значение;
- справа от значения появился значок  — нажмите на него и выберите из списка новое значение;
- справа от значения появился значок  — нажмите на него и отобразится панель задания значения для выбранного свойства.

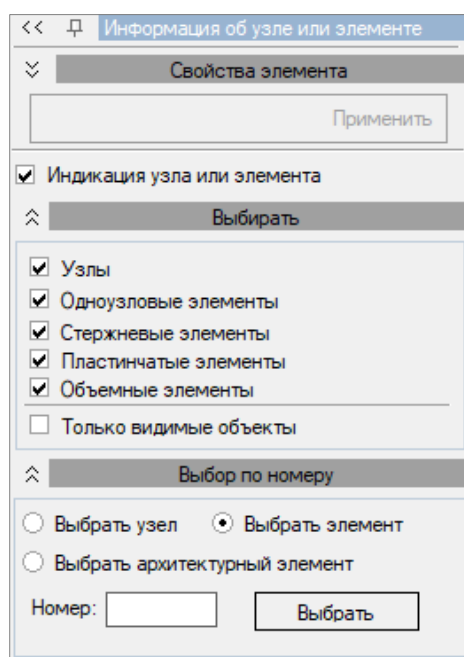


Рис. 2.388. Панель **Информация об узле или элементе**

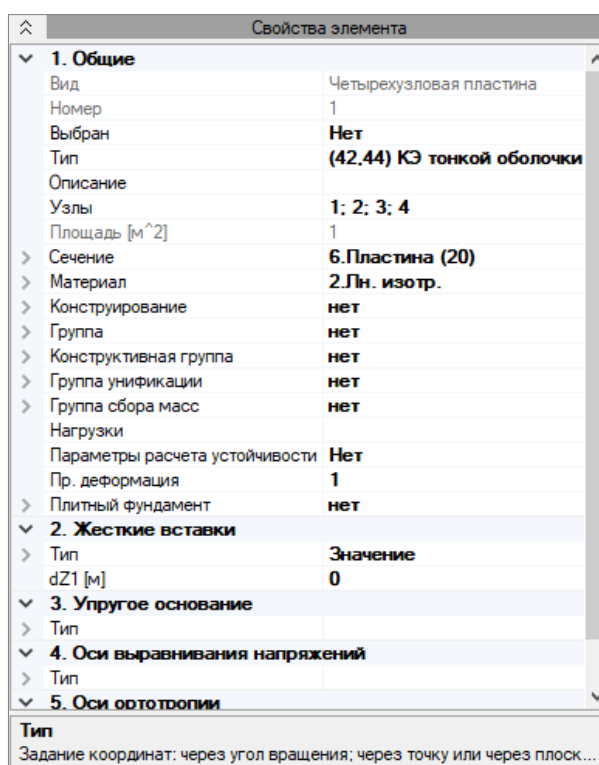



Рис. 2.389. Вкладка **Свойства элемента**

После изменений свойств элемента (узла) для их сохранения нажмите кнопку **Применить изменения**.

На вкладке **Выбирать** можно установить фильтр для дальнейшего выбора по узлам, по типу элементов или по их видимости. Таким образом, если сбросить ненужные флажки, можно упростить процесс выбора.

На вкладке **Выбор по номеру** можно выбрать примитив по номеру. Для этого с помощью переключателей выбирается тип примитива, затем вводится его номер в соответствующее поле и по нажатию кнопки **Выбрать** происходит выбор.

### 2.11.14 Группы свай и фундаментов

Для создания группы свай или фундаментов воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨ **Группы свай и фундаментов** либо нажмите кнопку  на панели инструментов.

Панель активного режима (рис. 2.390) содержит список созданных групп, в котором можно изменить имя группы и цвет ее индикации на экране. Под списком групп отображается список номеров элементов, которые входят в текущую группу.

При установке флажка **Индикация назначений** выбранная группа будет подсвечиваться на схеме.

Данный режим используется при расчете фундаментов и позволяет реализовать следующие расчетные ситуации:

- **Свайный куст;**
- **Условный фундамент;**
- **Плитный фундамент.**

Для создания свайного куста необходимо выбрать соответствующий тип группы, выделить на схеме все сваи, которые будут входить в куст, и нажать на кнопку **Добавить Свайный куст** на панели данного режима.

Чтобы создать условный свайный фундамент, необходимо выбрать переключатель **Условный фундамент** (рис. 2.391), а затем дополнительно задать **Площадь условного фундамента (Acf)** и **Способ расстановки свай** (рядовой или шахматный).

Для групп свай в **Политике назначения** нужно указать, какие сваи используются: одноузловые или архитектурные.

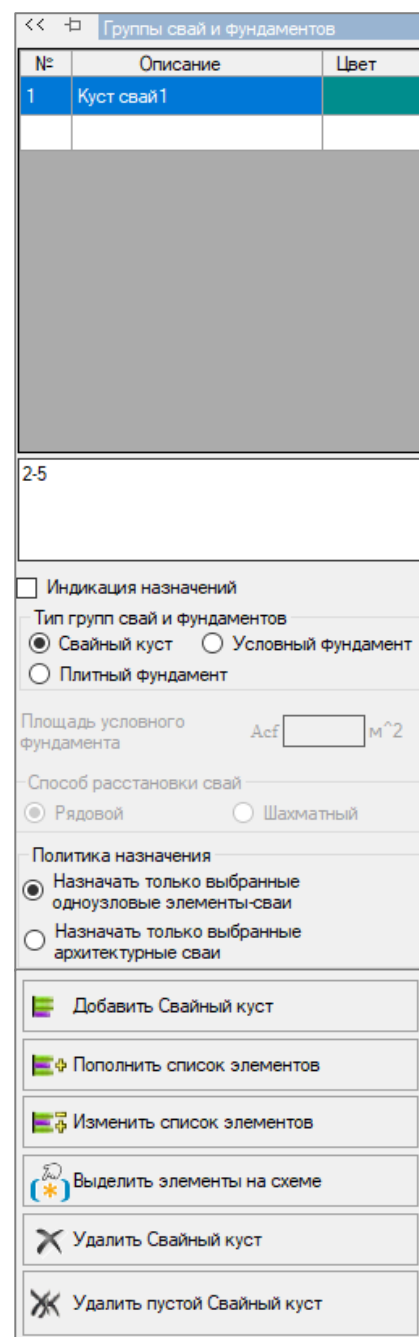


Рис. 2.390. Режим Группы свай и фундаментов

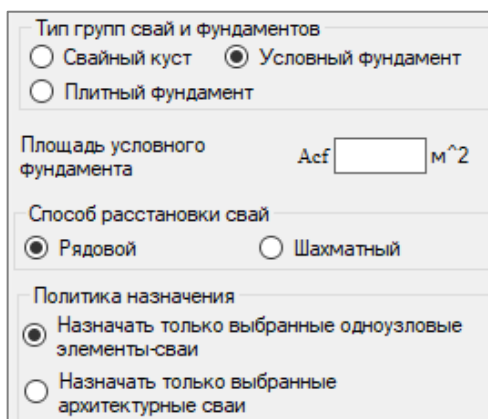



Рис. 2.391. Параметры условного фундамента

Элементы плитного фундамента необходимо объединить в группу, если в модуле ГРУНТ дополнительно нужно вычислить расчетное сопротивление грунта основания согласно СНиП 2.02.02-83\* (п. 2.41), СП 50-101-2004 (п. 5.5.8), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.7), СП 22.13330.2016 (п. 5.6.7), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Е.4) по формуле:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}]$$

При выборе переключателя **Плитный фундамент** открывается доступ к следующим параметрам (рис. 2.392):

- **Жесткая конструкция L/H** — задается соотношение длины сооружения или его отсека (L) к высоте (H). При жесткой конструкции коэффициент условий работы  $\gamma_{c2}$  в зависимости от выбранных норм, определяют по таблице 3 (СНиП 2.02.02-83\*), таблице 5.2 (СП 50-101-2004), таблице 4.4 (СП 22.13330.2011 и СП 22.13330.2016), таблице Е.7 (ДБН В.2.1-10-2009). При отсутствии данного флажка конструкция считается гибкой и  $\gamma_{c2}$  принимается равным единице.

 К зданиям с жесткой конструктивной схемой, как правило, относятся панельные здания, блочные и кирпичные, в которых междуэтажные перекрытия опираются по всему контуру на поперечные и продольные стены или только на поперечные несущие стены при малом их шаге, сооружения типа башен, силосных корпусов, дымовых труб, домен и др.

- **Характеристики грунтов взяты по таблицам норм.** Если данный флажок сброшен, то считается, что прочностные характеристики грунта, такие как удельное сцепление и угол внутреннего трения, определены непосредственно испытанием, и коэффициент k принимается равным 1. Если флажок установлен, то  $k = 1,1$ .

- **Длина фундамента, l** — габаритный размер фундаментной плиты по оси X.
- **Ширина фундамента, b** — габаритный размер фундаментной плиты по оси Y.
- **Подвал** — при наличии подвала необходимо дополнительно задать:
  - толщину слоя грунта выше подошвы фундамента со стороны подвала (**hs**);
  - толщину конструкции пола подвала (**hcf**);
  - расчетное значение удельного веса конструкции пола подвала ( **$\gamma_{cf}$** ).

При отсутствии данного флажка сооружение считается бесподвальным.

Рис. 2.392. Параметры плитного фундамента




Существующая группа свай или фундаментов может быть пополнена элементами. Для этого необходимо выделить элементы на схеме и воспользоваться кнопкой **Пополнить список элементов**.

При необходимости изменить состав группы нужно ввести в список номера элементов или выделить на схеме необходимые элементы. После нажатия кнопки **Изменить список элементов** все элементы будут заменены на выделенные.

Кнопка **Выделить элементы на схеме** выделяет на схеме элементы, принадлежащие текущей группе.



Кнопка **Удалить Свайный куст (фундамент)** удаляет выбранную группу.

При помощи кнопки **Удалить пустой Свайный куст (фундамент)** можно удалить все группы данного типа, которые не содержат элементы.

 *Геологические условия, а также физико-механические характеристики грунтов основания задаются в Редакторе грунта.*

### 2.11.15 Согласование сетей

Часто возникает ситуация, когда некоторые части модели должны быть связаны между собой, но их элементы в точках контакта не имеют общих узлов. Связать такие части модели можно с помощью согласования сетей. Иными словами, узел одной сети связывается с элементом другой сети.

Для того чтобы перейти в режим согласования сетей, воспользуйтесь командой **Назначение**  **Согласование сетей** либо кнопкой  на панели инструментов (рис. 2.393).

Между собой могут быть связаны почти все виды элементов, как линейные, так и нелинейные. Формально связаны могут быть даже сетки, которые не имеют областей пересечения. Точность решения при адекватном моделировании практически идентична случаю, когда узлы сетки массива элементов идеально совпадают.

Принцип согласования базируется на следующих положениях:

1. Из выбранного пользователем массива узлов и элементов ищутся пары узел-элемент, которые ближе всего между собой расположены, и при этом узел попадает в габарит элемента в объемном его представлении.

2. Зная пару узел-элемент, на элементе можно найти точку (фиктивный узел элемента), которая ближе всего расположена к узлу.

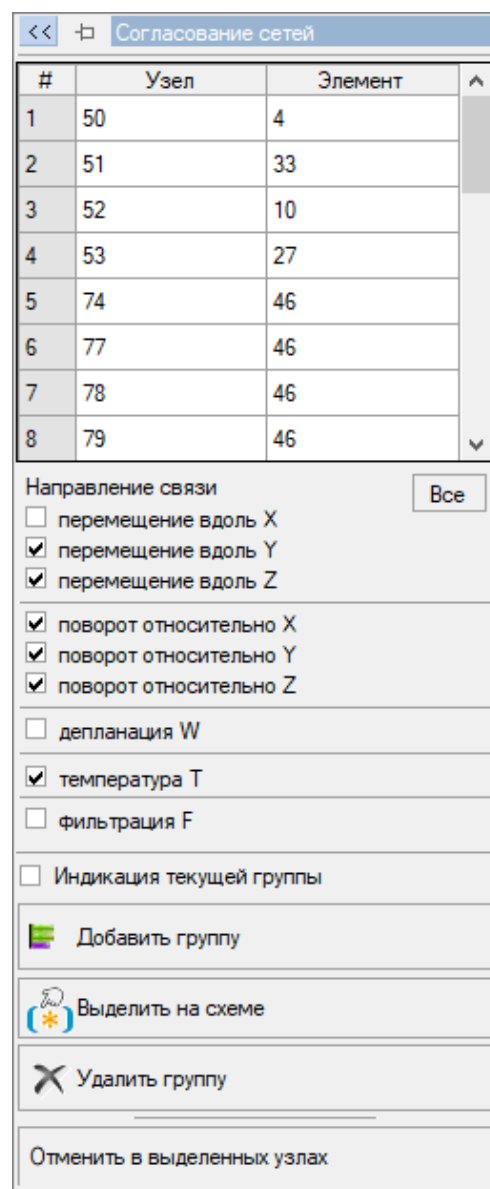


Рис. 2.393. Режим  
Согласование сетей

3. Между этой точкой и узлом накладывается жесткая связь по выбранным пользователем степеням свободы.

При составлении матрицы жесткости добавляется слагаемое, обеспечивающее совместную работу. В общем случае это не есть объединение перемещений или твердое тело, учитывается упругая/неупругая работа элементов.

Для того чтобы согласовать сети, следует задать **Узел** и **Элемент**, к которому узел привязывается. Если узел попадает в габарит (с учетом сечения) элемента, то в программе можно автоматически сгенерировать связь массивов узлов/элементов.

Также задаются степени свободы, по которым идет согласование:

- 3 линейных направления;
- 3 угловых направления;
- депланация;
- температура;
- фильтрация.

Связанными по выбранным степеням свободы могут быть даже сетки, которые не имеют точек пересечения (рис. 2.394, в). По невыбранным направлениям перемещений пара узел-элемент будет работать, как идеальный шарнир.

При назначении согласования связки визуализируются (рис. 2.394).

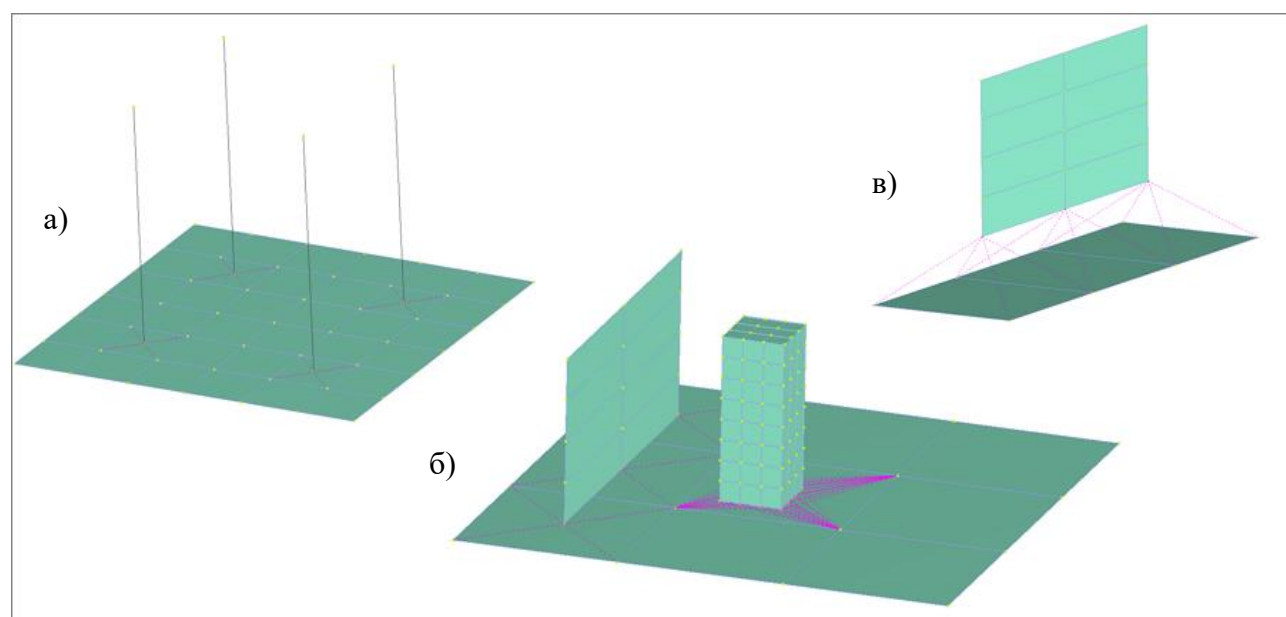


Рис. 2.394. Визуализация связей

При установленном флажке **Индикация текущей группы** на схеме будет подсвечен связанный узел и элемент выбранной в списке строки.

Кнопка **Добавить группу** выполняет согласование сетей по заданным параметрам.

Кнопка **Выделить на схеме** выделяет узел и элемент, входящие в выбранную в списке связку.

Кнопка **Удалить группу** удаляет выбранную в списке связку.

Кнопка **Отменить в выделенных узлах** удаляет согласование сетей в выделенных на схеме узлах.


## 2.11.16 Эквивалентные элементы

Учитывая преимущества и недостатки моделирования схемы разными типами элементов, в ПК ЛИРА 10.12 добавлены эквивалентные элементы.

С целью подбора и проверки конструирования по выбранным нормам из пластин и объемных элементов собираются усилия на эквивалентные элементы «более низкого порядка».

Концепция эквивалентных элементов основана на том, чтобы суммарные усилия в центре эквивалентного элемента соответствовали сумме узловых сил и моментов в элементе, с которых собираются усилия. Под узловыми силами и моментами здесь подразумеваются нагрузки, приводящие к возникновению напряжений в элементе. Для отдельного стержневого эквивалентного элемента в сбор усилий попадают те узлы, которые размещены между нормальными плоскостями, проходящими через два узла эквивалентного элемента. Для пластин собираются те узловые нагрузки, которые лежат на нормалях к эквивалентной пластине, проходящих через узлы эквивалентного элемента. Этот факт для пластин нужно учитывать, чтобы не потерять нагрузки в узлах, которые не проецируются в узлы эквивалентной пластины.

Создание в программе эквивалентных элементов выполняется либо с помощью автогенерации, либо путем построения их вручную, как обычных элементов, с изменением типа элемента на соответствующий (см. п. 2.11.5).

Для добавления эквивалентных элементов воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨ **Эквивалентные элементы** либо кнопкой  на панели инструментов.

Чтобы автоматически сгенерировать элементы эквивалентной пластины, нужно выбрать объемные элементы, с которых необходимо собрать усилия, а также выбрать узлы, которые будут принадлежать эквивалентной оболочке. Далее, находясь в режиме **Эквивалентные элементы**, следует выбрать переключатель **Добавить пластинчатые элементы** и щелкнуть на кнопке **Добавить эквивалентный элемент** (рис. 2.395).

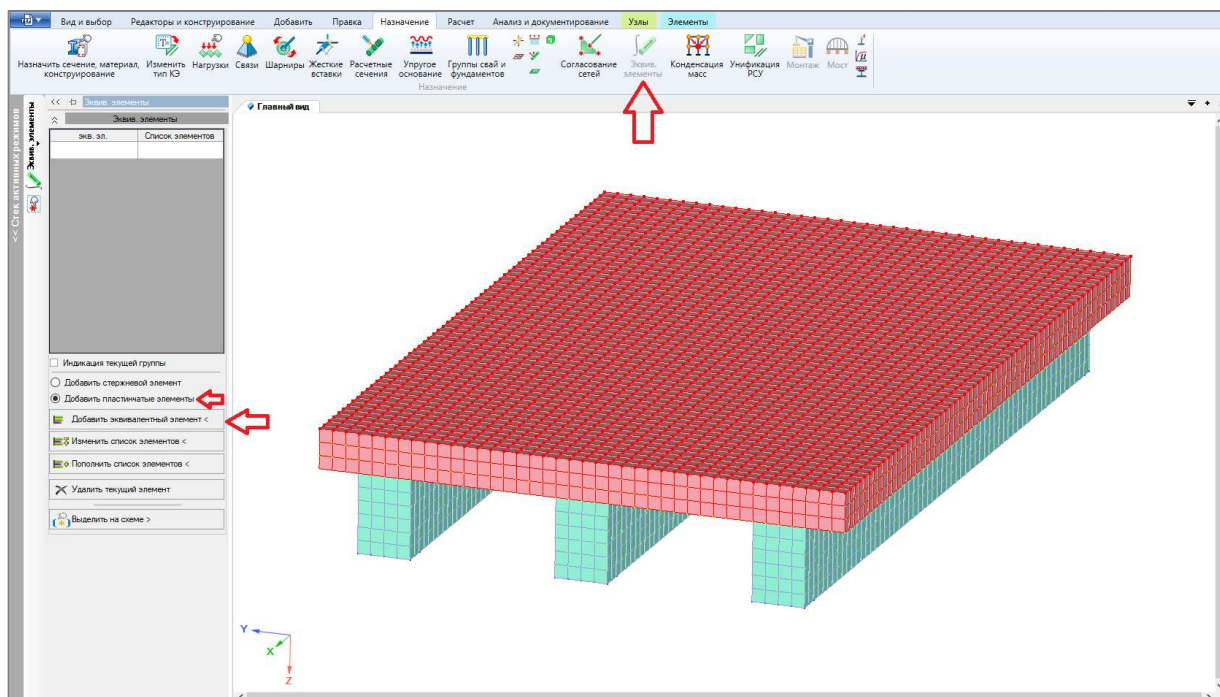


Рис. 2.395. Автогенерация эквивалентной оболочки

Чтобы автоматически сгенерировать эквивалентный стержень, нужно выбрать пластинчатые или объемные элементы, с которых необходимо собрать усилия, а также выделить два узла, которые будут началом и концом эквивалентного стержня. Далее, находясь в режиме **Эквивалентные элементы**, следует выбрать переключатель **Добавить стержневой элемент** и щелкнуть на кнопке **Добавить эквивалентный элемент** (рис. 2.396).

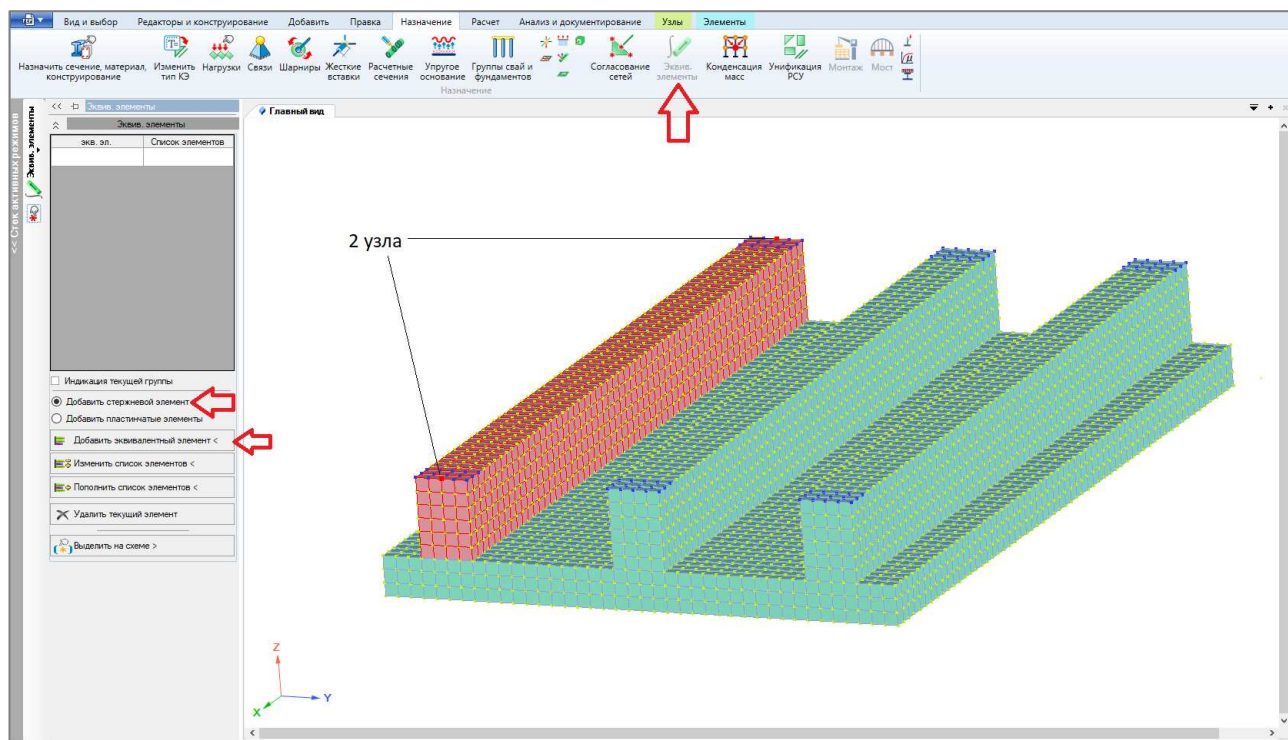



Рис. 2.396. Автогенерация эквивалентного стержня

Для создания эквивалентного элемента в ручном режиме необходимо задать стержень — для эквивалентного элемента стержня, пластину — для эквивалентного элемента пластины, а затем назначить соответствующий тип (110 — для эквивалентного стержня и 142, 144 — для эквивалентной пластины). Затем выделить эквивалентные элементы и обычные элементы, с которых будут собираться усилия, и, находясь в режиме эквивалентных элементов, нажать кнопку **Изменить список элементов** либо **Пополнить список элементов** в зависимости от того, что нужно сделать.


Кнопка **Удалить текущий элемент** удаляет выбранный в списке эквивалентный элемент.

Кнопка **Выделить на схеме** выделяет элементы модели, входящие в выбранный в списке эквивалентный элемент.

Установив флажок **Индикация текущей группы**, можно подсветить на схеме элементы, входящие в выбранный в списке эквивалентный элемент.

 *Эквивалентные элементы не обязательно должны размещаться в своем реальном положении. Они могут быть произвольно смещены в направлении нормалей к элементу.*

### 2.11.17 Конденсация масс

Для передачи веса распределенной массы на узлы конструкции воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨ **Конденсация масс** либо кнопкой  на панели инструментов.

Активизируется **Режим конденсации масс**, который применяется для конструкций с сильно отличающимися жесткостными характеристиками.

При конденсации масс указываются элементы, с которых необходимо собрать массу, и узлы, в которые собранную массу необходимо сосредоточить. Конденсация масс позволяет избавиться от форм собственных колебаний с близким к нулю процентом вклада в реакцию сооружения.

Панель активного режима содержит список существующих групп сбора масс, в котором возможно изменение имени и цвета индикации на экране (рис. 2.397).

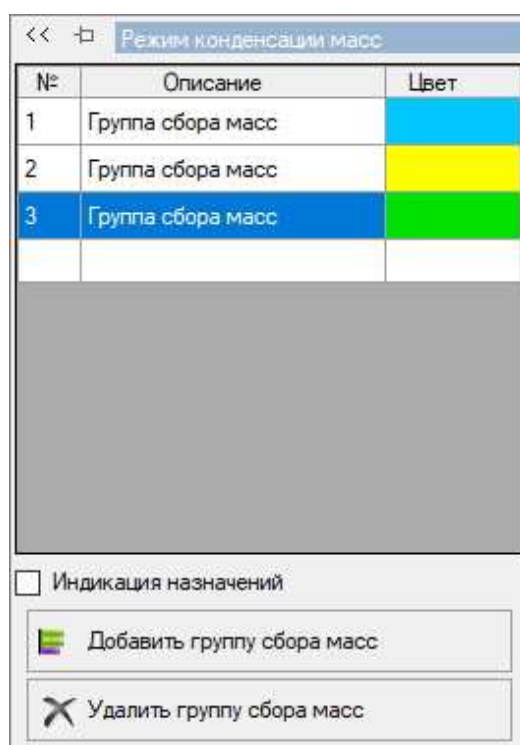


Рис. 2.397. Режим конденсации масс

Чтобы сформировать группу сбора масс, следует выделить необходимые элементы схемы, с которых будут собраны массы, и нажать кнопку **Добавить группу сбора масс**.

Удаление группы выполняется кнопкой **Удалить группу сбора масс**.

Список элементов и узлов для сбора масс пополняется автоматически при формировании группы. Если нужно пополнить список, можно воспользоваться кнопкой **Пополнить список элементов** или **Пополнить список узлов** в соответствующей вкладке данной панели.

При необходимости замены элементов, с которых происходит сбор масс, или узлов, в которые эти массы будут распределены, нужно воспользоваться кнопками **Изменить список элементов** или **Изменить список узлов**.

Номера элементов и узлов будут отображены в полях соответствующих вкладок (рис. 2.398 и 2.399).

Алгоритм создан таким образом, чтобы центр масс после выполнения различных преобразований оставался, по возможности, на прежнем месте.

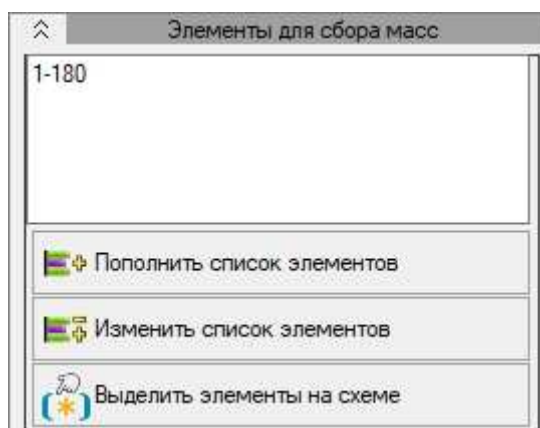


Рис. 2.398. Вкладка  
Элементы для сбора масс

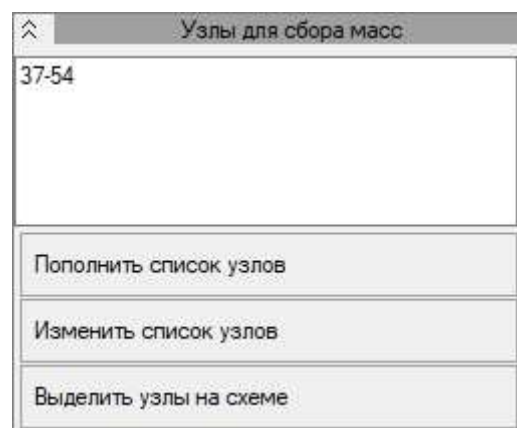



Рис. 2.399. Вкладка  
Узлы для сбора масс

### 2.11.18 Игнорирование элементов при расчете устойчивости

Для исключения элементов при анализе устойчивости воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨

**Игнорирование в устойчивости** либо кнопкой  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Параметры расчета устойчивости** (рис. 2.400).

В верхней половине панели отображаются заданные или отмеченные на схеме конечные элементы, которые не участвуют в потере общей устойчивости системы. Нижняя половина панели предназначена для отображения номеров архитектурных элементов.

Для предварительного отображения элементов на схеме нужно установить флажок **Индикация элементов из списка**.

Добавление элементов в список выполняется при помощи кнопки **Добавить элементы в список**.

Чтобы изменить список элементов, нужно нажать кнопку **Перезаписать список элементов**.

Для того чтобы выделить элементы списка на схеме, нужно воспользоваться кнопкой **Выделить элементы из списка**.

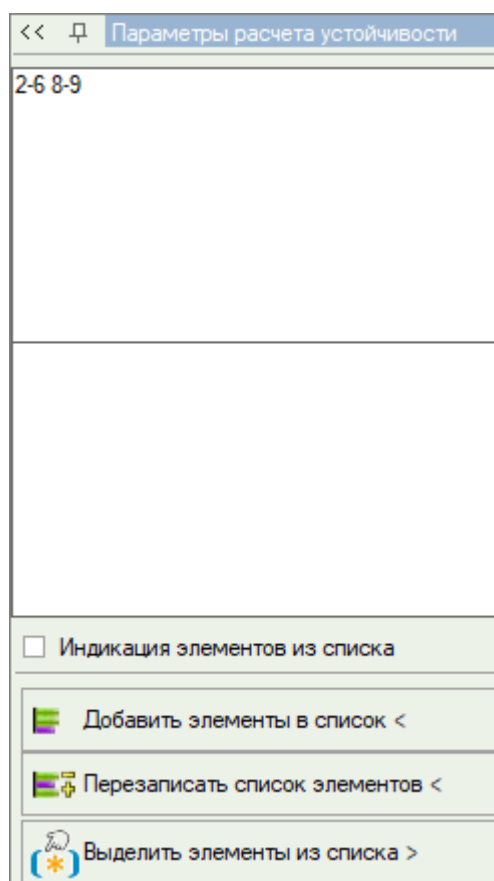



Рис. 2.400. Режим **Параметры**  
расчета устойчивости

### 2.11.19 Коэффициент относительной неупругой деформации

Коэффициент относительной неупругой деформации используется при расчете на сейсмическое воздействие по нормам Узбекистана (КМК 2.01.03-96).

Для назначения данного коэффициента элементам воспользуйтесь командой **Назначение** ⇒ **Коэффициент относительной неупругой деформации** либо кнопкой  на панели инструментов. Панель активного режима **Неупругая деформация** (рис. 2.401) содержит поле, куда необходимо ввести значение коэффициента.

Чтобы применить текущий коэффициент, необходимо выделить на схеме элементы, а затем нажать кнопку **Назначить**.

При необходимости можно установить флажок **Индикация элементов с заданным коэффициентом**. В таком случае на схеме будут подсвечиваться элементы, для которых назначено значение, введенное в поле  $\mu$ .

Раздел **Визуализация** предоставляет возможность при помощи мозаик увидеть значения заданных коэффициентов на схеме. Для этого нужно отметить элементы визуализации, установив соответствующие флажки:

- Стержней;
- Пластин;
- Объемных элементов.

Затем нажать кнопку **Визуализировать**, а для отмены визуализации нажать кнопку **Отменить визуализацию**.

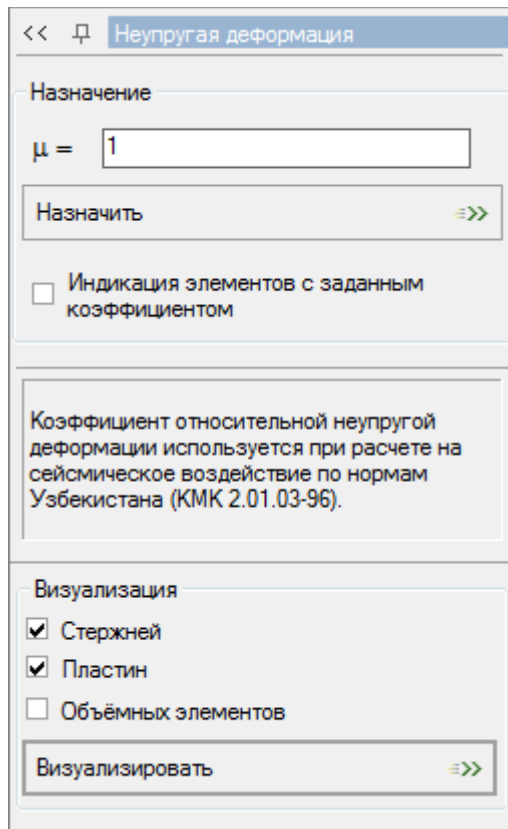


Рис. 2.401. Режим **Неупругая деформация**


### 2.11.20 Группы суммирования усилий и перемещений для СЖБ

Определение усилий в сталежелезобетонных пролетных строениях должно соответствовать процессу бетонирования, при котором часть пролетного строения еще стальная, а другая часть уже сталежелезобетонная.

Работа конструкции расчленяется на две стадии. На первой стадии определяются напряжения в стальной балке от веса самой балки и железобетонной плиты, на второй стадии — напряжения в объединенном сечении от остальных нагрузок и воздействий (мостовое полотно или дорожное покрытие, тротуарные блоки, перила, осветительные мачты и т.п.) и временная вертикальная подвижная нагрузка.

Для определения усилий и перемещений в сталежелезобетонных балках были реализованы «группы суммирования усилий и перемещений», которые позволяют объединить усилия с разных элементов в другой элемент расчетной схемы (аналогично и перемещения).

Для того чтобы перейти в режим задания групп суммирования, воспользуйтесь командой

**Назначение ⇨ Группы суммирования усилий и перемещений** либо кнопкой  на панели инструментов.

Группы суммирования усилий и перемещений могут создаваться как в ручном, так и в автоматическом режимах.

Основным критерием при автоматическом построении групп суммирования усилий служит способ построения цепочки расчетных схем, т.е. идентичные элементы в расчетных схемах должны иметь одинаковые координаты в плане.

Рис. 2.402 демонстрирует процесс получения усилий в стальной и в сталежелезобетонной балках на примере бетонирования плиты в 5 захваток трехпролетного моста по схеме 42-63-42.

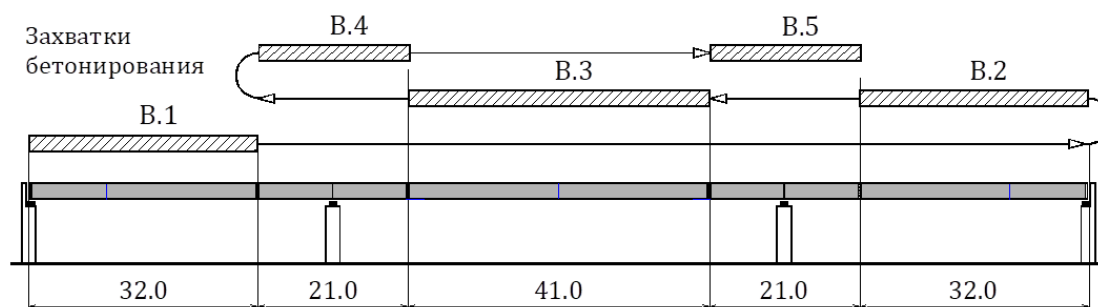


Рис. 2.402. Захватки бетонирования плиты В.1-В.5

При автоматическом способе задания групп суммирования усилий и перемещений создаются две группы суммирования усилий:

- первая — для суммирования усилий на элементы стальной части;
- вторая — для суммирования усилий на элементы сталежелезобетонной части.

Автоматическое построение групп суммирования усилий будет работать только в том случае, когда элемент расчетной схемы имеет проекцию в плане, в противном случае элементы будут проигнорированы.

Для задания групп суммирования усилий по опорам моста следует воспользоваться пользовательским заданием групп суммирования усилий.



При ручном вводе групп суммирования усилий и перемещений ограничений на положение элементов расчетной схемы нет.

На рис. 2.403 показано нагружение расчетных схем в процессе бетонирования сталежелезобетонного моста и режим суммирования.

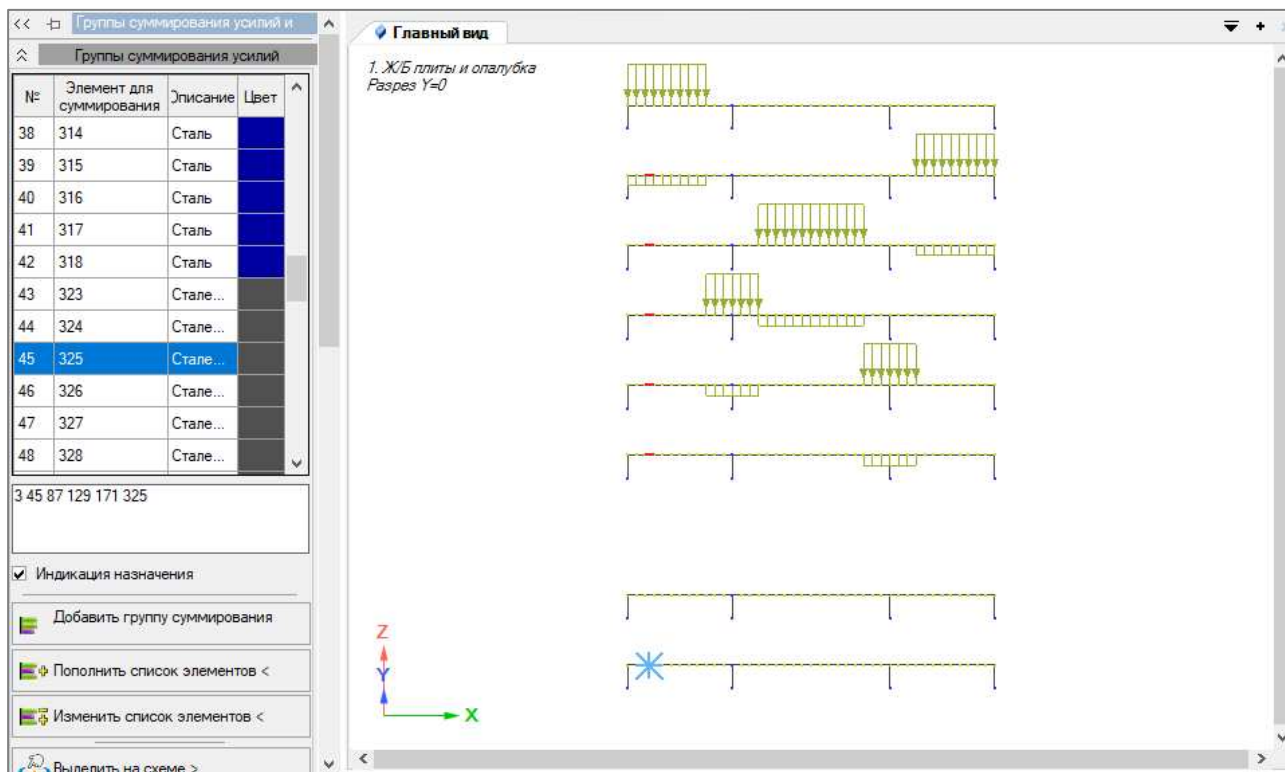



Рис. 2.403. Нагружение расчетных схем и режим суммирования усилий и перемещений

### 2.11.21 Начальная температура


Начальная температура используется в задачах нестационарной теплопроводности для воспроизведения начальных температурных условий в узлах модели. Начальная температура сама по себе не вызывает в элементах ни температурных усилий, ни напряжений, но оказывает влияние на получаемые поля температур от тепловых нагрузок.

Для того, чтобы узлам назначить начальную температуру:

1. Выделите нужные узлы на схеме.
2. Вызовите панель активного режима **Начальная температура** (рис. 2.404),

воспользовавшись командой **Назначение** ⇨ **Начальная температура** либо кнопкой  на панели инструментов.

3. Введите в поле **t0** соответствующее значение температуры.
4. Нажмите кнопку **Назначить**.

 Также начальная температура может быть перенесена в исходные данные из выбранного загрузения результатов расчета температур в узлах модели (**Спец. результаты** ⇨ **Преобразовать результаты в исходные данные** ⇨ **Преобразование в нагрузки** ⇨ **Температура в начальную**).

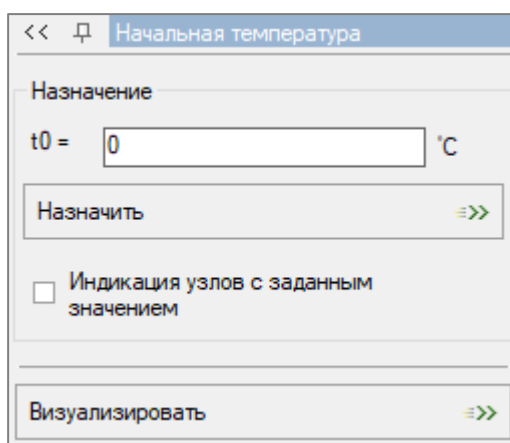


Рис. 2.404. Режим **Начальная температура**

При необходимости можно установить флажок **Индикация узлов с заданным значением**. В таком случае на схеме будут подсвечиваться узлы, в которых назначено значение, введенное в поле **t0**.

Если нажать кнопку **Визуализировать**, то на схеме будет отображена мозаика начальных температур в узлах. Отменить визуализацию начальных температур можно, выйдя из режима или нажав кнопку **Отменить визуализацию**.

## 2.12 ДВУМЕРНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Редактор используется для создания, редактирования, копирования, объединения и т.п. двумерных графических объектов и является составной частью Редактора грунта и Редактора пользовательского сечения.

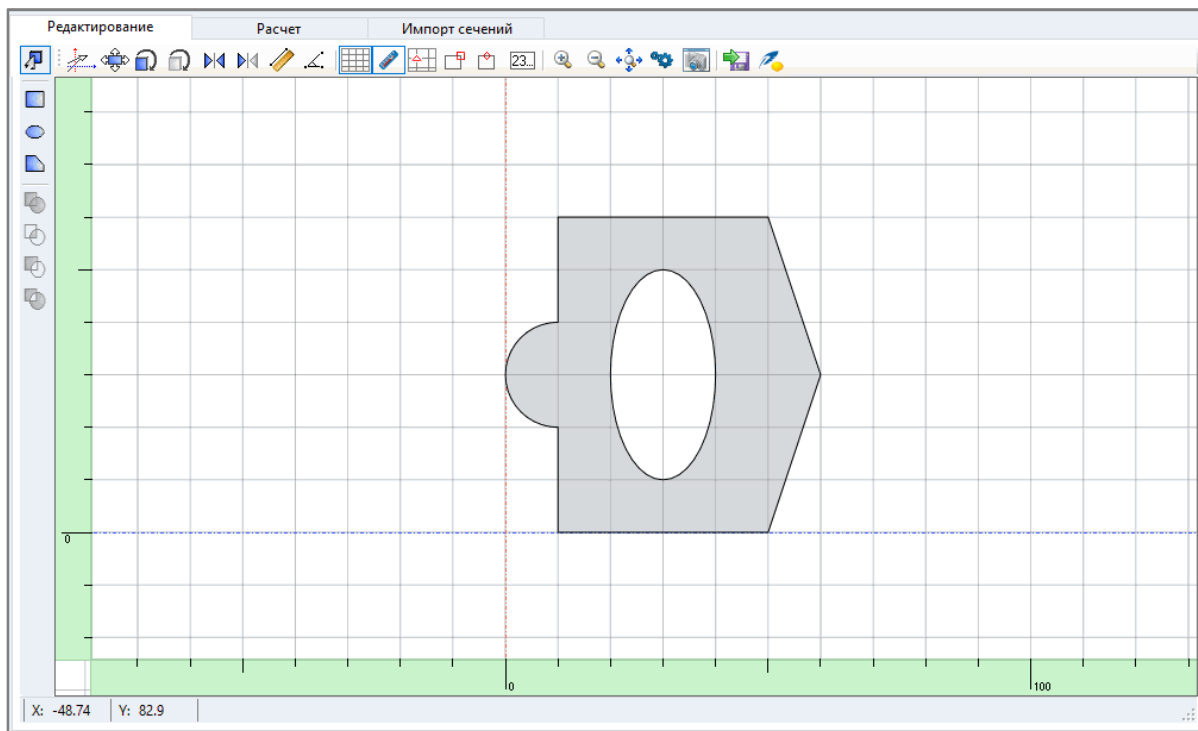








Рис. 2.405. Вид редактора

Редактор (рис. 2.405) содержит:

- вертикальную и горизонтальную панели кнопок;
- поля для изображения и редактирования графических объектов.

Поле для редактирования может быть оборудовано:

- сетью — кнопка 
- вспомогательными линейками — кнопка 
- привязкой курсора мыши к узлам сети — кнопка 
- привязкой курсора мыши к узлам объекта — кнопка 
- привязкой курсора мыши к середине стороны объекта — кнопка 
- возможностью редактирования координат — кнопка 

Все эти кнопки триггерные. Синяя рамка вокруг кнопок означает, что данная возможность для поля редактирования включена. Отсутствие рамки — возможность отключена.

## Настройки графического редактора

Кнопка  открывает окно **Свойства** (рис. 2.406).

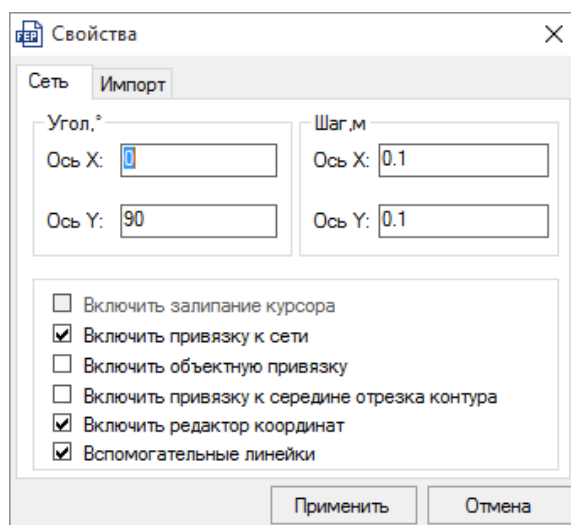





Рис. 2.406. Окно **Свойства**

Окно состоит из двух закладок — **Сеть** и **Импорт**. Содержимое закладки **Импорт** определяется контекстом использования редактора и содержит типы файлов, из которых может осуществляться импорт. Панель **Сеть** определяет свойства сети.

### Создание графических примитивов

Примитивы создаются при помощи мыши после нажатия соответствующей кнопки:

- Кнопка  — создание квадрата, прямоугольника. Первым щелчком мыши на поле создается один из узлов прямоугольника. Движение мышью изменяет размер фигуры. Второй щелчок — завершение создания прямоугольника.
- Кнопка  — создание круга, овала. Первым щелчком мыши на поле указывается центр круга/овала. Движением мыши изменяется размер фигуры. Второй щелчок — завершение создания круга/овала.
- Кнопка  — создание произвольного замкнутого полигона. Первый и последующие щелчки мышью на поле создают узлы полигона. Движением мыши образуется сторона полигона, при этом недопустимо пересечение сторон полигона. Создание полигона заканчивается, когда производится щелчок мыши на начальном узле полигона и при этом все стороны полигона не имеют пересечений.

## Изменение размеров и форм объектов/примитивов

### Способ 1

1. Дважды щелкните на объекте мышью. На контуре объекта появятся черные точки.
2. Наведите курсор мыши на одну из них.
3. Нажмите левую кнопку мыши.
4. Не отпуская левую кнопку мыши, переместите мышь — точка контура переместится вслед за курсором мыши. Последующий щелчок зафиксирует изменение.

### Способ 2

Наведя курсор мыши на объект, нажмите правую кнопку мыши. Отобразится контекстное меню (рис. 2.407).

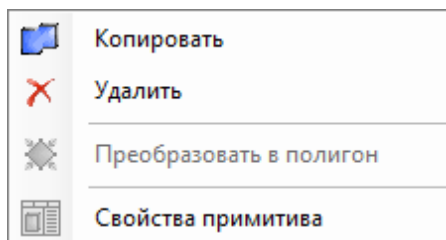


Рис. 2.407. Контекстное меню

Выберите пункт **Свойства примитива**, после чего появится окно **Свойства**, где можно изменить свойства выбранного объекта/примитива. Форма и содержание этого окна зависят от типа примитива.


### Преобразование типа примитива


Примитивы прямоугольник/квадрат и овал/круг можно преобразовать в полигон. Для этого нужно, наведя курсор мыши на объект, нажать правую кнопку мыши. Появится контекстное меню. Выберите пункт меню **Преобразовать в полигон**.

Например, так можно преобразовать овал в полигон, а затем, используя полученные точки полигона, преобразовать овал в более сложную фигуру.

### Выбор объектов




Объекты можно выбирать следующим образом:




- Установив курсор мыши внутри контура объекта, щелкнуть левой кнопкой мыши.
- Нажать кнопку  и с помощью мыши охватить красной прямоугольной рамкой выбираемые объекты. После охвата щелкнуть левой кнопкой мыши.

 *Каждый последующий выбор отменяет предыдущий, независимо от того, сколько за один раз было выбрано объектов.*


### Изменение положения объектов

Графические объекты можно перемещать, поворачивать, отражать относительно оси симметрии. Для этого сначала надо выбрать объекты для изменения положения, затем нажать одну из следующих кнопок:

- Кнопка  — после нажатия позволяет перемещать объекты, первый щелчок мыши — перемещение начинается, второй щелчок — новое положение объектов фиксируется.
- Кнопка  — после нажатия позволяет поворачивать объекты вокруг точки, указанной при первом щелчке мыши. Второй щелчок фиксирует поворот объектов.
- Кнопка  — после нажатия позволяет отражать объекты относительно оси симметрии. Ось симметрии указывается мышью от точки, заданной первым щелчком мыши до ее текущего положения. Второй щелчок фиксирует отражение объектов.

 Если выбраны кнопки  и , то после поворота и, соответственно, отражения объектов зафиксируются копии объектов, а исходные объекты остаются на первоначальном месте.



Во всех случаях при перемещении мыши нажатие на клавишу **Esc** отменяет текущую операцию.

Если включено редактирование координат (кнопка , то рядом с курсором мыши появятся подвижные окна для ввода значений координат/углов по перемещению объектов. Для ввода значений в первое окно нажмите нужную цифру или клавишу **Tab**. Для фиксации значения и перехода в следующее окно нажмите **Enter**, для перехода без фиксации нажмите клавишу **Tab**.



### Копирование объектов


1. Выберите объект.
2. Щелкните на нем правой кнопкой мыши, чтобы вызвать контекстное меню.
3. Выберите пункт меню **Копировать**.
4. Укажите мышью новое место для объекта.
5. Вызовите снова контекстное меню.
6. Выберите пункт меню **Вставить**.
7. Уточните при помощи курсора новое положение объекта и щелкните мышью.

### Измерение расстояний и углов

Кнопки  и  позволяют измерить расстояние и углы на поле редактирования с помощью мыши.

### Изменение масштаба

Кнопки  и  изменяют масштаб, соответственно, в сторону увеличения или уменьшения. Кроме этих кнопок, масштаб можно изменять, вращая колесико мыши. Если нажать на колесико и, не отпуская его, перемещать мышь, то можно переместить поле редактирования со всеми объектами.


Кнопка  позволяет вписать все графические объекты в поле редактирования (т.е. изменяет масштаб так, чтобы все графические объекты поместились в поле редактирования с минимальными свободными участками этого поля).

### Объединение объектов

Два пересекающихся объекта можно объединить в один. Сначала объекты нужно выбрать, затем нажать одну из следующих кнопок:


-  — объединение;
-  — пересечение;
-  — разность;
-  — частичное объединение.

Объекты будут объединяться так, как показано на изображении на соответствующей кнопке.

Кнопка  позволяет скопировать все изображение с поля редактирования в файл для последующего использования его в **Отчетах**.

## 2.13 РЕДАКТОР СЕЧЕНИЙ/ЖЕСТКОСТЕЙ

**Редактор сечений/жесткостей** предназначен для выбора типов (параметров) жесткости из библиотеки жесткостных характеристик и присвоения их конечным элементам схемы.

Для доступа к редактору сечений/жесткостей воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇨ **Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов). В главном окне программы раскроется вкладка **Сечения** (рис. 2.408).

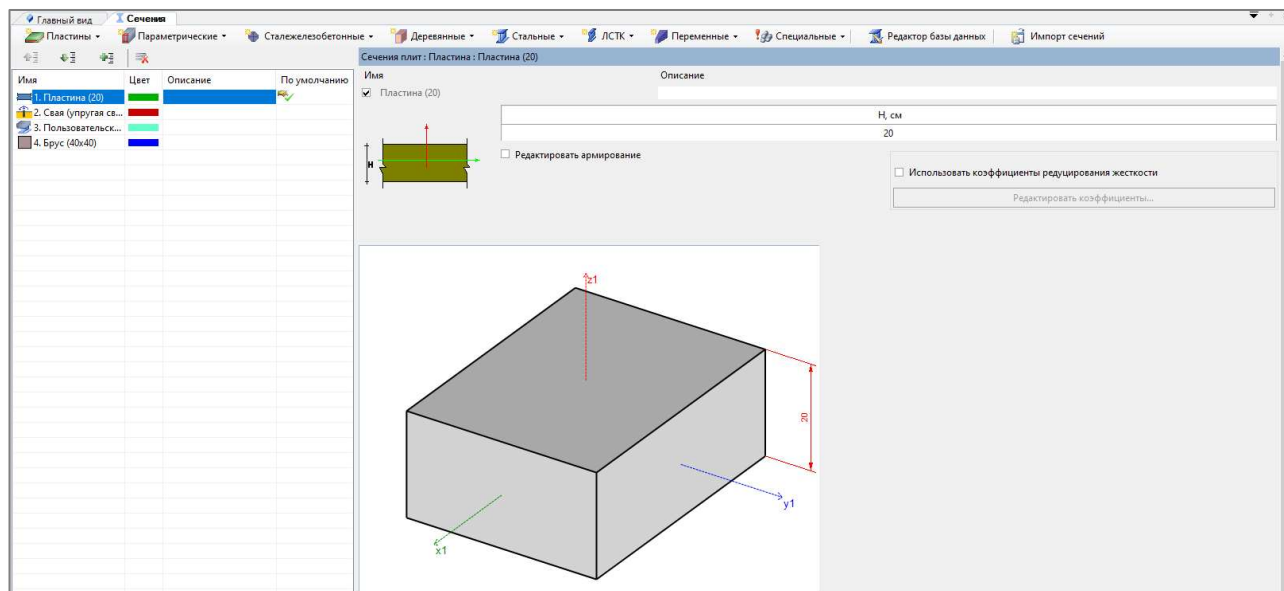






Рис. 2.408. Вкладка **Сечения**

В левой части вкладки расположена таблица жесткостей элементов. Новое сечение добавляется в таблицу путем выбора необходимого типа сечения в одном из раскрывающихся списков, расположенных в верхней части окна редактора. После этого в таблице жесткостей элементов появится новая запись, содержащая схематическое изображение, стандартное наименование, цвет и описание добавленного сечения.


Заполнение таблицы происходит по следующему алгоритму:

1. **Имя** — выводится при выборе стандартного сечения.
2. **Цвет** — выбирается щелчком мыши в поле ввода **Цвет**.
3. **Описание** — заполняется в правой части **Редактора сечений/жесткостей** в окне параметров сечения.
4. **По умолчанию** — содержит условное обозначение сечения, используемого по умолчанию (). Обозначение ставится и убирается двойным щелчком мыши по соответствующей ячейке четвертого столбца. Тип используемого по умолчанию сечения может быть выбран только один.

В верхней части таблицы жесткостей элементов расположена панель навигации:

- **Поднять на уровень выше** (кнопка );
- **Опустить на уровень ниже** (кнопка );
- **Копировать текущее сечение** (кнопка );



- Удалить текущее сечение (кнопка ).

В правой части **Редактора сечений/жесткостей** расположено окно параметров сечения, где в соответствующих полях ввода можно задавать и корректировать требуемый профиль и его ориентацию в расчетной схеме, скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

В окне параметров сечения приведены таблицы с геометрическими и расчетными характеристиками сечения (заполняются программно и не подлежат коррекции). После выбора пользователем требуемого профиля и его ориентации в расчетной схеме выводится схематический эскиз сечения с указанием заданных размеров и расчетных характеристик сечения.

**Редактор сечений/жесткостей** содержит следующие раскрывающиеся списки для выбора/редактирования сечений:

- **Пластины** (рис. 2.409);
- **Параметрические** (рис. 2.410);

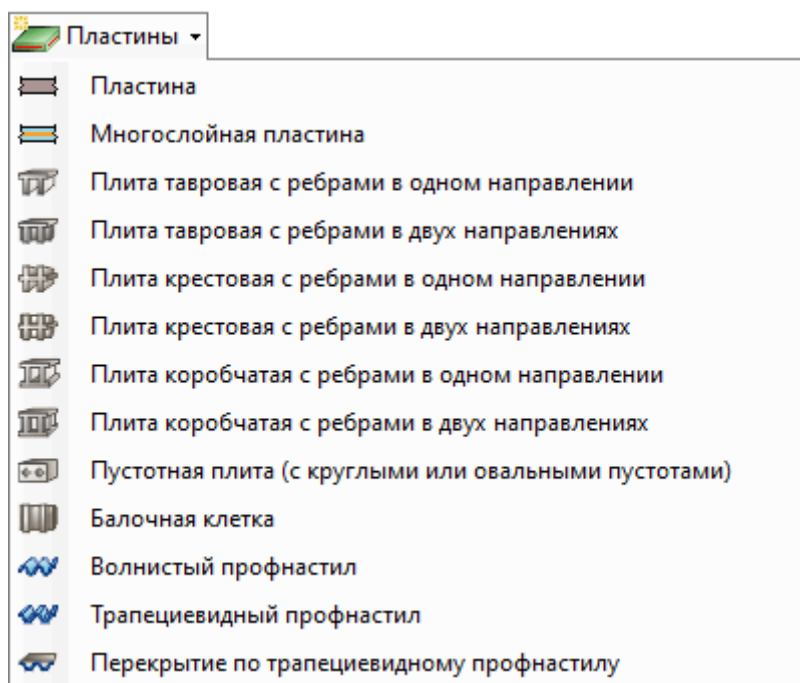


Рис. 2.409. Список пластин

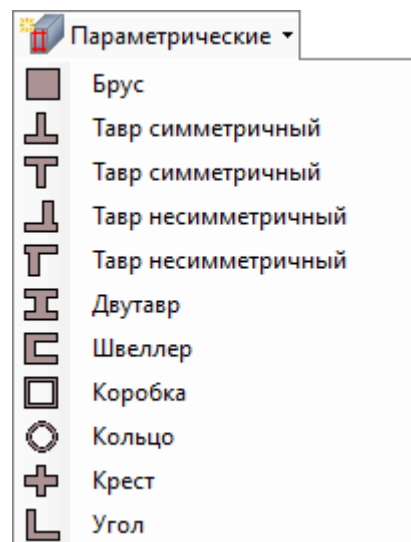


Рис. 2.410. Список параметрических сечений

- **Сталежелезобетон** (рис. 2.411);
- **Деревянные** (рис. 2.412);

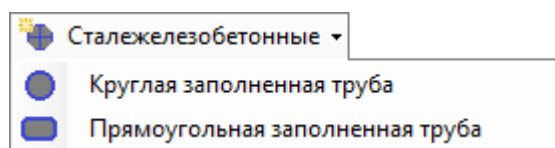


Рис. 2.411. Список сталежелезобетонных сечений

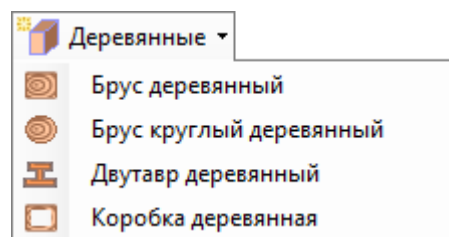


Рис. 2.412. Список деревянных сечений

- **Стальные** (рис. 2.413);

- ЛСТК (Легкие Стальные Тонкостенные Конструкции) (рис. 2.414);
- Переменные (рис. 2.416);
- Специальные (рис. 2.415).



Рис. 2.413. Список стальных сечений

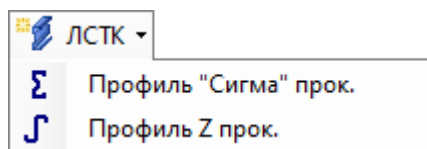


Рис. 2.414. Список ЛСТК

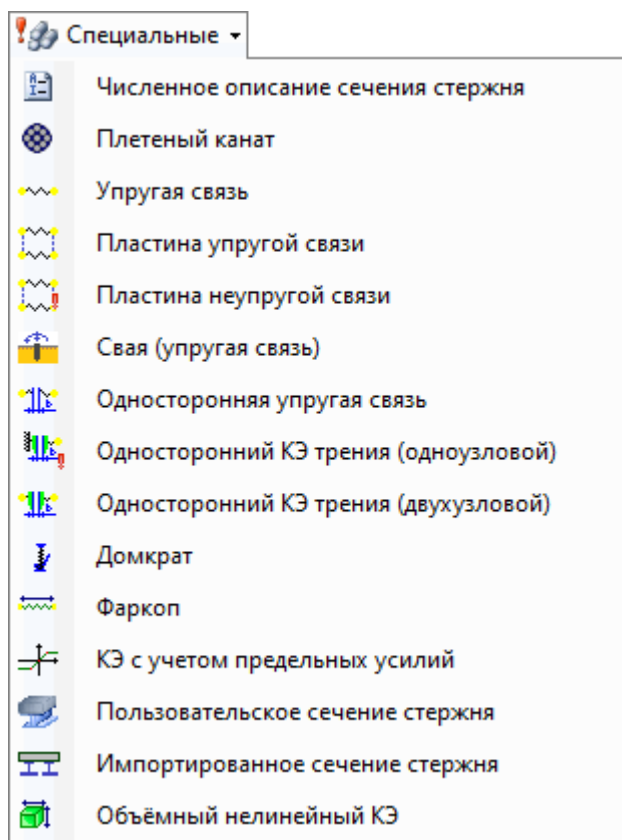


Рис. 2.415. Список специальных сечений

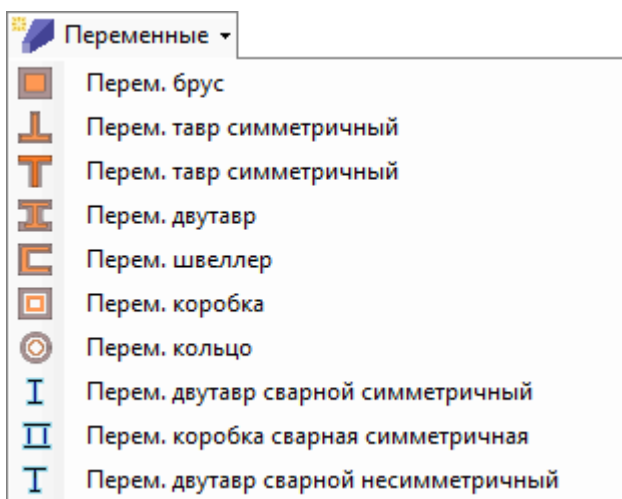


Рис. 2.416. Список переменных сечений

Для вызова редактора базы данных стального проката (рис. 2.417) воспользуйтесь горизонтальной кнопкой **Редактор базы данных**.

Имя	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	r, см	k	A, см <sup>2</sup>	m, кН/м	Iy, ^
10	10	5.5	0.45	0.72	0.7	0.25	0.12	12	0.0928	196
12	12	6.4	0.48	0.73	0.75	0.3	0.12	14.7	0.1128	350
14	14	7.3	0.49	0.75	0.8	0.3	0.12	17.4	0.1344	572
16	16	8.1	0.5	0.78	0.85	0.35	0.12	20.2	0.1559	872
18	18	9	0.51	0.81	0.9	0.35	0.12	23.4	0.1804	125
18a	18	10	0.51	0.83	0.9	0.35	0.12	25.4	0.1952	142
20	20	10	0.52	0.84	0.95	0.4	0.12	26.8	0.2059	184
20a	20	11	0.52	0.86	0.95	0.4	0.12	28.9	0.2226	202
22	22	11	0.54	0.87	1	0.4	0.12	30.6	0.2354	252
22a	22	12	0.54	0.89	1	0.4	0.12	32.8	0.253	275
24	24	11.5	0.56	0.95	1.05	0.4	0.12	34.8	0.2677	344
24a	24	12.5	0.56	0.98	1.05	0.4	0.12	37.5	0.2883	380
27	27	12.5	0.6	0.98	1.1	0.45	0.12	40.2	0.3089	501
27a	27	13.5	0.6	1.02	1.1	0.45	0.12	43.2	0.3324	550
30	30	13.5	0.65	1.02	1.2	0.5	0.12	46.5	0.3579	708
30a	30	14.5	0.65	1.07	1.2	0.5	0.12	49.9	0.3844	778
33	33	14	0.7	1.12	1.3	0.5	0.12	53.8	0.4138	984
36	36	14.5	0.75	1.23	1.4	0.6	0.12	61.9	0.4766	133
40	40	15.5	0.83	1.3	1.5	0.6	0.12	72.6	0.559	190
45	45	16	0.9	1.42	1.6	0.7	0.12	84.7	0.6521	278
50	50	17	1	1.52	1.7	0.7	0.12	100	0.7698	397
55	55	18	1.1	1.65	1.8	0.7	0.12	118	0.9081	558
60	60	19	1.2	1.78	2	0.8	0.12	138	1.0591	762

Рис. 2.417. Редактор базы данных стального проката

Для импорта сечений из файла воспользуйтесь горизонтальной кнопкой **Импорт сечений**. После нажатия на кнопку раскроется диалоговое окно, где необходимо указать путь к файлу проекта (\*.fer), из которого будут импортироваться сечения.

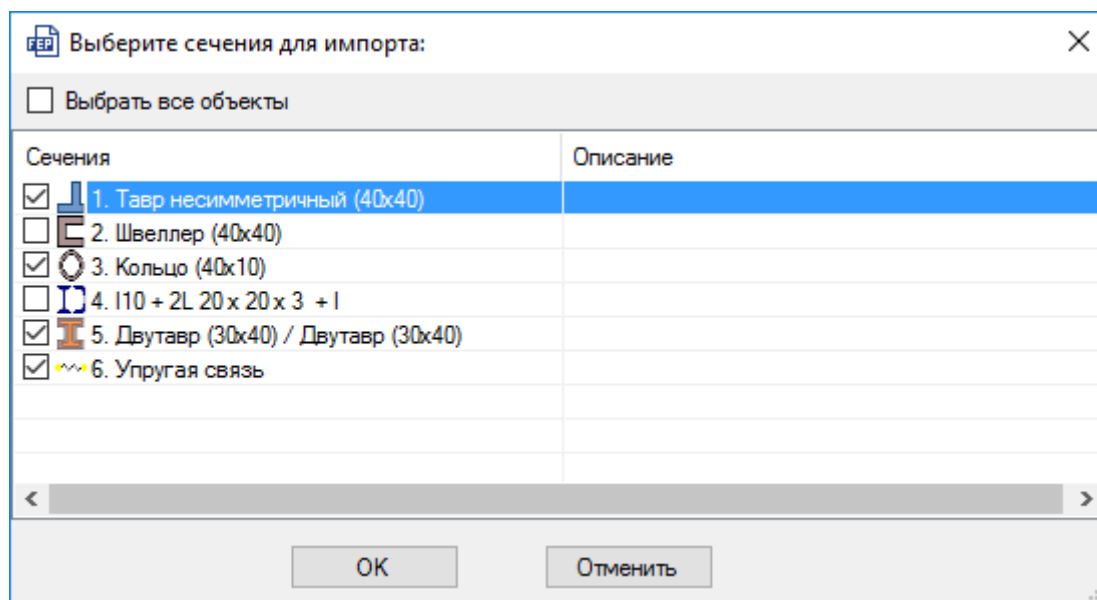



Рис. 2.418. Окно выбора сечения для импорта

## 2.14 РЕДАКТОР МАТЕРИАЛОВ

**Редактор материалов** предназначен для выбора типов материала и присвоения его конечным элементам схемы.

Для доступа к редактору материалов воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇨ **Редактор материалов** (кнопка  на панели инструментов). В главном окне программы раскроется вкладка **Материалы** (рис. 2.419).

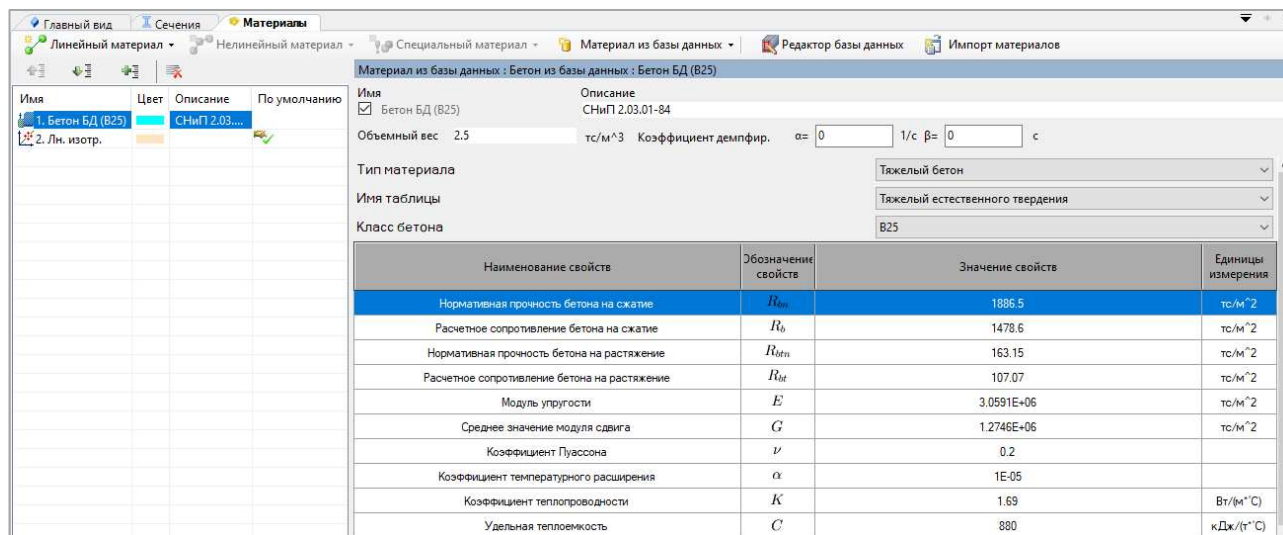







Рис. 2.419. Вкладка **Материалы**

В левой части вкладки находится таблица материалов элементов. Новый материал добавляется в таблицу путем выбора необходимого типа материала в одном из раскрывающихся списков, расположенных в верхней части окна редактора. После этого в таблице материалов элементов появится новая запись, содержащая схематическое изображение, стандартное наименование, цвет и описание добавленного материала.

Заполнение таблицы происходит по следующему алгоритму:

1. **Имя** — выводится при выборе стандартного материала.
2. **Цвет** — выбирается щелчком мыши в поле ввода **Цвет**.
3. **Описание** — заполняется в правой части **Редактора материалов** в окне параметров материала.
4. **По умолчанию** — содержит условное обозначение материала, используемого по умолчанию (). Обозначение ставится и убирается двойным щелчком мыши по соответствующей ячейке четвертого столбца. Тип используемого по умолчанию материала может быть выбран только один.

В верхней части **Таблицы материалов элементов** расположена панель навигации:

- **Поднять на уровень выше** (кнопка );
- **Опустить на уровень ниже** (кнопка );
- **Копировать текущий материал** (кнопка );
- **Удалить материал** (кнопка .

В правой части **Редактора материалов** расположено окно параметров материала, в котором в соответствующих полях ввода можно задавать и корректировать свойства материала, его характеристики на растяжение и сжатие, скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

**Редактор материалов** содержит следующие раскрывающиеся списки для выбора/редактирования параметров материала:

- **Линейный материал** (рис. 2.420);

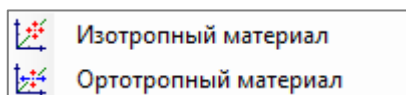


Рис. 2.420. Список линейных материалов

- **Нелинейный материал** (рис. 2.421);

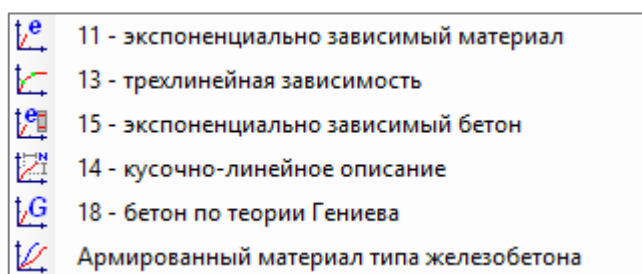


Рис. 2.421. Список нелинейных материалов

- **Специальный материал** (рис. 2.422);

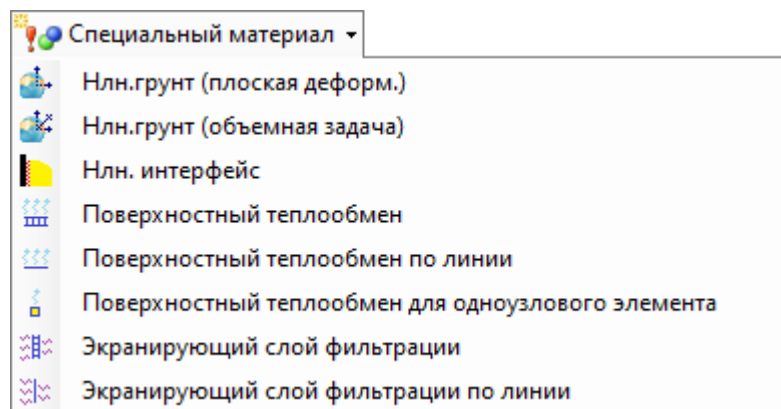


Рис. 2.422. Список специальных материалов

- **Материал из базы данных** (рис. 2.423).

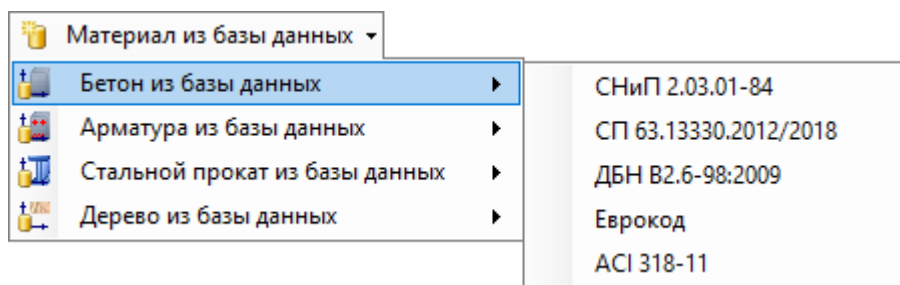


Рис. 2.423. Список материалов из базы данных

Для вызова редактора базы данных материалов (рис. 2.424) воспользуйтесь горизонтальной кнопкой **Редактор базы данных**.

Редактор базы данных материалов позволяет:

- просматривать характеристики материалов из базы материалов;
- добавлять, удалять или изменять характеристики выбранных материалов.

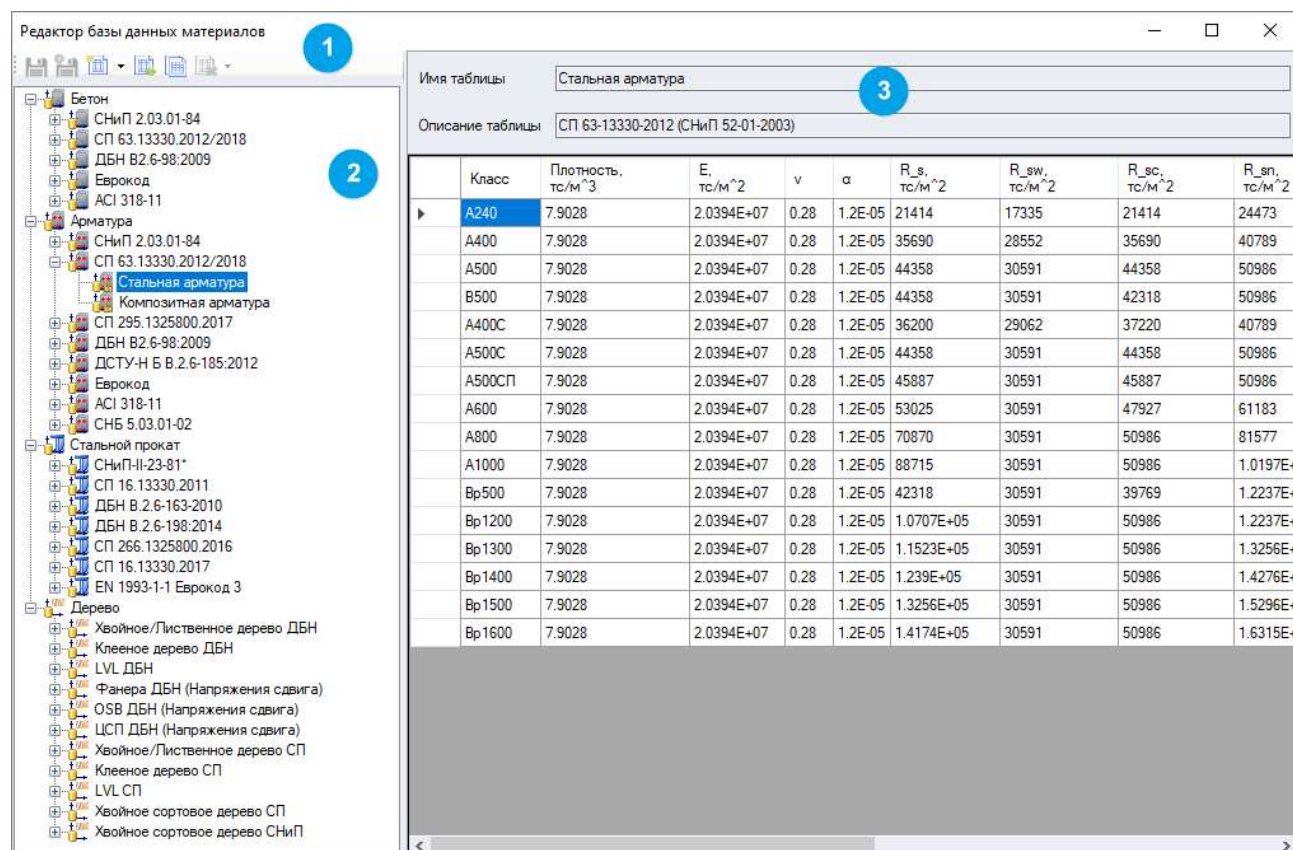








Рис. 2.424. Диалоговое окно **Редактор базы данных материалов**

Элементы диалогового окна:

- **Область 1. Панель инструментов**

Здесь находятся кнопки для работы с таблицами из базы данных:

-  — сохранить текущие изменения в таблице;
-  — сохранить таблицу под другим именем;

-  — создать новую таблицу для выбранных из раскрывающегося списка норм;
-  — добавить созданную ранее таблицу в базу данных материалов;
-  — копировать текущую таблицу;
-  — удалить или исключить таблицу из базы данных.

### - Область 2. Дерево базы данных материалов

В этой части окна находится древовидное отображение структуры базы данных материалов. Четыре корневых узла: **Бетон**, **Арматура**, **Стальной прокат** и **Дерево**. Далее эти узлы делятся на нормативные документы, которые, в свою очередь, включают таблицы по каждому нормативу.

### - Область 3. Таблица характеристик материала

Область состоит из двух основных частей: шапки и таблицы характеристик. В шапке задается имя таблицы и ее описание. Под шапкой располагается таблица характеристик. В ней собраны данные о характеристиках всех материалов, которые в этой таблице находятся.

Для импорта материалов из файла воспользуйтесь горизонтальной кнопкой **Импорт материалов**. После нажатия на кнопку отобразится диалоговое окно, где необходимо указать путь к файлу проекта (\*.fer), из которого будет импортироваться материалы.

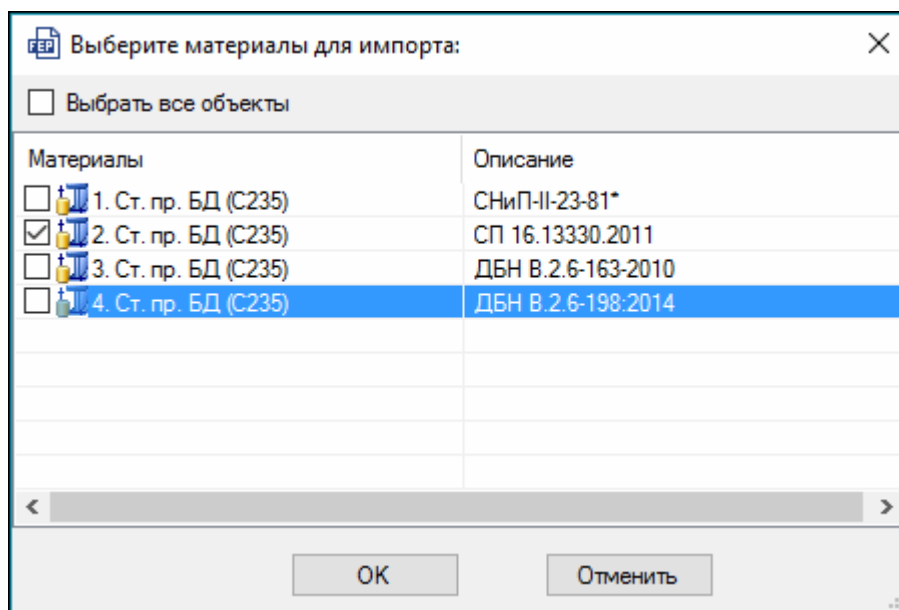



Рис. 2.425. Окно выбора материала для импорта

## 2.15 РЕДАКТОР ЗАГРУЖЕНИЙ

**Редактор загружений** предназначен для выбора типов загружений и присвоения их расчетной схеме.

Для перехода в редактор (рис. 2.426) необходимо воспользоваться командой меню **Редакторы** ⇒ **Редактор загружений** или кнопкой  на панели инструментов.

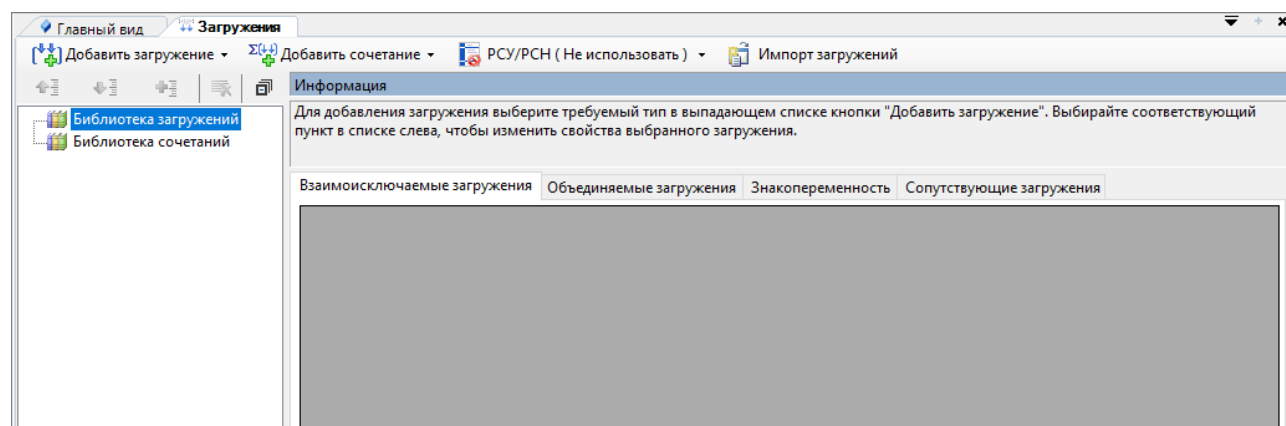







Рис. 2.426. Вкладка **Загрузки**

**Редактор загружений** содержит раскрывающиеся списки для выбора/редактирования загружений:

- **Добавить загрузку;**
- **Добавить сочетание;**
- **Нормы проектирования** (кнопка **PCU/PCN**);
- **Импорт загружений.**

А также панель навигации со следующими кнопками:

- **Поднять на уровень выше** (кнопка 
- **Опустить на уровень ниже** (кнопка 
- **Копировать текущее загружение** (кнопка 
- **Удалить загружение** (кнопка 
- **Свернуть все вложения** (кнопка 

В правой части вкладки **Загрузки** расположено окно параметров загрузки.

При щелчке на кнопке **Добавить загрузку** становится доступным список возможных загружений в зависимости от ранее заданного типа создаваемой задачи.



## Типы задач

*Линейная статическая задача с динамикой в виде разложения по собственным формам колебаний (рис. 2.427)*

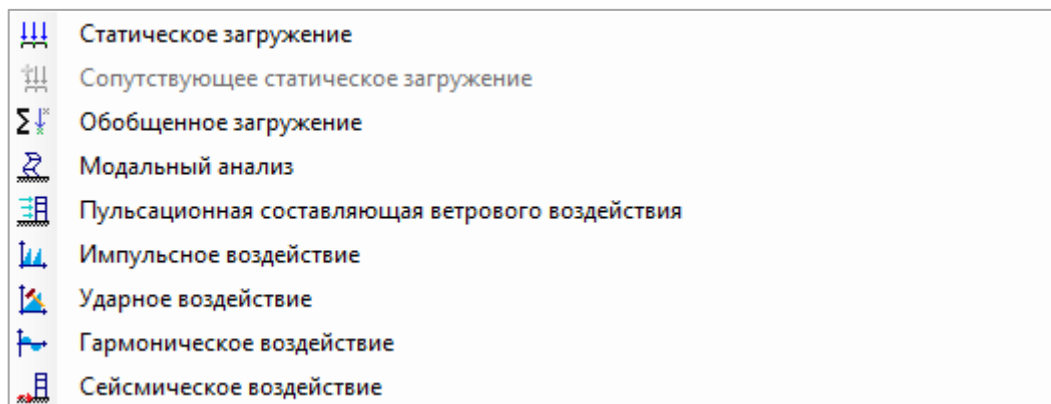


Рис. 2.427. Доступные типы нагрузений

*Нелинейная статическая задача (рис. 2.428)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажок **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**.



Рис. 2.428. Доступные типы нагрузений

*Линейная монтажная задача (МОНТАЖ+) (рис. 2.429)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажок **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»**.

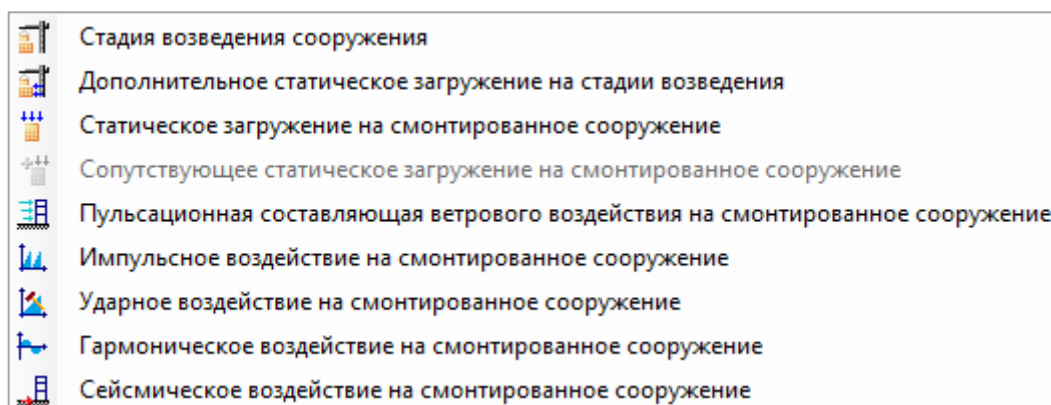


Рис. 2.429. Доступные типы нагрузений

*Нелинейная монтажная задача (рис. 2.430)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы, В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ».**



Рис. 2.430. Доступные типы загрузений

*Линейная задача с динамикой во времени (рис. 2.431)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажок **В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+».**

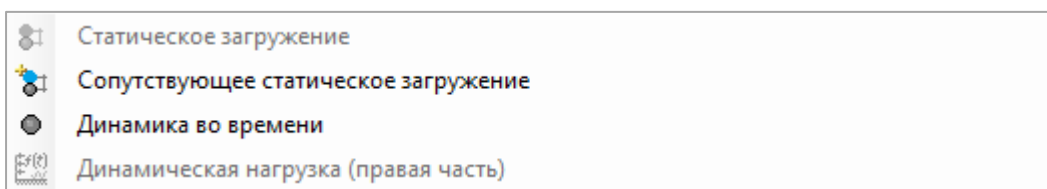


Рис. 2.431. Доступные типы загрузений

*Нелинейная задача с динамикой во времени (рис. 2.432)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы, В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+».**

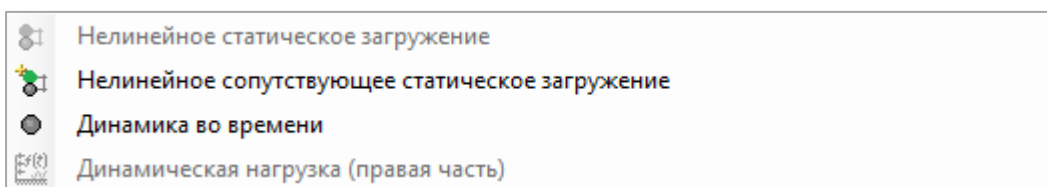


Рис. 2.432. Доступные типы загрузений

*Линейная монтажная задача с динамикой во времени на последней стадии монтажа (рис. 2.433)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ», В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+».**

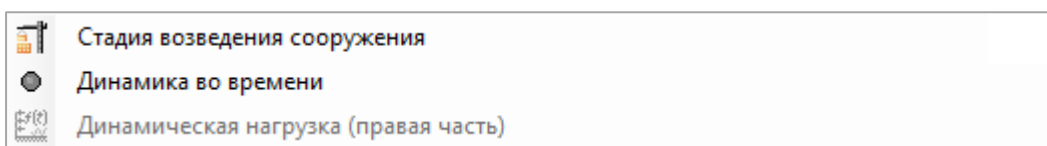


Рис. 2.433. Доступные типы загрузений

*Нелинейная монтажная задача с динамикой во времени (рис. 2.434)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**, **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»**, **В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»**.



Рис. 2.434. Доступные типы загрузений

*Линейная задача с подвижными нагрузками (рис. 2.435)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажок **В задаче будет использоваться система «МОСТ»**.

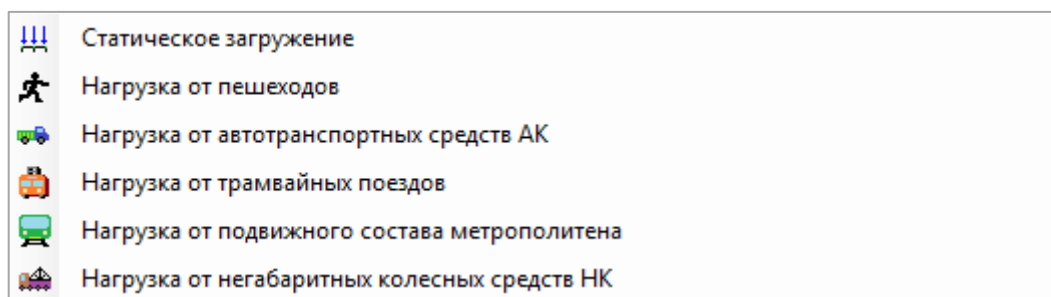


Рис. 2.435. Доступные типы загрузений

*Нелинейный квазистатический анализ динамических задач (рис. 2.436)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**, **В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»**.

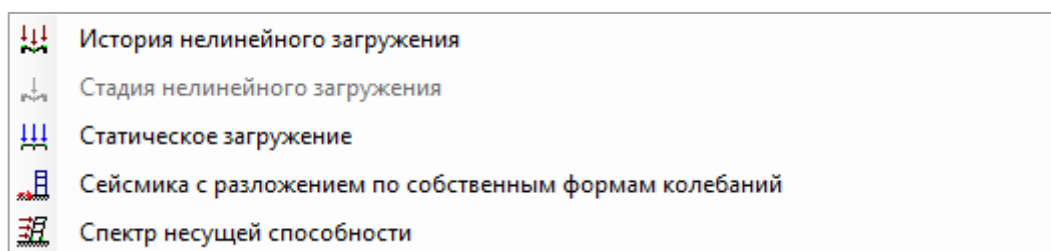


Рис. 2.436. Доступные типы загрузений

*Линейная статическая задача с теплопроводностью, включая динамику с разложением по собственным формам колебаний (рис. 2.437)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажок **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)**.

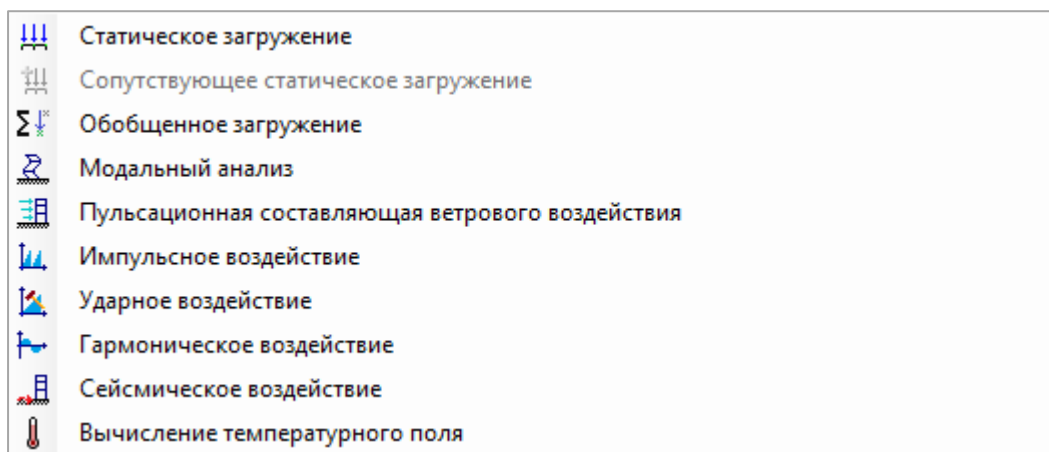


Рис. 2.437. Доступные типы нагружений

*Нелинейная задача с теплопроводностью (рис. 2.438)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы, Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»).**

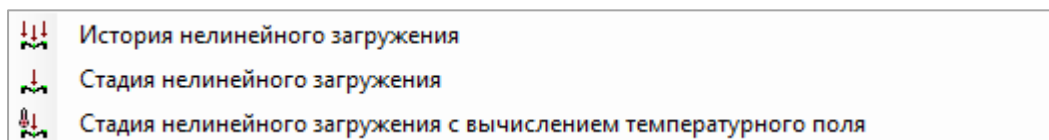


Рис. 2.438. Доступные типы нагружений

*Линейная монтажная задача с теплопроводностью (рис. 2.439)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ», Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»).**

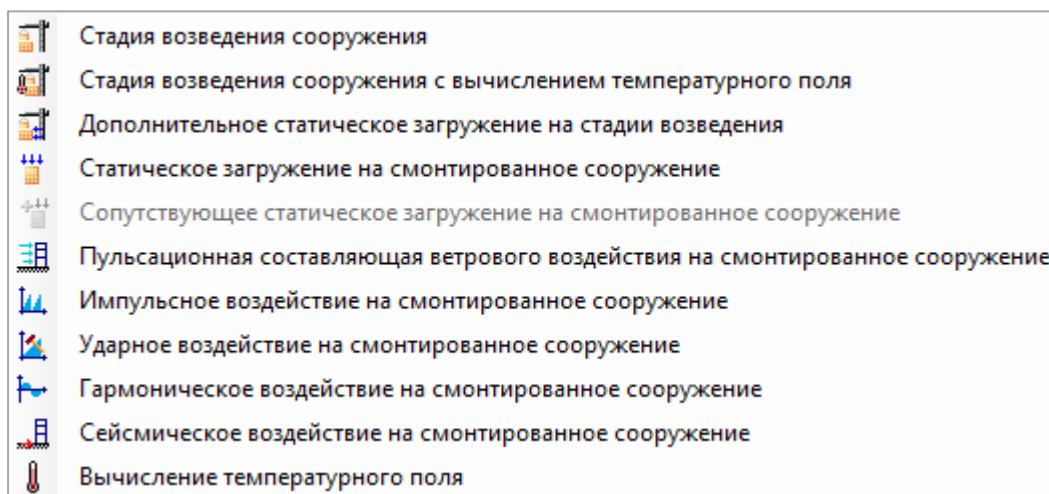


Рис. 2.439. Доступные типы нагружений

*Нелинейная монтажная задача с теплопроводностью (рис. 2.440)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы, В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ», Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»).**

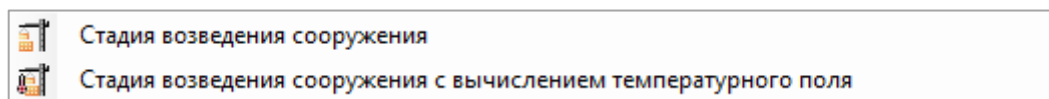


Рис. 2.440. Доступные типы загрузений

*Нелинейная статическая задача с фильтрацией (рис. 2.441)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»).** При этом автоматически будет установлен флажок **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы.**

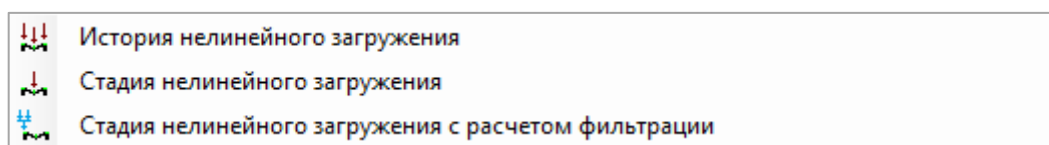


Рис. 2.441. Доступные типы загрузений

*Нелинейная монтажная задача с фильтрацией (рис. 2.442)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»), В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ».** При этом автоматически будет установлен флажок **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы.**

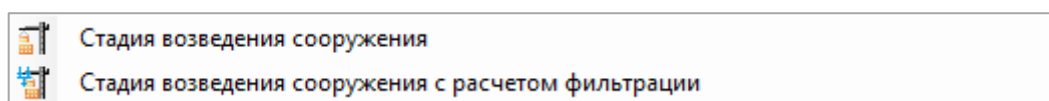


Рис. 2.442. Доступные типы загрузений

*Нелинейная задача с фильтрацией и расчетом температурного поля (рис. 2.443)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»), Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»).** При этом автоматически будет установлен флажок **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы.**

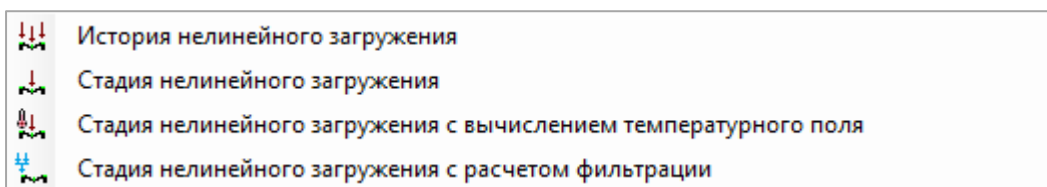


Рис. 2.443. Доступные типы нагружений

*Нелинейная монтажная задача с фильтрацией и расчетом температурного поля*  
(рис. 2.444)

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)**, **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)**, **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»**. При этом автоматически будет установлен флажок **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**.

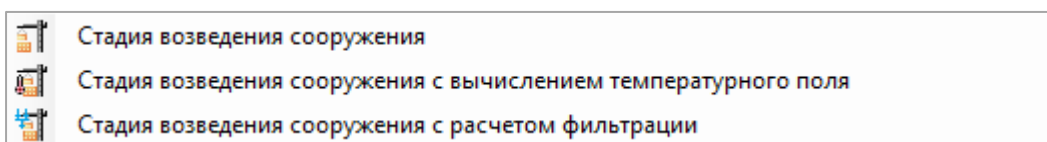


Рис. 2.444. Доступные типы нагружений

*Линейная задача с теплопроводностью и динамикой во времени* (рис. 2.445)

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)**, **В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»**.

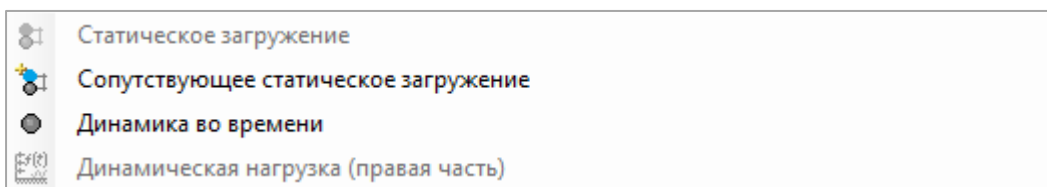


Рис. 2.445. Доступные типы нагружений

*Линейная монтажная задача с теплопроводностью и динамикой во времени*  
(рис. 2.446)

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»**, **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)**, **В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»**.

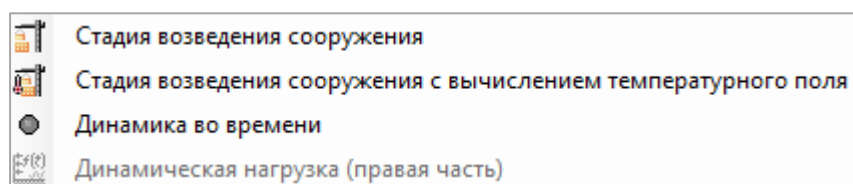


Рис. 2.446. Доступные типы нагружений

*Нелинейная задача с теплопроводностью и динамикой во времени (рис. 2.447)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы, Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»), В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+».**

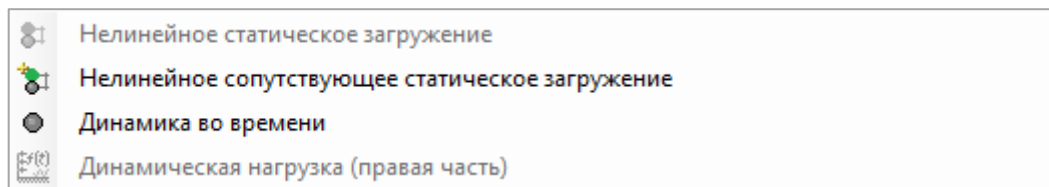


Рис. 2.447. Доступные типы нагружений

*Нелинейная монтажная задача с теплопроводностью и динамикой во времени (рис. 2.448)*

В окне параметров проекта необходимо установить флажки: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы, Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»), В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+», В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ».**

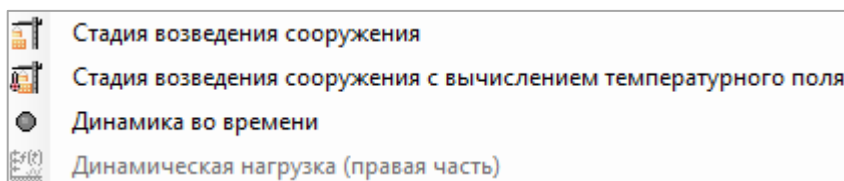


Рис. 2.448. Доступные типы нагружений

В раскрывающемся списке **Добавить сочетание** редактора нагружений щелчком мыши необходимо выбрать тип сочетания: **Пользовательское сочетание** или **Автоматическое сочетание**.

При выборе **Пользовательского сочетания** в **Библиотеке сочетаний** появится добавленное **Пользовательское сочетание** (рис. 2.449).

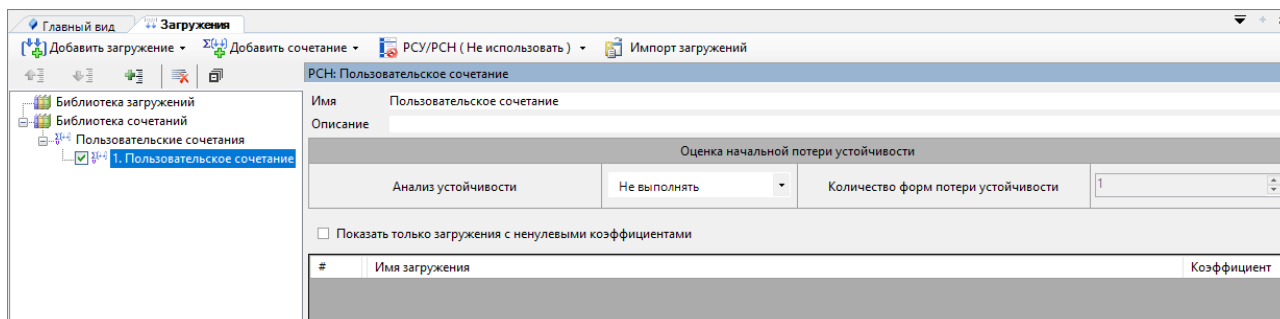


Рис. 2.449. Пользовательское сочетание нагружений

При необходимости можно заполнить текстовые строки **Имя**, **Описание** окна редактирования сочетания либо же оставить значения по умолчанию.

Ниже задаются такие параметры:

- **Оценка начальной потери устойчивости:**

- Количество форм потери устойчивости (счетчик, где можно ввести значения от 1 до 10);
- Анализ устойчивости (рис. 2.450).

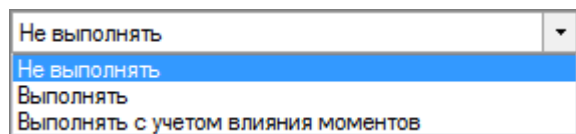


Рис. 2.450. Раскрывающийся список **Анализ устойчивости**

- **Показать только загрузки с ненулевыми коэффициентами** (путем установки/сброса соответствующего флажка).

В таблице ниже отобразится перечень загрузок с соответствующими коэффициентами, где можно задавать необходимые значения (рис. 2.451).

#		Имя загрузки	Коэффициент
1	!!!	1. Собственный вес	1
2	!!!	2. Загрузка	0.9
3	!!!	3. Ветровая нагрузка	1.1

Рис. 2.451. Таблица загрузок

При выборе **Автоматического сочетания** в **Библиотеке сочетания** появится добавленное **Автоматическое сочетание**. Данная функция позволяет создать таблицы стандартных линейных комбинаций загрузок и выбрать понижающие коэффициенты в соответствии с требованиями нормативной документации.

Для генерации сочетаний необходимо указать нормы проектирования в списке **PCY/PCN**:

- Не использовать;
- СССР: СНиП 2.01.07-85\*;
- Украина: ДБН В.1.2-2:2006;
- Российская Федерация: СП 20.13330.2011;
- Российская Федерация: СП 20.13330.2016;
- Европейский союз: EN 1990:2002.

Появившееся окно **PCN: Автоматическое сочетание** состоит из двух вкладок:

- Генерация;
- Сочетания.

Вкладка **Генерация** представляет собой рабочее окно (рис. 2.452), в котором схематически представлены возможные сочетания загрузок. Редактировать, а также сохранить схему можно с помощью панели инструментов в верхней части рабочего окна.

На основании заданных исходных данных по индивидуальным загрузкам будет построен граф сочетания, на базе которого будут сгенерированы автоматические сочетания с помощью кнопки **Сгенерировать сочетания**. В случае, если граф был скорректирован, можно



добавить сочетания, которые получаются в результате коррекции графа, с помощью кнопки **Добавить новые сочетания в список**.

Отображение вершин графа подается в двух видах: полное имя загрузки или его порядковый номер в библиотеке. Выбрать вид отображения графа можно с помощью переключателей **имена загрузок / только номера**.

В случае, если в библиотеке загрузок были добавлены/удалены/отключены загрузки, нужно нажать на кнопку **Перестроить граф** для того, чтобы получить актуальный граф.

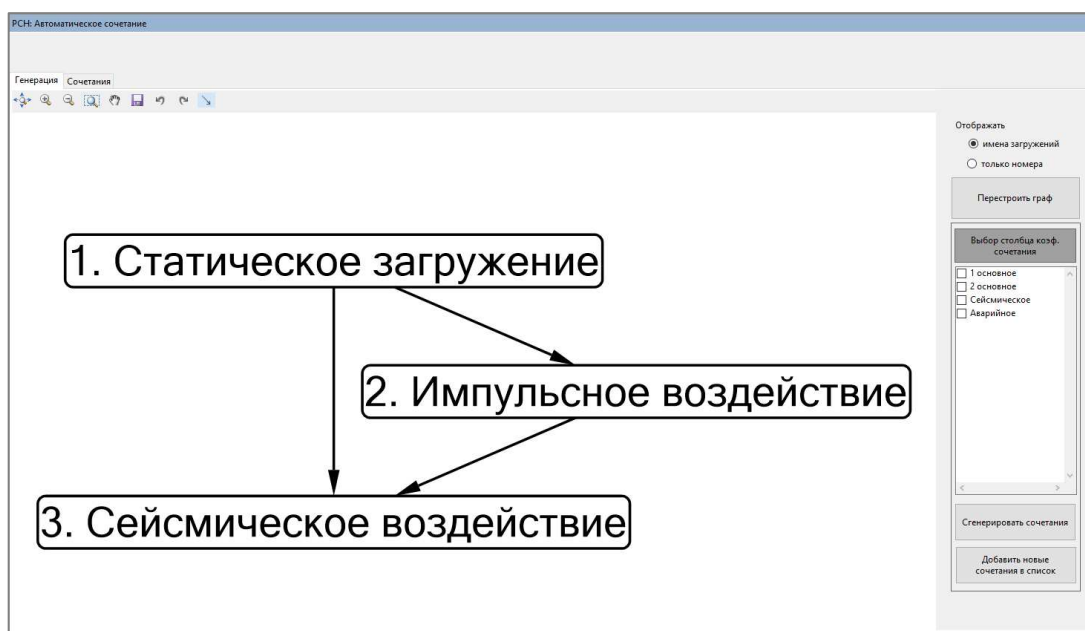


Рис. 2.452. Вкладка **Генерация**

Список сгенерированных сочетаний загрузок находится во вкладке **Сочетания**. Выделив строку с сочетанием загрузок и вызвав контекстное меню, можно скопировать это сочетание в пользовательское сочетание загрузок.

При определении РСУ учитываются логические связи между загрузками, которые отражают физический смысл загрузок, и требования, регламентируемые различными нормативными документами.

Если в левой части панели **Загрузки** щелкнуть мышью на разделе **Библиотека загрузок**, то в окне справа (в окне **Информация**) отобразятся следующие вкладки:

- **Взаимоисключаемые загрузки** (ветер слева и ветер справа, сейсмические воздействия вдоль разных осей координат и т.п.);
- **Объединяемые загрузки**;
- **Знакопеременность** (флажок означает, что в РСУ следует учесть вероятность изменения знака основного усилия сочетания);
- **Сопутствующие загрузки** (тормозные при наличии крановых нагрузок и т.п.).

Также в этом окне задаются параметры **Ограничения для Кранов и Тормозов**.

При нажатии на кнопку **Коэффициенты сочетаний по степени влияния** появляется таблица, в которой можно редактировать **Коэффициенты сочетаний**.

Данные в таблицах **Библиотеки загрузок** задаются автоматически программой, при необходимости возможно внести изменения самостоятельно.

В СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия» коэффициенты сочетаний по степени влияния нагрузки носили рекомендационный характер. В основных сочетаниях при учете трех и более кратковременных нагрузок их расчетные значения допускается умножать на коэффициент сочетания  $\psi_2$ , принимаемый для первой (по степени влияния) кратковременной нагрузки — 1.0, для второй — 0.8, для остальных — 0.6.

В СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» коэффициенты сочетаний по степени влияния нагрузки стали нормой.

При выборе в списке норм проектирования элемента **Европейский союз: EN 1990:2002** вместо кнопки **Коэффициенты сочетаний по степени влияния** отобразится кнопка **Коэффициенты переменных воздействий по EN 1990:2002**.

При нажатии на эту кнопку раскроется диалоговое окно (рис. 2.453) для корректировки/задания коэффициентов  $\psi$  для зданий, выбора между заданными в нормативных документах формулами (6.10) или (6.10a) и (6.10b) для группы В (для групп А и С всегда используется формула (6.10)), использование для аварийных расчетных ситуаций  $\psi_{1,1}$  или  $\psi_{2,1}$ , а также выбора таблиц для основных комбинаций (постоянных или переходных расчетных ситуаций). Выбор таблиц реализован в виде флажков, чтобы была возможность выполнить проектирование элементов конструкций, для которых необходимо принимать во внимание геотехнические воздействия и взаимодействие с грунтом (необходимо использовать один из трех подходов, описанных в Еврокоде 0).

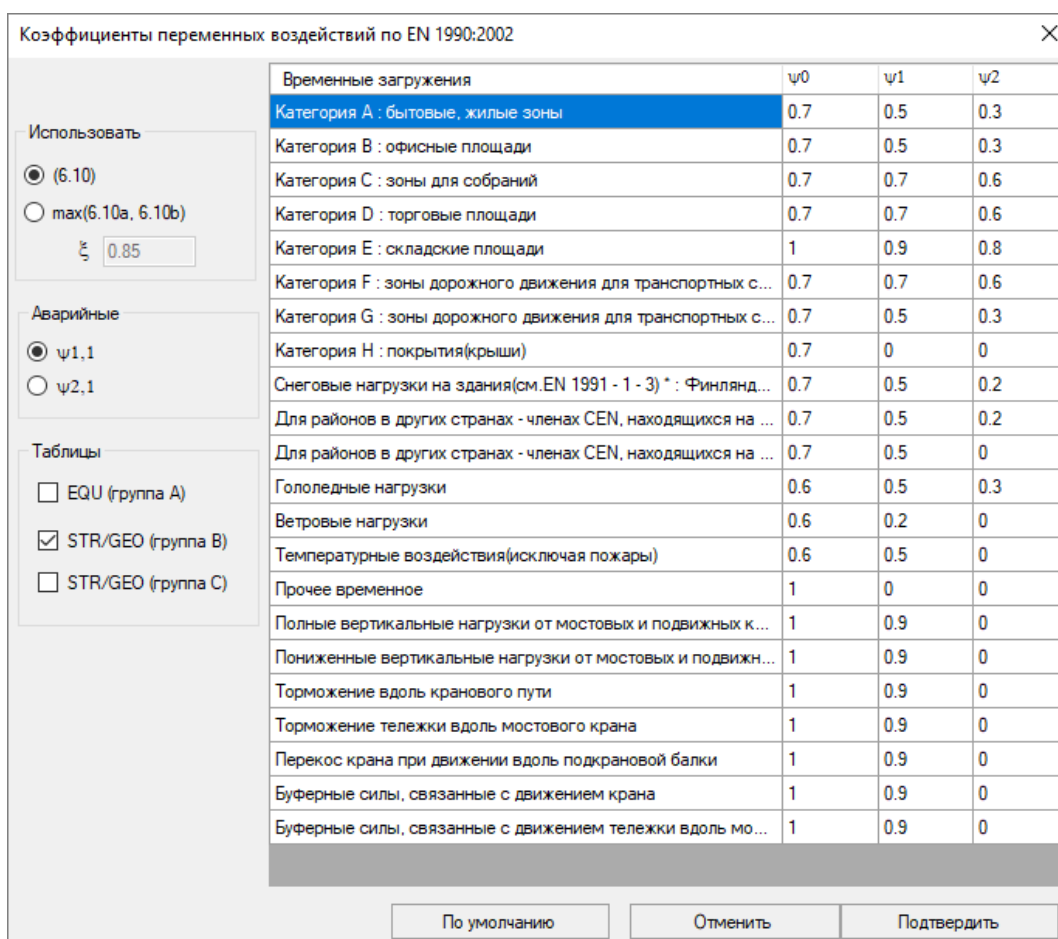



Рис. 2.453. Диалоговое окно **Коэффициенты переменных воздействий по EN 1990:2002**

## 2.16 РЕДАКТОР ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ

**Редактор параметров конструирования** предназначен для задания необходимых параметров конструирования сечения.

Для доступа к редактору параметров конструирования необходимо воспользоваться командой меню **Редакторы** ⇨ **Редактор конструирования** (кнопка  на панели инструментов). В главном окне программы раскроется вкладка **Конструирование** (рис. 2.454).

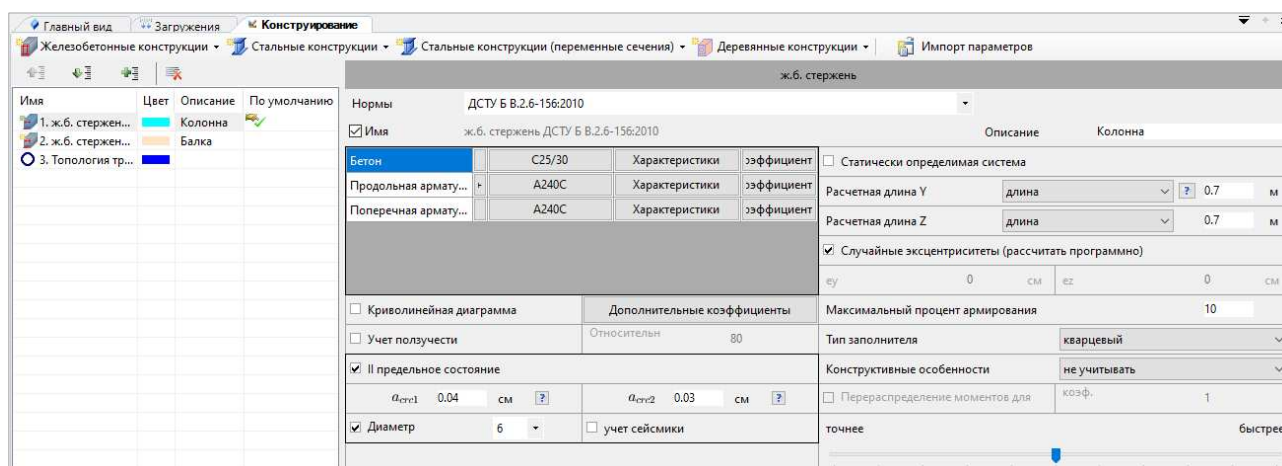







Рис. 2.454. Вкладка **Конструирование**

В левой части вкладки расположена таблица с перечнем созданных типов свойств параметров конструирующего расчета. Новый элемент добавляется в таблицу путем выбора необходимого типа сечения из раскрывающихся списков.

Заполнение таблицы происходит по следующему алгоритму:

1. **Имя** — выводится при выборе топологии или типа железобетонного элемента.
2. **Цвет** — выбирается щелчком мыши в поле ввода **Цвет**.
3. **Описание** — заполняется в правой части **Редактора конструирования** в окне параметров конструирования.
4. **По умолчанию** — содержит условное обозначение элемента, используемого по умолчанию (). Обозначение ставится и убирается двойным щелчком мыши по соответствующей ячейке четвертого столбца. Тип используемого по умолчанию элемента может быть выбран только один.

В верхней части таблицы с перечнем элементов расположена **Панель навигации**:

- **Поднять на уровень выше** (кнопка );
- **Опустить на уровень ниже** (кнопка );
- **Копировать** текущий элемент (кнопка );
- **Удалить** текущий элемент (кнопка .

В правой части редактора расположено окно параметров конструирования, в котором в соответствующих полях ввода можно задавать и корректировать параметры конструирования выбранной конструкции.

**Редактор конструирования** содержит следующие раскрывающиеся списки для выбора/редактирования параметров конструирования сечений:

- **Железобетонные конструкции** (рис. 2.455);
- **Деревянные конструкции** (рис. 2.456);

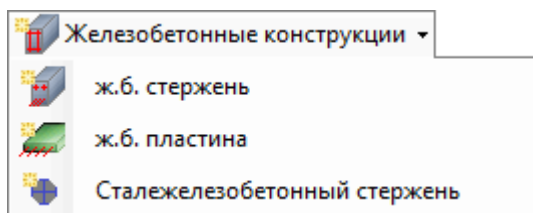


Рис. 2.455. Список железобетонных конструкций

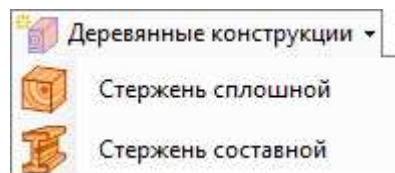


Рис. 2.456. Список деревянных конструкций

- **Стальные конструкции** (рис. 2.457);
- **Стальные конструкции (переменные сечения)** (рис. 2.458).

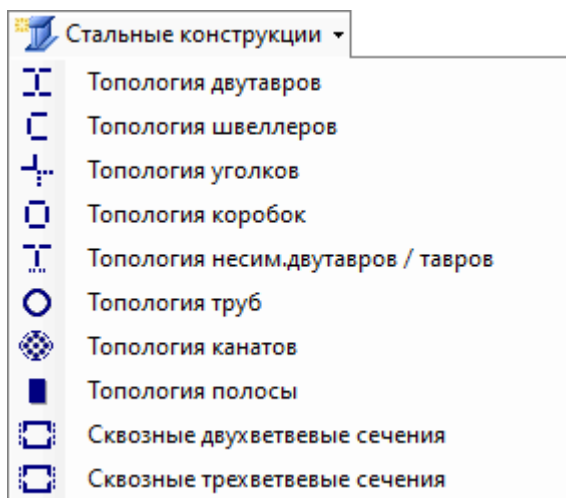


Рис. 2.457. Список стальных конструкций

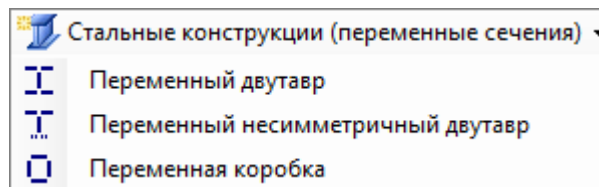



Рис. 2.458. Список стальных конструкций (переменного сечения)

Для импорта параметров конструирования из файла воспользуйтесь горизонтальной кнопкой **Импорт параметров**. После нажатия на кнопку появится диалоговое окно, где необходимо указать путь к файлу проекта (\*.fer), из которого будут импортироваться параметры конструирования.

## 2.17 АНАЛИЗ И КОНТРОЛЬ ЗАДАНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

### 2.17.1 Измерение геометрических размеров

Для вычисления геометрических параметров схемы (расстояний между двумя узлами, углов, площадей плоских фигур) воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Измерение** или кнопкой  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Измерение геом. размеров**, которая состоит из двух раскрывающихся вкладок (рис. 2.459).

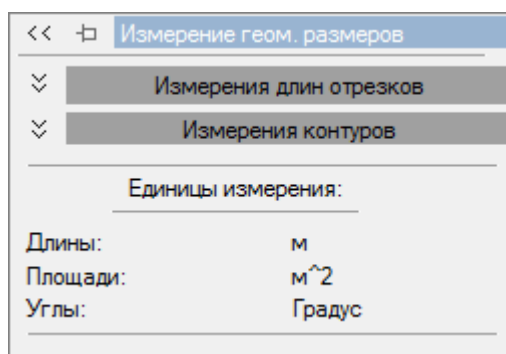


Рис. 2.459. Режим **Измерение геом. размеров**

Вкладка **Измерение длин отрезков** (рис. 2.460) служит для измерения расстояний между точками в пространстве. Для этого нужно щелкнуть мышью по этим двум узлам или точкам сети построения, после чего их параметры (номера и координаты) появятся в таблице **Выбранные точки**, а ниже в соответствующих полях будут показаны вычисленные значения длины **L**, а также длины проекции отрезка на оси координат: **L<sub>x</sub>**, **L<sub>y</sub>**, **L<sub>z</sub>**.

Для управления списком отрезков предусмотрены кнопки **Удалить текущий отрезок из списка** и **Очистить список отрезков**.

Вычислить параметры контуров можно при помощи инструментов вкладки **Измерения контуров** (рис. 2.461). Для этого нужно щелкнуть мышью по трем узлам контура (вершинам требуемой плоской фигуры) в соответствующем порядке, после чего их параметры (номера и координаты узлов) появятся в таблице **Выбранные точки**, а ниже в соответствующих полях будут показаны вычисленные значения **L** (длина контура), **S** (площадь плоской фигуры), **α** (угол), **L<sub>x</sub>**, **L<sub>y</sub>**, **L<sub>z</sub>** (длина проекции контура на плоскости).

Для управления списком контуров предусмотрены кнопки **Удалить текущий контур из списка** и **Очистить список контуров**.

В нижней части панели активного режима **Измерение геом. размеров**, в области **Единицы измерения**, можно увидеть, в каких единицах измерения отображаются вычисленные результаты (рис. 2.459).

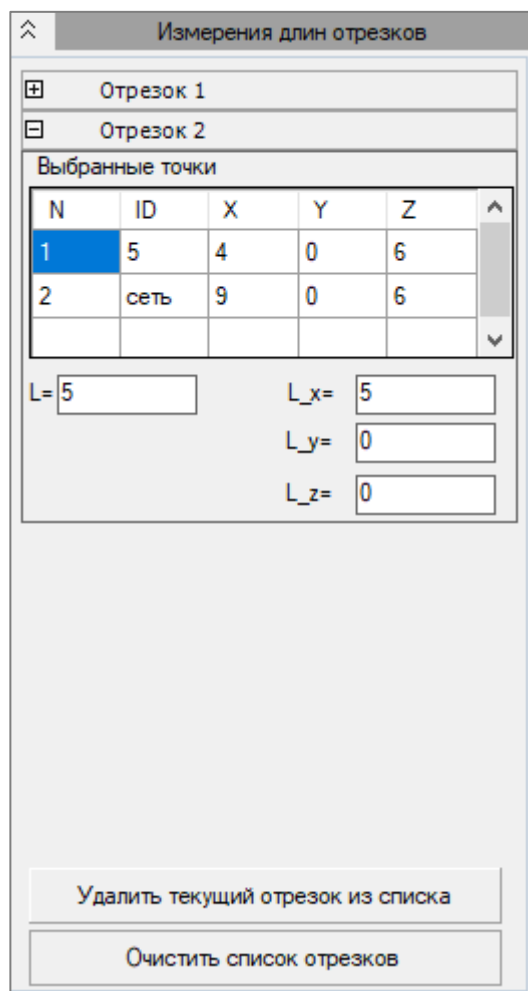


Рис. 2.460. Вкладка **Измерения длин отрезков**

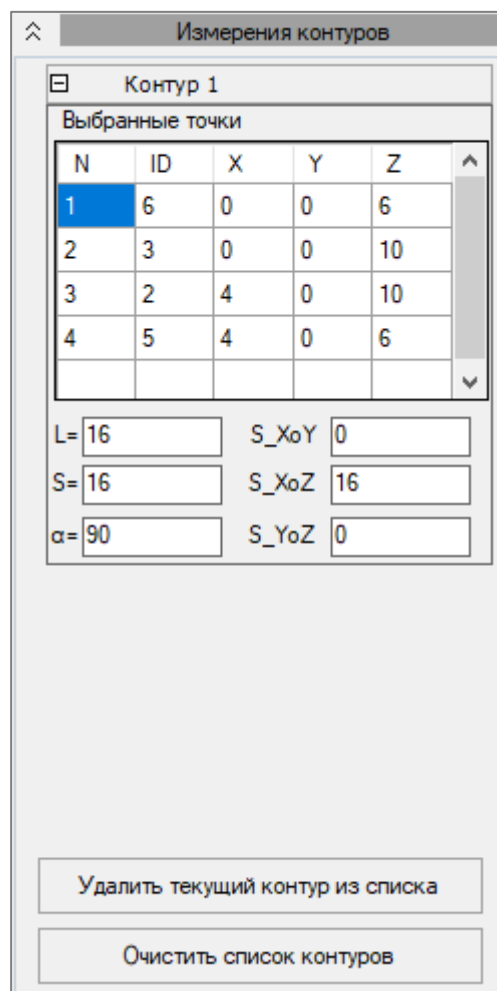



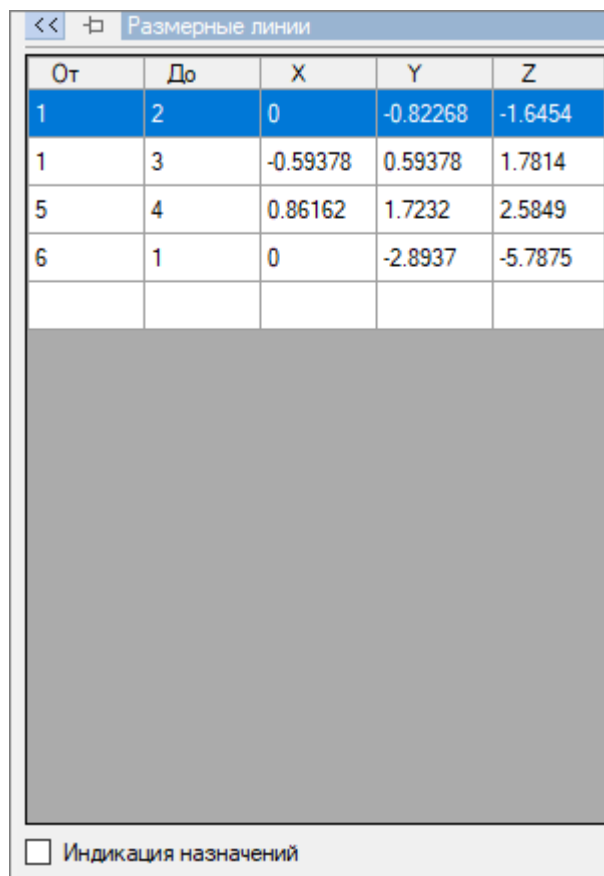
Рис. 2.461. Вкладка **Измерения контуров**

### 2.17.2 Размерные линии

Для задания размерных линий между узлами схемы / сети построения / архитектурных элементов / строительных осей / отметок воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Размерные линии** или кнопкой  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Размерные линии** (рис. 2.462).

Укажите с помощью мыши требуемые узлы схемы / сети построения / архитектурных элементов / строительных осей / отметок и направление размерных линий (вверх, вниз, вправо, влево). В результате размерные линии отобразятся на схеме, а координаты узлов в таблице на панели активного режима.

При установленном флажке **Индикация назначений** размерные линии, соответствующие выделенным строкам таблицы, будут подсвечены на схеме.




От	До	X	Y	Z
1	2	0	-0.82268	-1.6454
1	3	-0.59378	0.59378	1.7814
5	4	0.86162	1.7232	2.5849
6	1	0	-2.8937	-5.7875

Индикация назначений

Рис. 2.462. Режим **Размерные линии**

### 2.17.3 Установить текущее нагружение

Чтобы изменить текущее нагружение/форму, воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Установить текущее нагружение** или кнопкой  на панели инструментов. При выборе указанной команды появится окно со списком нагружений, созданных в данной расчетной модели, с отображением текущего нагружения (рис. 2.463).

Для изменения текущего нагружения/формы необходимо кликнуть левой кнопкой мыши по желаемому нагружению в списке.

Данный список также становится доступен, если:

- Воспользоваться комбинацией клавиш **Ctrl+L**.
- Щелкнуть мышкой в строке заголовка программы, в блоке **Загружение**.

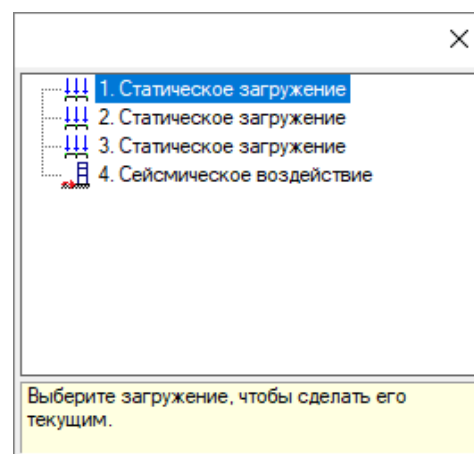



Рис. 2.463. Окно со списком нагружений

### 2.17.4 Анализ геометрии

Для анализа геометрической схемы воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Анализ геометрии** или кнопкой  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Анализ геометрии** (рис. 2.464), где отображается гистограмма с координатами по одной из выбранных осей или характеристиками элементов.

Изменять вид гистограммы можно при помощи следующих инструментов:

- флажок **от нуля** позволяет отобразить гистограмму от нуля;
- флажок **Отображать значения на схеме** отображает все эти значения на схеме.

Нажав на кнопку **Сохранить**, можно сохранить конечный вид гистограммы с желаемым коэффициентом увеличения в таких форматах: \*.png, \*.bmp, \*.jpeg, \*.gif, \*.tiff, \*.wmf.

Панель активного режима **Анализ геометрии** содержит такие раскрывающиеся вкладки:

- **Координаты;**
- **Элементы.**

На вкладке **Координаты** (рис. 2.465) нужно выбрать один из переключателей координаты и одну из осей для построения гистограммы — ось X, Y или Z.

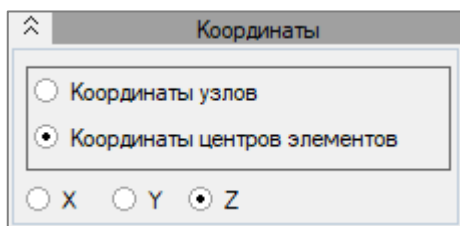


Рис. 2.465. Вкладка **Координаты**

На вкладке **Элементы** (рис. 2.466) нужно выбрать соответствующий переключатель в разделах **Пластинчатые элементы** или **Стержневые элементы**.

При необходимости учета жестких вставок в анализе необходимо установить флажок **Учитывать жесткие вставки**.

В нижней части панели активного режима отображается таблица с суммарными геометрическими характеристиками элементов расчетной схемы, где приводится информация о длине, площади и объеме как всех элементов схемы, так и выделенных элементов.

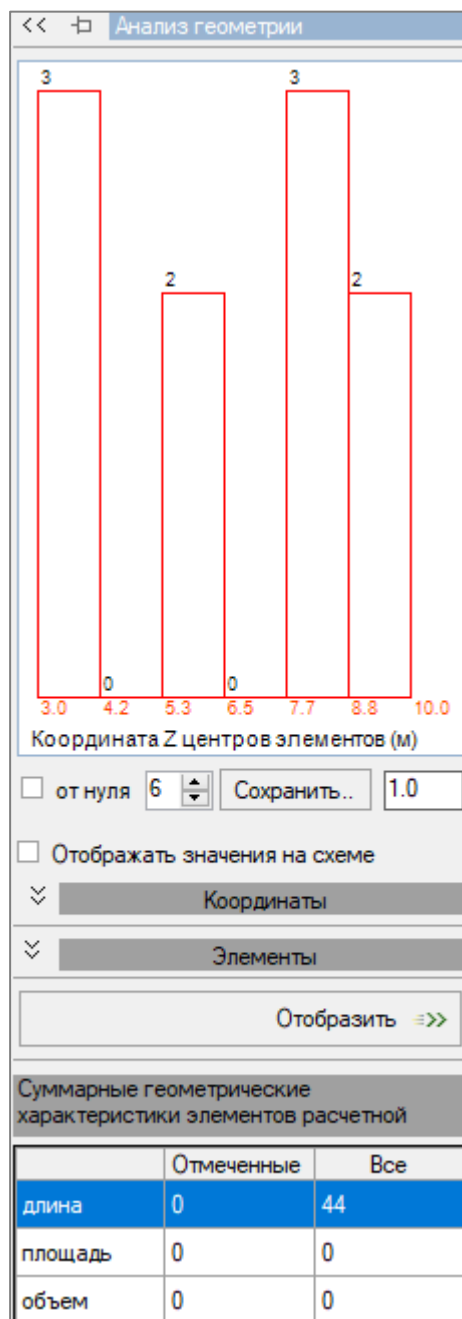


Рис. 2.464. Режим **Анализ геометрии**

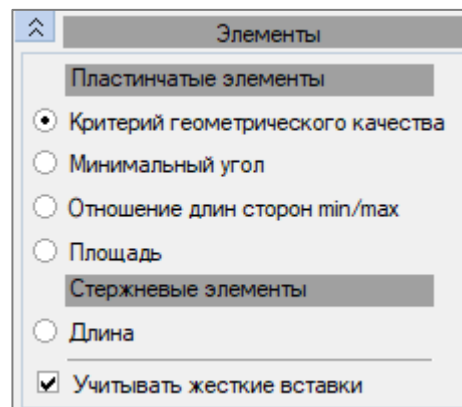



Рис. 2.466. Вкладка **Элементы**



## 2.17.5 Анализ нагрузок

Для вызова данного режима воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Анализ нагрузок** или кнопкой  на панели инструментов.

Панель активного режима **Анализ нагрузок** состоит из трех вкладок:

- **Нагрузки;**
- **Суммирование нагрузок;**
- **Массы и жесткости по этажам** (доступно в **Результатах расчета**).

### Нагрузки

Для анализа нагрузок на узлы/элементы схемы применяют гистограммы (рис. 2.467).

Изменять вид гистограммы можно при помощи следующих инструментов:

- флажок **от нуля** позволяет отобразить гистограмму от нуля;
- флажок **Отображать значения на схеме** отображает все эти значения на схеме.

Нажав на кнопку **Сохранить**, можно сохранить конечный вид гистограммы с желаемым коэффициентом увеличения в таких форматах: \*.png, \*.bmp, \*.jpeg, \*.gif, \*.tiff, \*.wmf.

С помощью переключателей нужно выбрать, какой тип нагрузок будет показан на гистограмме:

- **На узлы;**
- **На стержни;**
- **На пластины;**
- **На объемные КЭ.**

Путем выбора соответствующих переключателей задаются направления, по которым будут отображены нагрузки на гистограмме:

- **P<sub>x</sub>** (сила в направлении оси X);
- **P<sub>y</sub>** (сила в направлении оси Y);
- **P<sub>z</sub>** (сила в направлении оси Z);
- **M<sub>x</sub>** (момент вокруг оси X);
- **M<sub>y</sub>** (момент вокруг оси Y);
- **M<sub>z</sub>** (момент вокруг оси Z).

Также, при отмеченном флажке **Локальная** (для узлов и стержней) или **Согласованная** (для пластин и объемников), будут использоваться данные оси для построения гистограммы, в отличие от глобальных осей по умолчанию.

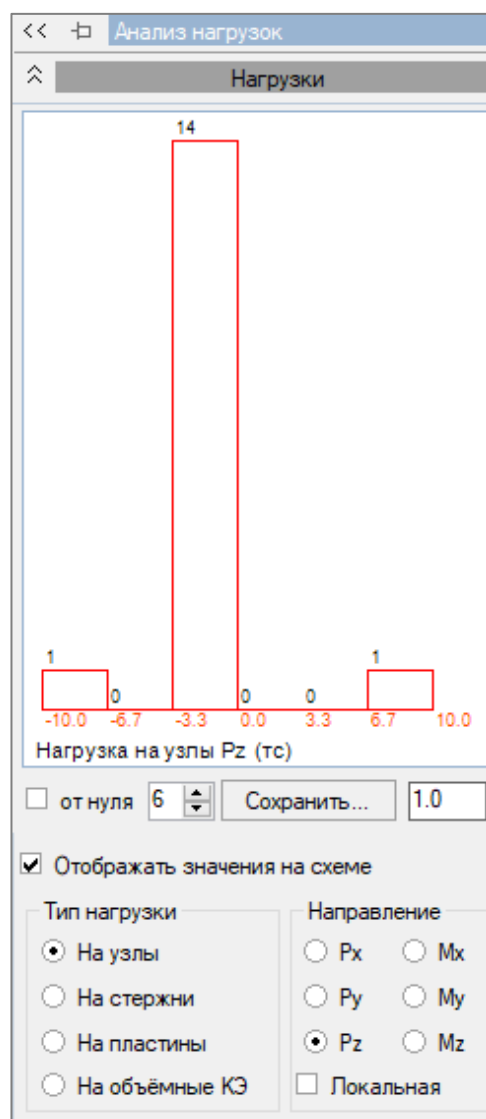



Рис. 2.467. Вкладка **Нагрузки**

### Суммирование нагрузок

Данная вкладка (рис. 2.468) позволяет получить информацию о суммарных нагрузках на расчетную схему, а также положение центров сил, масс и другую информацию о расчетной схеме.

С помощью переключателей необходимо выбрать тип характеристики, которая будет суммироваться:

- **Нагрузки;**
- **Инерционные силы;**
- **Узловые реакции;**
- **Узловые массы;**
- **Плотность.**

 При этом переключатели **Нагрузки** и **Плотность** активны всегда, а оставшиеся параметры станут активными при переходе в соответствующий режим. Например, переключатель **Инерционные силы** будет активен в режиме просмотра результатов по инерционным силам для динамического нагружения.

При выбранном переключателе **Все** в расчете будут участвовать все нагрузки данного нагружения, а при выбранном переключателе **Выбранные** — нагрузки на выделенные элементы.

Также с помощью флажков можно отобразить на схеме положение в пространстве центров сил и центра жесткости системы. Дополнительно можно отмечать флажками элементы отдельных типов и проводить анализ только для отмеченных типов элементов.

### Массы и жесткости по этажам

Данная вкладка доступна в режиме **Результаты расчета** при просмотре результатов по динамическим нагружениям.

Для того чтобы получить анализ по этажам, необходимо предварительно задать этажи с помощью команды меню **Группы элементов**. В результате анализа будут выведены координаты центров тяжести и жесткости, а также эксцентриситет между центром тяжести и центром жесткости этажа.

Суммирование нагрузок

Все  
 Выбранные

Нагрузки  
 Инерционные силы  
 Узловые реакции  
 Узловые массы  
 Плотность

Суммарные значения нагрузок

	P	M
X	0	0
Y	40	0
Z	594	0

Узлы
  Пластины

Стержни
  Объемные

Координаты центров сил

	Cx	Cy	Cz
Px	0	0	0
Py	6	6	12.5
Pz	6	6	14.621

Опрокидывающие моменты

	Координаты	Моменты
X	0	3064
Y	0	-3564
Z	0	240

Моменты инерции масс

Использовать массы вдоль оси

X
  Y
  Z

В глобальных центральных осях

lxx	lyy	lzz
lxy	lxz	lyz

В главных осях

lx1	ly1	lz1
θ	ψ	φ

Координата центра пространственной жесткости

x	y	z	Fi
6	6	14.621	0


Отображение на схеме

точка центра сил по X  
 точка центра сил по Y  
 точка центра сил по Z  
 вспомогательная точка  
 точка центра жесткости

Координаты: м  
 Силы: тс  
 Моменты: тс\*м

Рис. 2.468. Вкладка Суммирование нагрузок

## 2.17.6 Анализ модели

Для контроля расчетной схемы воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Анализ модели** или кнопкой  на панели инструментов.

Панель активного режима **Анализ модели** состоит из семи вкладок (рис. 2.469).



Рис. 2.469. Режим **Анализ модели**

Вкладка **Упругое основание** позволяет визуализировать как заданные характеристики упругого основания, так и характеристики, вычисленные в **Редакторе Грунта**.

Для элементов пластин и стержней выводятся:

- **$C1z$  и  $C2z$**  — вертикальный отпор грунта вдоль оси  $Z1$  (местной системы координат).
- **Ширина опирания  $Wz$**  — ширина сечения вдоль оси  $Z1$  (только для стержней).
- **$C1y$  и  $C2y$**  — горизонтальный отпор грунта вдоль оси  $Y1$  (только для стержней).
- **Ширина опирания  $Wy$**  — ширина сечения вдоль оси  $Y1$  (только для стержней).
- **$Pz$**  (стержни и пластины) — равномерно распределенная нагрузка, заданная для расчета коэффициентов постели в **Редакторе грунта** либо полученная в результате преобразования реактивного отпора грунта  **$Rz$** .
  - **Усредненный модуль деформации** — усредненный модуль деформации грунта  $\bar{E}$  в пределах сжимаемой толщи  **$Hc$** .
  - **Усредненный коэффициент Пуассона** — усредненный коэффициент Пуассона грунта  $\bar{\nu}$  в пределах сжимаемой толщи  **$Hc$** .
  - **Глубина сжимаемой толщи,  $Hc$** .
  - **Осадка,  $s$** .
  - **Осадка консолидации** — часть осадки, вызванная влиянием консолидации.
  - **Относительная разность осадок** — разность осадок двух точек (реперов), отнесенная к расстоянию между ними ( $\Delta s/L$ ).
  - **Расчетное сопротивление грунта,  $R$**  — соответствует такому давлению под подошвой фундамента, при котором зоны пластических деформаций развиваются на глубину  $z=b/4$ .
  - **Коэффициент использования по  $R$**  — отношение давления по подошве фундамента к расчетному сопротивлению.
- **$Cx$**  — отпор грунта вдоль оси  $X1$  (для стержней и пластин).
- **$Cy$**  — отпор грунта вдоль оси  $Y1$  (только для пластин).

- **W<sub>x</sub>** — ширина опирания вдоль оси X1 (только для стержней), обычно периметр.

Чтобы показать **Относительную разность осадок**, необходимо выбрать на схеме реперный элемент, относительно которого эта разность рассчитается. Для этого нужно:


1. Установить курсор мыши на нужном элементе.
2. Правой кнопкой мыши вызвать контекстное меню.

3. Выбрать в контекстном меню команду **Реперный элемент относительной разности осадок**. Если эта команда меню не доступна или при ее выборе ничего не происходит, значит, у этого элемента либо нет данных об осадке, либо он не принадлежит к упругому основанию, либо выбран узел, а не элемент фундаментной плиты.

4. Кнопка **Относительная разность осадок** активизируется. В окне под кнопками данной панели указывается номер реперного элемента.

5. Нажмите кнопку **Относительная разность осадок** и получите на схеме распределение относительных разностей осадок по элементам.

Также с помощью кнопки **Абсолютная разность осадок** можно посмотреть на схеме распределение абсолютных разностей осадок по элементам.

Убрать реперный элемент можно, нажав кнопку .

Вкладки **Сечения** и **Материалы** включают в себя инструменты, позволяющие получать на экране эпюры и изополя геометрических и физических характеристик сечений, назначенных на элемент или группу элементов (рис. 2.470 и 2.471).

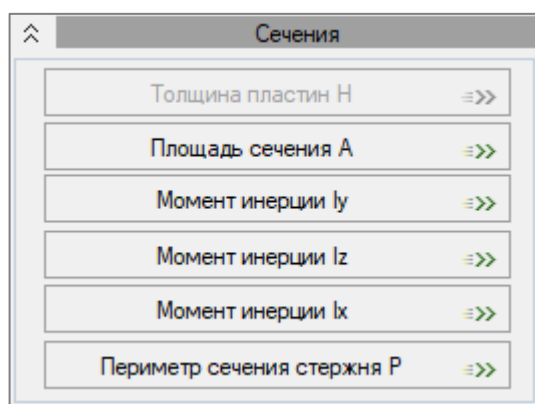


Рис. 2.470. Вкладка **Сечения**

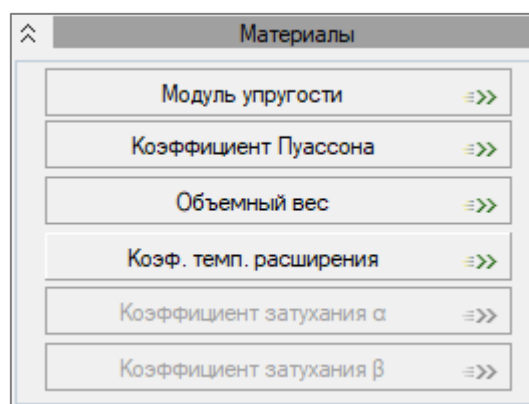


Рис. 2.471. Вкладка **Сечения**

Вкладка **Сваи и пружины** позволяет получать на экране мозаики жесткостей одноузловых КЭ 56 и КЭ 57 (свая) как заданных, так и полученных по результатам расчетов (при помощи инструментов **Вычисление жесткостей одиночной сваи** или **Редактор грунта**):

- **P<sub>z</sub> (сваи)** — вертикальная сосредоточенная нагрузка, заданная для расчета параметров жесткости КЭ 57 (свая) в **Редакторе грунта** либо полученная в результате преобразования реактивного отпора грунта **R<sub>z</sub>**.

- **P<sub>x</sub> (сваи), P<sub>y</sub> (сваи)** — горизонтальные сосредоточенные нагрузки, полученные в результате преобразования реактивного отпора грунта **R<sub>z</sub>**.

- **P<sub>yx</sub> (сваи), P<sub>yy</sub> (сваи)** — сосредоточенные моменты, полученные в результате преобразования реактивного отпора грунта **R<sub>z</sub>**.

- **Жесткость свай и пружин  $R_x, R_y, R_z$**  — жесткости одноузловых КЭ 56 и КЭ 57 (свая) вдоль глобальных осей или локальных осей координат узла.

- **Жесткость свай и пружин  $R_{ux}, R_{uy}, R_{uz}$**  — жесткости одноузловых КЭ 56 и КЭ 57 (свая) вокруг глобальных осей или локальных осей координат узла.

Также для свай можно отобразить следующие параметры:

- **Глубина  $hd$**  — глубина от поверхности земли, на которой при сейсмическом воздействии не учитывается сопротивление грунта по боковой поверхности.

- **Несущая способность свай  $F_d$**  — несущая способность на сжимающую нагрузку.

- **Несущая способность свай  $F_{du}$**  — несущая способность на выдергивание.

- **Коэффициент использования по  $F_d$**  — коэффициент использования на сжимающую нагрузку в соответствии с нормами (должен быть меньше 1).

- **Коэффициент использования по  $F_{du}$**  — коэффициент использования на выдергивание в соответствии с нормами (должен быть меньше 1).

Коэффициенты использования по  $F_d$  и  $F_{du}$  можно визуализировать по загрузениям, РСУ, РСН, НСН и НСУ, выбрав соответствующий параметр из раскрывающегося списка.

Вкладка **Конструирование** включает в себя инструменты, позволяющие отобразить расчетные длины стержней и пластин в виде мозаики:


- **Расчетная длина стержней  $L_y$**  — отображает назначенные стержням расчетные длины вдоль локальной оси  $Y1$ .

- **Расчетная длина стержней  $L_z$**  — отображает назначенные стержням расчетные длины вдоль локальной оси  $Z1$ .

- **Расчетная длина пластин  $L_x$**  — отображает назначенные пластинам расчетные длины вдоль локальной оси  $X1$ .

- **Расчетная длина пластин  $L_y$**  — отображает назначенные пластинам расчетные длины вдоль локальной оси  $Y1$ .

Вкладка **Связность модели** (рис. 2.472) позволяет контролировать целостность модели. На данной вкладке формируется список разрозненных фрагментов модели. С помощью кнопки **Посчитать количество разрозненных фрагментов** проверяется целостность модели. После чего на экран выводится сообщение о количестве разрозненных фрагментов. Проверку можно производить с учетом жестких тел и объединений перемещений. Для этого нужно установить соответствующие флажки.

 *Каждая строка в списке элементов формирует один фрагмент. Разрозненный фрагмент можно выделить двойным щелчком по строке в списке элементов (элементы окрасятся в красный цвет).*

Вкладка **Совпадающие узлы и элементы** (рис. 2.473) позволяет производить поиск узлов и элементов с совпадающими координатами. Координаты узлов или координаты узлов элементов могут совпадать с погрешностью, которая задается в соответствующем поле ввода. Для поиска совпадающих узлов нужно нажать кнопку **Поиск совпадающих узлов**, после чего будет сформирован список совпадающих узлов, и они будут отмечены на схеме.

Такая же процедура и для поиска совпадающих элементов. Для этого нужно нажать кнопку **Поиск совпадающих элементов**.

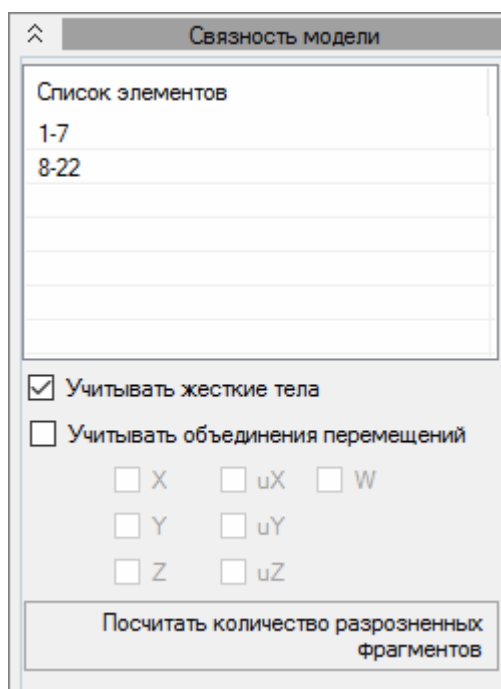


Рис. 2.472. Вкладка **Связность модели**

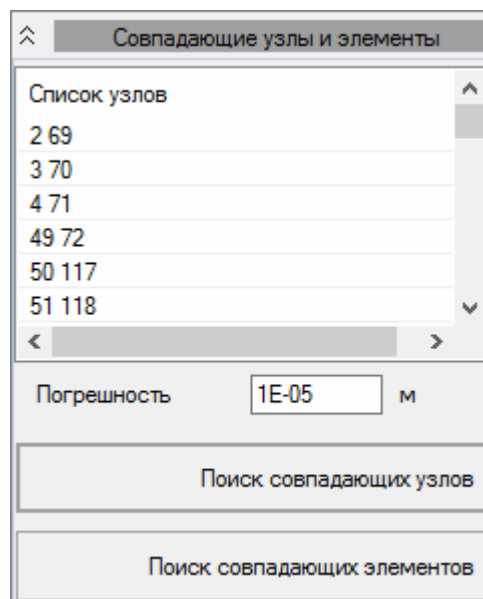



Рис. 2.473. Вкладка **Совпадающие узлы и элементы**

### 2.17.7 Контроль расчетной схемы модели

Для выполнения контроля расчетной схемы в процессе создания расчетной модели воспользуйтесь командой меню **Анализ** ⇒ **Контроль схемы** или кнопкой  на панели инструментов.

Операция контроля доступна как в режиме подготовки исходных данных, так и в режиме результатов расчета. Использование панели в режиме исходных данных позволит найти и исправить формальные ошибки до того, как они будут обнаружены системой контроля процессора.

С каждым заданным элементом связана система проверки правильности данных.

Панель активного режима **Контроль схемы** (рис. 2.474) состоит из 3 раскрывающихся списков:

- **Геометрия;**
- **Нагрузки и массы;**
- **Свойства.**

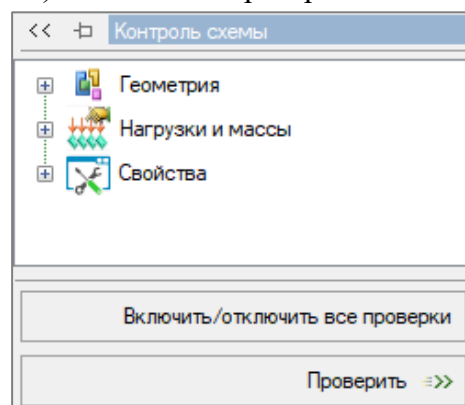


Рис. 2.474. Режим **Контроль схемы**

Вкладка **Геометрия** позволяет анализировать маркеры с наименованием проверяемых характеристик геометрии:

- **Наличие узлов и элементов** — общее количество узлов/элементов/архитектурных элементов в схеме.
- **Соответствие координат признаку схемы** — соответствие координат типу создаваемой задачи.
- **Корректность геометрии элементов** — для стержневых / плитных / объемных / архитектурных элементов идет проверка корректности их геометрии.
- **Направление оси Z1 для плит** — для элементов плит проверяется направление оси Z1 (правильным считается направление в верхнее полупространство).
- **Висячие узлы** — наличие висячих узлов.
- **Совпадающие узлы** — наличие совпадающих узлов.
- **Совпадающие элементы** — наличие совпадающих элементов.

Вкладка **Нагрузки и массы** позволяет активизировать маркеры с наименованием проверяемых приложенных нагрузок и масс:

- **Наличие нагрузок** — наличие загружений / нагрузок в модели.
- **Соответствие нагрузок признаку схемы** — соответствие нагрузок типу создаваемой задачи.
- **Соответствие нагрузок загрузениям** — соответствие нагрузок заданным загрузениям.
- **Корректность нагрузок на элементы** — корректность численного задания нагрузок на элементы.
- **Соответствие нагрузок типу элемента** — соответствие нагрузок применяемым в схеме типам конечных элементов.
- **Наличие масс в динамическом загрузении** — проверяется наличие масс в динамических загрузениях.
- **Корректность загрузений** — проверяется корректность задания исходной информации по загрузениям.
- **Наличие совпадающих нагрузок в узлах** — проверяется наличие идентичных нагрузок в одном и том же узле.
- **Наличие совпадающих нагрузок в элементах** — проверяется наличие идентичных нагрузок, приложенных к одному и тому же элементу.
- **Наличие совпадающих нагрузок на модель** — проверяется наличие идентичных нагрузок, приложенных к модели.

Вкладка **Свойства** позволяет активизировать маркеры с наименованием проверяемых свойств:

- **Соответствие типа элемента типу задачи** — соответствие заданного элемента типу создаваемой задачи.
- **Соответствие сечения типу элемента** — соответствие **Сечения** элемента типу конечного элемента.
- **Соответствие материала типу элемента** — соответствие **Материала** элемента типу конечного элемента.

- **Соответствие материала сечению** — соответствие **Материала** элемента его **Сечению**.

- **Соответствие конструирования материалу и сечению** — соответствие **Параметров конструирования** элемента его **Материалу и Сечению**.

- **Корректность объединений перемещений** — **Объединение перемещений** задано некорректно, если обнаружены пустые (без узлов) группы либо в одной или нескольких группах не заданы направления связи.

- **Корректность жестких тел** — **Абсолютно твердое тело** задано некорректно, если в узлах (кроме ведущего) заданы связи, перемещения/повороты, объединение перемещений, локальные оси.

- **Корректность конструктивных элементов** — проверяется наличие пустых групп, элементы, входящие в группу конструктивных элементов, должны быть описаны одной строкой в параметрах: **Материалы, Сечения, Конструирование**, должны иметь один тип КЭ, совпадение локальных осей.

- **Корректность конденсаторных масс** — проверяется задание элементов, а также задание в одном элементе повторных масс.

- **Корректность групп продавливания** — проверяется наличие сечений, несовпадение **Материалов/Сечений/Конструирования**, наличия упругого основания, несовпадения количества **Расчетных сечений**, граничных условий в задании **Конструктивных элементов**, совпадение местных осей стержневых элементов, входящих в группу продавливания.

- **Корректность групп унификации** — то же.

- **Корректность сечений** — корректность численного описания.

- **Корректность материалов** — то же.

- **Корректность параметров конструирования** — то же.

- **Совпадающие сечения** — повторное задание строк в **Сечениях**.

- **Совпадающие материалы** — повторное задание строк в **Материалах**.

- **Совпадающие параметры конструирования** — повторное задание строк в **Конструировании**.


- **Жесткость элемента** — корректность численного задания.

Для удобства существует кнопка **Включить/отключить все проверки**, которая позволяет автоматически выбрать все доступные маркеры проверки.

После нажатия кнопки **Проверить** выполняется контроль выбранных характеристик.

По результатам контроля на экран выводится **ПРОТОКОЛ проверки расчетной схемы**.


В случае обнаружения некорректных данных в протоколе проверки расчетной схемы приводится список обнаруженных ошибок и предупреждений:

 — строка/строки сообщений об ошибках;

 — строка/строки сообщений о предупреждениях.



## 2.17.8 Строительные оси и отметки



Для установки на схеме строительных осей и отметок воспользуйтесь командой меню **Анализ** ⇒ **Строительные оси и отметки** или кнопкой  на панели инструментов. Появится панель активного режима, содержащая две вкладки: **Оси** и **Отметки**.

Вкладка **Оси** (рис. 2.475) дает возможность построения прямоугольной или полярной сети.

В полях ввода области **Привязка** можно вручную задавать значения координат по осям  $X$  и  $Y$ , но также можно воспользоваться контекстным меню, выбрав узел и нажав правую кнопку мыши.

В поле **Угол** можно задавать угол поворота осей (по часовой стрелке). В поле **Продление осей** задаются значения длины осей. Установите флажок **Размерная линия**, чтобы отобразить на схеме размерные линии на заданном в поле ввода расстоянии.

Ниже, в таблице, задаются возможные варианты буквенных и численных маркировок и интервалы между осями.

С помощью кнопок  и  можно добавлять и удалять несколько сеток осей.

Задав числовое значение в поле **Плоскость отображения осей**, можно поднять координатную сеть по оси  $Z$ . Или можно задать уровень сети при помощи мыши — выделить узел, нажать правую кнопку мыши и выбрать в контекстном меню команду **Установить координату  $Z$  плоскости отображения осей**.

При выборе переключателя **Полярная** расстановка осей на плоскости имеет следующий вид (рис. 2.476).

В этой проекции становится доступным поле ввода **Внутренний радиус**, где задается значение для построения осей по кривой.

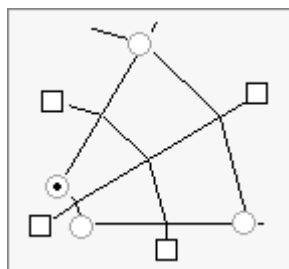


Рис. 2.476. Полярная расстановка осей

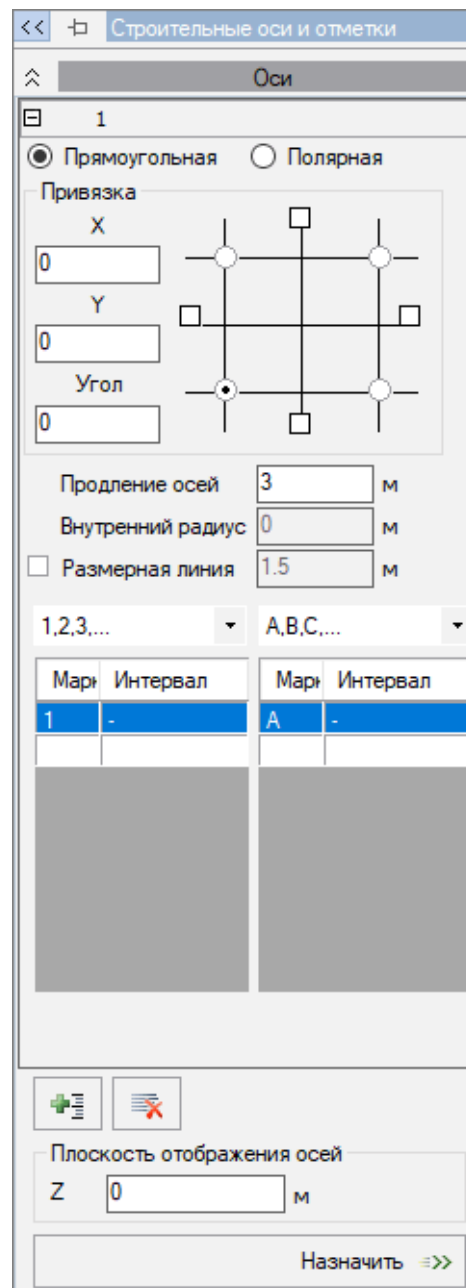



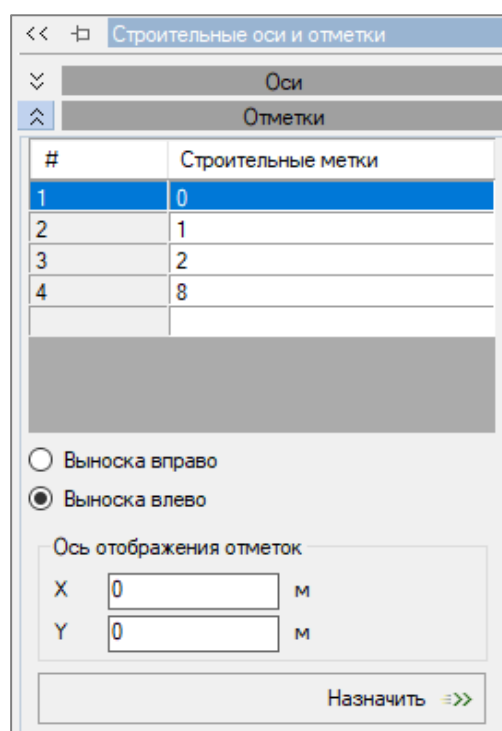
Рис. 2.475. Вкладка **Оси**

 Установка строительных осей допускается только на изометрическом изображении схемы и на ее горизонтальной проекции (пл.  $XoY$ ). При смене проекций соответственно изменяется вид диалогового окна.

На вкладке **Отметки** (рис. 2.477) задаются значения отметок с выбором выноса их влево или вправо.

В полях **Ось отображения отметок** можно производить корректировку положения отметок относительно схемы.

 Установка отметок допускается только на проекциях  $XoZ$  и  $YoZ$ .



#	Строительные метки
1	0
2	1
3	2
4	8

Выноска вправо  
 Выноска влево

Ось отображения отметок

X  м

Y  м

Назначить =>>


Рис. 2.477. Вкладка **Отметки**

## ГЛАВА 3. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА


### 3.1 ИСХОДНАЯ И ДЕФОРМИРОВАННАЯ СХЕМА (ЗАГРУЖЕНИЯ, РСН, УСТОЙЧИВОСТЬ, ДИНАМИКА)

Просмотр результатов расчета можно осуществлять в двух режимах: **Исходная схема** и **Деформированная схема**.

Режим **Исходная схема** визуализирует расчетную схему без каких-либо деформационных изменений, накладывая поверх нее результаты расчета. Для отображения исходной схемы необходимо воспользоваться командой **Результаты** ⇨ **Исходная схема** либо

же кнопкой  на панели инструментов.


Режим **Деформированная схема** отображает схему в деформированном виде под воздействием нагрузок. При этом все результаты расчета будут отображаться на деформированной схеме. Для визуализации деформированной схемы необходимо

воспользоваться командой **Результаты** ⇨ **Деформированная схема** либо же кнопкой  на панели инструментов.

Команда **Перемещение** позволяет визуализировать перемещения расчетной схемы по глобальным осям. Для отображения перемещений необходимо выбрать команду **Результаты**

⇨ **Перемещение** либо нажать кнопку  на панели инструментов.

Команда **Колебания**, соответственно, позволяет визуализировать колебания расчетной схемы по глобальным осям. Для отображения колебаний необходимо выполнить команду

**Результаты** ⇨ **Колебания** либо же нажать кнопку  на панели инструментов. Выбор формы собственных колебаний производится в раскрывающемся окне загрузений (рис. 3.1).

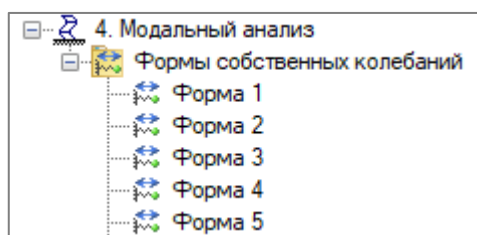



Рис. 3.1. Окно загрузений с вариантами форм собственных колебаний

Команда **Устойчивость** выводит формы потери устойчивости для расчетной схемы. Для перехода воспользуйтесь командой **Результаты** ⇨ **Устойчивость** либо же кнопкой  на

панели инструментов. Выбор формы потери устойчивости производится в раскрывающемся окне загрузений (рис. 3.2).

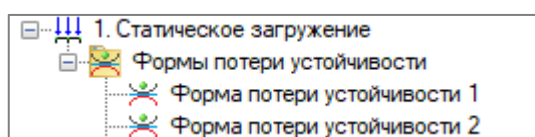



Рис. 3.2. Окно загрузений с вариантами форм потери устойчивости

Для визуализации результатов по **Чувствительности** и **Свободным длинам** нужно нажать на кнопку  (**Результаты устойчивости**), затем на панели активного режима **Устойчивость** выбрать необходимый параметр (рис. 3.3).

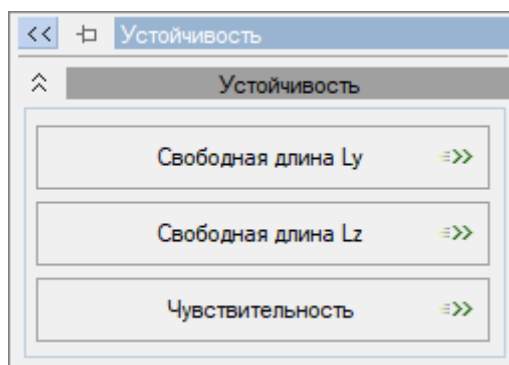



Рис. 3.3. Панель режима **Устойчивость**

Команда **Загрузки/РСН** визуализирует результаты расчета по заданным сочетаниям. Для перехода необходимо воспользоваться кнопкой  на панели инструментов либо же командой **Результаты** ⇌ **Загрузки/РСН**. Переключение номера сочетания выполняется в раскрывающемся окне загрузений.

### 3.2 ПАРАМЕТРЫ ШКАЛЫ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОПОЛЕЙ И МОЗАИК

Визуализация результатов расчета доступна после выполнения расчета задачи и вызова команды **Результаты** ⇌ **Узлы / Стержни / Пластины / Объемные КЭ / Спец. элементы / Сочетания** с последующим отображением требуемых усилий, перемещений или эпюр с помощью соответствующих кнопок на панелях. Инструменты визуализации появляются на дополнительной вкладке **Шкала** в ленте (рис. 3.4). А также дублируются в виде кнопок на панели инструментов, которая появляется после расчета задачи.

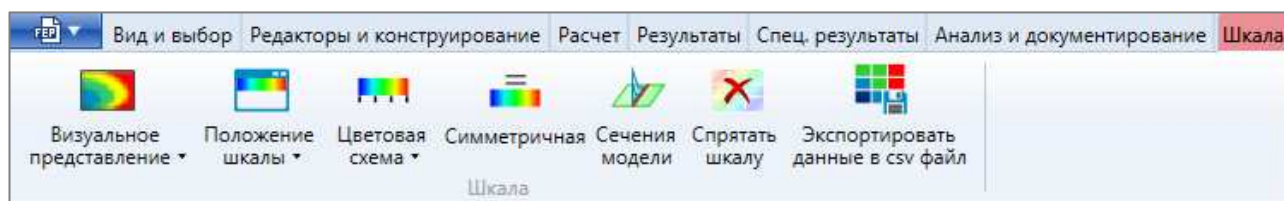


Рис. 3.4. Вкладка ленты **Шкала**

В раскрывающемся списке **Визуальное представление** (кнопка ) доступно несколько способов отображения данных:

- **Мозаика, Изополе, Изолинии, Изополе + Изолинии** (для узлов, пластинчатых и объемных элементов);
- **Мозаика, Эюра, Эюра контрастная** (для стержневых и специальных элементов).

По умолчанию в верхней части рабочей области находится цветовая шкала (рис. 3.5).

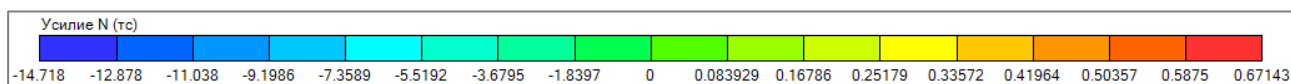




Рис. 3.5. Цветовая шкала

Имеется четыре возможных варианта расположения шкалы: **Вверху**, **Внизу**, **Слева**, **Справа**. Для изменения расположения необходимо нажать кнопку  (**Положение шкалы**) и выбрать подходящий вариант из раскрывающегося списка.

Каждому цвету шкалы соответствует определенный диапазон значений. При необходимости цвет диапазонов может быть изменен. Для этого нужно нажать кнопку  (**Цветовая схема**). После чего отобразится раскрывающийся список (рис. 3.6), из которого нужно выбрать подходящий шаблон цветовой шкалы.

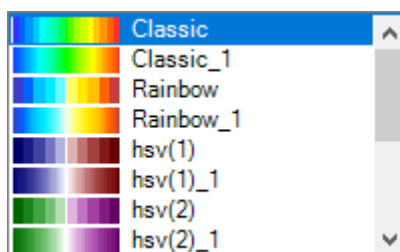



Рис. 3.6. Цветовая схема

Цветовая шкала может быть представлена **симметричной** или **асимметричной**. При асимметричной визуализации шкалы граничные значения для положительных и отрицательных значений будут получены, как определенный процент от наибольшего положительного и, соответственно, отрицательного значения на схеме. При отображении шкалы как симметричной граничные значения диапазонов будут получены, как процент от наибольшего по модулю значения на схеме. Таким образом, диапазоны будут симметричны относительно 0. На панели инструментов находится кнопка  (**Симметричная**), нажатие на которую приводит к изменению визуализации шкалы с симметричной на асимметричную и наоборот.

Для дополнительной настройки отображения шкалы необходимо вызвать контекстное меню нажатием правой кнопки мыши на шкалу (рис. 3.7). Граничные значения и длины диапазонов можно изменять, перетягивая границы влево или вправо. Также можно добавлять дополнительные границы нажатием левой кнопки мыши на шкале. Цвет диапазона может быть изменен нажатием на прямоугольник, находящийся под шкалой. Цвет будет применен для диапазона, в котором граничное значение является максимальным по модулю.

Подробное описание настройки шкалы смотрите в п. 2.2.

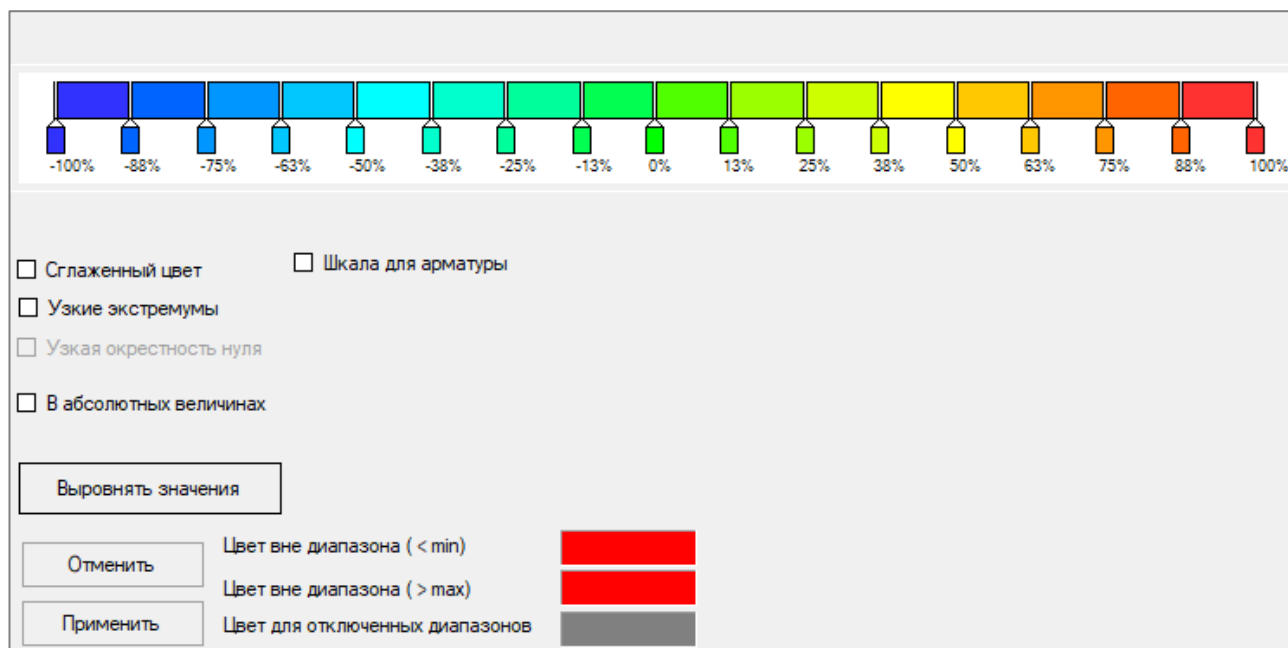



Рис. 3.7. Параметры шкалы

Для более детального анализа можно использовать режим **Сечения модели** (рис. 3.8).

Переход в данный режим осуществляется нажатием кнопки  на панели инструментов.

Вкладка **Определить треугольником** позволяет выбрать плоскость сечения с помощью двух переключателей:

- **Перпендикулярная к экрану** — при помощи отрезка из двух точек необходимо задать на схеме секущую перпендикулярную к экрану плоскость;
- **По трем точкам** — секущая плоскость задается путем выполнения последовательных щелчков мыши на определенных узлах схемы.

Вкладка **Определить по точкам** позволяет выбрать плоскость сечения или задать ее вручную (рис. 3.9).

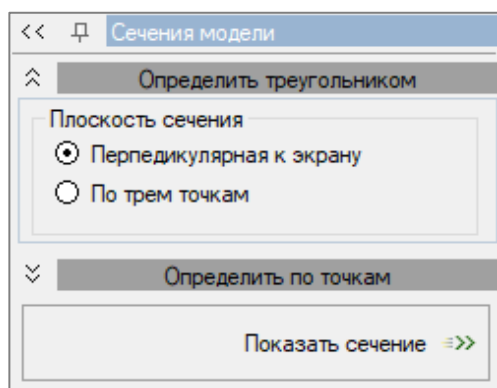


Рис. 3.8. Режим **Сечения модели**

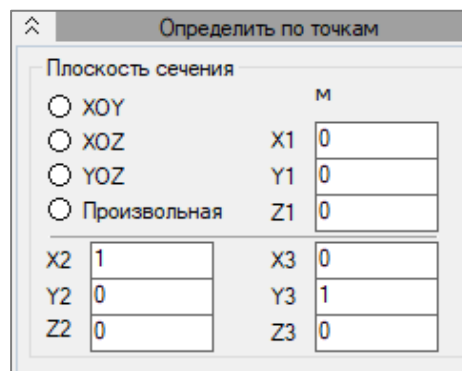


Рис. 3.9. Вкладка **Определить по точкам**

Чтобы применить выбранные параметры, необходимо нажать кнопку **Показать сечение** на панели активного режима **Сечения модели**.

Затем на экране появится диалоговое окно **Сечение модели по точкам** (рис. 3.10).

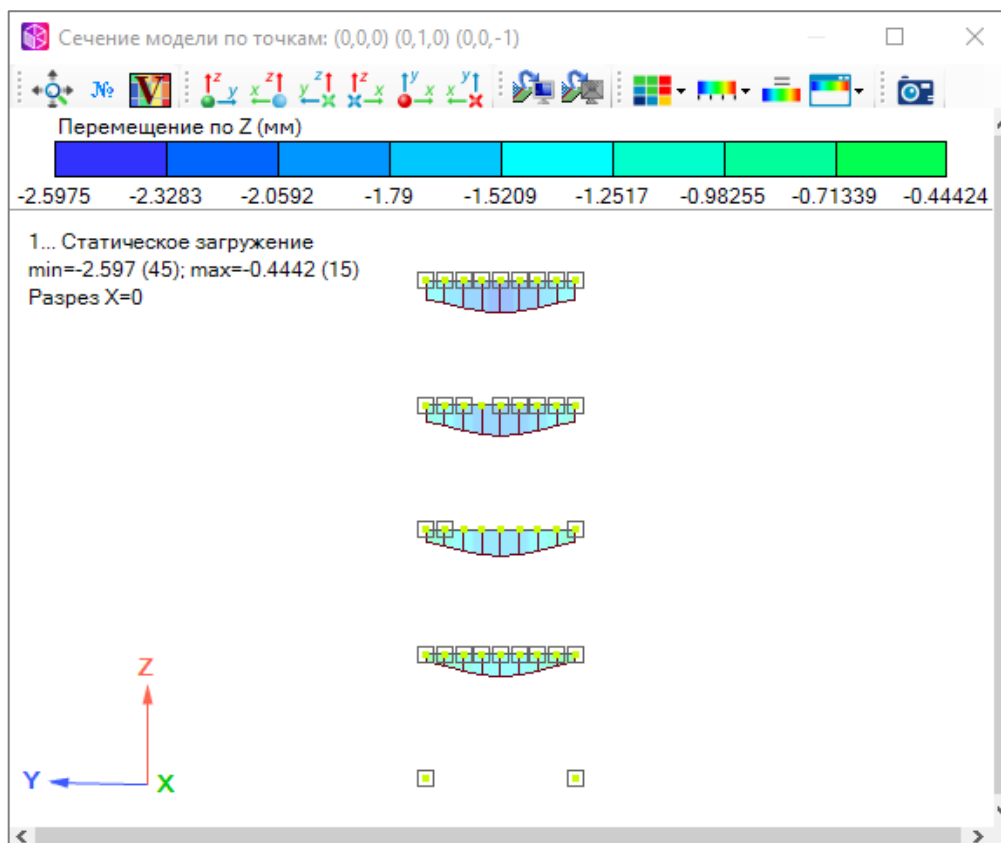

















Рис. 3.10. Окно Сечение модели по точкам

В верхней части этого диалогового окна находится панель инструментов со следующими кнопками:







-  — вписать в окно (размещение расчетной схемы с наиболее рациональным использованием площади рабочего окна);
-  — показать номера элементов сечения;
-  — показать значения с мозаики для элементов;
-  ,  — проекция сечения по глобальной оси X (представление расчетной схемы в проекции на плоскость YOZ, -YOZ);
-  ,  — проекция сечения по глобальной оси Y (представление расчетной схемы в проекции на плоскость XOZ, -XOZ);
-  ,  — проекция сечения по глобальной оси Z (представление расчетной схемы в проекции на плоскость XOY, -XOY);
-  — фронтальная экранная проекция сечения;
-  — тыльная экранная проекция сечения;
-  — визуальное представление;
-  — цветовая схема;
-  — симметричная;
-  — положение шкалы;



— изображение с экрана (фотографирует содержимое диалогового окна и автоматически переносит изображение на панель активного режима **Изображение с экрана**).

### 3.3 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ДЛЯ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ

Чтобы посмотреть полученные результаты расчета для узлов и элементов, нужно в режиме **Результаты расчета** воспользоваться соответствующими командами в меню **Результаты** или кнопками на панели инструментов:

- Результаты по узлам ;
- Результаты по стержням ;
- Результаты по пластинам ;
- Результаты по объемным КЭ ;
- Результаты по спец. элементам ;
- Результаты по сочетаниям .


#### 3.3.1 Результаты по узлам

В данном режиме выводятся значения перемещений и поворотов в узлах вдоль и вокруг осей X, Y, Z, а также перемещения от деформации W (рис. 3.11).

**Полное линейное** перемещение — длина вектора линейных перемещений (X, Y, Z).

**Полное угловое** перемещение — длина вектора угловых перемещений (UX, UY, UZ).

Результаты перемещений по умолчанию выводятся в локальной системе координат. Для того чтобы посмотреть значения в глобальной системе координат, нужно сбросить флажок **В локальной системе координат**.

 Если щелкнуть мышью по требуемому узлу (активна вкладка **Перемещения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.12) со значениями перемещений.

Перемещения	узел № 2	Ед.Изм.
Перемещение uX	-0.00079188	рад*1e-3
Перемещение uY	0.00079188	рад*1e-3

Рис. 3.12 Окно со значениями перемещений в узле

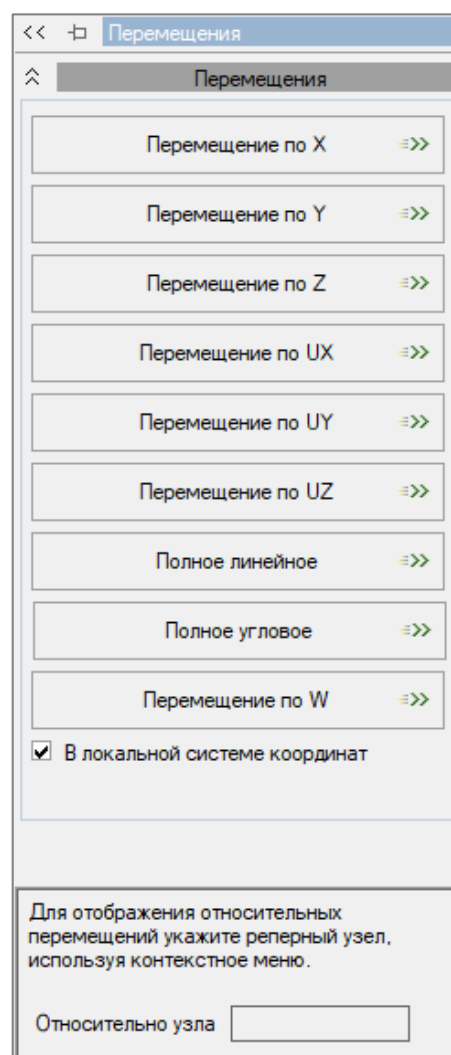


Рис. 3.11. Режим **Перемещения**



Если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются система «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER», то в режиме **Результаты по узлам** с помощью вкладки **Графики** (рис. 3.13) появляется возможность посмотреть графики изменения перемещений в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»).

Для просмотра графика нужно с помощью соответствующего переключателя выбрать направление и щелкнуть мышью по интересующему узлу. Графики с перемещениями отображаются в отдельном окне (рис. 3.14).

Для задач «ДИНАМИКА+» предоставлена возможность вывода графика изменения кинетической энергии с помощью соответствующей кнопки.

Существует возможность вывода перемещений и графиков относительно реперного узла. Для этого нужно щелчком правой кнопки мыши по нужному узлу вызвать контекстное меню и выбрать команду **Установить реперный узел**.

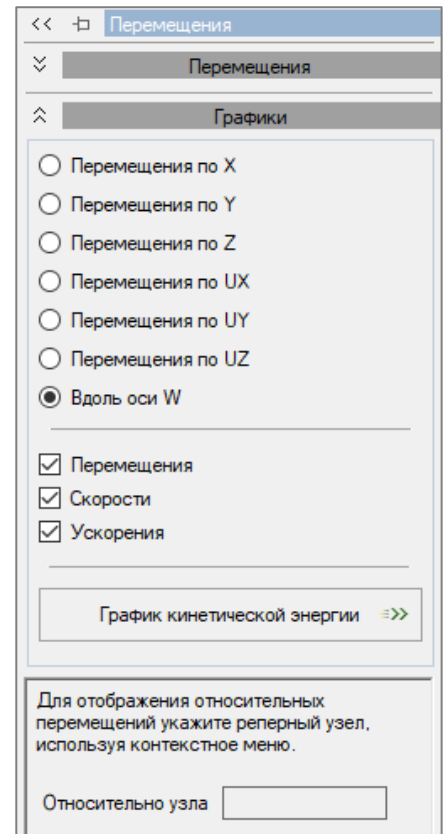


Рис. 3.13. Вкладка **Графики**

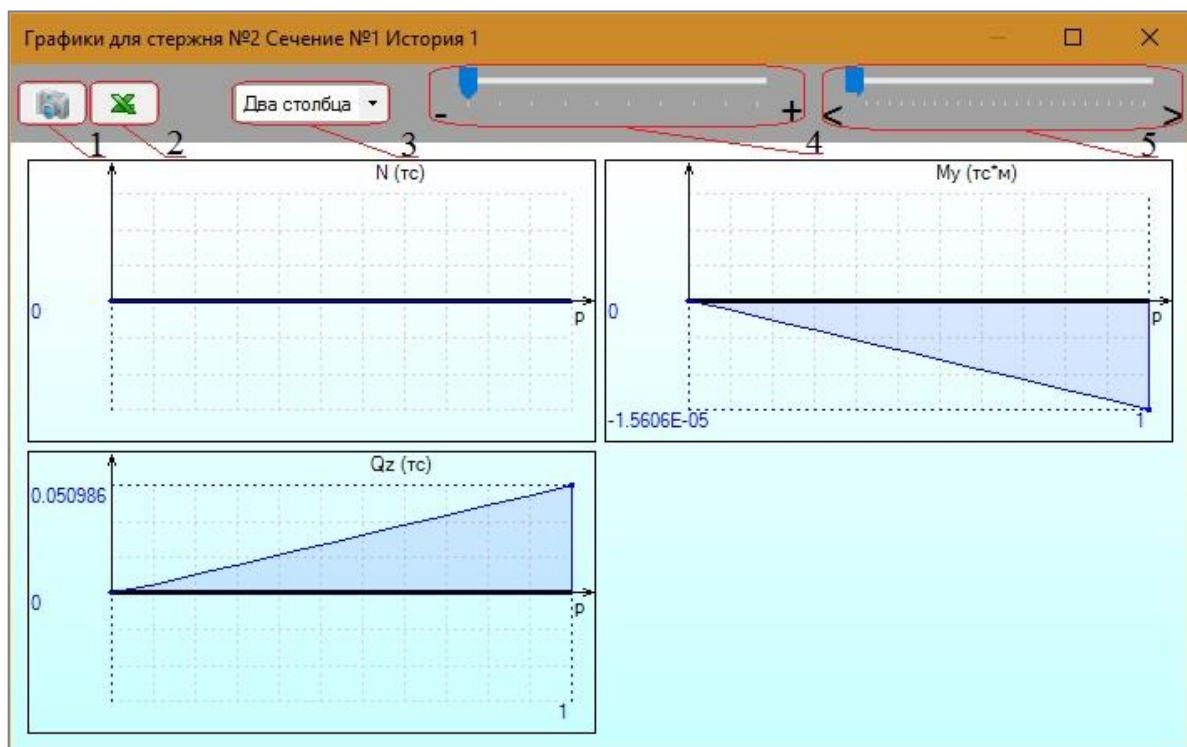



Рис. 3.14. Отдельное окно с графиками:

- 1 — копирует изображения графиков в файл с расширением \*.png;
- 2 — экспортирует изображения графиков в файл Excel;
- 3 — меняет вид визуального представления графиков (**Один столбец**, **Два столбца**);
- 4 — масштабирует графики по длине;
- 5 — прокручивает изображения графиков по длине


### 3.3.2 Результаты по стержням

В данном режиме выводятся значения усилий в стержнях с помощью вкладок:


- Эпюры на схеме;
- Эпюры локальные;
- Графики.

 Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».


При необходимости установите флажок **Выводить в главных осях инерции** внизу панели режима.

 В предыдущих версиях программного комплекса усилия в стержневых элементах вычислялись исключительно в главных осях поперечного сечения стержня. В ПК ЛИРА 10.10 для стержневых элементов добавлена возможность задавать оси вычисления усилий. Система координат для вычисления усилий в стержнях использует правило: местная ось  $X1$ , как всегда, направлена от первого узла ко второму, пользователем задается вектор, параллельный местной оси  $Y1$ , которая может не совпадать с главной осью инерции, местная ось  $Z1$  образует правую тройку с осями  $X1$  и  $Y1$ . В этой системе координат задаются шарниры, жесткие вставки и местные нагрузки.

Таблицы результатов по стержневым элементам в ПК ЛИРА 10.12 можно получить как в осях выравнивания усилий, так и в главных осях инерции.

Во вкладке **Эпюры на схеме** (рис. 3.16) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех стержневых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Эпюра;
- Эпюра контрастная.

 Если щелкнуть мышью по интересующему стержневому элементу (активна вкладка **Эпюры на схеме**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.15) со значениями усилий в каждом сечении этого стержня.

Номер сечения

Усил...	элемент № 2	Ед.Изм.
1. My	4.9554E-05	кН*м
1. Qz	-0.27751	кН

Рис. 3.15. Значения усилий в стержневом элементе

Также есть возможность просмотра эпюры плотности энергии. **Плотность энергии деформации** — это соотношение выделяемой элементом энергии при деформации к единице объема. Графически оно может быть представлено как площадь под кривой на графике "напряжение-деформация". Это характеристика материала, которая не зависит от размеров элемента конструкции. Вычисляется по напряжениям и деформациям.

Для стержней:

- Растяжение – сжатие:  
 $P_f = (N_x^2 / EF) / (2F)$ ;
- Свободное кручение:  
 $P_{kr} = (M_x^2 / GI_{kr}) / (2F)$ ;
- Изгиб:  
 $P_{iy} = (M_y^2 / EI_y) / (2F)$ ,  
 $P_{iz} = (M_z^2 / EI_z) / (2F)$ ;
- Учет сдвига:  
 $P_{sy} = (Q_z^2 / GF_y) / (2F)$ ,  
 $P_{sz} = (Q_y^2 / GF_z) / (2F)$ ;
- Стесненное кручение:  
 $P_{i\omega} = (M_\omega^2 / EI_\omega) / (2F)$ .

**Плотность энергии деформации** широко применяется при оптимизации конструкций и анализе их чувствительности. Инженер должен стремиться к тому, чтобы распределение плотности энергии по конструкции было приближенным к гомогенному.

Особо актуальную роль рассмотрение плотности энергии играет при модальном анализе, когда результаты по напряжениям недоступны. Поскольку плотность энергии является характеристикой материала, то она дает инженеру представление о том, какие элементы модели будут иметь наибольшие деформации, приведенные к объему элемента. К примеру, высокая плотность энергии деформации говорит нам, что нужно увеличить жесткость элемента и наоборот. Таким образом, инженер может оптимизировать поведение конструкции.

Во вкладке **Эпюры локальные** (рис. 3.17) для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по стержневому элементу. Эпюры с усилиями отображаются в отдельном окне (рис. 3.18).



Рис. 3.16. Вкладка Эпюры на схеме

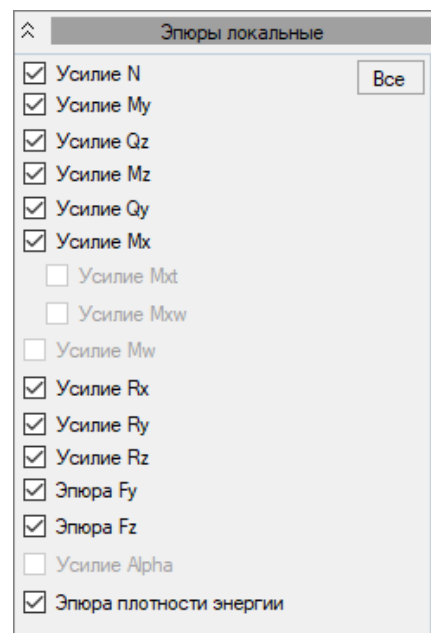


Рис. 3.17. Вкладка Эпюры локальные

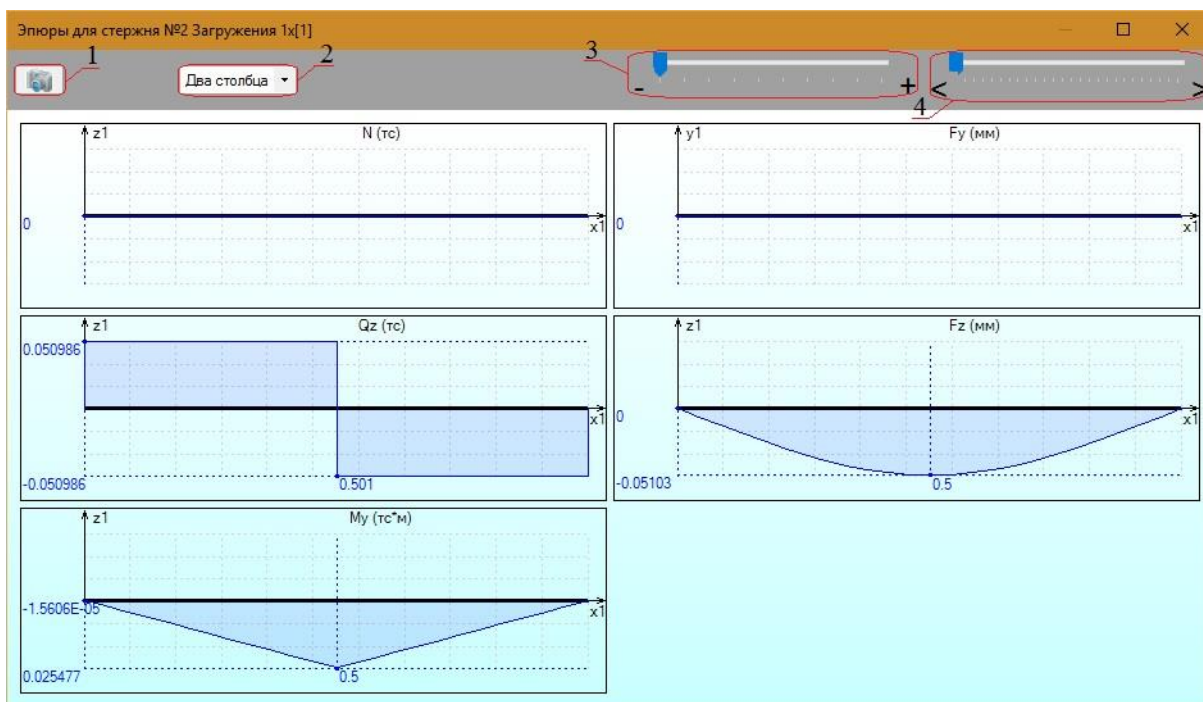


Рис. 3.18. Отдельное окно с эпюрами:

- 1 — копирует изображения эпюр в файл с расширением \*.png;
- 2 — меняет вид визуального представления эпюр (**Один столбец, Два столбца**);
- 3 — масштабирует эпюры по длине;
- 4 — прокручивает изображения эпюр по длине

Во вкладке **Графики** (рис. 3.19) отображаются графики изменения усилий в сечении стержневого элемента в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов (по аналогии с вкладкой **Эпюры локальные**) нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по стержневому элементу. Графики с усилиями отображаются в отдельном окне. Интерфейс окна аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14). По умолчанию графики отображаются для первого сечения стержня; для изменения номера сечения нужно щелкнуть мышью по полю со списком **Номер сечения** 1, которое находится на вкладке **Графики** (рис. 3.19).

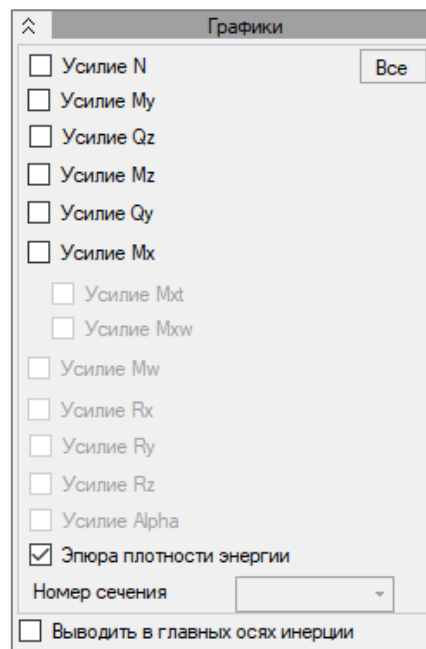




Рис. 3.19. Вкладка **Графики**


 *Поле со списком **Номер сечения** активно только при открытом окне с графиками.*

### 3.3.3 Результаты по пластинам

В данном режиме выводятся значения напряжений в пластинчатых элементах с помощью вкладок:

- **Базовые;**
- **Дополнительные;**
- **Напряжения;**
- **Графики.**

 Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».

Во вкладке **Базовые** (рис. 3.20) при выборе интересующего напряжения отображаются значения этого напряжения на всех пластинчатых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Изополе;**
- **Изолинии;**
- **Изополе + Изолинии.**

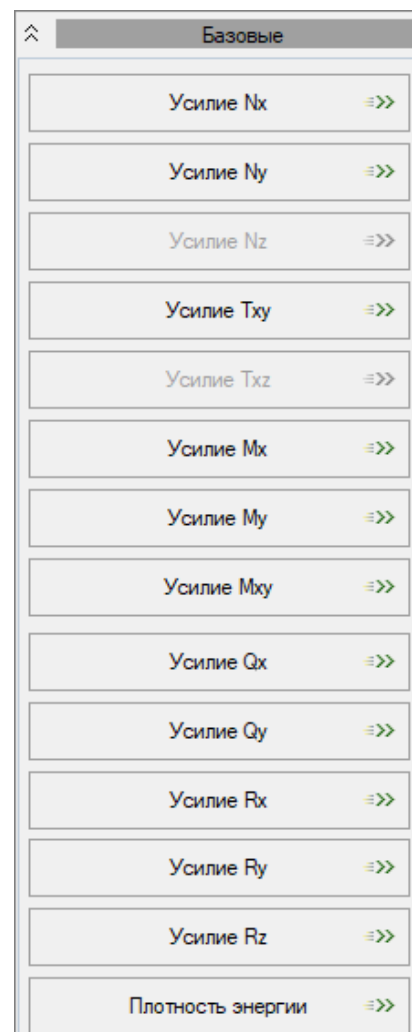


Рис. 3.20. Вкладка **Базовые**

Также есть возможность просмотра эпюры плотности энергии (подробнее см. п. 3.3.2).

**Плотность энергии деформации** вычисляется по напряжениям и деформациям:

- Для балок-стенок:  

$$P_{bs} = (\sigma_x (\sigma_x - \mu_{21} * \sigma_y) / E_1 + \sigma_y (\sigma_y - \mu_{12} * \sigma_x) / E_2 + \tau_{xy}^2 / G_1) / 2;$$
- Для изгибаемых плит:  

$$P_{pl} = 6 (M_x (M_x - \mu_{21} * M_y) / E_1 + M_y (M_y - \mu_{12} * M_x) / E_2 + M_{xy}^2 / G_1) / \delta^4,$$
 где  $\delta$  — толщина;
- Для пластин (оболочек):  

$$P = P_{bs} + P_{pl};$$
- При учете сдвига (толстые плиты или пластины) добавляется слагаемое:  

$$P_{th} = (Q_x^2 / G_1 + Q_y^2 / G_2) / (2\delta).$$

Во вкладке **Дополнительные** (рис. 3.21) можно просмотреть значения **Напряжений** в арматуре ( $S_x$ ,  $S_y$ ) для физически нелинейных элементов и **Коэффициента сдвига** ( $k$ ) для элементов грунта. Для этого нужно нажать на одну из кнопок во вкладке, после чего, в зависимости от выбранного вида отображения результатов, значения будут представлены в виде мозаики, изолиний, изополя или изополя с изолиниями.

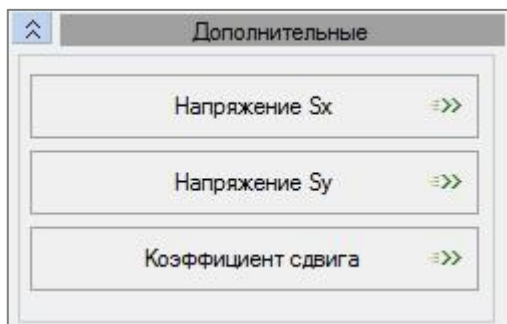



Рис. 3.21. Вкладка **Дополнительные**

Напряжен...	элемент № 5	Ед.Изм.
Mx	-0.03125	(кН*м)/м
My	-0.03125	(кН*м)/м
Mxy	-0.00044062	(кН*м)/м
Qx	0.12035	кН/м
Qy	0.12035	кН/м

Рис. 3.22. Значения усилий в пластинчатом элементе

 Если щелкнуть мышью по интересующему пластинчатому элементу (активны вкладки **Базовые**, **Дополнительные** или **Напряжения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.22) со значениями усилий.

Вкладка **Напряжения** (рис. 3.23) дает возможность вывести на экран результаты по напряжениям в пластинах в осях выравнивания напряжений. Предоставлена возможность вывода результатов для верхнего, среднего и нижнего слоев пластины. Выбор осуществляется с помощью раскрывающегося списка.

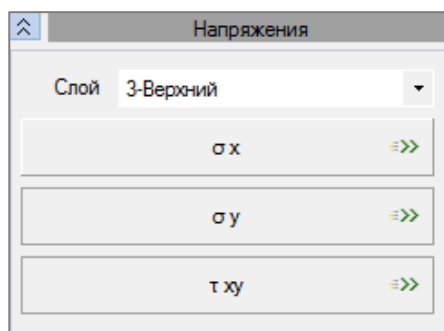


Рис. 3.23. Вкладка **Напряжения**

Во вкладке **Графики** (рис. 3.24) отображаются графики изменения усилий в пластинчатом элементе в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов нужно отметить флажком интересующие усилия и щелкнуть мышью по пластинчатому элементу. Графики с усилиями отображаются в отдельном окне. Интерфейс окна аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14).

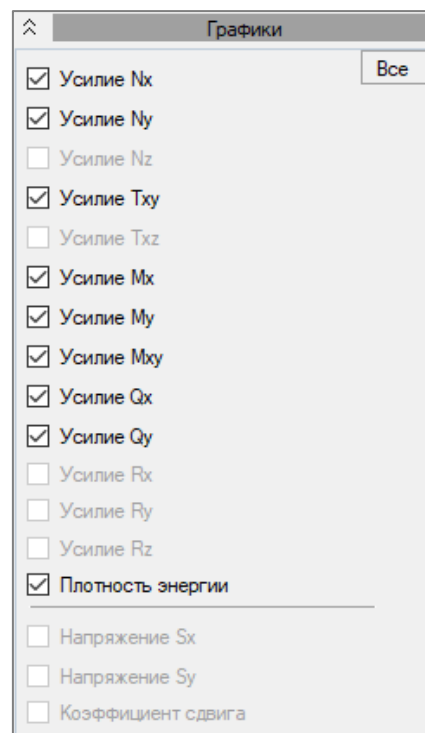




Рис. 3.24. Вкладка **Графики**

### 3.3.4 Результаты по объемным КЭ

В данном режиме, как и в пластинчатых элементах, выводятся значения напряжений в объемных элементах с помощью вкладок:

- Базовые;
- Дополнительные;
- Графики.

 Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».

Во вкладке **Базовые** (рис. 3.25) при выборе интересующего напряжения отображаются значения этого напряжения на всех объемных элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Изополе;
- Изолинии;
- Изополе + Изолинии.

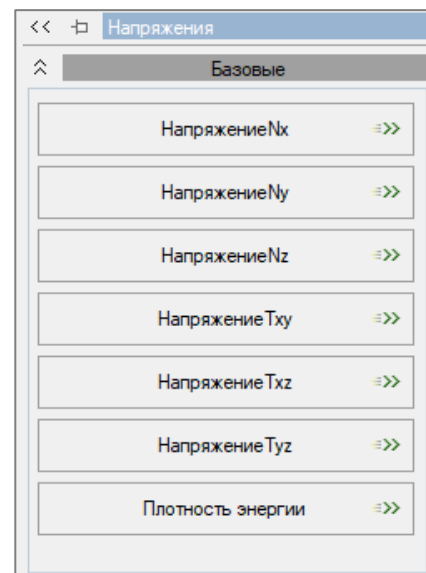


Рис. 3.25. Вкладка **Базовые**

Также есть возможность просмотра эпюры плотности энергии (подробнее см. п. 3.3.2).

**Плотность энергии деформации** вычисляется по напряжениям и деформациям:

$$\Pi = (\sigma_x * \varepsilon_x + \sigma_y * \varepsilon_y + \sigma_z * \varepsilon_z + \tau_{xy} * \gamma_{xy} + \tau_{xz} * \gamma_{xz} + \tau_{yz} * \gamma_{yz}) / 2.$$

Выразив деформации через напряжения по закону Гука, получим:

$$\Pi = (\sigma_x (\sigma_x - \mu_{21} * \sigma_y - \mu_{31} * \sigma_z) / E_1 + \sigma_y (\sigma_y - \mu_{12} * \sigma_x - \mu_{32} * \sigma_z) / E_2 + (\sigma_z (\sigma_z - \mu_{13} * \sigma_x - \mu_{23} * \sigma_y) / E_3 + \tau_{xy}^2 / G_1 + \tau_{xz}^2 / G_2 + \tau_{yz}^2 / G_3) / 2.$$

Во вкладке **Дополнительные** (рис. 3.26) можно просмотреть значения **Напряжений** в арматуре ( $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$ ) для физически нелинейных элементов и **Коэффициента сдвига** ( $k$ ) для элементов грунта. Для этого нужно нажать на одну из кнопок во вкладке, после чего, в зависимости от выбранного вида отображения результатов, значения будут представлены в виде мозаики, изолиний, изополя или изополя с изолиниями.

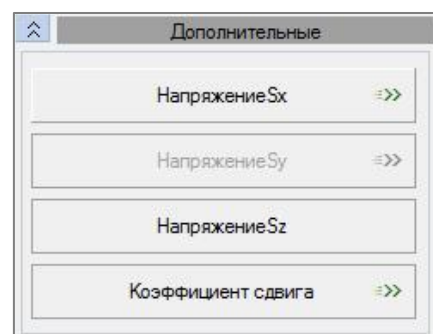



Рис. 3.26. Вкладка **Дополнительные**

 Если щелкнуть мышью по интересующему объемному элементу (активна вкладка **Базовые** или **Дополнительные**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.27) со значениями напряжений.

Напряжен...	элемент № 20	Ед.Изм.
Nx	0.020155	КПа
Ny	0.020155	КПа
Nz	0.20318	КПа
Txy	-0.00061626	КПа
Txz	-0.13204	КПа
Tyz	-0.13204	КПа

Рис. 3.27. Значения напряжений в объемном элементе

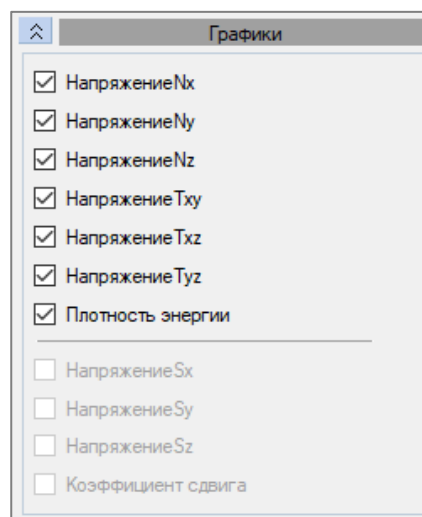



Рис. 3.28. Вкладка **Графики**

Во вкладке **Графики** (рис. 3.28) отображаются графики изменения напряжений в объемном элементе в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие напряжения и щелкнуть мышью по объемному элементу. Графики с напряжениями отображаются в отдельном окне. Интерфейс окна аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14).

### 3.3.5 Результаты по специальным элементам

В данном режиме выводятся значения усилий в специальных элементах с помощью вкладок:

- **Одноузловые / Двухузловые;**
- **Трехузловые / Четырехузловые;**
- **Графики.**

 *Вкладка **Графики** доступна, если в задаче присутствуют нелинейные элементы, а также используются системы «ДИНАМИКА+» или «PUSHOVER».*

Во вкладке **Одноузловые / Двухузловые** (рис. 3.29) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех одно- и двухузловых специальных элементах схемы.

На вкладке **Трехузловые / Четырехузловые** (рис. 3.30) показан список усилий, которые можно отобразить на схеме при наличии трех- и четырехузловых элементов.

С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Эпюра;**
- **Эпюра контрастная.**





Рис. 3.29. Вкладка  
**Одноузловые / Двухузловые**

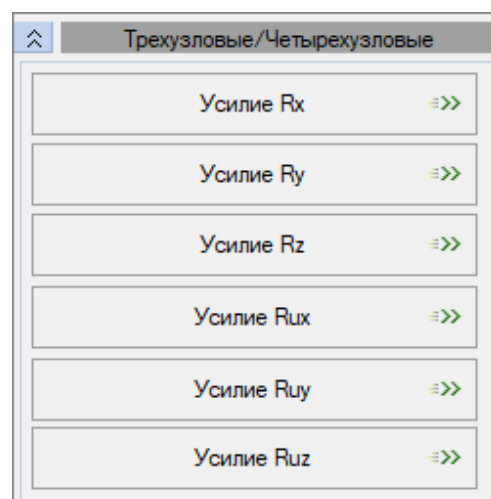



Рис. 3.30. Вкладка  
**Трёхузловые / Четырёхузловые**

 Если щелкнуть мышью по интересующему специальному элементу (активна вкладка **Одноузловые / Двухузловые** или **Трёхузловые / Четырёхузловые**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.31) со значениями усилий.

Реакц...	элемент № 92	Ед.Изм.
Ry	-0.02909	кН
Rz	0.058181	кН

Рис. 3.31. Значения напряжений в специальном элементе

Во вкладке **Графики** (рис. 3.32) отображаются графики изменения усилий в специальном элементе в зависимости от коэффициента к нагрузке (в задаче присутствуют нелинейные элементы или используется система «PUSHOVER») или от времени (в задаче используется система «ДИНАМИКА+»). Для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по специальному элементу. Графики с усилиями отображаются в отдельном окне. Его интерфейс аналогичен окну с графиками для узлов (рис. 3.14).

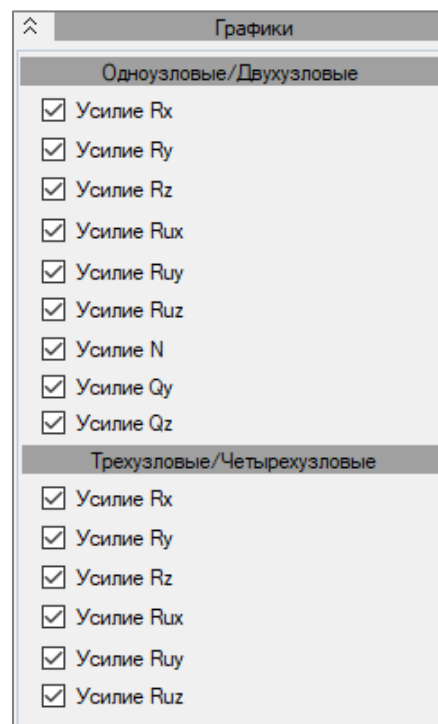


Рис. 3.32. Вкладка **Графики**

### 3.3.6 Результаты по сочетаниям

В данном режиме выводятся значения максимальных/минимальных усилий/напряжений/перемещений в элементах.

Данный режим содержит следующие вкладки:

- Тип сочетания;
- Стержни: эпюры на схеме;
- Пластины: базовые усилия;
- Спец. элементы: усилия;
- Объемные элементы: напряжения;
- Узлы: перемещения;
- Стержни: огибающие.

Во вкладке **Тип сочетания** (рис. 3.33) нужно выбрать из раскрывающегося списка необходимый тип сочетания усилий.

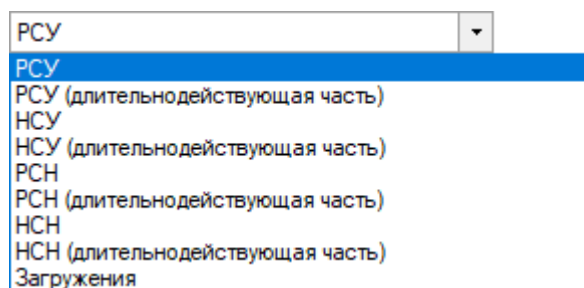



Рис. 3.33. Раскрывающийся список **Тип сочетания**

Во вкладке **Стержни: эпюры на схеме** (рис. 3.34) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех стержневых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Эпюра;
- Эпюра контрастная.



 Если щелкнуть мышью по интересующему стержневому элементу (активна вкладка **Стержни: эпюры на схеме**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.35) со значениями усилий в каждом сечении этого стержня.




Рис. 3.34. Вкладка **Стержни: эпюры на схеме**

S1	S2	S3
Сочетан...	элемент № 2	Ед.Изм.
Qz min	-0.30527	кН
Qz max	0.4897	кН

Рис. 3.35. Значения максимальных/минимальных усилий в стержневом элементе

Во вкладке **Пластины: базовые усилия** (рис. 3.36) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех пластинчатых элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Изополе;
- Изолинии;
- Изополе + Изолинии.


 Если щелкнуть мышью по интересующему пластинчатому элементу (активна вкладка **Пластины: базовые усилия**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.37) со значениями усилий.

Сочетан...	элемент № 5	Ед.Изм.
Nx min	-0.35	КПа
Nx max	0	КПа
Ny min	-1.75	КПа
Ny max	0	КПа
Txy min	-1.75	КПа
Txy max	0	КПа
Mx min	-0.034375	(кН*м)/м
Mx max	0.11562	(кН*м)/м
My min	-0.034375	(кН*м)/м
My max	0.11562	(кН*м)/м
Mxy min	0	(кН*м)/м
Mxy max	0.002115	(кН*м)/м
Qx min	-0.44528	кН/м
Qx max	0.13238	кН/м
Qy min	-0.44528	кН/м
Qy max	0.13238	кН/м


Рис. 3.37. Значения максимальных/минимальных усилий в пластинчатом элементе

Пластины: базовые усилия	
Nx min =>>	Nx max =>>
Ny min =>>	Ny max =>>
Nz min =>>	Nz max =>>
Txy min =>>	Txy max =>>
Txz min =>>	Txz max =>>
Mx min =>>	Mx max =>>
My min =>>	My max =>>
Mxy min =>>	Mxy max =>>
Qx min =>>	Qx max =>>
Qy min =>>	Qy max =>>
Rx min =>>	Rx max =>>
Ry min =>>	Ry max =>>
Rz min =>>	Rz max =>>

Рис. 3.36. Вкладка **Пластины: базовые усилия**

Во вкладке **Спец. элементы: усилия** (рис. 3.38) при выборе интересующего усилия отображаются значения этого усилия на всех специальных элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из трех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Эпюра;
- Эпюра контрастная.

 Если щелкнуть мышью по интересующему специальному элементу (активна вкладка **Спец. элементы: усилия**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.39) со значениями усилий.

Сочетан...	элемент № 92	Ед.Изм.
Ry min	-0.031999	кН
Ry max	-0.031999	кН
Rz min	0.063999	кН
Rz max	0.095999	кН

Рис. 3.39. Значения максимальных/минимальных усилий в специальном элементе

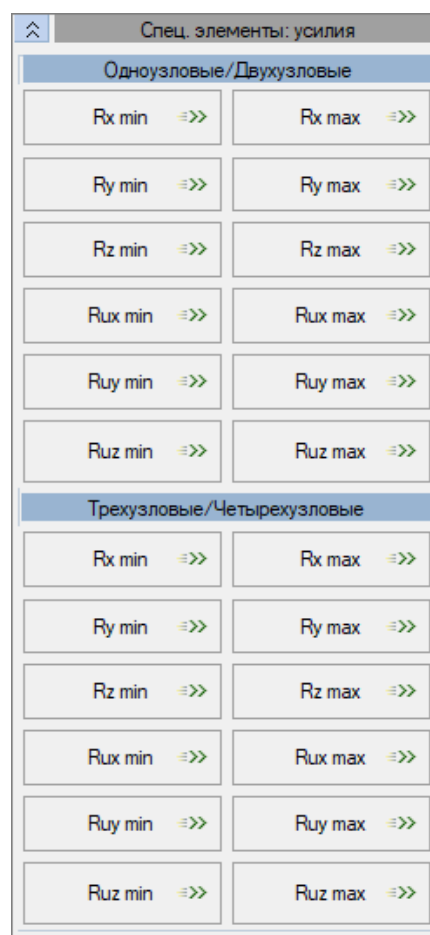




Рис. 3.38. Вкладка **Спец. элементы: усилия**

Во вкладке **Объемные элементы: напряжения** (рис. 3.40) при выборе интересующего напряжения отображаются значения этого напряжения на всех объемных элементах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- Мозаика;
- Изополе;
- Изолинии;
- Изополе + Изолинии.

 Если щелкнуть мышью по интересующему объемному элементу (активна вкладка **Объемные элементы: напряжения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.41) со значениями напряжений.

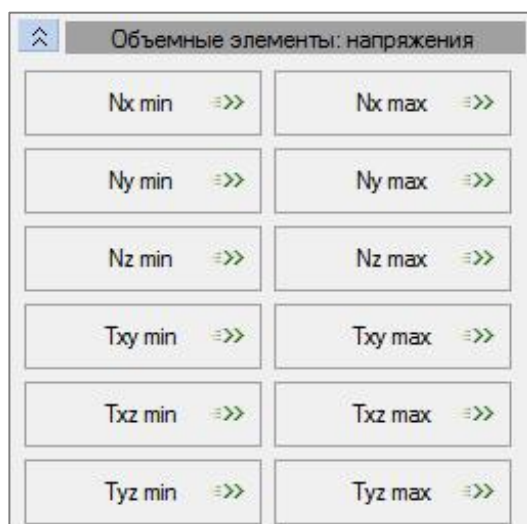



Рис. 3.40. Вкладка **Объемные элементы: напряжения**

Сочетан...	элемент № 10	Ед.Изм.
Nx min	-0.065209	КПа
Nx max	-0.0047439	КПа
Ny min	-0.12058	КПа
Ny max	-0.060116	КПа
Nz min	-0.58315	КПа
Nz max	0.0264	КПа
Txy min	0.0074162	КПа
Txy max	0.0086486	КПа
Txz min	0.11053	КПа
Txz max	0.50665	КПа
Tyz min	-0.68787	КПа
Tyz max	-0.29175	КПа

Рис. 3.41. Значения максимальных/минимальных напряжений в объемном элементе

Во вкладке **Узлы: перемещения** (рис. 3.42) при выборе интересующего перемещения отображаются значения этого перемещения на всех узлах схемы. С помощью кнопки **Визуальное представление**  можно выбрать один из четырех видов отображения результатов:

- **Мозаика;**
- **Изополе;**
- **Изолинии;**
- **Изополе + Изолинии.**

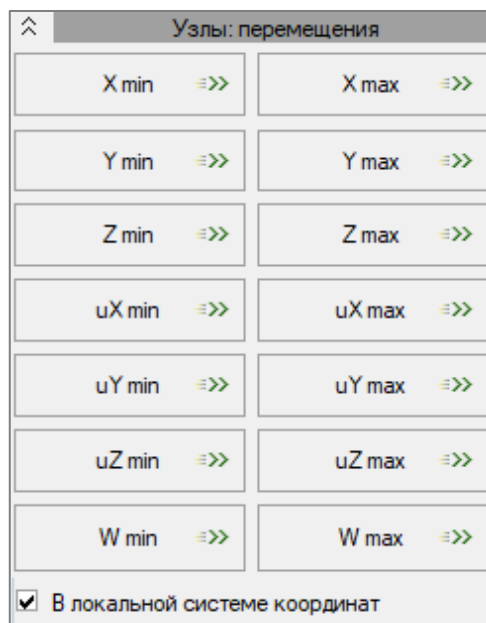



Рис. 3.42. Вкладка **Узлы: перемещения**

 Если щелкнуть мышью по интересующему узлу (активна вкладка **Узлы: перемещения**), то отобразится всплывающее окно (рис. 3.43) со значениями перемещений.

Сочетания	элемент № 1	Ед.Изм.	Сочетание
Перемещение X min	-269.46	мм	1
Перемещение X max	0	мм	1
Перемещение Y min	0	мм	1
Перемещение Y max	0.15205	мм	1
Перемещение Z min	0	мм	1
Перемещение Z max	0.73109	мм	1
Перемещение uX min	0	рад*1e-3	1
Перемещение uX max	0.40537	рад*1e-3	1
Перемещение uY min	-2.2994	рад*1e-3	1
Перемещение uY max	0	рад*1e-3	1
Перемещение uZ min	-0.039188	рад*1e-3	1
Перемещение uZ max	0	рад*1e-3	1
Перемещение W min	0	рад*1e-3/мм	1
Перемещение W max	0.00014557	рад*1e-3/мм	1

Рис. 3.43. Значения максимальных/минимальных перемещений в узле

Во вкладке **Стержни: огибающие** (рис. 3.44) для отображения результатов нужно отметить флажками интересующие усилия и щелкнуть мышью по стержневому элементу. Эпюры с усилиями отображаются в отдельном окне. Его интерфейс аналогичен окну с локальными эпюрами (рис. 3.18).

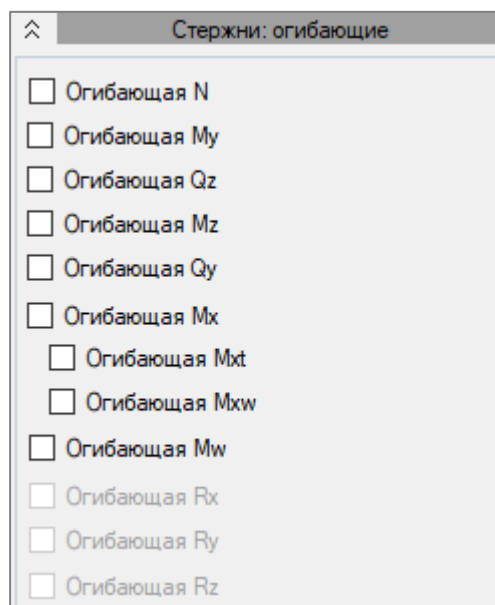



Рис. 3.44. Вкладка **Стержни: огибающие**

### 3.4 ГЛАВНЫЕ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Одной из важнейших стадий анализа результатов расчета является оценка прочности элементов конструкции. ПК ЛИРА 10 предоставляет такую возможность посредством вычисления главных и эквивалентных напряжений пластин и объемных элементов, а также нормальных напряжений стержней. Для вычисления эквивалентных напряжений используются самые распространенные теории (критерии) прочности (подробно описаны в Главе 10).

#### 3.4.1 Нормальные напряжения в стержневых элементах

Для вызова режима просмотра нормальных напряжений в стержнях воспользуйтесь командой **Результаты** ⇒ **Напряжения в стержнях** либо кнопкой  на панели инструментов. После этого в левой части экрана появится панель активного режима **Главные и экв. напряжения**, которая представлена двумя вкладками: **Результаты по загрузениям/РСН** и **Результаты по сочетаниям**.

Вкладка **Результаты по загрузениям/РСН** (рис. 3.45) дает возможность посмотреть вычисленные нормальные напряжения и деформации по отдельным загрузениям либо по РСН. Данная вкладка включает в себя область **Нормальные напряжения**. С помощью соответствующих кнопок можно вывести на экран следующие результаты:

- минимальные нормальные напряжения  $\sigma_{min}$ ;
- максимальные нормальные напряжение  $\sigma_{max}$ ;
- абсолютное максимальное нормальное напряжение из  $\sigma_{min}$  и  $\sigma_{max}$ ;
- минимальные деформации  $\epsilon_{min}$ ;
- максимальные деформации  $\epsilon_{max}$ ;
- абсолютная максимальная деформация из  $\epsilon_{min}$  и  $\epsilon_{max}$ .

Вывод нормальных напряжений для отдельного элемента также возможен непосредственно щелчком мыши по конечному элементу. В результате этих действий появляется всплывающее окно с вычисленными по конечному элементу результатами в каждом расчетном сечении (рис. 3.46).

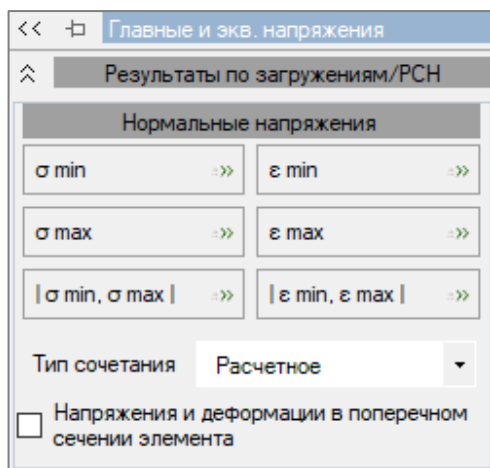


Рис. 3.45. Вкладка **Результаты по загрузениям/РСН**

Сечение 1	Сечение 2	Сече
элемент № 111		Ед.Изм.
$\sigma_{min}$	-6.3545	МПа
$\sigma_{max}$	6.2547	МПа
$\epsilon_{min}$	-0.0002118	
$\epsilon_{max}$	0.0002084	

Рис. 3.46. Значения максимальных/минимальных напряжений и деформаций в стержне

Если установлен флажок **Напряжения и деформации в поперечном сечении элемента**, то при щелчке мыши по конечному элементу будет вызываться диалоговое окно с более подробной информацией об указанном элементе (рис. 3.47):

- нормальные и касательные напряжения и деформации;
- главные напряжения;
- эквивалентные напряжения.

Как дополнение, имеется также возможность задать усилия в данном диалоговом окне. Для этого необходимо выбрать в раскрывающемся списке **Номер сечения** элемент **Задать усилия**. После чего станут активными поля ввода значений усилий.

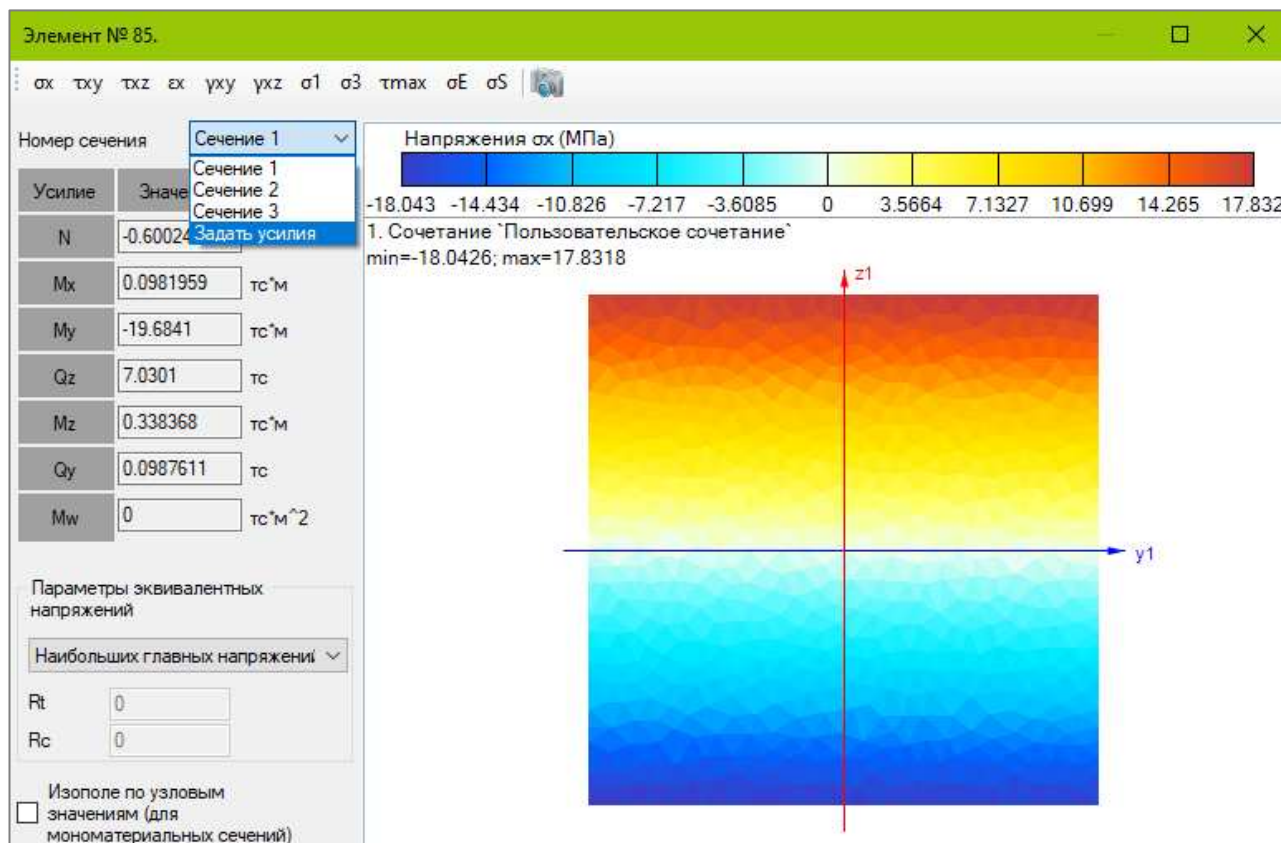



Рис. 3.47. Диалоговое окно с подробной информацией по элементу

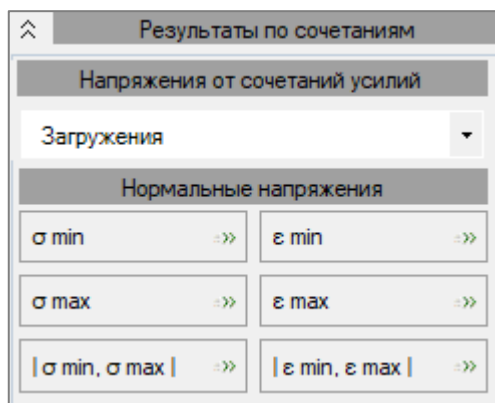
При переходе на РСН (кнопка  на панели инструментов) во вкладке **Результаты по загрузкам/РСН** станет доступным раскрывающийся список **Тип сочетания**, в котором можно выбрать необходимый тип сочетания нагрузок.

Вкладка **Результаты по сочетаниям** (рис. 3.48) дает возможность выводить на экран вычисленные нормальные напряжения и деформации от различных сочетаний усилий:


- РСУ;
- РСУ (длительнодействующая часть);
- НСУ;
- НСУ (длительнодействующая часть);
- РСН;
- РСН (длительнодействующая часть);
- НСН;



- НСН (длительнодействующая часть).

Рис. 3.48. Вкладка **Результаты по сочетаниям**

### 3.4.2 Главные и эквивалентные напряжения пластин

Для вызова режима визуализации главных и эквивалентных напряжений пластин воспользуйтесь командой **Результаты** ⇨ **Напряжения в пластинах** либо кнопкой  на панели инструментов. После этого слева на экране появится соответствующая панель активного режима, которая состоит из двух раскрывающихся вкладок.

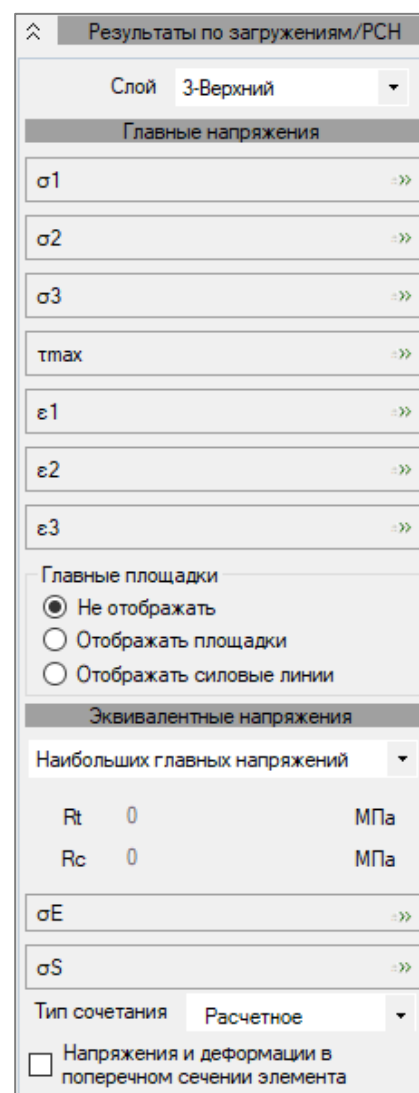
Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН** (рис. 3.49) дает возможность просмотреть вычисленные главные и эквивалентные напряжения и деформации по отдельным загрузкам или РСН.

Визуализация напряжений в пластинах производится по слоям (верхнему, среднему и нижнему), которые выбираются с помощью раскрывающегося списка.

Данная вкладка содержит две области: **Главные напряжения** и **Эквивалентные напряжения**.

В области **Главные напряжения** имеется возможность вывести на экран следующие результаты:

- главное нормальное напряжение  $\sigma_1$ ;
- главное нормальное напряжение  $\sigma_2$ ;
- главное нормальное напряжение  $\sigma_3$ ;
- максимальное касательное напряжение  $\tau_{max}$ ;
- главная деформация  $\epsilon_1$ ;
- главная деформация  $\epsilon_2$ ;
- главная деформация  $\epsilon_3$ .

Рис. 3.49. Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН**

Помимо вывода на экран вышеперечисленных результатов, также есть возможность отобразить направления главных площадок или силовых линий. Для этого необходимо указать при помощи переключателя желаемую опцию (**Отображать площадки** или **Отображать силовые линии**), после чего нажатием на соответствующую кнопку вывести на экран результаты по главным напряжениям или деформациям. В результате этих действий в центре конечного элемента будет нарисован отрезок, указывающий направление главной площадки/силовой линии (рис. 3.50).

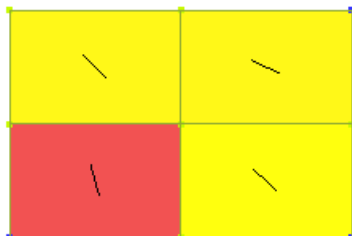


Рис. 3.50. Отображение направления главных площадок/силовых линий

Вывод главных напряжений для отдельного элемента также возможен непосредственно щелчком мыши по конечному элементу. В результате этих действий появляется всплывающее окно с вычисленными по конечному элементу результатами для трех слоев (рис. 3.51).

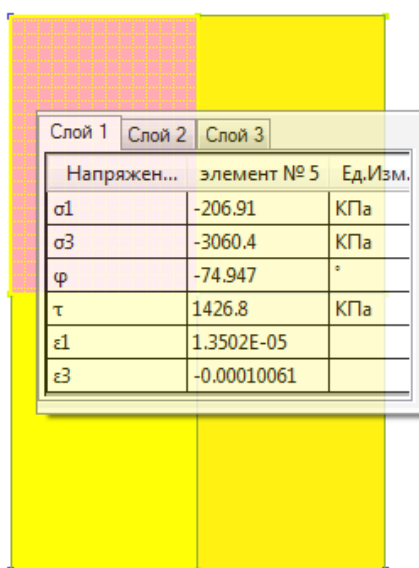


Рис. 3.51. Отображение главных напряжений

Если установлен флажок **Напряжения и деформации в поперечном сечении элемента**, то при щелчке мыши по конечному элементу будет вызываться диалоговое окно с более подробной информацией об указанном элементе (рис. 3.52):

- доступные напряжения и деформации по направлениям;
- главные напряжения и деформации;
- эквивалентные напряжения.

Как дополнение, имеется также возможность задать усилия в данном диалоговом окне. Для этого необходимо установить флажок **Задать усилия**. После чего станут активными поля ввода значений усилий.

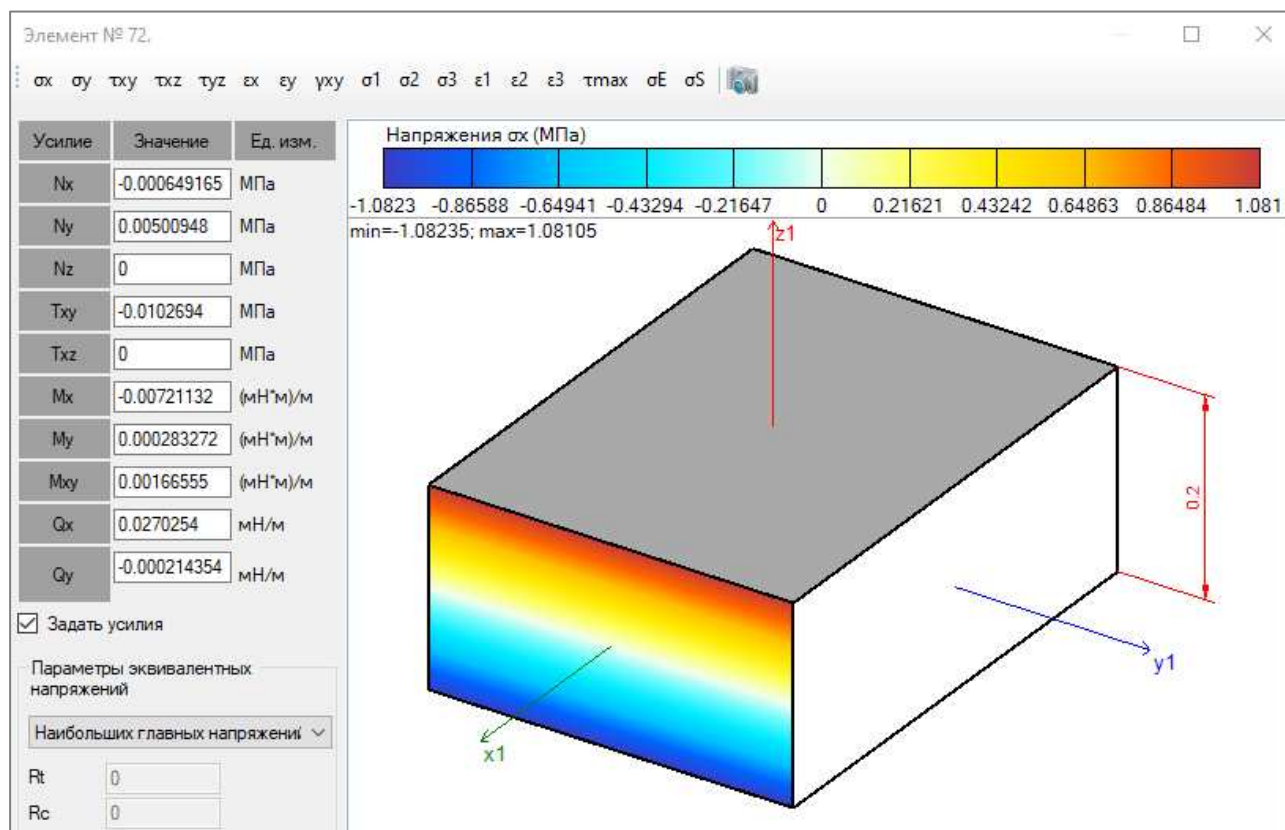



Рис. 3.52. Диалоговое окно с подробной информацией по элементу

Область параметров **Эквивалентные напряжения** позволяет вывести на экран значения эквивалентных напряжений (эквивалентное напряжение на сжатие  $\sigma S$  и эквивалентное напряжение на растяжение  $\sigma E$ ) согласно различным теориям прочности.

В ПК ЛИРА 10 реализованы следующие теории:

- теория наибольших главных напряжений;
- теория наибольших главных деформаций;
- теория наибольших касательных напряжений;
- энергетическая теория Губера-Хенки-Мизеса;
- теория Мора;
- теория Друккера-Прагера;
- теория Писаренко-Лебедева;
- теория Гениева (для железобетона);
- теория Кулона-Мора (для грунтов);
- теория Боткина (для грунтов).

При использовании теорий Мора, Друккера-Прагера, Писаренко-Лебедева и Гениева необходимо указать предельные напряжения на растяжение и сжатие —  $R_t$  и  $R_c$  соответственно. Для теорий, по которым идет расчет эквивалентных напряжений в грунте (Кулона-Мора и Боткина), необходимо указать сцепление грунта  $C$  и угол внутреннего трения  $\phi$ .

При переходе на РСН (кнопка  на панели инструментов) во вкладке **Результаты по загрузкам/РСН** станет доступным раскрывающийся список **Тип сочетания**, в котором можно выбрать необходимый тип сочетания нагрузок.

Вкладка **Сочетания** содержит три области: **Напряжения от сочетаний усилий**, **Главные напряжения** и **Эквивалентные напряжения** (рис. 3.53).

Как и на вкладке **Результаты по загрузкам/РСН**, предоставляется возможность вывести результаты для трех слоев элемента — верхнего, среднего и нижнего, а также от различных сочетаний усилий:

- РСУ;
- РСУ (длительнодействующая часть);
- НСУ;
- НСУ (длительнодействующая часть);
- РСН;
- РСН (длительнодействующая часть);
- НСН;
- НСН (длительнодействующая часть).


Вывод главных напряжений и деформаций, а также эквивалентных напряжений, производится аналогично выводу по отдельным загрузкам. Разница состоит в том, что в качестве результатов на экран выводятся максимальные и минимальные значения для каждого отдельного главного напряжения/деформации или эквивалентного напряжения по тому или иному расчетному или нормативному сочетанию. Еще одним отличием является то, что при вычислении главных и эквивалентных напряжений по сочетаниям усилий/нагрузок не вычисляется положение главных площадок.



Рис. 3.53. Вкладка **Сочетания**

### 3.4.3 Главные и эквивалентные напряжения объемных элементов

Для вызова режима просмотра главных и эквивалентных напряжений объемных элементов воспользуйтесь командой **Результаты ⇌ Напряжения в объемных КЭ** либо

кнопкой  на панели инструментов. После этого в левой части экрана появится панель активного режима, которая состоит из двух вкладок: **Результаты по загрузкам/РСН** (рис. 3.54) и **Результаты по сочетаниям** (рис. 3.55).


Работа в режиме вывода главных и эквивалентных напряжений для объемных элементов имеет много общего с операциями при выводе напряжений пластин. При этом стоит отметить несколько отличий:

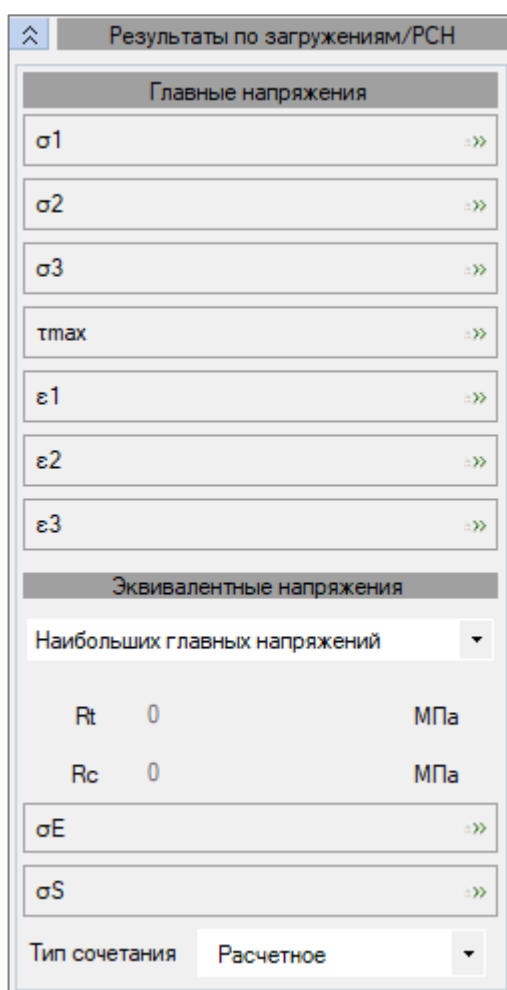
1. Напряжения выводятся по всему элементу, а не по отдельным слоям.
2. На экран не выводится положение главных площадок.

Также при просмотре результатов для отдельного конечного элемента по загрузкам во всплывающем окне приводится следующая дополнительная информация: углы Эйлера ( $\theta$ ,  $\psi$  и  $\phi$ ) и параметр Лоде-Надаи  $\mu$ .

Эквивалентные напряжения объемных элементов вычисляются по тем же теориям прочности, как и в случае с пластинами. При использовании теорий Мора, Друккера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Гениева, Кулона-Мора и Боткина необходимо задать требуемые дополнительные данные для расчета.

Вывод результатов по сочетаниям усилий/нагрузок происходит так же, как и при работе с пластинчатыми элементами.

 Для получения адекватных результатов главных и эквивалентных напряжений необходимо провести выравнивание осей (см. п. 2.11.6).



Результаты по загрузкам/РСН

Главные напряжения

$\sigma 1$  >>>

$\sigma 2$  >>>

$\sigma 3$  >>>

$\tau_{max}$  >>>

$\epsilon 1$  >>>

$\epsilon 2$  >>>

$\epsilon 3$  >>>

Эквивалентные напряжения

Наибольших главных напряжений

Rt 0 МПа

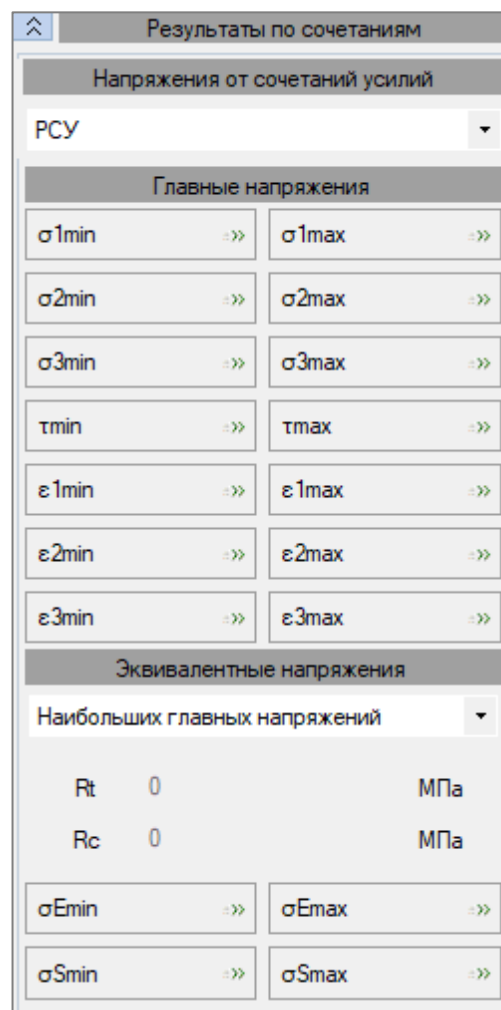
Rc 0 МПа

$\sigma E$  >>>

$\sigma S$  >>>

Тип сочетания Расчетное

Рис. 3.54. Вкладка **Результаты по загрузкам/РСН**



Результаты по сочетаниям

Напряжения от сочетаний усилий

PCN

Главные напряжения

$\sigma 1_{min}$  >>>  $\sigma 1_{max}$  >>>

$\sigma 2_{min}$  >>>  $\sigma 2_{max}$  >>>

$\sigma 3_{min}$  >>>  $\sigma 3_{max}$  >>>

$\tau_{min}$  >>>  $\tau_{max}$  >>>

$\epsilon 1_{min}$  >>>  $\epsilon 1_{max}$  >>>

$\epsilon 2_{min}$  >>>  $\epsilon 2_{max}$  >>>

$\epsilon 3_{min}$  >>>  $\epsilon 3_{max}$  >>>

Эквивалентные напряжения

Наибольших главных напряжений

Rt 0 МПа

Rc 0 МПа

$\sigma E_{min}$  >>>  $\sigma E_{max}$  >>>

$\sigma S_{min}$  >>>  $\sigma S_{max}$  >>>

Рис. 3.55. Вкладка **Результаты по сочетаниям**


### 3.5 ИНЕРЦИОННЫЕ СИЛЫ И УСКОРЕНИЯ

При анализе расчетов линейных динамических задач в ПК ЛИРА 10 помимо стандартных результатов, таких как перемещения или внутренние усилия, предоставляется возможность вывода результатов узловых ускорений и инерционных сил. Инерционные силы выводятся на экран для следующих загружений:

- пульсационная составляющая ветрового воздействия;
- сейсмическое воздействие;
- импульсное воздействие;
- ударное воздействие;
- гармоническое воздействие.

Ускорения выводятся только для загрузки **Пульсационная составляющая ветрового воздействия**.

#### 3.5.1 Инерционные силы

Для вывода на экран инерционных сил воспользуйтесь кнопкой  (**Инерционные силы**) на панели инструментов. После нажатия на нее появляется раскрывающееся меню (рис. 3.56), позволяющее выбрать составляющие инерционных сил, которые будут выведены на экран.

При щелчке на кнопке «+» будут выбраны все составляющие инерционных сил: три линейные (**X**, **Y**, **Z**), три вращательные (**UX**, **UY**, **UZ**) и депланация (**W**). Соответственно, при щелчке на кнопке «-» весь выбор будет снят.

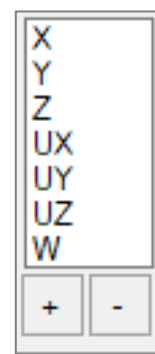


Рис. 3.56

Для вывода на экран отдельных составляющих инерционных сил необходимо при помощи мыши выделить интересующие направления.

Инерционные силы выводятся только для отдельных составляющих (форм) загрузки. Поэтому, после того как были определены составляющие инерционных сил, которые будут отображены на экране, в раскрывающемся окне загрузений необходимо выбрать интересующую составляющую (форму).

Визуализация инерционных сил происходит после того, как в раскрывающемся меню были выделены их направления, а затем был выполнен щелчок мышью в свободном пространстве рабочего окна. В итоговом результате в узлах конструкции будут выведены направления инерционных сил (рис. 3.57).

Для просмотра результатов по другим загрузениям не нужно опять пользоваться кнопкой **Инерционные силы** на панели инструментов. Достаточно лишь сменить составляющую — и на экран будут автоматически выведены направления инерционных сил по выбранным составляющим. При этом стоит отметить, что в данном случае будут визуализированы лишь те составляющие инерционных сил, которые были выбраны для предыдущего загрузки.

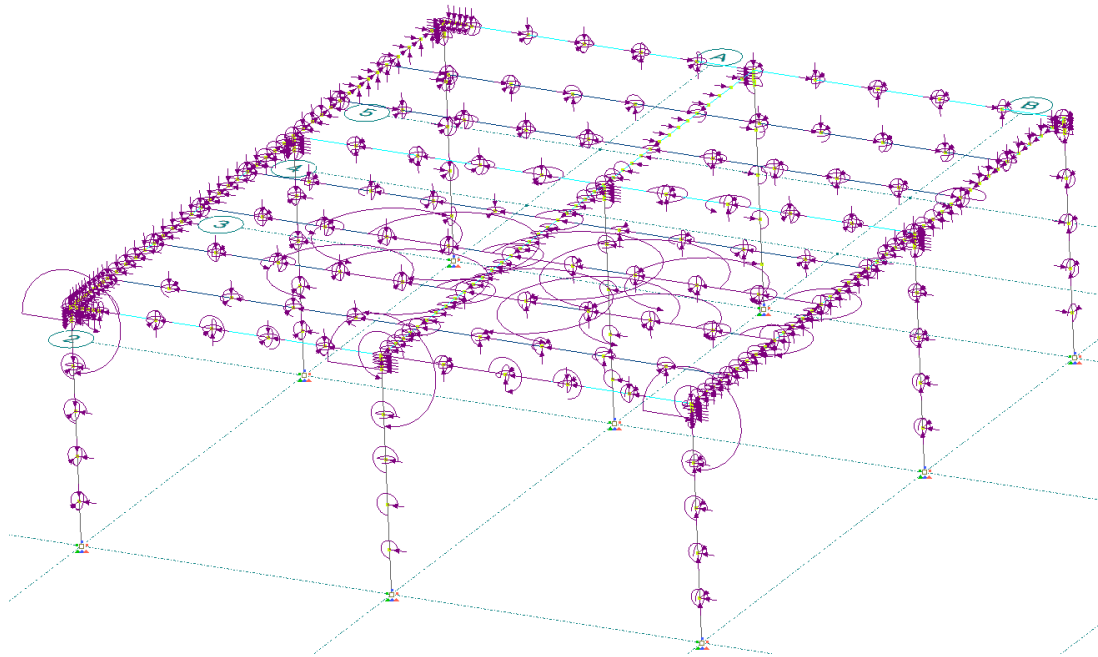

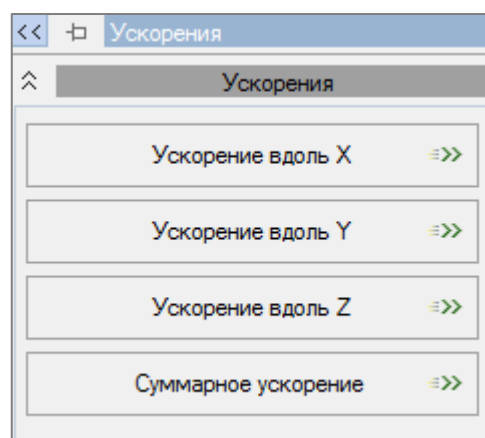


Рис. 3.57. Отображение действия инерционных сил в узлах конструкции

### 3.5.2 Ускорения

Визуализация результатов ускорений возможна с помощью команды **Результаты** ⇨ **Ускорения** либо с помощью кнопки  на панели инструментов. После использования этой функции на экран выводится панель активного режима **Ускорения** (рис. 3.58), которая дает возможность выбрать результаты ускорений, которые будут выведены на экран.

Данный режим позволяет визуализировать четыре типа результатов, а именно: линейные ускорения вдоль глобальных осей X, Y и Z, а также суммарное (среднеквадратическое) ускорение.

Рис. 3.58. Панель режима **Ускорения**

Просмотр результатов возможен только для загрузки **Пульсационная составляющая ветрового воздействия**. При этом стоит отметить, что вывод результатов возможен не только для отдельных составляющих данного нагружения, но, в отличие от инерционных сил, возможен просмотр результатов ускорений и для суммарной пульсационной составляющей.

Ускорения всей системы приводятся к узловым значениям, а визуализация результатов подается в виде мозаики (рис. 3.59). Просмотр результатов для отдельно взятого узла также возможен посредством щелчка мыши на нем. После этого на экране появляется всплывающее окно со всеми вычисленными ускорениями для выбранной составляющей пульсационного ветрового воздействия.

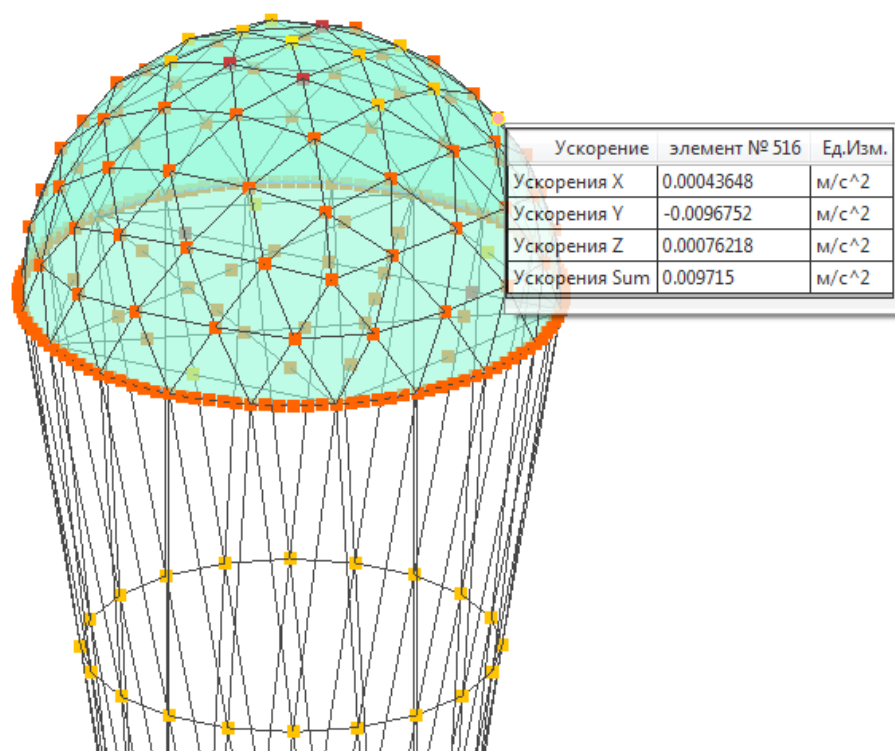



Рис. 3.59. Мозаика значений ускорений в узлах конструкции



### 3.6 УЗЛОВЫЕ РЕАКЦИИ

Для графического отображения реакций в узлах воспользуйтесь командой **Результаты** ⇒ **Узловые реакции** (кнопка  на панели инструментов).

Панель активного режима **Реакции** (рис. 3.60) состоит из трех вкладок, с помощью которых формируются параметры отображения узловых реакций.


Для просмотра узловых реакций нужно сформировать список узлов. Для этого во вкладке **Список узлов** есть две кнопки:

- для добавления узлов в список предварительно выделите эти узлы и нажмите кнопку **Добавить узлы в список**;
- для перезаписи списка выделите нужные узлы и нажмите кнопку **Перезаписать список узлов**.

Для выделения на схеме выбранного списка узлов воспользуйтесь кнопкой **Выделить узлы из списка**.

Далее, с помощью команд вкладки **Список элементов**, нужно выбрать элементы, от действия которых требуется определить реакции в узле. Для этого, аналогично со вкладкой **Список узлов**, воспользуйтесь кнопками **Добавить элементы в список** и **Перезаписать список элементов**.

Также после нажатия **Выделить элементы из списка** выбранные элементы выделяются на схеме.


 По умолчанию в **Список узлов** попадают узлы, в которых есть связи, а в **Список элементов** — элементы, которые примыкают к этим узлам.

Вкладка **Направления** используется для выбора направлений, по которым нужно отобразить узловые реакции, а именно:

- перемещения **X, Y, Z**;
- повороты **uX, uY, uZ**;
- депланация **W**.

Для выбора всех направлений одновременно можно воспользоваться кнопкой **Все**.

При установке флажка **В локальной системе координат** будут отображены реакции в локальной системе координат (если таковые имеются).

При переходе на **РСН** (кнопка  на панели инструментов) станет доступным раскрывающийся список **Тип сочетания**, в котором можно выбрать необходимый тип сочетания нагрузок.

Флажок **Индикация узлов и элементов** используется для отображения на схеме выбранных узлов и элементов.

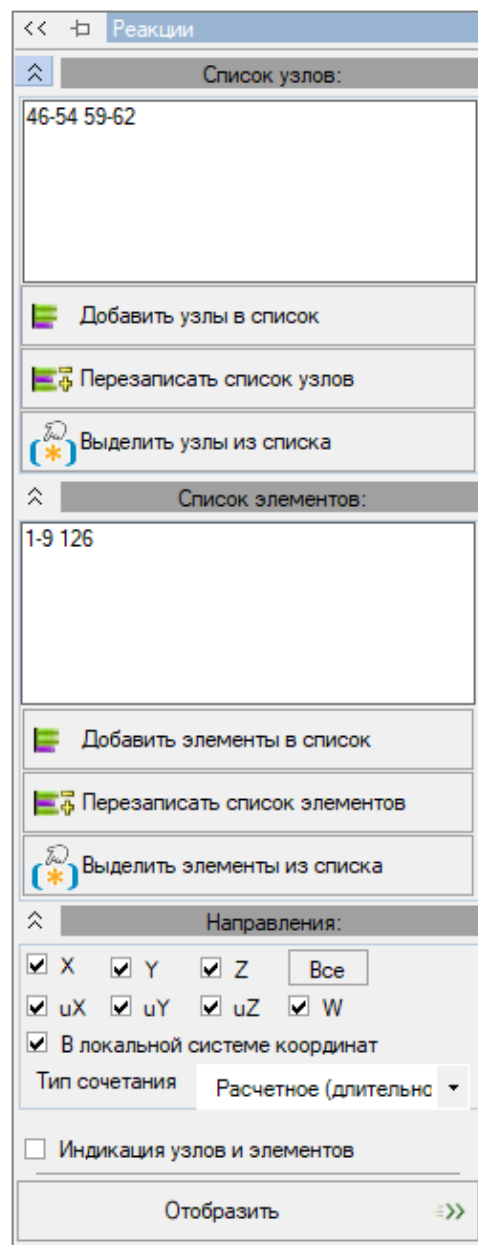


Рис. 3.60. Панель активного режима **Реакции**

После выбора всех параметров нажмите кнопку **Отобразить**, чтобы посмотреть на схеме узловые реакции для выбранных узлов (рис. 3.61).

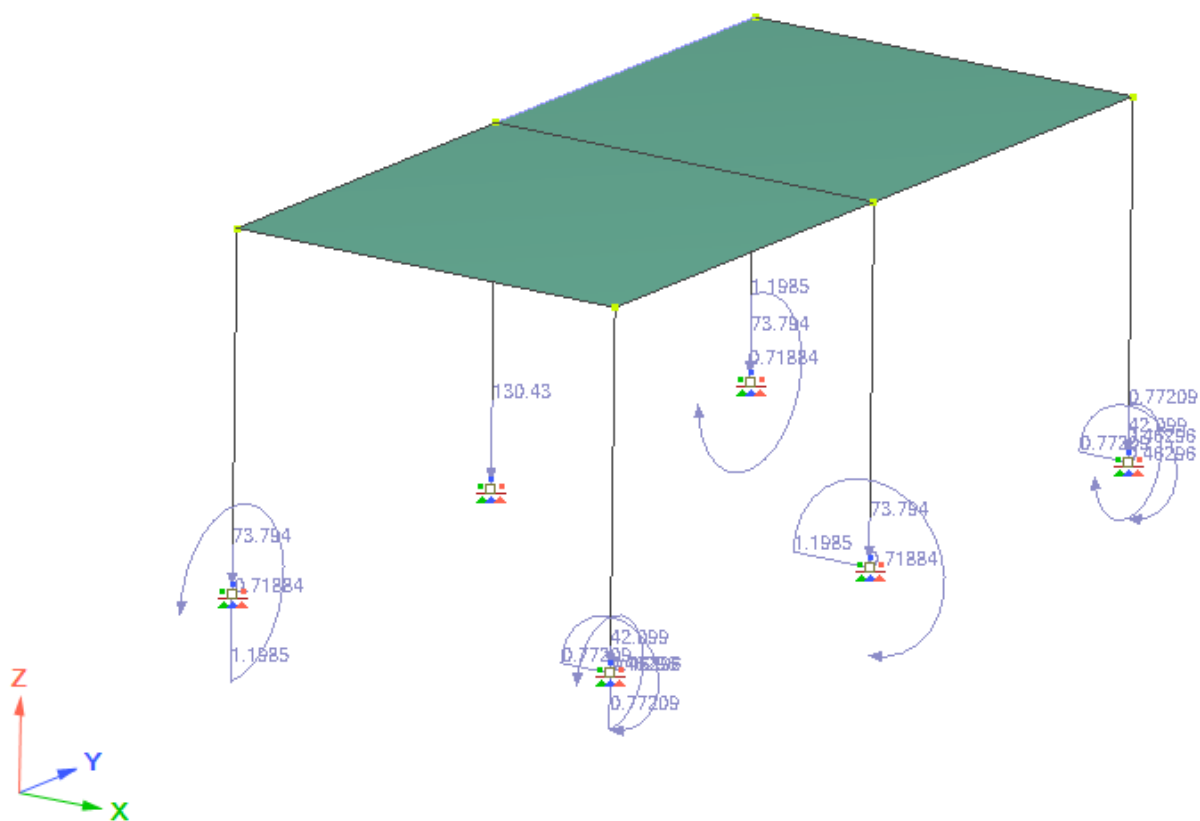



Рис. 3.61. Узловые реакции на схеме

### 3.7 РАЗРУШЕНИЯ

Для графического отображения разрушений воспользуйтесь командой **Результаты** ⇨ **Разрушения** (кнопка  на панели инструментов). При ее выборе появляется панель активного режима **Отображение разрушений**, которая содержит три вкладки:

- **Пластины: разрушения;**
- **Напряжения в стержнях;**
- **Напряжения в пластинах.**

На вкладке **Пластины: разрушения** (рис. 3.62) имеется раскрывающийся список **Слой**, где нужно указать слой: **3-Верхний**, **2-Средний**, **1-Нижний**.

Ниже, в списке **На фоне отображать**, необходимо выбрать интересующее напряжение.

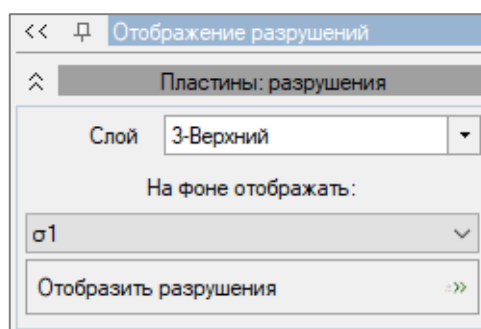


Рис. 3.62. Вкладка **Пластины: разрушения**

Затем нужно нажать кнопку **Отобразить разрушения** и на экране будет представлен результат (рис. 3.63) в одном из четырех видов отображения (Мозаика, Изополе, Изолинии, Изополе + Изолинии). Вид представления можно изменить с помощью команды **Шкала** ⇨ **Визуальное представление**.

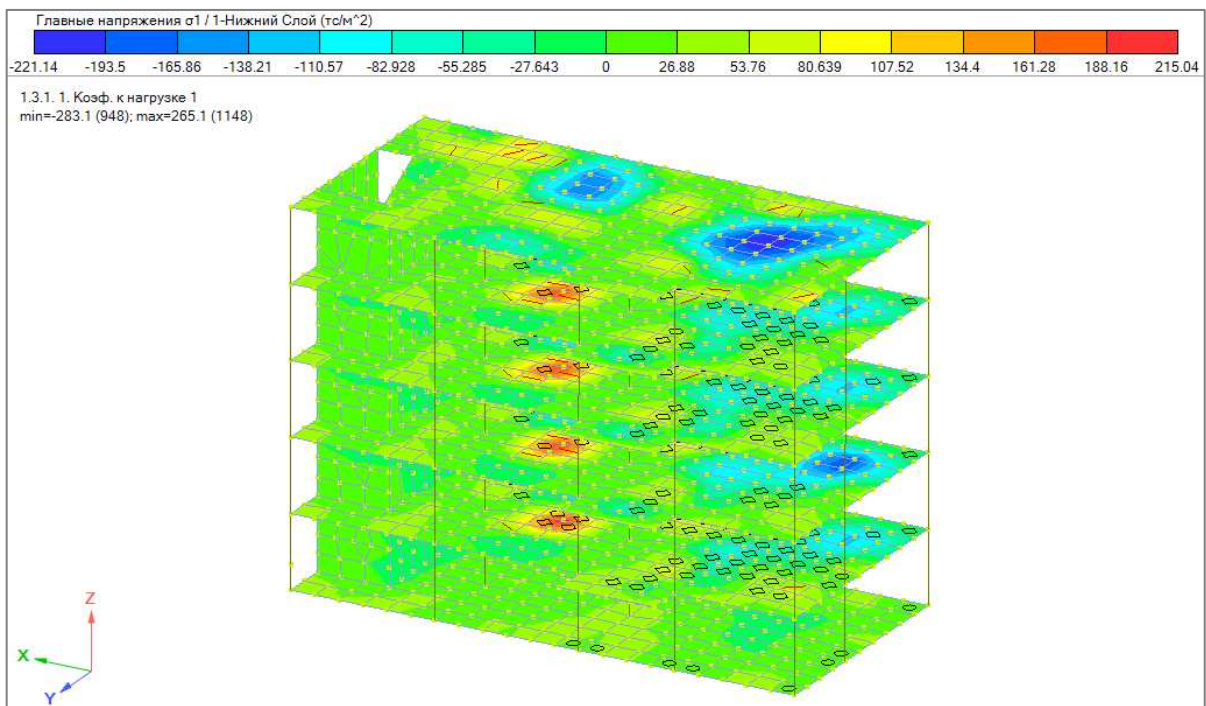


Рис. 3.63. Изополя главных напряжений

В результатах расчета на фоне напряжений отображается характер разрушения:



— трещина, возникшая при растяжении (с учетом направления развития).

Появляется, если максимальное напряжение превысило предельное напряжение на растяжение по заданной в редакторе материалов теории прочности для шаговых или итерационных оболочек. Если теория прочности не задана, то трещина будет индцироваться только для итерационной оболочки в том случае, если максимальное напряжение превысило максимальное значение на диаграмме материала.



— трещина, возникшая при сжатии (с учетом направления развития).

Появляется, если минимальное отрицательное напряжение ниже предельного напряжения на сжатие по заданной в редакторе материалов теории прочности для шаговых и итерационных оболочек. Если теория прочности не задана, то трещина будет индцироваться только для итерационной оболочки, если минимальное напряжение ниже минимального значения на диаграмме материала.



— полное разрушение.

Дополнительно, при учете пластических шарниров разрушение может индцироваться по критерию мембранной группы усилий.

Условие разрушения на мембранную группу для железобетона:

- на растяжение:

$$\frac{N}{A_s} > R_s;$$

- на сжатие:

$$-N > R_s \cdot A_s + R_b \cdot A_b,$$

где  $N$  — мембранное усилие в самой опасной проекции;

$A_s$  — площадь арматуры в сечении по направлению действия  $N$ ;

$A_b$  — площадь бетона;

$R_s$  — предел прочности арматуры;

$R_b$  — предел прочности бетона.

Условие разрушения на мембранную группу для мономатериала:

- на растяжение:

$$\frac{N}{A_b} > R_{bt};$$

- на сжатие:

$$\frac{-N}{A_b} > R_b,$$

где  $N$  — мембранное усилие в самой опасной проекции;

$A_b$  — площадь сечения;

$R_{bt}$  — предел прочности на растяжение;


$R_b$  — предел прочности на сжатие.



— возникновение пластического шарнира.

Согласно СНиП 2.03.01-84\* для мономатериала проверяется по полученным усилиям превышение усилий пластического шарнира с учетом заданных на диаграмме материала пределов прочности на растяжение и сжатие. Для железобетона проверка идет аналогично, но с той разницей, что предел прочности на растяжение основного материала при получении усилий пластического шарнира игнорируется.

По Еврокоду 2, СП 63.13330.2012(2018), ДСТУ Б В.2.6-156:2010 для мономатериала проверяются максимальные и минимальные деформации в элементе. Для железобетона по заданному элементу проверяются минимальные отрицательные деформации сжатия в бетоне и максимальные в арматуре. Шарнир индицируется, если хоть по одному из критериев полученные деформации больше, чем предельные деформации, заданные в редакторе материалов.

 Если процент армирования в пластине меньше 0.05%, то условия возникновения разрушений и пластических шарниров для нее будут не как для железобетона, а как для мономатериала (с учетом предела прочности бетона на растяжение).

Вкладка **Напряжения в стержнях** (рис. 3.64) содержит мозаики огибающих напряжений и деформаций в нелинейных стержнях в основном и армирующем материале (выберите нужный элемент щелчком на соответствующей кнопке).

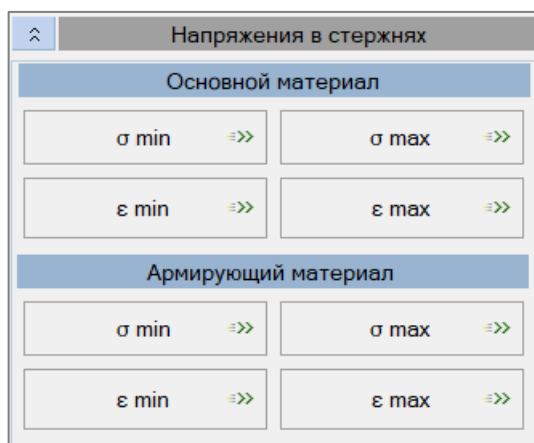


Рис. 3.64. Вкладка **Напряжения в стержнях**

Вкладка **Напряжения в пластинах** (рис. 3.65) содержит мозаики огибающих напряжений и деформаций в нелинейных стержнях в основном и армирующем материале (выберите нужный элемент щелчком на соответствующей кнопке).

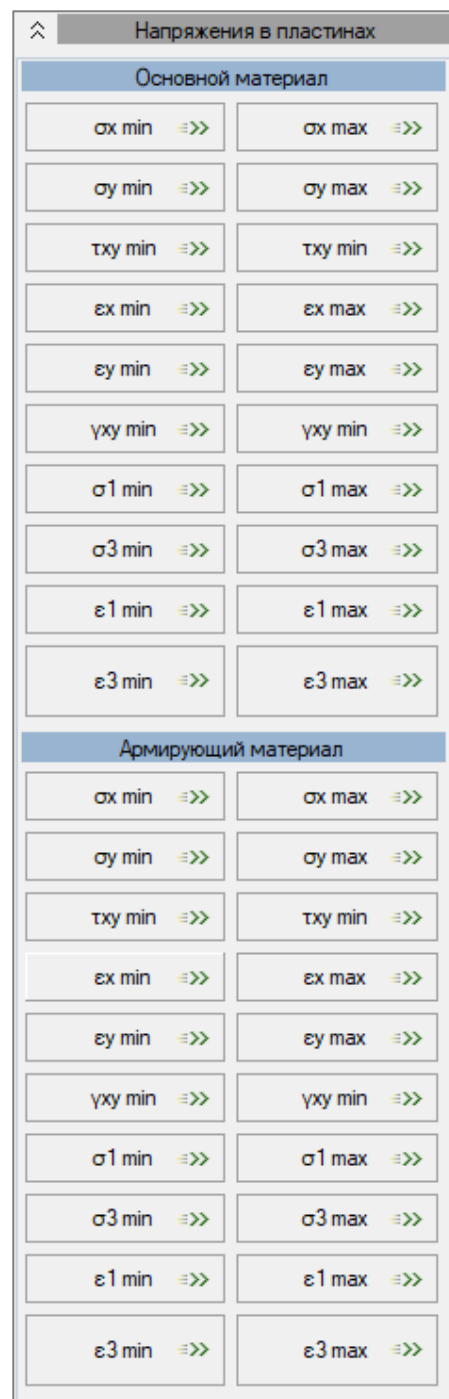



Рис. 3.65. Вкладка **Напряжения в пластинах**

Если, находясь в режиме **Разрушения**, щелкнуть на физически нелинейном стержне, раскроется диалоговое окно с подробной информацией по текущему КЭ (рис. 3.66). Здесь можно просматривать распределение напряжений и деформаций по сечению элемента в основном и армирующем материале.

Для просмотра доступны:

- $\sigma_x$  — продольные напряжения;
- $\varepsilon_x$  — продольные полные деформации;
- $\varepsilon_x^o$  — продольные упругие деформации;
- $\varepsilon_x^p$  — продольные пластические деформации.

Для смены сечения элемента используйте раскрывающийся список **Номер сечения**. При просмотре можно отключать/включать на мозаике результаты по основному и армирующему материалу, используя флажки **Основной материал** и **Армирующий материал**. Чтобы сформировать изображение, воспользуйтесь кнопкой .

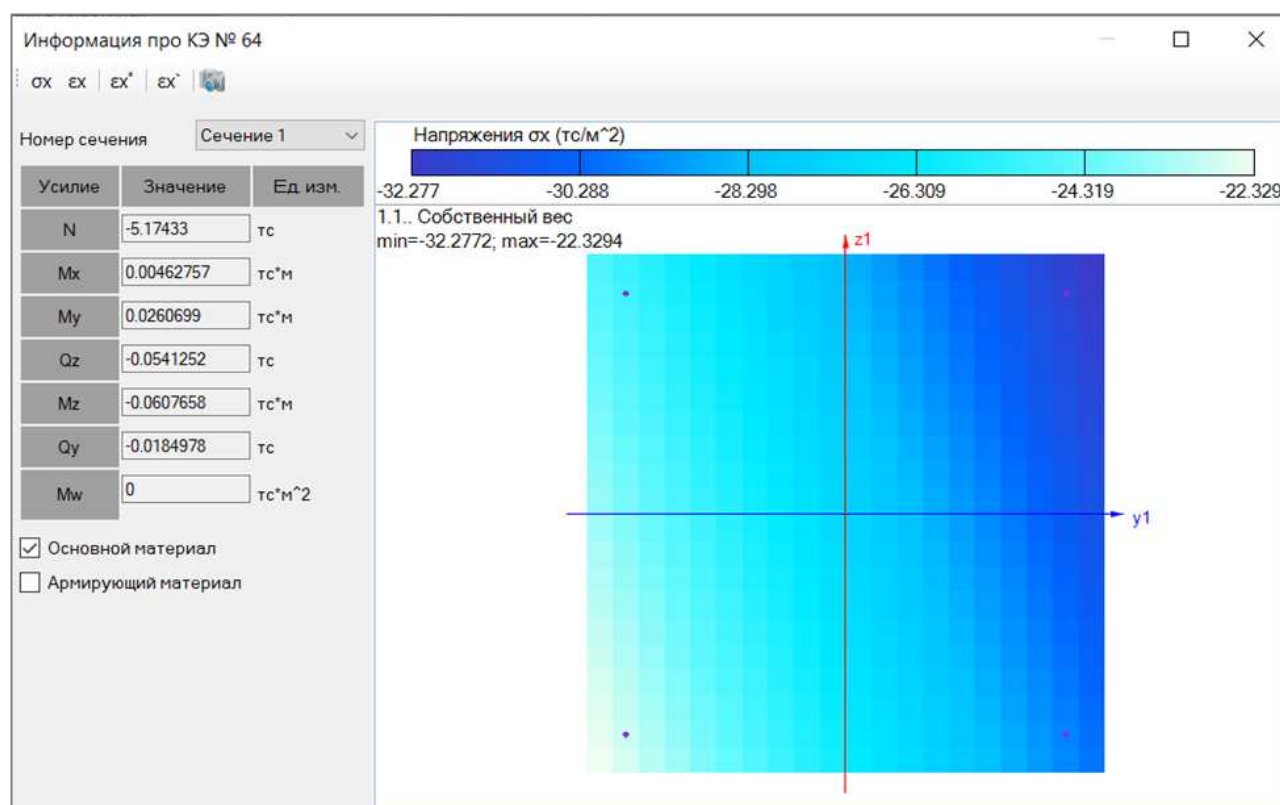


Рис. 3.66. Окно с информацией про физически нелинейный стержень

Если, находясь в режиме **Разрушения**, щелкнуть на физически нелинейной оболочке, появляется возможность просматривать распределение напряжений и деформаций по сечению элемента в основном и армирующем материале вдоль осей выравнивания и главных площадок (рис. 3.67).

Для просмотра доступны следующие результаты:


– Вдоль осей выравнивания:

- $\sigma_x$  — нормальные напряжения вдоль X;
- $\sigma_y$  — нормальные напряжения вдоль Y;
- $\tau_{xy}$  — касательные напряжения;

- $\varepsilon_x$  — продольные полные деформации вдоль X;
- $\varepsilon_y$  — продольные полные деформации вдоль Y;
- $\gamma_{xy}$  — касательные полные деформации;
- $\varepsilon_x^o$  — продольные упругие деформации вдоль X;
- $\varepsilon_y^o$  — продольные упругие деформации вдоль Y;
- $\gamma_{xy}^o$  — касательные упругие деформации;
- $\varepsilon_x^{\prime}$  — продольные пластические деформации вдоль X;
- $\varepsilon_y^{\prime}$  — продольные пластические деформации вдоль Y;
- $\gamma_{xy}^{\prime}$  — касательные пластические деформации.

– Вдоль главных площадок:

- $\sigma_1$  — нормальные напряжения вдоль главной оси 1;
- $\sigma_3$  — нормальные напряжения вдоль главной оси 3;
- $\varepsilon_1$  — полные деформации вдоль главной оси 1;
- $\varepsilon_3$  — полные деформации вдоль главной оси 3;
- $\varepsilon_1^o$  — упругие деформации вдоль главной оси 1;
- $\varepsilon_3^o$  — упругие деформации вдоль главной оси 3;
- $\varepsilon_1^{\prime}$  — пластические деформации вдоль главной оси 1;
- $\varepsilon_3^{\prime}$  — пластические деформации вдоль главной оси 3.

При просмотре можно отключать/включать на мозаике результаты по основному и армирующему материалу, используя флажки **Основной материал** и **Армирующий материал**. Чтобы сформировать изображение, воспользуйтесь кнопкой .

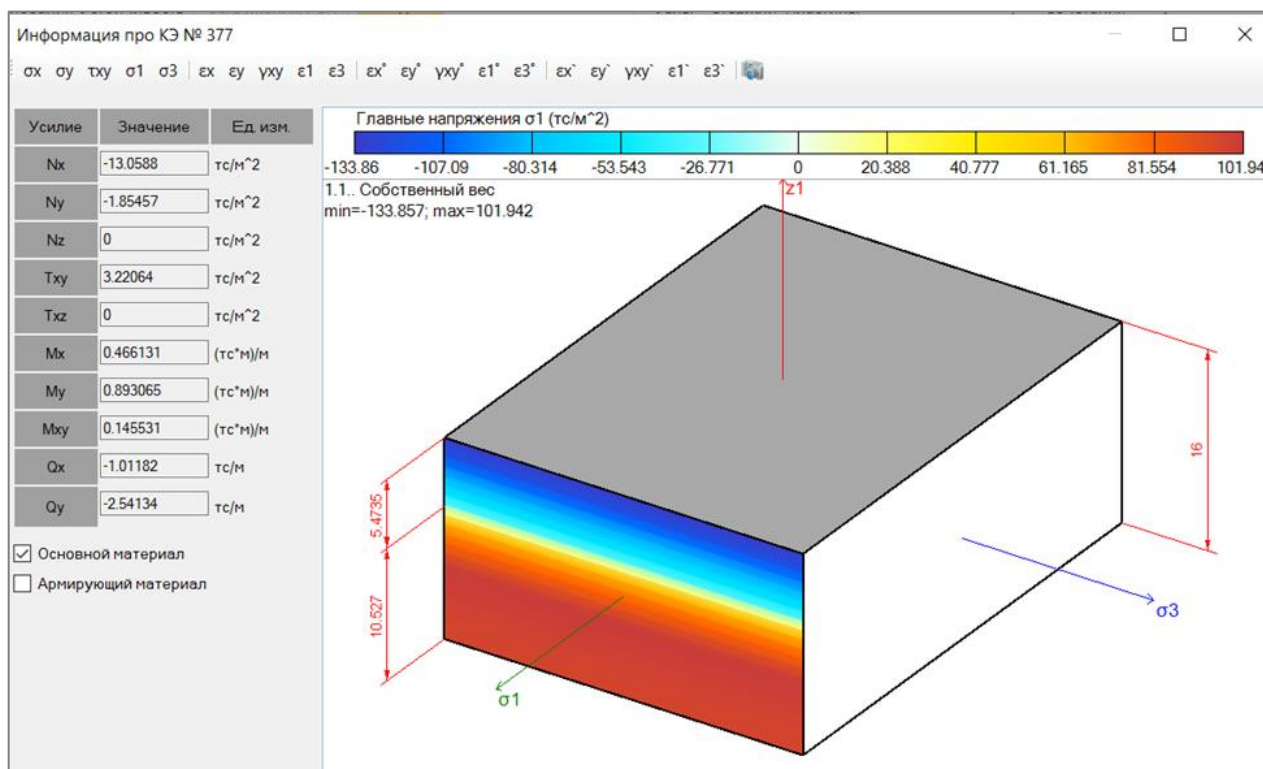




Рис. 3.67. Окно с информацией про физически нелинейную оболочку

### 3.8 КРЕНЫ И ПЕРЕКОСЫ

Для вычисления, отображения и анализа поэтажных кренов и перекосов, а также осадки фундаментной плиты воспользуйтесь командой **Спец. результаты** ⇒ **Крены и перекосы** (кнопка  на панели инструментов). После выполнения указанной команды появляется панель активного режима **Поле давления** (рис. 3.68).

В верхней части панели активного режима отображается таблица, включающая список этажей и количество элементов, принадлежащих соответствующим этажам.

 *Информация об этажах задается в режиме **Редактировать группы элементов** (см. п. 2.11.10).*

Если установить флажок **Индикация текущего этажа**, будет выполнено подсвечивание желтым цветом текущего (выбранного в таблице) этажа на схеме.

Кнопка **Выделить на схеме** позволяет выбрать текущий (указанный в таблице) этаж на схеме.

Чтобы задать требуемый **Способ осреднения перемещений**, выберите соответствующий переключатель:

- **Среднее;**
- **Среднее с учетом площади;**
- **Минимальных квадратов.**

В блоке **Геометрические характеристики** отображается площадь и информация о центре тяжести плиты перекрытия текущего этажа.

В блоке **Предельные и средние деформации** отображаются минимальные и максимальные деформации в плите перекрытия, а также их среднее значение в соответствии с выбранным способом осреднения.

Блок **Осадка** будет заполнен только в том случае, если текущий этаж описывает фундаментную плиту, рассчитанную с помощью редактора Грунт (см. Главу 5). В этом случае визуализируются минимальные и максимальные осадки, а также их среднее значение в соответствии с выбранным способом осреднения.

В блоке **Крены** для плит выбранного этажа визуализируются значения кренов вдоль осей X, Y.

В блоке **Перекосы** вычисляются значения перекосов для всех этажей, кроме нижнего. В таблице выводятся значения перекосов вдоль осей X и Y, а также уровень плиты перекрытия.




<< ☐ Поле давления

↑ По плитам

Этаж	Количество элементов
5	484
6	484
7	484
8	484
9	484
10	484

Индикация текущего этажа

 Выделить на схеме >

Способ осреднения перемещений

Среднее

Среднее с учетом площади

Минимальных квадратов

Этаж

Геометрические характеристики

S ,м <sup>2</sup>	Cx ,м	Cy ,м	Cz ,м
324	-1	-1	40

Предельные и средние деформации

	min	max	Средние
X ,мм	-309.09	-309.08	-0.30909
Y ,мм	-173.93	173.93	-0.017827
Z ,мм	-16.5	16.5	0
uX ,рад*1e-3	-0.96373	0.96775	0.017945
uY ,рад*1e-3	-1.7057	-0.99458	-0.078838

Осадка

Крены

X	Y
0.00031321	-0.001376

Перекосы


Нс ,м	X	Y
40	-0.0019781	-0.00011423

Рис. 3.68. Панель Поле давления

### 3.9 ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе анализа и документирования результатов расчета нестандартного объекта может возникнуть необходимость отобразить и задокументировать изополя или эпюры расчетных данных, которые еще не реализованы в программе, но которые не сложно получить путем вычисления, опираясь на уже реализованные данные. Именно для таких случаев в ПК ЛИРА 10.12 реализован режим **Пользовательские результаты**.

Для активизации панели данного режима воспользуйтесь командой **Спец. результаты**

⇒ **Пользовательские результаты** (кнопка  на панели инструментов).

Режим состоит из трех раскрывающихся вкладок:

- **Пользовательские результаты;**
- **Графики по загрузениям;**
- **Графики по узлам/элементам.**

#### 3.9.1 Вкладка Пользовательские результаты

На вкладке **Пользовательские результаты** выполняется задание и редактирование скриптов. В верхней части панели (рис. 3.69) расположен список с уже созданными скриптами. В нижней части — кнопки:

- **Добавить скрипт** — вызывает диалоговое окно для создания нового скрипта.
- **Изменить скрипт** — вызывает диалоговое окно для редактирования уже существующего скрипта (выбранного в списке).
- **Удалить скрипт** — позволяет удалить из списка ненужный скрипт.
- **Отобразить** — позволяет визуализировать на схеме мозаику, соответствующую выбранному в списке скрипту.

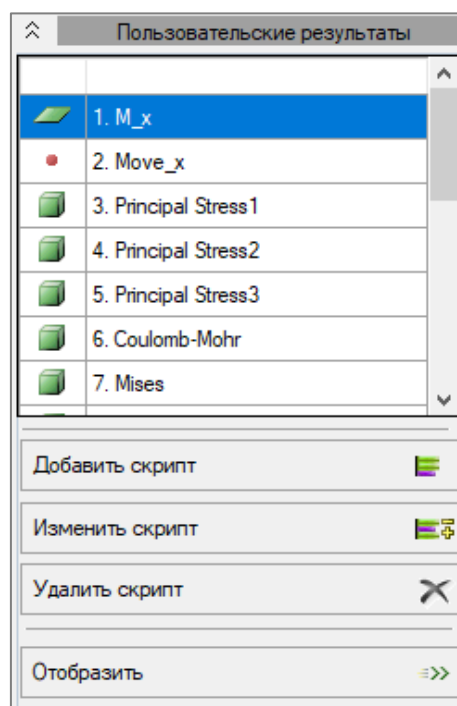


Рис. 3.69. Вкладка **Пользовательские результаты**

Диалоговое окно для создания / редактирования скрипта (рис. 3.70) содержит:

- **Имя** — поле для ввода имени скрипта.
- **Объекты**, по которым будет построена мозаика (**Узлы, Стержни, Пластины, Объемные** или **Спец. элементы**).
- **Настройки единиц измерения**, которые будут использоваться при вычислениях.
- **Метод вычисления** — поле для ввода скрипта с использованием синтаксиса языка программирования C#.
- **Доступные методы** — список доступных методов для получения данных из начальных параметров и результатов расчета ПК ЛИРА 10.
- **Стандартные методы** — список доступных дополнительно возможных функций, кроме стандартных функций C#.

При двойном щелчке мыши по строке с нужным методом, его наименование впишется в поле для ввода скрипта, в месте расположения курсора.

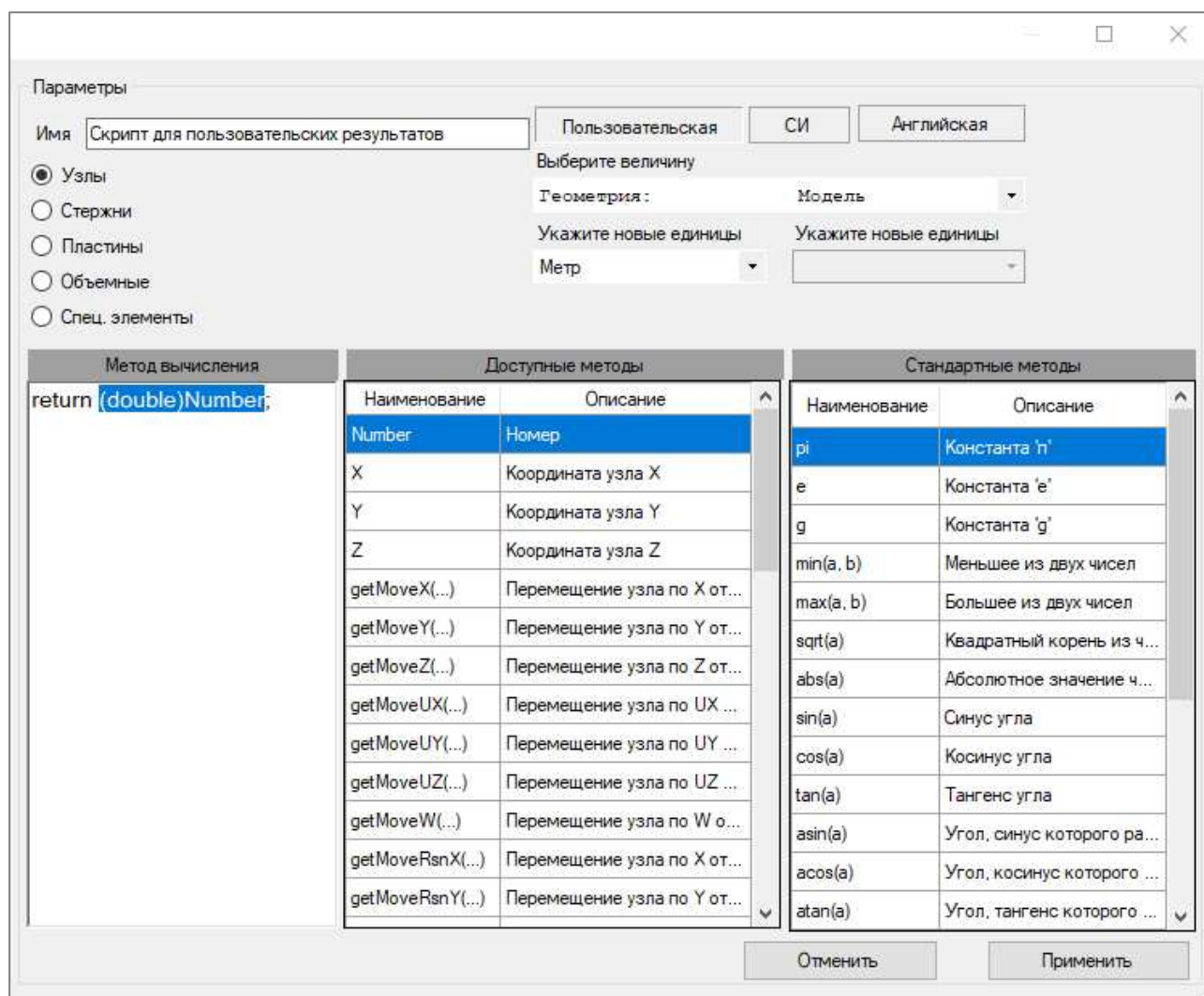


Рис. 3.70. Окно для создания / редактирования скрипта

Состав дополнительных методов зависит от того, с какими объектами будет работать скрипт.

Для узлов доступны:

- номер узла;
- координаты;
- значение перемещений от загрузки или РСН;
- значение реакций в связях от загрузки или РСН;
- значение инерционных сил для динамических загрузок;
- значение температуры для задач системы Теплопроводность.

Для стержней доступны:

- номер элемента;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- физические свойства материала;
- геометрические характеристики сечения;
- значение усилий от загрузки или РСН;

- значение температуры и плотности температурного потока для задач системы Теплопроводность.

Для пластин доступны:

- номер элемента;
- количество узлов в элементе;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- физические свойства материала;
- толщина сечения;
- значение усилий от нагружения или РСН;
- значение главных напряжений и деформаций (в верхнем, среднем и нижнем слоях) от нагружения или РСН;
- значение температуры и плотности температурного потока для задач системы Теплопроводность.

Для объемных элементов доступны:

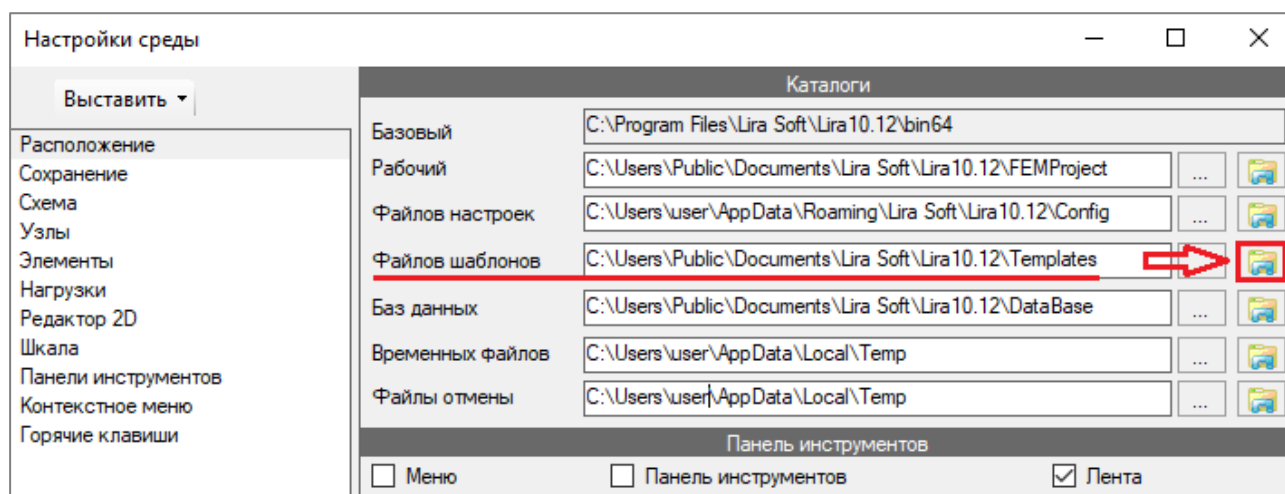
- номер элемента;
- количество узлов в элементе;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- физические свойства материала;
- значение усилий от нагружения или РСН;
- значение главных напряжений и деформаций от нагружения или РСН;
- значение температуры и плотности температурного потока для задач системы Теплопроводность.

Для специальных конечных элементов доступны:

- номер элемента;
- количество узлов в элементе;
- координаты центра тяжести элемента;
- номера назначенных сечения и материала;
- значение реакций от нагружения или РСН.

Файл со всеми созданными пользователем скриптами **ScaleUserData.xml** хранится в папке с файлами шаблонов (рис. 3.71) и может быть перемещен, удален или заменен.

Путь: Сервис ⇒ Настройки среды ⇒ Расположение ⇒ Каталог файлов шаблонов ⇒ **Templates** ⇒ **ScaleUserData.xml**.

Рис. 3.71. Окно **Настройки среды**

### Использование доступных методов

Те данные, которые не имеют аргумента (нет скобок), используются без него. Некоторые данные имеют в качестве начального аргумента троеточие, на месте которого должен быть указан номер загрузки или РСН. Если в скобках ничего не указать, то в скрипте это будет привязано к текущему номеру загрузки.

Пример использования данных из текущего загрузки:

```
//Перемещение в узле по X:
double mX = getMoveX();
```

Если нужна привязка к конкретному номеру загрузки, то его нужно задать набором трех целых чисел (рис. 3.72), где:

- первое число — номер загрузки / номер истории загрузок / номер РСН;
- второе число — номер сопутствующего загрузки;
- третье число — номер формы (задачи с модальным анализом и потерей устойчивости) / номер шага (нелинейные статические загрузки) / номер момента времени (в Динамика+).

Пример использования номера загрузки:

```
//Перемещение в узле по X для второго загрузки:
double mX = getMoveX(2,0,0);
//Перемещение в узле по X для второго загрузки первого подзагрузки:
double mX = getMoveX(2,1,0);
//Перемещение в узле по Y для пятого сейсмического загрузки (шестая составляющая):
double mX = getMoveX(5,0,6);
```

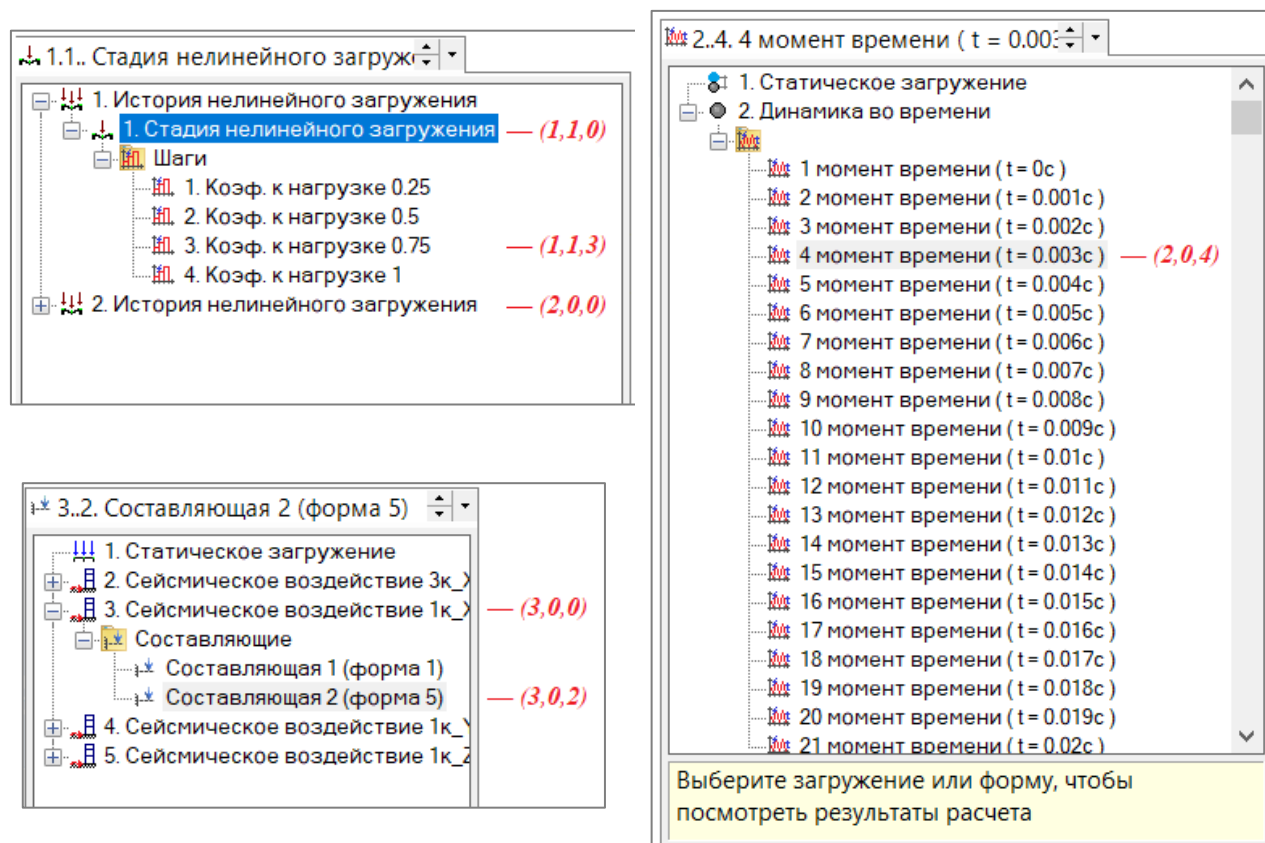



Рис. 3.72. Нумерация загрузений

 В данной инструкции представлена только часть возможностей языка C#, которые чаще всего будут использоваться для написания скриптов пользовательских результатов ПК ЛИРА 10. Однако в скрипте доступны почти все возможности стандартных методов языка программирования C#.

Описание полных возможностей языка C# можно найти в справочной системе от разработчиков этого языка программирования или на других подобных ресурсах.

### Использование комментариев в скрипте

Строка, расположенная после двух символов косой черты //, не будет участвовать в коде и может быть использована в виде комментария.

Пример:

```
// Однострочный комментарий
```

Между символами /\* и \*/ можно использовать много строк в виде комментариев. Этот инструмент, в частности, позволяет исключить некоторые строки кода из расчета, не удаляя их совсем.

Пример закомментированного участка кода:

```
/*
A=b+c;
return z;
*/
```

## Типы данных и переменные

В C# используется много типов, описание которых можно найти в их справочной системе. Тип необходимо указывать для каждой объявляемой переменной. Вначале идет тип переменной, потом ее имя. В качестве имени переменной может выступать любое произвольное название, которое удовлетворяет следующим требованиям:

- Имя может содержать любые цифры, латинские буквы и символ подчеркивания, при этом первый символ в имени должен быть буквой или символом подчеркивания.
- В имени не должно быть знаков пунктуации и пробелов.
- Имя не может быть ключевым словом языка C#.

Наиболее часто используемые типы переменных:

- *double* — тип вещественного числа с плавающей запятой;
- *int* — целочисленный тип;
- *bool* — логический тип, может принимать значения *true* (истина) и *false* (ложь);
- *char* — символьный тип, может принимать один символ;
- *string* — строчный тип, может принимать строчное значение.

Пример объявления переменных:

```
double a=1.345;
double b=1;
double a2=-1.e-13;
int i=-12;
int j=0;
bool a3=true;
char a4='A';
string s='Stress';
```

На мозаику выводится значение, которое стоит после первого **return** в скрипте. До этого слова в коде могут быть произведены другие манипуляции. Пример:

```
double a = 12.1;
double b = 13.1;
double c=b-a;
return c; // на мозаику будет выведено значение 1.
```

## Методы (процедуры и функции) в скрипте

Скрипт может содержать отдельные методы (процедуры и функции), которые будут использованы в других методах или главном блоке. Если используются вновь созданные методы, то главный блок необходимо взять в фигурные скобки вместе со строкой, содержащей ключевое слово **return**. Сами методы описываются ниже основного блока, отделенного фигурными скобками.

При объявлении методов должен быть указан тип возвращаемого значения. Если метод является процедурой (без возвращаемого значения), то нужно указать его тип **void**. Также в скобках, после имени метода, необходимо указать параметры и их тип, кроме тех случаев, когда у метода нет параметров. Дальше в фигурных скобках идут команды метода.

Структура метода:

```

Тип_метода Имя_метода (тип_параметра1 имя_параметра1, тип_параметра2
имя_параметра2... тип_параметран имя_параметран)
{
  Выражение1;
  Выражение2;
  ...
  Выражениет;
  return Результат_метода; (если тип метода void, то return не используется)
}

```

Пример методов в скрипте:

```

{
  /* ВОЗВРАЩАЕМ НА МОЗАИКУ РАССТОЯНИЕ К ЗАДАННОЙ ТОЧКЕ (x1,y1,z1) от
  узла с координатой (X,Y,Z); */
  //координаты базовой точки
  double x1=0.1;
  double y1=12.1;
  double z1=54.1;

  double a=distance_to_point (x1,y1,z1,X,Y,Z); //используем созданный ниже метод
  return a;
}

//объявляем метод
double distance_to_point (double a1, double b1, double c1, double a2, double b2, double c2)
{
  double dX=a1-a2;
  double dY=b1-b2;
  double dZ=c1-c2;
  return sqrt(dX*dX+dY*dY+dZ*dZ);
}

```

### Логические выражения

Логические выражения позволяют проводить операции над теми структурами, результатом которых является *ИСТИНА* или *ЛОЖЬ*. Можно выделить несколько самых используемых операций:

- > — больше;
- < — меньше;
- >= — больше равно;
- <= — меньше равно;
- == — равно;
- != — не равно.



Логическое сложение ИЛИ ||

Примеры:

`bool a=(10<0)||(3>2);`//будет возвращено *true*, так как  $3>2$

`bool b=(10<0)||(3<2);`//будет возвращено *false*, так как оба выражения ложны

Логическое И &&

Примеры:

`bool a=(10<0)&&(3>2);`//будет возвращено *false*, так как  $10<0$

`bool b=(10>0)&&(3>2);`//будет возвращено *true*, так как оба выражения справедливы

### Условные операторы *if-else*

Конструкция *if-else*:

`if (логическое_выражение)`

{

Выражение1;

Выражение2;

....

Выражение $n$ ;

}

*else*

{

Выражение1;

Выражение2;

....

Выражение $m$ ;

}

Если после ключевых слов *if* или *else* идет только одна операция, то после них фигурные скобки можно не использовать.

Конструкция *if* может быть использована без *else*.

Пример использования конструкции *if-else*:

`double a=1;`

`double b=12;`

`double c;`

`if (a>b)`

{

`c=a+b;`

`a=b;`

}

*else*

{

`c=b;`

`b=a;`

`} // в этом случае c присвоится значение 12, b присвоится значение 1`

## Циклы

### Структура *while*

Цикл *while* проверяет некоторое логическое выражение. Если оно истинное, то операции цикла продолжают. Если ложное, то цикл прекращается.

Структура цикла:

```
while (логическое_выражение)
{
  Команда1;
  Команда2;
  ...
  Командаn;
}
```

Пример:

```
int i=0;
double a=0;
while (i<5)
{
  a=a+2;
  i=i+1;
}
```

*//по окончании этого цикла i будет равно 5, а переменная a будет равна 10*

### Структура цикла *for*

*for* (*тип, имя и начальное значение переменной; условие выполнения цикла; выражение по смене начального значения переменной*)

```
{
  Команда1;
  Команда2;
  ...
  Командаn;
}
```

Пример:

```
double b=0;
for (int i=0; i<3; i+1)
{
  b=b+i*i;
}
```

*// в итоге мы получим, что переменная b равна 0+0\*0+1\*1+2\*2=5*

Опционно для циклов *while* и *for* могут быть использованы команды *break* или *continue*. Первая служит для прерывания цикла. Вторая используется, если условие цикла не выполняется, но его не нужно прерывать после этой итерации.

## Массивы

Массив — это набор однотипных данных. Массив имеет такую структуру:

```
тип_переменной[название_массива];
```

Пример:

```
double [disp];
```

После определения переменной массива можно присвоить ему значения.

Пример:

```
double disp=new double[3];
```

*// Здесь мы объявили массив **disp** типа **double**. Используя операцию **new**, мы выделили память для 3 элементов массива. При таком подходе все элементы массива получают значение, которое взято по умолчанию для их типа.*

Также можно указать значения массива. Пример:

```
double disp=new double[3] {1.1, 2.0, 3.2};
```

Для обращения к элементам массива используются индексы. Пример:

```
double disp=new double[3] {1.1, 2.0, 3.2};
```

```
disp[0]=1.4; // в этом случае первым элементом массива станет уже не 1.1, а 1.4
```

## Обработка исключений

Бывает, что при выполнении программы возникают ошибки, которые трудно предвидеть, а иногда и вовсе невозможно. Язык С# предоставляет возможности для обработки подобных ситуаций. Для этого в С# предназначена конструкция *try...catch...finally*.

Если в блоке *try* возникает исключение, то обычный порядок выполнения останавливается, и среда начинает искать блок *catch*, который может обработать данное исключение. Если нужный блок *catch* найден, то он выполняется, и после его завершения выполняется блок *finally*.

Если нужный блок *catch* не найден, то при возникновении исключения программа аварийно завершает выполнение.

Структура:

```
try
```

```
{
```

```
Команда1;
```

```
Команда2;
```

```
...
```

```
Командаn;
```

```
}
```

```
catch
```

```
{
```

```
Команда1;
```

```
Команда2;
```

```

...
Командат;

}
finally
{
Команда1;
Команда2;
...
Командак;
}

```

### Примеры использования скриптов для программы ПК ЛИРА 10

1. Вывод полного горизонтального перемещения текущего нагружения

```

double x=getMoveX(); //перемещение по X для текущего нагружения
double y=getMoveY(); //перемещение по Y для текущего нагружения
double disp_hor=sqrt(x*x+y*y); //геометрическая сумма (квадратный корень из суммы
квадратов)
return disp_hor; //возвращаем значение на мозаику

```

2. Вывод главного напряжения на мозаику объемного элемента для текущего нагружения

```

{
//Усилия по осям выравнивания получаем из программы напрямую для текущего
загружения
double Sxx=getNx();
double Syy=getNy();
double Szz=getNz();
double Sxy=getTxy();
double Sxz=getTxz();
double Syz=getTyz();

//Инварианты тензора:
double I1=Sxx+Syy+Szz;
double I2=-Sxx*Syy-Sxx*Szz-Syy*Szz+Sxy*Sxy+Sxz*Sxz+Syz*Syz;
double I3=Sxx*Syy*Szz-Sxx*Syz*Syz-Syy*Sxz*Sxz-Szz*Sxy*Sxy+2*Sxy*Sxz*Syz;

double s1=Find_S(-I1,-I2,-I3,1e-5,1); // главное напряжение S1
return s1; // Это значение будет возвращено на мозаику элементов
}

//Функция для возведения числа в степень
double pow(double a, double x)
{
double c=exp(x*log(a));

```

```

return c;
}

//функция для поиска корней кубического уравнения вида  $x^3+a*x^2+b*x+c=0$ 
//err – погрешность при решении уравнения итерационным методом Ньютона
//s_id – индекс главного напряжения (1, 2 или 3),  $S1>S2>S3$ 
double Find_S(double a, double b, double c, double err, int s_id)
{
// начальное приближение  $x0=1$ 
double x0=1;
double x1;
double x2;
double s=0;
int i=0;
if (abs(c)<=err)
{
x0=0;
x1=(-a+sqrt(a*a-4*b))/2;
x2=(-a-sqrt(a*a-4*b))/2;
}
else
{
while (abs(x0*x0*x0+a*x0*x0+b*x0+c)>=err && i<100) //i<100 – это защита от
защипливания
{
i+=1;
//производная функции  $3*x*x+2*a*x+b$ 
double xp=3*x0*x0+2*a*x0+b;
x0=x0-(x0*x0*x0+a*x0*x0+b*x0+c)/xp;
}
x1=(-a-x0+sqrt((a+x0)*(a+x0)+4*c/x0))/2;
x2=(-a-x0-sqrt((a+x0)*(a+x0)+4*c/x0))/2;
}

double s1=max(max(x0,x1),x2);
double s3=min(min(x0,x1),x2);
double s2=x0+x1+x2-s1-s3;

if (s_id==1)
{
s=s1;
}
if (s_id==2)
{
s=s2;
}
}

```

```

}
if (s_id==3)
{
s=s3;
}
return s;
}

```

3. Получение максимальных скоростей в узлах на протяжении указанного количества шагов в Динамика+

*double dt=0.01; //шаг времени в Динамика+ – нужно в скрипте откорректировать вручную один раз*

*int n=500; //количество шагов в Динамика+ – нужно в скрипте откорректировать вручную один раз*

*double Vmax=0; //пока скоростей не знаем, задаем минимально возможную*

```

for (int i=1; i<n;i++)
{
double x1=getMoveX(2,0,i); // перемещение на шаге i по X
double x2=getMoveX(2,0,i+1); // перемещение на шаге i+1 по X

```

```

double y1=getMoveY(2,0,i); // перемещение на шаге i по Y
double y2=getMoveY(2,0,i+1); // перемещение на шаге i+1 по Y

```

```

double z1=getMoveZ(2,0,i); // перемещение на шаге i по Z
double z2=getMoveZ(2,0,i+1); // перемещение на шаге i+1 по Z

```

```

double Vx=(x2-x1)/dt; // скорость по X
double Vy=(y2-y1)/dt; // скорость по Y
double Vz=(z2-z1)/dt; // скорость по Z

```

*double V=sqrt(Vx\*Vx+Vy\*Vy+Vz\*Vz); // скорость – геометрическая сумма (квадратный корень из суммы квадратов)*

```

if (V>Vmax) Vmax=V;
}

```

```

return Vmax;

```

## Команда чтения результатов из CSV-файла

В поле скриптов ПК ЛИРА 10 есть возможность подгружать данные из внешних таблиц и затем использовать их при дальнейшей обработке скриптов с последующим выводом на мозаику. Это предусмотрено, поскольку не все данные можно получить из доступных методов (к примеру, данные из сторонних программ или таблицы и мозаики, которые нельзя подключить напрямую в скрипт, но они есть в программе ПК ЛИРА 10).

Для подгрузки таблицы следует воспользоваться стандартным методом **ReadFileCSV(path, r, c)**,

где *path* — полный путь к csv-файлу (во избежание возможных проблем желательно не использовать кириллицу и знаки пунктуации в пути к файлу);

*r* — номер строки, в которой находится число;

*c* — номер колонки, в которой находится число.

Нумерация строк и колонок начинается с нуля.

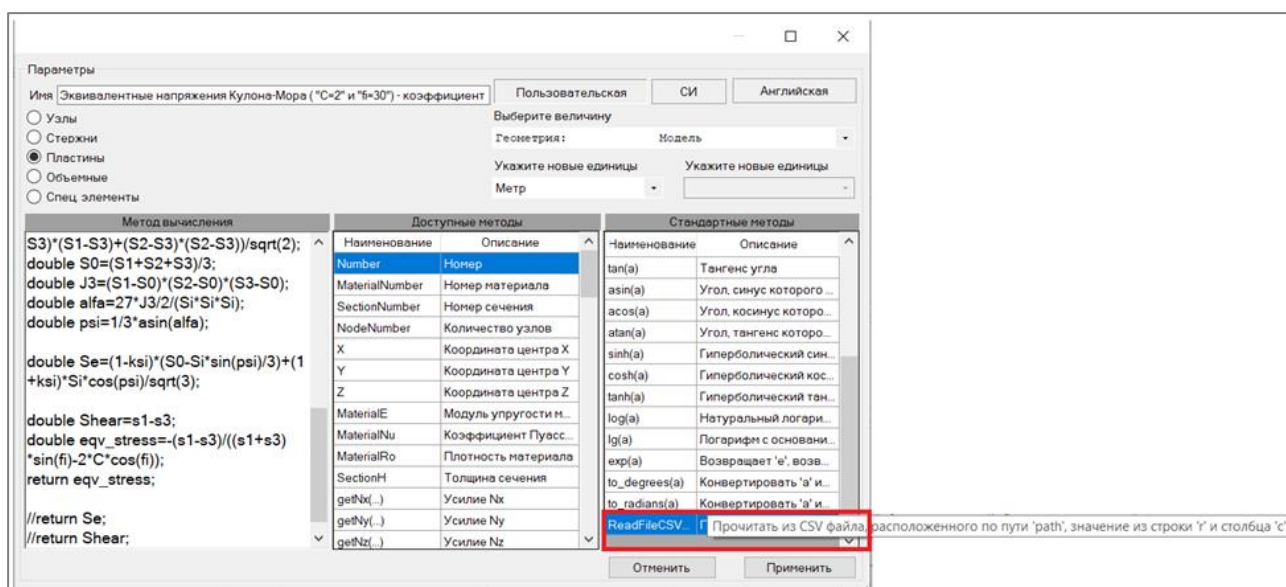


Рис. 3.73. Окно для создания / редактирования скрипта, стандартный метод **ReadFileCSV(path, r, c)**

Пример использования:

```
double Mass_X=ReadFileCSV("D:/nodal mass.csv", Number, 1);
```

```
return Mass_X;
```

// означает, что из файла **nodal mass.csv**, который расположен в корневом каталоге диска *D*, будет прочитана таблица и на мозаику будет выведено значение из первой колонки, а строка совпадает с номером элемента

### 3.9.2 Вкладка **Графики по нагрузкам**

На вкладке **Графики по нагрузкам** (рис. 3.74) выполняется визуализации графиков с перебором шагов или моментов времени.

Для осей абсцисс и ординат необходимо задать номера узла или конечного элемента (в соответствующих полях ввода) и скрипт для вычисления координаты графика (выбрать из раскрывающегося списка). Для стержней дополнительно нужно указать номер сечения.

График получается в результате перебора шагов нелинейного нагружения или моментов времени для задач системы Динамика+.

После выбора всех параметров необходимо нажать кнопку **Отобразить** и в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 3.75). Перемещая курсор мыши по графику, можно посмотреть значения в любой точке.

Чтобы сохранить изображение графика, воспользуйтесь следующими кнопками:



— копирует изображение графика в файл с расширением \*.png;



— экспортирует изображение графика в файл Excel.

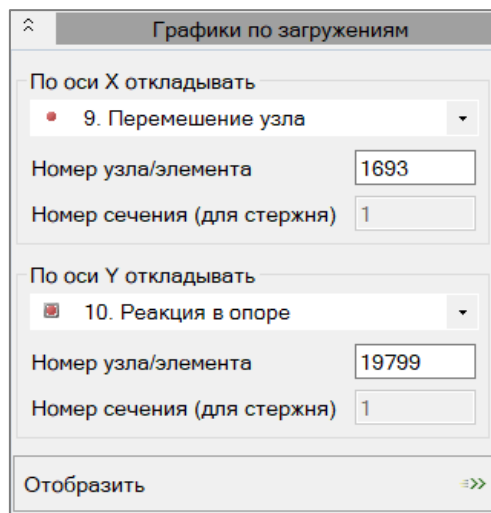


Рис. 3.74. Вкладка **Графики по нагрузкам**

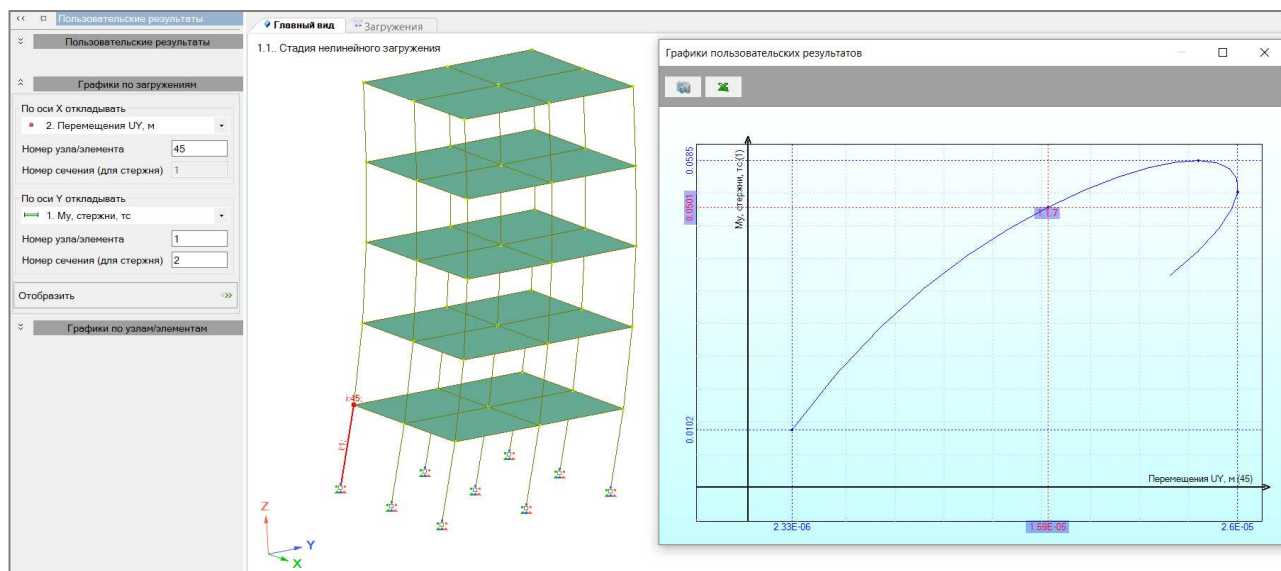


Рис. 3.75. Зависимость между двумя пользовательскими результатами по всем нагрузкам



### 3.9.3 Вкладка Графики по узлам/элементам

Вкладка **Графики по узлам/элементам** (рис. 3.76) позволяет отобразить посчитанную величину по цепочке узлов или элементов.

Для этого нужно выделить узлы/элементы, по которым будет строиться графическое распределение. Выделенные объекты могут сортироваться 6 способами с заданными приоритетами направлений. По оси абсцисс есть возможность задавать равномерный шаг, а также координату по одной из глобальных осей.

По оси ординат откладываются значения, полученные в результате работы выбранного скрипта для заданного набора узлов/элементов, а по оси абсцисс — координаты узлов/элементов или порядковый номер объекта, в соответствии с выбранной сортировкой.

После выбора всех параметров необходимо нажать кнопку **Отобразить** и в отдельном диалоговом окне будет построен график (рис. 3.77). Перемещая курсор мыши по графику, можно посмотреть значения в любой точке.

Чтобы сохранить изображение графика, воспользуйтесь следующими кнопками:



— копирует изображение графика в файл с расширением \*.png;



— экспортирует изображение графика в файл Excel.

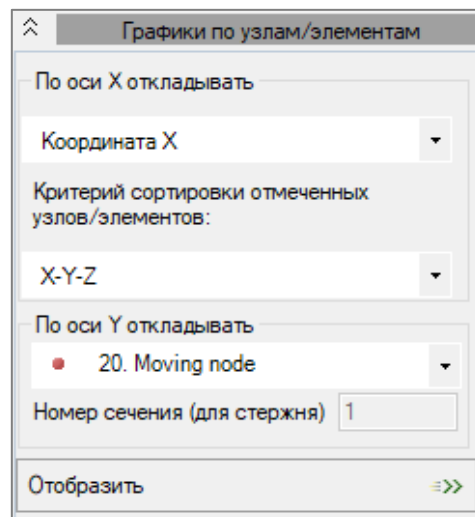


Рис. 3.76. Вкладка **Графики по узлам/элементам**

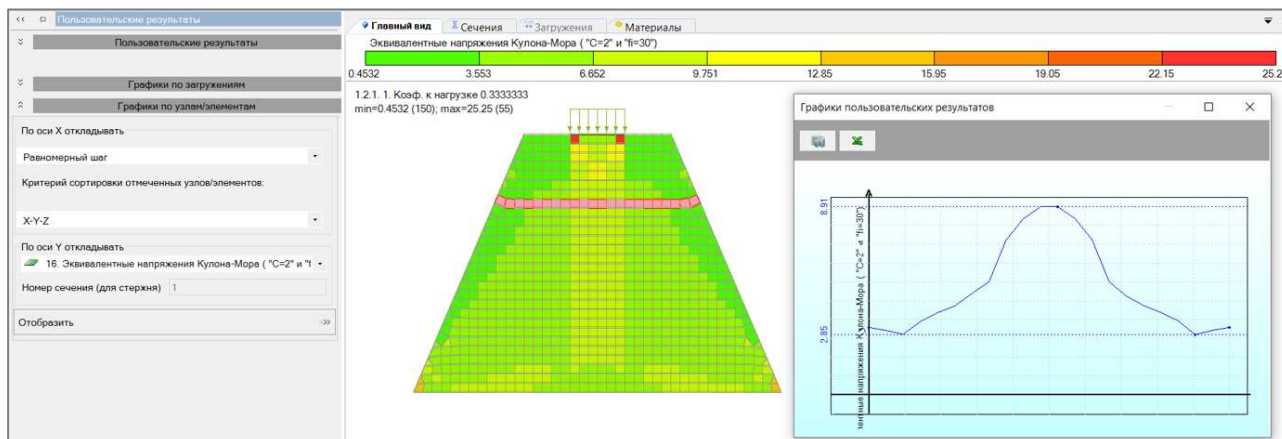


Рис. 3.77. Пример графика по элементам (распределение эквивалентного напряжения, согласно теории Кулона-Мора)


## 3.10 ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ


### 3.10.1 Копирование изображения с экрана

Для копирования изображения с экрана в ПК ЛИРА 10 реализовано две команды:


1. **Изображение с экрана;**
2. **Быстрое изображение с экрана.**

Обе эти команды находятся в меню **Документирование** и доступны как в режиме задания исходных данных, так и в режиме просмотра результатов расчета.

Если при работе со схемой необходимо скопировать изображение, находясь в других режимах, воспользуйтесь командой меню **Документирование** ⇒ **Быстрое изображение с экрана** (кнопка  на панели инструментов).

 *Команду **Быстрое изображение с экрана** также можно вызвать с помощью комбинации горячих клавиш **Ctrl+F**. При вызове функции быстрого копирования будут использованы текущие параметры с панели активного режима **Изображение с экрана**.*

Список всех скопированных изображений будет отображен на панели активного режима **Изображение с экрана**.


Команда меню **Документирование** ⇒ **Изображение с экрана** (кнопка  на панели инструментов) позволяет детально настроить параметры копирования и сохранения изображения с экрана.

Панель активного режима **Изображение с экрана** (рис. 3.78) состоит из нескольких областей:

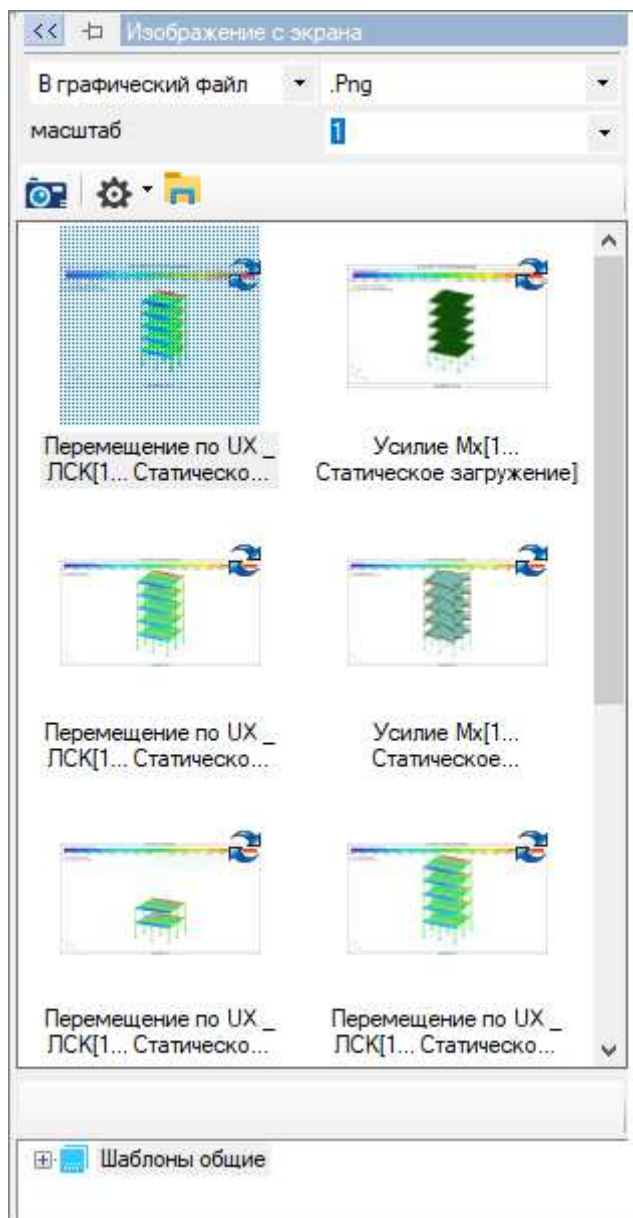
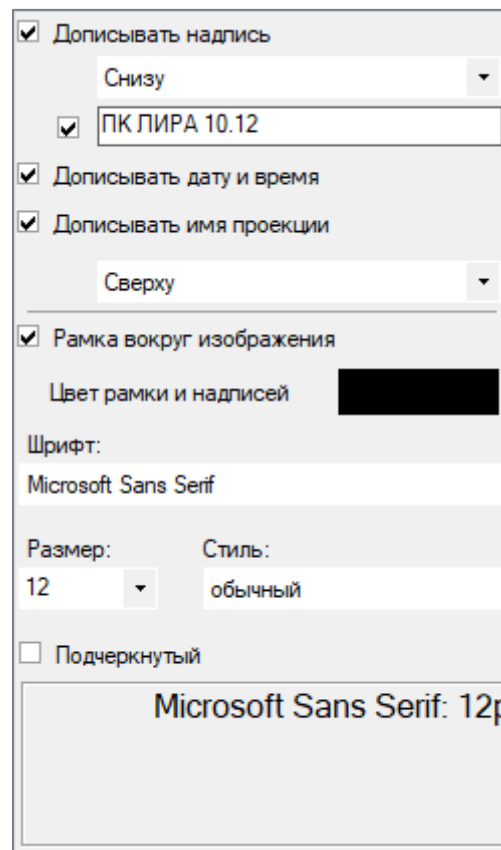
- Область задания основных параметров изображения
- Кнопки настройки дополнительных параметров изображения.
- Область отображения последних сделанных фотографий.
- Пользовательские шаблоны для динамических изображений.

Основные параметры копируемого с экрана изображения задаются в верхней части панели данного режима.

В раскрывающемся списке с вариантами сохранения изображения можно выбрать, куда следует выполнить копирование: **В графический файл; В буфер обмена; На принтер, Динамическое изображение**.


 ***Динамическое изображение** — это изображение с сохранением определенных выбранных пользователем параметров (таких как загрузка, вид перемещения, усилия). В отличие от статического, динамическое изображение можно обновить после перерасчета задачи.*


В раскрывающемся списке **масштаб** можно выбрать коэффициент масштабирования из списка (0.25, 0.5, 1, 2, 3) или задать его вручную (от 0.1 до 10).


Рис. 3.78. Панель режима **Изображение с экрана**Рис. 3.79. Окно **Настройки...**

Формат файла, в котором может быть выполнено сохранение проекта:


- \*.Png;
- \*.Vmp;
- \*.Jpeg;
- \*.Gif;
- \*.Tiff
- \*.Exif.

При щелчке на кнопке  (**Скопировать**), находящейся на данной панели, изображение с заданными параметрами будет скопировано и отображено в области последних сделанных фотографий.

 *На сохраненное изображение с экрана попадает только видимая часть рабочей области.*

При щелчке на кнопке  (**Настройки...**) появится диалоговое окно, где можно задать дополнительные параметры оформления изображения (рис. 3.79):

- Флажок **Дописывать надпись** используется для того, чтобы на изображение с экрана добавить нужную пользователю надпись. Тут же присутствует раскрывающийся список с параметрами размещения надписи (**Сверху** или **Снизу**) и поле для ввода самой надписи.
- При выборе флажка **Дописывать дату и время** на скопированное с экрана изображение добавится информация с текущей датой и временем.
- При выборе флажка **Дописывать имя проекции** на скопированное изображение будет добавлена информация о проекции схемы. Также здесь из раскрывающегося списка нужно выбрать параметр размещения (**Сверху** или **Снизу**).
- При выборе флажка **Рамка вокруг изображения** будет создана рамка вокруг изображения, цвет которой нужно выбрать в поле **Цвет рамки и надписей**.
- При помощи раскрывающихся списков **Шрифт**, **Размер**, **Стиль** и флажка **Подчеркнутый** можно выбрать параметры оформления текста надписей.

При щелчке на кнопке  (**Папка хранения изображений**) раскроется диалоговое окно, где указывается путь к каталогу сохранения файла. Для назначения другой папки выберите ее в дереве каталогов и нажмите **ОК**.

Список последних сделанных фотографий отображается в отдельном поле на панели.

При щелчке правой кнопкой мыши по какому-либо изображению появляется контекстное меню (рис. 3.80).

Контекстное меню содержит такие команды:

- **Список** — задает отображение изображений в виде списка названий.
- **Мелко** — задает отображение изображений в виде списка с пиктограммами небольшого размера.
- **Крупно** — задает отображение изображений в виде списка с крупными пиктограммами.
- **Скопировать в буфер** — позволяет сохранить изображение в буфер обмена.
- **Скопировать в** — позволяет задать папку, где будет сохранено изображение.
- **Печатать** — отображает диалоговое окно **Печать**, где можно задать параметры печати изображения.
- **Вернуться к виду** (команда доступна только для динамических изображений) — устанавливает камеру в положение, из которого был сделан снимок.
- **Вернуться к фрагменту** (команда доступна только для динамических изображений) — отображает часть расчетной схемы, которая зафиксирована на изображении и возвращает камеру в исходное положение.
- **Переснять** (команда доступна только для динамических изображений) — заменяет ранее зафиксированное изображение на актуальное.

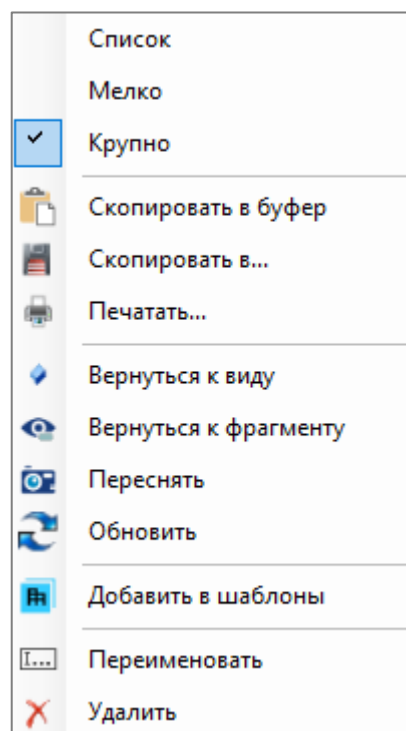



Рис. 3.80. Контекстное меню

- **Обновить** (команда доступна только для динамических изображений) — актуализирует данные на изображении.
- **Добавить в шаблоны** (доступна только для динамических изображений) — позволяет сохранить выбранное динамическое изображение в качестве шаблона.
- **Переименовать** — позволяет переименовать изображение.
- **Удалить** — позволяет удалить изображение.

ПК ЛИРА 10.12 предоставляет возможность создавать шаблоны с автогенерацией изображений для анализа и документирования результатов расчета. В шаблоне запоминается загрузка, вид перемещения, усилия, а также напряжения, для которых был сделан шаблон.

Для создания шаблона динамического изображения:

1. В раскрывающемся списке с вариантами сохранения выберите элемент **Динамическое изображение**.

2. Нажмите кнопку  (**Скопировать**), чтобы скопировать изображение с экрана с нужными данными.

3. Щелкните правой кнопкой мыши на полученном изображении (или на нескольких выделенных изображениях) в области отображения последних сделанных фотографий и выберите команду **Добавить в шаблоны**.

В результате данные изображения сохраняются в списке **Шаблоны общие** в нижней части окна, где их можно перемещать, переименовывать и применять как шаблоны для другого вида данной схемы или другой задачи. Также в этом списке можно создавать папки и применять все шаблоны, находящиеся в ней, одним нажатием мыши.

Например, можно отфрагментировать расчетную схему требуемым образом (т.е. добавить новые виды) и, отобразив на экране требуемый вид, щелкнуть правой кнопкой мыши на нужном шаблоне, а затем выбрать в контекстном меню команду **Применить шаблон** (рис. 3.81). В результате будет добавлено динамическое изображение для данного вида с сохраненными в шаблоне параметрами.

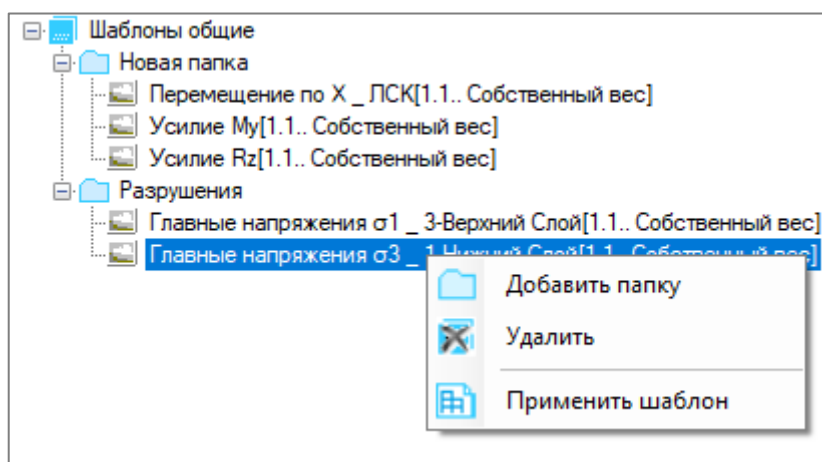



Рис. 3.81. Пользовательские шаблоны для динамических изображений

### 3.10.2 Создание и настройка таблиц

Для формирования таблиц исходных данных и результатов расчета задач, а также для дальнейшего документирования в ПК ЛИРА 10 реализована команда **Таблицы результатов**.

Чтобы воспользоваться этой функцией, выберите команду меню **Документирование** ⇒ **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

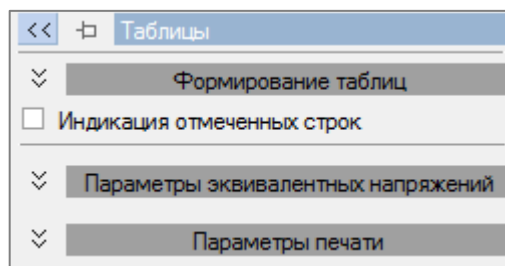


Рис. 3.82. Панель активного режима **Таблицы**

Панель активного режима **Таблицы** (рис. 3.82) состоит из трех вкладок:

- **Формирование таблиц;**
- **Параметры эквивалентных напряжений;**
- **Параметры печати.**

На вкладке **Формирование таблиц** (рис. 3.83) представлен список доступных для текущей задачи таблиц. При установке флажка **Показывать сокращенный список** будут представлены таблицы, которые используются наиболее часто. Соответственно, при сброшенном флажке будет показан полный список доступных таблиц.

Если нужно сформировать таблицу только для некоторых выбранных элементов, а не для всей схемы, установите флажок **Для выделенных элементов**.

Переключатели **Текущее загрузжение** / **Все загрузжения** / **Выборочно** позволяют выбрать для формирования таблицы интересующие пользователя загрузжения. При выборе переключателя **Выборочно** ниже в окне появится список загрузжений с возможностью отметить ненужные.

После выбора требуемых параметров формирования таблицы нажмите кнопку **Сформировать**. Сформированная таблица появится внизу рабочей области.

При установке флажка **Индикация отмеченных строк** узлы или элементы, соответствующие отмеченным строкам, будут подсвечены на схеме.

Вкладка **Параметры эквивалентных напряжений** (рис. 3.84) используется для выбора параметров при формировании таблиц главных и эквивалентных напряжений в элементах. Методика заключается в следующем: перед формированием

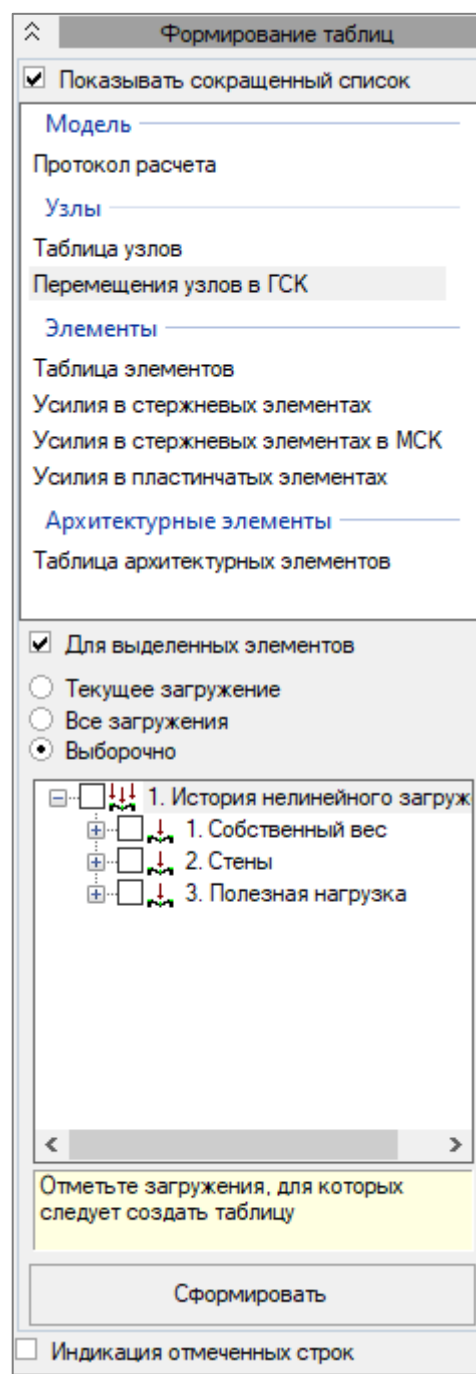



Рис. 3.83. Вкладка **Формирование таблиц**

таблицы главных и эквивалентных напряжений нужно открыть вкладку **Параметры эквивалентных напряжений** и выбрать из списка **Теория прочности** (рис. 3.85) требуемый элемент. В зависимости от выбранной теории прочности, снизу появятся поля для ввода данных **Rc** и **Rt** или **c** и **φi**. После указания теории прочности и (при необходимости) ввода данных вернитесь на вкладку **Формирование таблиц** и выберите нужную таблицу главных и эквивалентных напряжений.

 **Rc** и **Rt** — значения предельного напряжения на сжатие и растяжение, применяются для теории Мора, Друккера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Гениева (для железобетона).

Параметры **c** и **φi** — характеристики грунтов: сцепление грунта и угол внутреннего трения. Эти данные вводятся для теории Кулона-Мора (для грунтов) и теории Боткина (для грунтов).

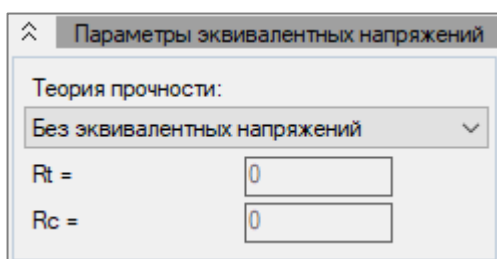


Рис. 3.84. Вкладка **Параметры эквивалентных напряжений**

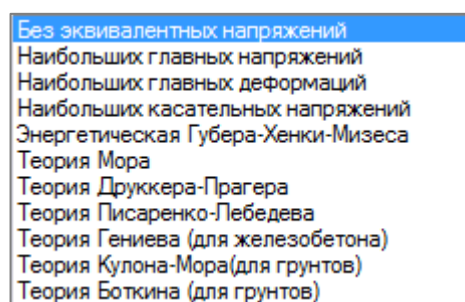


Рис. 3.85. Список для выбора теории прочности

Вкладка **Параметры печати** (рис. 3.86) применяется для выбора параметров с целью дальнейшей печати таблицы. Здесь представлено три параметра:

- **Предварительный просмотр** — возможность просмотреть сформированный файл до того, как он будет запущен на печать.
- **Выравнивать по центру страницы.**
- **Добавлять номер страницы** — номер страницы будет добавлен в верхнем правом углу.

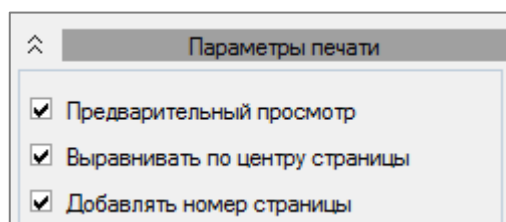




Рис. 3.86. Вкладка **Параметры печати**

Есть ряд команд, которые можно реализовать с уже сформированной таблицей (рис. 3.87). Для того чтобы их посмотреть, нажмите на значок , который находится в шапке таблицы справа от ее имени. Чтобы закрыть таблицу, воспользуйтесь кнопкой .

С таблицей, которая уже сформирована, можно выполнить следующие действия:

1. **Переименовать.** При выборе этой команды на экране появится поле для ввода нового названия таблицы. После подтверждения нового введенного названия таблица будет переименована.

2. **Печатать.** С помощью этой команды можно распечатать сформированную таблицу. Предварительные параметры печати выбираются на вкладке **Параметры печати** (описана выше). После выбора команды **Печатать** на экране появится стандартное окно с параметрами печати.

3. **Экспорт в Excel.**

4. **Экспорт в Word.**

5. **Экспорт в Html.**

6. **Сохранить изображение.** Видимая часть таблицы будет сохранена в графическом файле.

7. **Столбцы.** При выборе этой команды на экран выводится полный перечень доступных столбцов для текущей таблицы. По умолчанию столбцы, в которых отсутствуют какие-либо значения, не включаются в сформированную таблицу.

8. **Фильтр.** Используя данную команду, можно отфильтровать таблицу по значениям в столбцах с помощью цветовых индикаторов (рис. 3.88).

9. **Отметить узлы / Отметить элементы.** Все узлы/элементы, которые фигурируют в текущей таблице, будут выделены на схеме.

10. **Заккрыть / Заккрыть все таблицы.** Закрывает текущую таблицу или все таблицы.

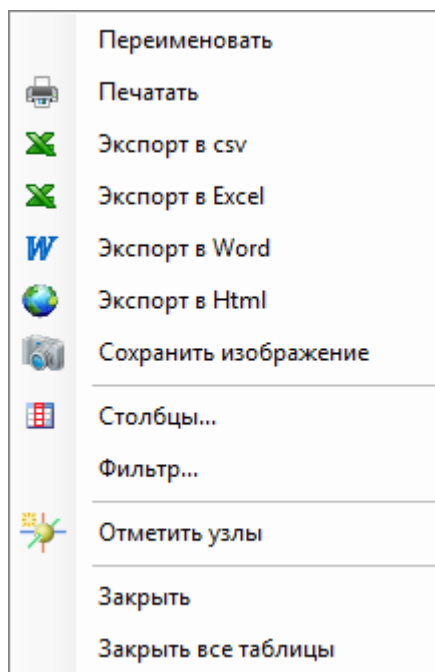



Рис. 3.87. Доступные команды для таблиц

 Например, на рис. 3.88 флажком отмечен столбец, по которому будет происходить фильтрация значений. Ниже задается интервал значений для фильтрации. После нажатия кнопки **Подтвердить** произойдет следующее: значения в столбце **Номер**, которые меньше 10, будут обозначены синим цветом, значения, попавшие в интервал от 10 до 20 — черным, значения больше 20 будут обозначены красным цветом.

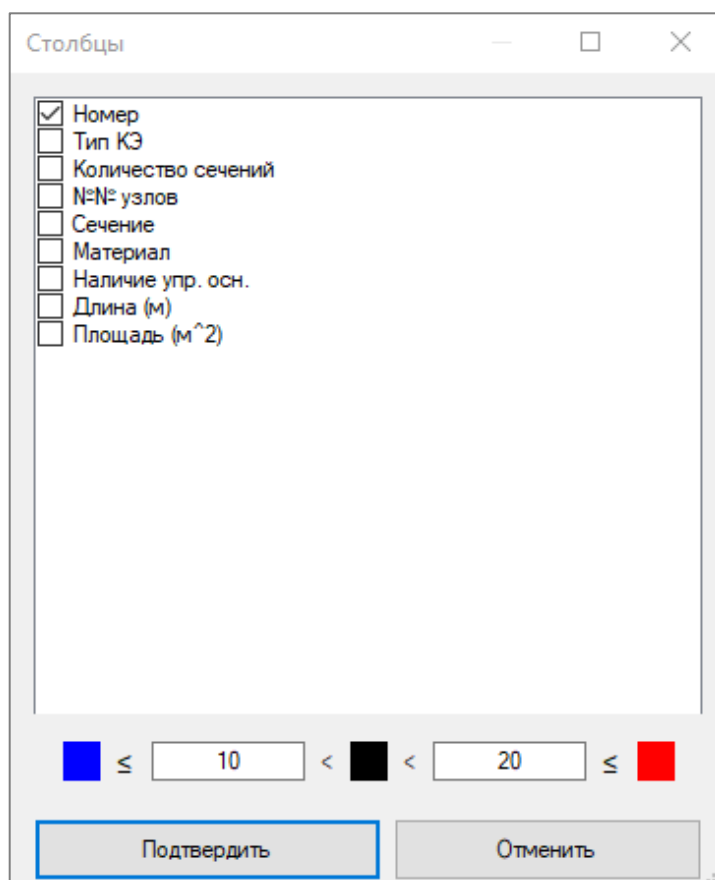



Рис. 3.88. Диалоговое окно **Столбцы**



### 3.10.3 Формирование отчета

Для формирования отчета по расчету задачи воспользуйтесь командой меню **Документирование** ⇒ **Сформировать отчет** (кнопка  на панели инструментов). После выбора этой команды появится диалоговое окно **Формирование отчета** (рис. 3.90).

В раскрывающемся списке **Экспортировать отчет в** (в верхней части окна) можно выбрать формат, в котором нужно создать отчет (рис. 3.89).

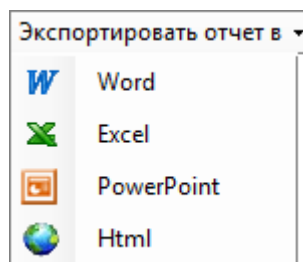


Рис. 3.89. Раскрывающийся список **Экспортировать отчет в**

Флажок **Оглавление** позволяет добавить содержание в начало отчета.

Флажок **Автоматически открыть отчет** позволяет открыть отчет сразу же после его генерирования.

Флажок **Свойства страницы** позволяет выбрать вариант оформления страницы.

Диалоговое окно **Формирование отчета** условно разделено на две части. Левая часть состоит из трех вкладок (**Изображения**, **Таблицы**, **Фрагменты**) и отображает перечень элементов, которые можно занести в отчет. Правая часть отображает структуру формируемого отчета. Для добавления нужного элемента в отчет выберите его щелчком мыши и нажмите кнопку **Добавить**. В результате этот элемент появится в правой части окна. Элементы можно добавлять в любом порядке.

Вкладка **Изображения** содержит все изображения, которые были сделаны с помощью команд **Изображение с экрана** или **Быстрое изображение с экрана**, а также сохраненные изображения таблиц результатов. Вид изображений на данной вкладке можно изменить с помощью команд **Список**, **Мелко**, **Крупно** контекстного меню, которое вызывается щелчком правой кнопки мыши в области вкладки.

Вкладка **Таблицы** отображает перечень таблиц, сформированных в **Таблицах результатов**.

Вкладка **Фрагменты** содержит данные, которые можно включить в отчет (это могут быть необходимые шаблоны, фрагменты, которые описывают правила знаков, перемещения и т.д.). Формат читаемых файлов: \*.docx, \*.txt.

Для отображения дополнительных файлов во вкладке **Фрагменты** нужно добавить их вручную в каталог, находящийся в корневой папке установки программы X:\...\Templates.

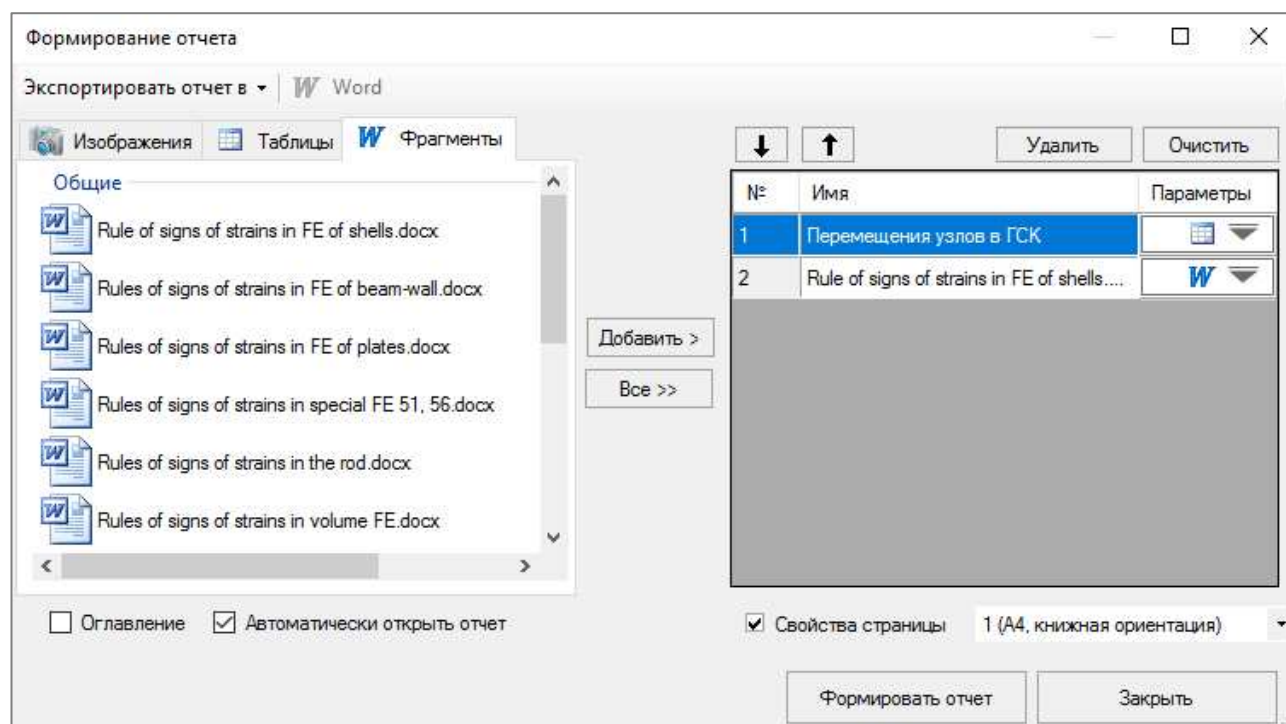







Рис. 3.90. Диалоговое окно **Формирование отчета**

В правой части диалогового окна формируется необходимая структура отчета. Все элементы, выбранные в левой части окна, отображаются здесь в виде таблицы.

При помощи кнопок  и  можно менять порядок расположения элементов в отчете.

Для удаления отдельных элементов отчета воспользуйтесь кнопкой **Удалить**. Для очистки всего списка — **Очистить**.

Для каждого добавленного элемента становится доступной кнопка, с помощью которой можно добавить к данному разделу **Заголовок**, **Примечание до** и **Примечание после** (рис. 3.91). Для таблиц это кнопка , для изображений — , для текстовых файлов —  (рис. 3.90).

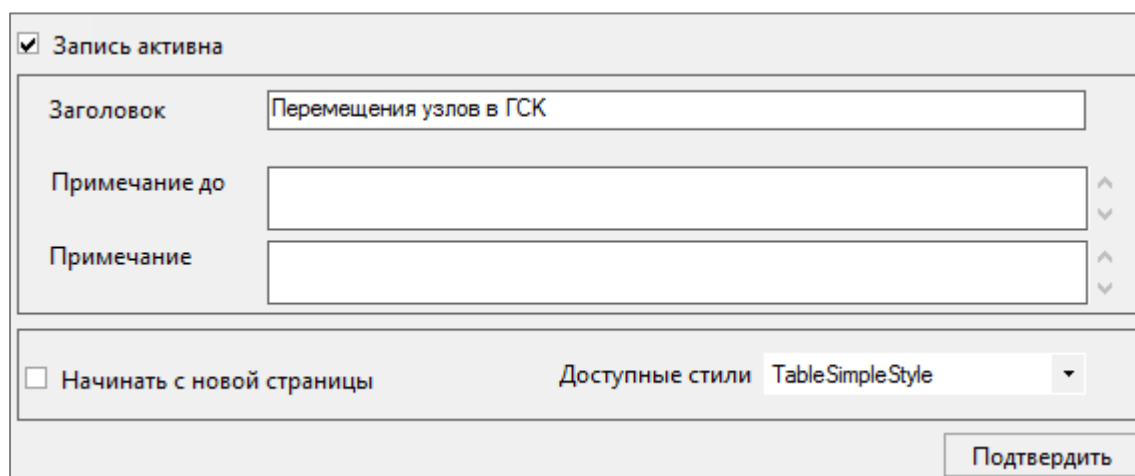


Рис. 3.91. Поля для ввода дополнительных параметров для элементов отчета

Здесь также можно выбрать такие параметры для отдельного элемента отчета:

- Флажок **Начинать с новой страницы**. При выборе этого пункта данный элемент отчета будет начинаться с новой страницы независимо от общих настроек отчета.
  - Если экспорт отчета будет произведен в Word, то в раскрывающемся списке **Допустимые стили** можно выбрать стиль, в котором будет представлен раздел в отчете.
- Если необходимо добавить данный файл в отчет, нужно установить флажок **Запись активна** и нажать кнопку **Подтвердить**.

Также есть возможность создания пользовательского стиля для оформления отчета. Все стили содержатся в файле **templateFile**, который находится в папке **Templates**. Ее можно найти в каталоге файлов шаблонов, если открыть настройки среды (рис. 3.92).

Путь: **Сервис** ⇒ **Настройки среды** ⇒ **Расположение** ⇒ **Каталог файлов шаблонов** ⇒ **Templates** ⇒ **templateFile**.

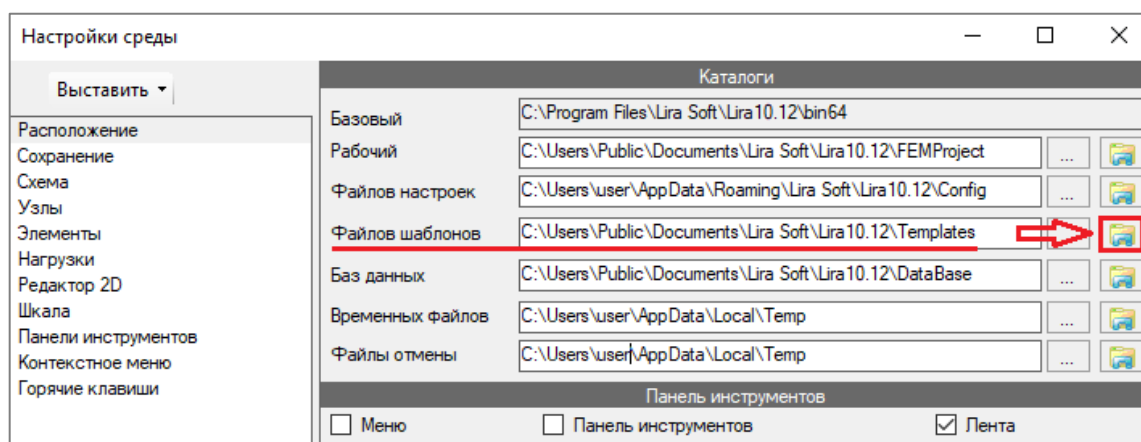


Рис. 3.92. Окно **Настройки среды**

Файл **templateFile** следует открыть в Word, после чего можно приступить к созданию стиля с необходимыми параметрами. Для этого в приложении Word на панели **Стили** нужно вызвать меню **Просмотр и настройка стилей** и выбрать в открывшемся окне команду **Создать стиль** (в зависимости от версии Word команда может быть другой).

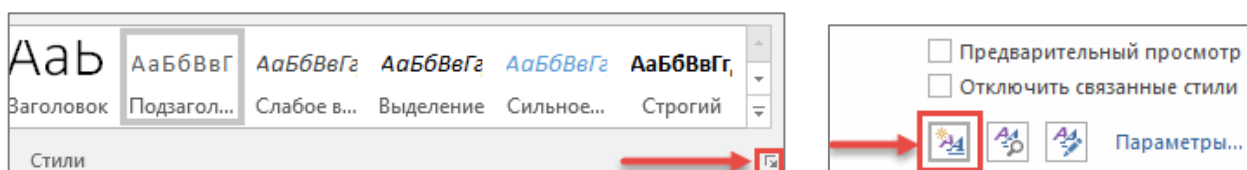


Рис. 3.93. Путь к команде **Создать стиль** в Word

В открывшемся окне **Создание стиля** необходимо указать подходящие параметры. Для корректного отображения названия стиля в параметрах формирования отчета при заполнении данного поля рекомендуется использовать латиницу. После выбора всех параметров нужно выбрать переключатель **В новых документах, использующих этот шаблон** и нажать кнопку **ОК**.

После сохранения изменений в файле **templateFile** стиль автоматически отобразится в параметрах формирования отчета в раскрывающемся списке **Доступные стили** и будет готов к использованию.

### 3.11 ПОСТРОЕНИЕ АЧХ

Если в задаче имеется гармоническое воздействие, то после выполнения расчета задачи становится доступен режим построения АЧХ.

Зависимость амплитудного значения перемещения по выбранной степени свободы от частоты возмущения  $\theta$  называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). АЧХ определяется расчетом на гармоническое воздействие при частотах возмущающей силы, меняющейся от нуля до заданной верхней границы с указанным шагом. При этом расположение нагрузки на конструкции и амплитудные значения возмущающих сил остаются неизменными.

АЧХ касается только установившейся фазы отклика конструкции.

Чтобы отобразить панель активного режима **Построение АЧХ**:

1. Выберите требуемое гармоническое воздействие в раскрывающемся списке загрузжений (в строке заголовка программы) (рис. 3.94).

2. Активизируйте команду **Спец. результаты**  $\Rightarrow$  **Построение АЧХ** (кнопка  на панели инструментов).

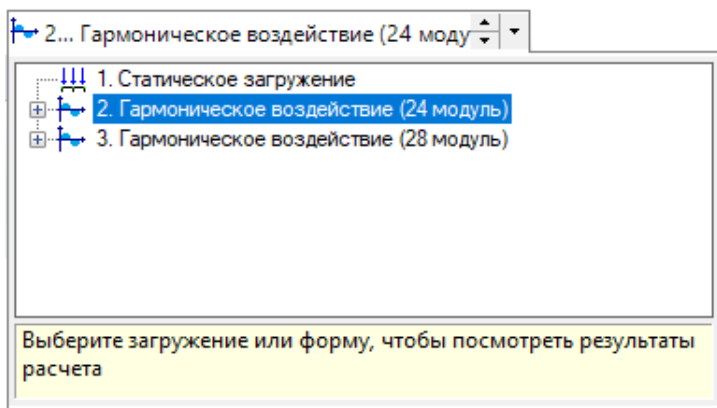


Рис. 3.94. Раскрывающийся список загрузжений

В появившемся окне (рис. 3.95) необходимо указать узлы, для которых будет построен график АЧХ, выделив их на схеме и нажав **Пополнить список узлов** или же **Заменить список узлов**, если необходимо изменить уже существующий. Далее нужно указать **Направление** при помощи переключателей (X, Y, Z, UX, UY, UZ).

Также необходимо выбрать критерий затухания (**Коэффициент неупругого сопротивления** либо **Параметр затухания**) и его значение, установив флажок напротив нужного значения. Если числовое значение критерия затухания не совпадает с предлагаемым перечнем, то его можно задать вручную: при установке флажка на значении **0** появляется возможность ввести произвольное число.

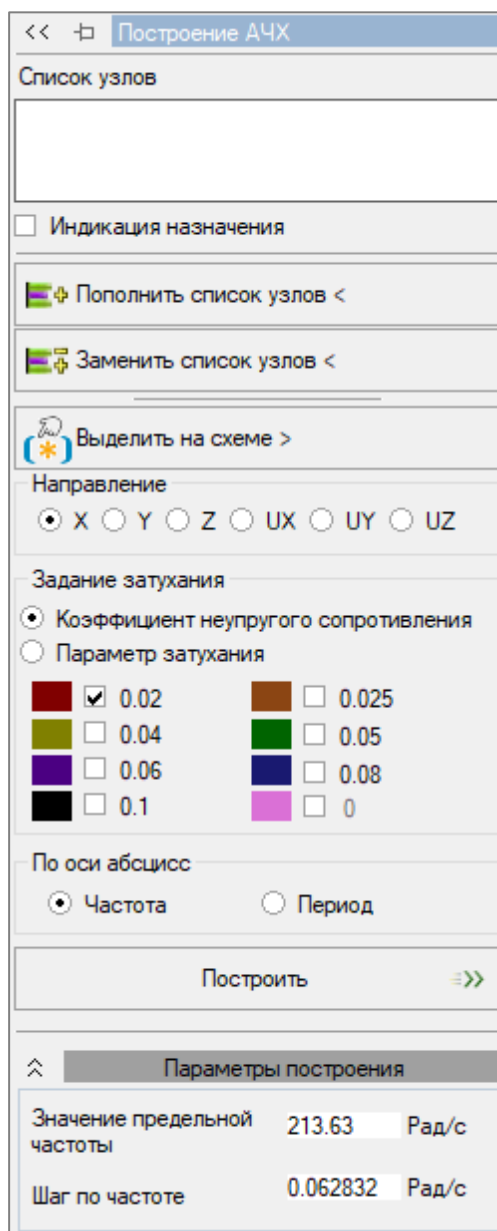




Рис. 3.95. Режим **Построение АЧХ**

Последним параметром является указание величины, которая будет отложена по оси абсцисс — **Частота** или **Период**.

При необходимости задания **Значения предельной частоты** и **Шага по частоте** следует воспользоваться вкладкой **Параметры построения**.

При нажатии кнопки **Построить** на экране появится окно с графиком АЧХ (рис. 3.96). Полученный график можно импортировать в MS Excel (кнопка ) или сохранить как изображение (кнопка ). Также с помощью двух ползунков прокрутки его можно масштабировать и перемещать.

Если выбрано несколько узлов, то АЧХ будет построена как среднее арифметическое по этим узлам. Как альтернатива, если требуется проанализировать только один узел, построение АЧХ выполняется при щелчке на этот узел на самой схеме.

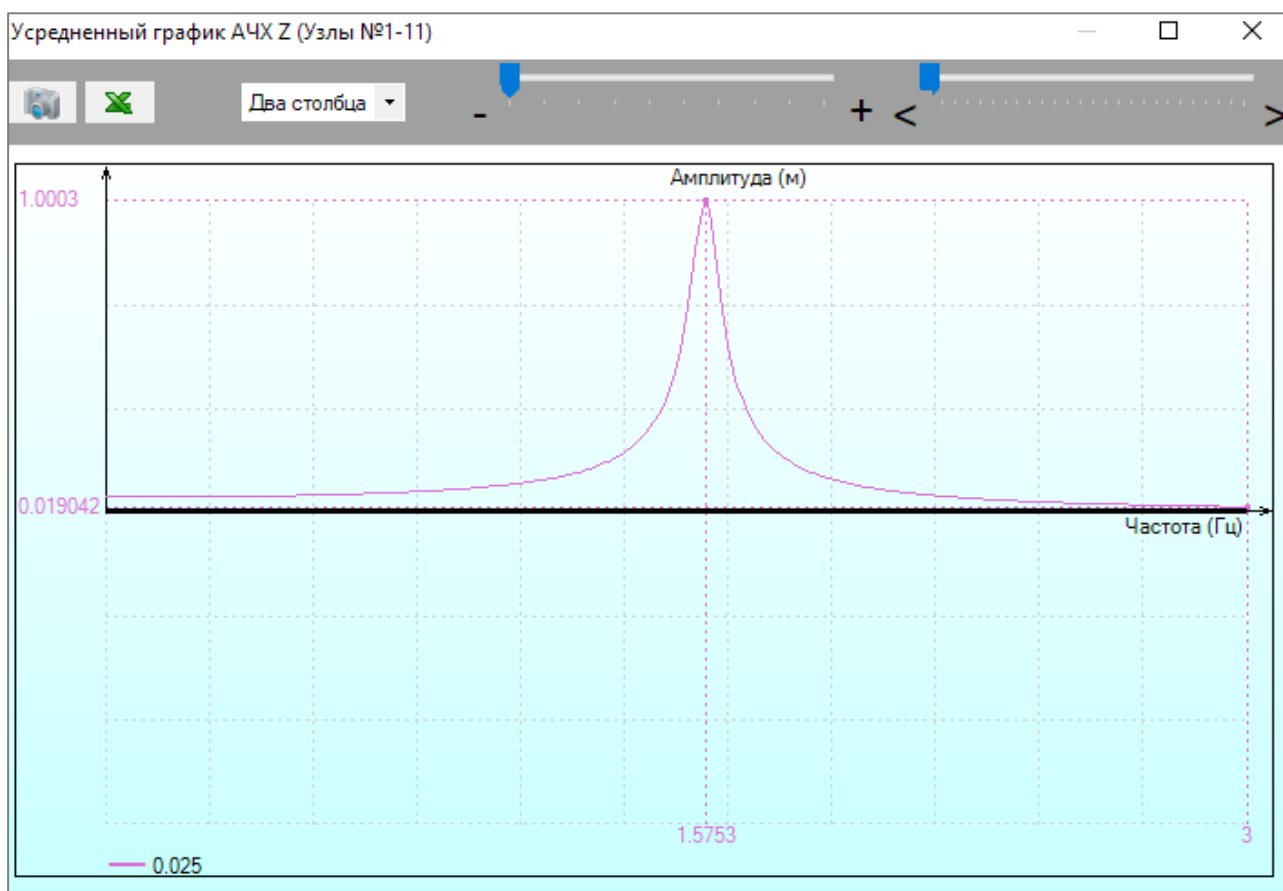


Рис. 3.96. Окно с графиком АЧХ

## ГЛАВА 4. ЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ

### 4.1 ЗАДАЧИ СТАТИКИ

Решение  $U$  линейной статической задачи при всех возможных перемещениях  $V$  удовлетворяет равенствам:

$$a_0(U, V) = q(V), \quad (4.1)$$

где  $a_0(U, V)$ ,  $q(V)$  — функционалы возможных работ внутренних и внешних сил, линейные по  $V$ , функционал  $a_0(U, V)$  линеен и по  $U$ , симметричен и положительно определен.

Во всех программных комплексах семейства ЛИРА 10 реализован метод конечных элементов (МКЭ) в форме перемещений — искомыми функциями являются перемещения. Этот вариант МКЭ наиболее легко поддается алгоритмизации и компьютерной реализации.

Основная концепция МКЭ заключается в непосредственной дискретизации рассчитываемой системы, которая расчленяется расчетной сеткой на конечные элементы. Для полученной дискретной модели вводится система кусочно-непрерывных функций  $\{\phi_l(x)\}$ , определенных на конечном числе подобластей — звездах конечных элементов (рис. 4.1), т.е.

$$\phi_l(x) = \begin{cases} \phi_{lj}(x) & x \in \Omega_j \\ 0 & x \notin \Omega_j \end{cases}.$$

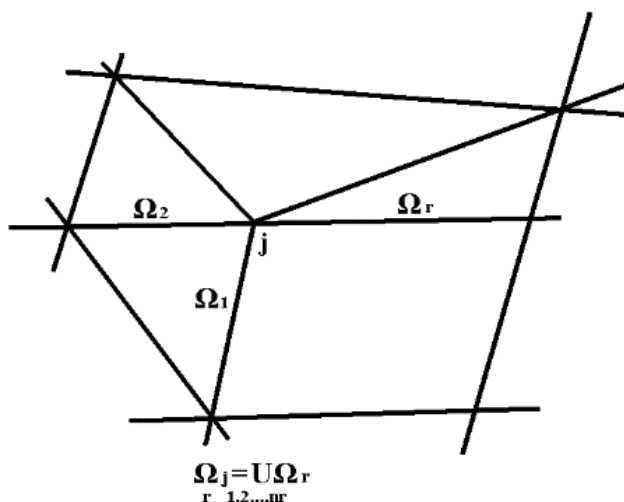


Рис. 4.1. Звезды конечных элементов

Искомая функция перемещений по области системы  $u(x)$ ,  $x \in \Omega$  приближенно принимается в виде:

$$u_h(x) = \sum_{l=1}^L q_l \phi_l(x), \quad (4.2)$$

где  $L$  — общее число узловых неизвестных, которое в общем случае не равно числу узлов, так как в каждом узле может быть различное число неизвестных. Узловым неизвестным  $q_l$  в МКЭ, как правило, придается физический смысл, это искомые значения перемещений и их производных в узлах расчетной сетки.

При подстановке (4.2) в (4.1) задача сводится к определению значений конечного числа неизвестных  $q_l$ . Более подробно МКЭ изложен в п. 18.9.

Базисные функции  $\{\phi_l(x)\}$  должны удовлетворять условиям сходимости МКЭ:

- Функции  $\{\phi_l(x)\}$  принадлежат энергетическому пространству. Это означает, что, наряду с удовлетворением главным граничным условиям, представление (4.2) обеспечивает существование по всей области  $\Omega$  тех перемещений и их производных, которые входят в функционал (4.1). Элементы, базисные функции которых удовлетворяют этому условию, называются совместными или конформными. В неконформном случае требуются дополнительные условия.

- Функции  $\phi_l$  линейно независимы. Это требование необходимо для разрешимости системы МКЭ.

- Система базисных функций  $\{\phi_l\}$  должна быть полной в энергетическом пространстве. Это означает, что функции (4.2) при неограниченном сгущении сетки аппроксимируют в энергетическом смысле любые возможные перемещения по области  $\Omega$  с любой заранее заданной степенью точности.

Выполнение этих требований позволяет получить оценку погрешности перемещений и напряжений, полученных на основе МКЭ [18.13]:

$$\|u - u_h\|_{L_2} \leq c_u h^t \quad (4.3)$$

$$\|\sigma - \sigma_h\|_{L_2} \leq c_\sigma h^\tau \quad (4.4)$$

где  $u, u_h, \sigma, \sigma_h$  — точные и приближенные значения перемещений и напряжений;

$L_2$  — континуальный аналог квадратичной невязки;

$c_u, c_\sigma$  — константы;

$h$  — максимальный размер конечного элемента;

$t, \tau$  — порядок сходимости МКЭ по перемещениям и напряжениям.

Все конечные элементы, включенные в БКЭ, теоретически обоснованы, для них получены оценки погрешности по перемещениям и по напряжениям  $t$  и  $\tau$ . Теоретически обоснована также возможность задания криволинейных стержней прямолинейными элементами и произвольных оболочек треугольными и прямоугольными (для цилиндрических оболочек) элементами плоской оболочки. Погрешность по напряжениям и перемещениям оценивается здесь величиной, пропорциональной  $h$ . В БКЭ включены только такие элементы, для которых математически доказана сходимость, то есть получены  $t$  и  $\tau$ . Значения этих параметров позволяют не только обрести уверенность в результатах решения той или иной задачи, но и оценить степень приближения полученного решения к точному.

Теоретические основы МКЭ подробно описаны в [18.13].

### Решение системы канонических уравнений

После того как заданная конструкция представлена в виде конечно-элементной схемы, задача об определении перемещений узлов сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений вида:

$$AX=B \quad (4.5)$$

где  $A$  — симметричная положительно определенная матрица размером  $N \times N$ ;

$B$  — матрица правых частей (загружений) размером  $N \times k$  ( $k$  — количество загружений);

$X$  — искомая матрица перемещений размером  $k \times N$ .

Для решения системы (4.5) предварительно производится треугольное разложение матрицы  $A$  методом Гаусса. Поскольку в большинстве случаев матрица  $A$  является

разреженной, то для уменьшения требуемой оперативной памяти, внешней памяти и времени счета предварительно производится упорядочение неизвестных системы (4.5) с целью минимизации количества вычислений при разложении. Реализованы следующие методы упорядочения: алгоритм минимальной степени и многоуровневый алгоритм декомпозиции. Пользователю предоставлена возможность выбора метода упорядочения. По умолчанию выполняется упорядочивания обеими методами с выбором лучшего. Конкретные рекомендации для выбора метода упорядочения не могут быть даны, так как эффективность того или иного алгоритма существенно зависит от структуры конкретной матрицы  $A$ . Методы снижения влияния плохой обусловленности матрицы обсуждаются в работе [18.13]. Если в процессе треугольного разложения матрицы  $A$  выясняется, что она вырождена, то производится автоматическое наложение связей, которые обеспечивают геометрическую неизменяемость. При этом пользователю предоставляется информация о номерах узлов и номерах степеней свободы, по которым произведено наложение связей. В этом случае рекомендуется внимательно проанализировать расчетную схему и выяснить происхождение геометрической изменяемости конструкции.

Дополнительным сервисным средством является контроль решения системы (4.5). При появлении сообщения о большой величине ошибки решения, которое, как правило, является следствием плохой обусловленности матрицы  $A$ , следует внимательно проанализировать результат и убедиться, что полученное решение приемлемо с инженерной точки зрения.

## 4.2 ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ

Задача динамического расчета формулируется, как и в статическом случае, в виде вариационного равенства:

$$b\left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, v\right) + c\left(\frac{\partial u}{\partial t}, v\right) + a(u, v) = (f(t), v), \quad t > 0, \\ u(0) = u_0, \partial u / \partial t(0) = u_1, \quad (4.6)$$

где  $u_i = u(t)$  — точное решение;

$b(u, v), c(u, v)$  — возможные работы инерционных и демпфирующих сил;

$u_0, u_1$  — начальные значения перемещения и скорости;

остальные обозначения те же, что и в статической задаче.

Реализован метод решения динамической задачи, заключающийся в сочетании МКЭ с разложением по формам собственных колебаний.

Решение системы уравнений (4.6) ищем в виде:

$$u_h = \sum_{i=1}^N u_i(t) \mu_i, \quad (4.7)$$

где  $u_i = u(t)$  — скалярные функции;

$\mu_i$  — базисные функции соответствующей статической задачи.



Подставив в (4.6) формулу (4.7) и  $\mu_j$  ( $j=1,\dots,N$ ) вместо  $v$ , получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C \frac{dx(t)}{dt} + Kx(t) = P(t), \quad (4.8)$$

где  $x(t)$ ,  $x_0$ ,  $x_1$  — векторы с элементами  $X_1(t)=u_i(t)$ ,  $X_1(0) = L_i U_0$ ,  $X_1(1)=L_i U_1$ ,  
 $M$  и  $C$  — матрицы масс и демпфирования с элементами  $m_{i,j}=b(\mu_i, \mu_j)$ ,  $c_{i,j} = c(\mu_i, \mu_j)$ .

Кроме диагональной матрицы масс может использоваться и согласованная матрица масс, элементы которой вычисляются на основании базисных функции МКЭ.

Матрица жесткости  $K$  и вектор нагрузок  $P(t)$  определяются, как для статической задачи. Этот метод известен как полудискретная аппроксимация. Его погрешность (разность между  $U$  и  $U_h$ ) по потенциальной и кинетической энергии оценивается как в совместном, так и в несовместном случаях величиной, пропорциональной  $h$ .

Систему (4.8) решаем методом разложения по формам собственных колебаний. Пусть  $\lambda_i, \phi_i$ , решение задачи на собственные значения:

$$K \phi = \lambda M \phi \quad (4.9)$$

Задача на собственные значения (4.9) решается методом итерации подпространств.

Полагая в (4.8)  $x(t) = \sum_{i=0}^N y_i(t) \phi_i$ , из ортогональности функций  $\phi_i$  получим (при определенных предположениях относительно матрицы  $C$ ), что система (4.8) распадается на независимые уравнения относительно  $y_i(t)$ :

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} y_i(t) + 2\xi_i \omega_i \frac{d}{dt} y_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) &= P_i(t), \quad t > 0, \\ y_i(0) = y_i^0, \quad \frac{dy_i}{dt}(0) &= y_i^1 \end{aligned} \quad (4.10)$$

где  $\omega = \lambda_i^{-0.5}$ ,  $0 < \xi_i < 1$ ,  $P_i(t) = \langle P(t), \phi_i \rangle$ ,  $y_i^0 = \langle x^0, M \phi_i \rangle$ ,  
 $y_i^1 = \langle x^1, M \phi_i \rangle$

Решение уравнения (4.10) имеет вид:

$$y_i = e^{-\xi_i \omega_i t} \left( \frac{y_i^1 + y_i^0 \xi_i \omega_i}{\omega_i} \sin \varpi_i t + y_i^0 \cos \varpi_i t \right) + \frac{1}{\varpi_i} \int_0^t P_i(\tau) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \varpi_i (t-\tau) d\tau,$$

где  $\varpi_i = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$

Векторы инерционных сил  $S_i(t)$  вычисляются по формуле:  $S_i(t) = \omega_i^2 y_i(t) M \phi_i$ .

В расчетах используются величины, выражаемые формулой:  $S_{i,0} = \max_t \{ \omega_i^2 y_i(t) \}$ .

При этом:

1. Для ветровой нагрузки:

$$S_{i,0} = w_H \gamma_i,$$

где  $w_H$  — нормативное значение ветровой нагрузки;

$\gamma_i$  — коэффициент динамичности, зависящий от  $\omega_i$ ,  $\xi_i$  и скорости ветра.

2. Для сейсмической нагрузки:

$$S_{i,0} = A \beta_i,$$

где  $A$  — относительная величина ускорения;

$\beta_i$  — коэффициент динамичности, зависящий от  $\omega_i$  и  $\xi_i$ .

3. Для импульсной и ударной нагрузок ( $t_0 \leq 2.5 \frac{2\pi}{\omega_i}$ ):

$$S_{i,0} = \varepsilon_i \bar{P}_i \psi,$$

где  $\varepsilon_i$ , зависит от  $t_0$ ,  $\omega_i$ ;

$t_0$  — время действия импульса;

$\psi$  — учитывает периодичность действия нагрузки;

$$\bar{P}_i = \begin{cases} \int_0^{t_0} P_i(\tau) d\tau & \text{— для импульса,} \\ M_0 v_0 (1 + \nu) & \text{— для удара;} \end{cases}$$

где  $M_0, v_0$  — масса и скорость ударяющего тела;

$\nu$  — коэффициент восстановления формы соударяющихся тел.

Коэффициент  $\psi$  зависит от того, являются ли колебания установившимися

( $n > \frac{\pi}{4\xi_1}$ ) или неустановившимися ( $n < \frac{\pi}{4\xi_1}$ ), где  $n$  — число повторений импульсов.

4. Для гармонической нагрузки  $P_{i,1} \cos \theta t + P_{i,2} \sin \theta t$  вычисляются суммарные по всем формам инерционные силы  $S_1$  и  $S_2$ , соответствующие косинусоидальной (действительной) и синусоидальной (мнимой) составляющим:

$$S_1 = \sum_i a_i M \phi_i, \quad S_2 = \sum_i b_i M \phi_i,$$

$$\text{где } a_i = \frac{P_{i,1} \chi_i - P_{i,2} \xi_i \alpha_i}{\chi_i^2 + \alpha_i^2 \xi_i^2}, \quad b_i = \frac{P_{i,2} \chi_i + P_{i,1} \xi_i \alpha_i}{\chi_i^2 + \alpha_i^2 \xi_i^2}, \quad \alpha_i = \frac{\theta}{\omega_i}, \quad \chi_i = 1 - \alpha_i^2.$$

$$\text{Тогда } \max \sum_i S_i(t) = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}.$$

В перечисленных выше вариантах воздействий возможно точное вычисление  $Y_1(t)$ . В остальных случаях решения  $Y_1(t)$  находим численно.

В частности, при расчете на сейсмическую нагрузку по акселерограмме в каждый момент времени  $t_k$  задается вектор  $P_k = P(t_k)$ . Тогда в (4.10) имеем  $P_{i,k} = P_i(t_k)$ . Далее уравнения (4.10) решаются методом конечных разностей по схеме Ньюмарка. Получаем значения перемещений  $Y_{1,k} = Y_1(t_k)$  и инерционных сил  $S_{i,k} = S_i(t_k)$ , по которым вычисляется:

$$S_{i,0} = k \{ \max \{ \omega_i^2 y_i(t_k) \} \}$$

При расчетах на сейсмические воздействия ПК ЛИРА 10 позволяет применить метод спектра ответов. Расчет заключается в том, чтобы при заданной функции  $S_0(\omega)$ , обычно кусочно-линейной, вычислить линейной интерполяцией значения  $S_0(\omega_i)$ . Функция  $S_0(\omega)$  может быть представлена графиками спектров ускорений, скоростей или перемещений.

Реализованы следующие модули расчета на динамические воздействия:

- (27) Сейсмическое воздействие по однокомпонентной акселерограмме;
- (29) Сейсмическое воздействия по трехкомпонентной акселерограмме;
- (30) Сейсмическое воздействия по СНиП II-7-81\* издания 01.01.1996 г. (Российская Федерация);
- (31) Сейсмическое воздействие по СП 31-114-2004 (Российская Федерация);
- (32) Сейсмическое воздействие по СНРА II-6.02-2006 (Республика Армения);

- (33) Сейсмическое воздействие по КМК 2.01.03-96 с учетом изменений от 01.04.2004 (Узбекистан);
  - (34) Сейсмическое воздействие по МГСН 4.19-05 (ГСН г. Москва);
  - (35) Сейсмическое воздействие по СНиП II-7-81 \* издания 01.01.2000 г. (Российская Федерация);
  - (36) Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2014 с изменениями от 01.05.2019 (Украина);
  - (37) Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2014 с изменениями от 01.05.2019, прил. Е (Украина);
  - (38) Сейсмическое воздействие по СНиП II-7-81\* издания 01.01.2000г. с учетом кручения (Российская Федерация);
  - (39) Сейсмическое воздействие по TGN 2.01.08-99 (Туркменистан);
  - (41) Сейсмическое воздействие по спектру реакции одномассового осциллятора;
  - (42) Сейсмическое воздействие по IBC-2012: ASCE 7-10 (США);
  - (43) Сейсмическое воздействие по СНиП РК 2.03-30-2006 (Казахстан);
  - (44) Сейсмическое воздействие по EN 1998-1:2004 (Eurocode 8);
  - (45) Сейсмическое воздействие по RPA 99 / Version 2003 (Алжир);
  - (46) Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2014 с изменениями от 01.05.2019, прил. И (Украина);
  - (47) Сейсмическое воздействие по НП-031-01 (Российская Федерация);
  - (48) Сейсмическое воздействие по ГНиП РТ 22-07-2015 (Таджикистан);
  - (49) Сейсмическое воздействие по ДБН В.2.2-24:2009 (Украина);
  - (50) Сейсмическое воздействие по AzDTN 2.3-1-2010 (Азербайджан) с изменениями от 01.01.2014г.;
  - (51) Сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2014 (Российская Федерация);
  - (52) Сейсмическое воздействие по Turkish Earthquake Code 2007 (Турция);
  - (53) Сейсмическое воздействие по PN 01.01-09 (Грузия);
  - (54) Сейсмическое воздействие по IS 1893 (Part 1):2002 [2007] (Индия);
  - (55) Сейсмическое воздействие по СТО НИУ МГСУ 2015 (Российская Федерация);
  - (56) Сейсмическое воздействие по SI 413 Am.5 от 12.2013 (Израиль);
  - (57) Сейсмическое воздействие по IRANIAN CODE, Standard No.2800, 3<sup>rd</sup> Edition, 2007 (Иран);
  - (58) Сейсмическое воздействие по СНиП КР 20-02:2009 (Кыргызская Республика);
  - (59) Сейсмическое воздействие по СП РК 2.03-30-2017 (Казахстан);
  - (60) Сейсмическое воздействие по графикам коэффициента динамичности;
  - (61) Сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2018 (Российская Федерация);
  - (62) Сейсмическое воздействие по СП 268.1325800.2016 (Российская Федерация);
  - (63) Сейсмическое воздействие по СП 267.1325800.2016 (Российская Федерация);
  - (64) Сейсмическое воздействие по СН КР 20-02:2018 (Кыргызская Республика);
  - (65) Сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2018 с изменением №1 (Российская Федерация);
  - (21) Пульсационная составляющая ветрового воздействия по СНиП 2.01.07-85\*;
  - (25) Пульсационная составляющая ветрового воздействия по СП 20.13330.2011 (СП 20.13330.2016);

- (22) Импульсное воздействие;
- (23) Ударное воздействие;
- (24) Гармоническое воздействие;
- (28) Гармоническое воздействие с учетом частотных зон;
- (100) Модальный анализ.

Для задач с гармоническим воздействием имеется возможность получения в результатах расчета амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) по компонентам перемещений в узлах (см. п. 3.11). АЧХ — это зависимость амплитудной компоненты получаемого результата (в данном случае перемещений) от частоты возмущения.

#### 4.2.1 Конденсация масс

Для конструкций с сильно отличающимися жесткостными характеристиками (металлические надстройки над ж/б зданиями, довольно податливые перекрытия и т.д.) реализован механизм конденсации масс. При конденсации масс указываются элементы, с которых необходимо собрать массу, и узлы, в которые собранную массу необходимо распределить. Конденсация масс позволяет избавиться от форм собственных колебаний с близким к нулю процентом вклада в реакцию сооружения.

#### 4.2.2 Спектр реакции

При необходимости выполнить сейсмический расчет установленного в здании оборудования используются так называемые поэтажные акселерограммы и поэтажные спектры отклика. После расчета здания или сооружения на сейсмическое воздействие для точек прикрепления оборудования получают законы колебаний — обычно акселерограммы. Их можно непосредственно использовать для расчета оборудования методом прямого интегрирования или по модулям расчета на акселерограммы землетрясений. Если же необходим расчет по спектральной теории сейсмостойкости, то вычисляют поэтажные спектры отклика от поэтажных акселерограмм с дальнейшей возможностью использования полученных спектров отклика в 41 модуле динамики. Поэтажные спектры отклика строятся для 27 и 29 модулей динамики и для прямого интегрирования уравнений движения.

### 4.3 Задачи устойчивости

Задачи устойчивости тесно связаны с геометрически нелинейными задачами. При применении шагового метода устойчивость конструкции обозначает положительную определенность матрицы линеаризованной системы уравнений. Условием положительной определенности симметричной матрицы, согласно критерию Сильвестра, является положительность всех ее главных миноров, что проверяется в ходе исключения неизвестных методом Гаусса. Такой подход позволяет исследовать устойчивость и при одновременном учете геометрической и физической нелинейностей. Изложенный метод исследования устойчивости называют устойчивостью деформированной схемы.

Для многих задач достаточно исследовать устойчивость недеформированной схемы. В ПК ЛИРА 10 имеется возможность оценки устойчивости конструкции в предположении ее упругой работы. Основной задачей расчета на устойчивость является определение значения критического параметра потери устойчивости конструкции —  $\lambda$  (физический смысл критического параметра потери устойчивости состоит в том, что если увеличить нагрузки, действующие на конструкцию, в  $\lambda$  раз, то система потеряет устойчивость).

Реализованный в ПК ЛИРА 10 вариант оценки устойчивости конструкции предполагает, что распределение внутренних усилий/напряжений  $\sigma_0$  известно из решения линейной статической задачи и все приложенные к системе внешние силы  $F_0$  (а следовательно, и внутренние усилия/напряжения) растут пропорционально одному и тому же параметру  $\lambda$ . Требуется определить такое значение числового параметра  $\lambda$ , чтобы при внешних силах ( $\lambda \cdot F_0$ ) произошла потеря устойчивости.

Задача определения критических сил и соответствующих им форм потери устойчивости допускает следующую вариационную формулировку. Найти перемещения  $u \neq 0$  и число  $\lambda$  такие, чтобы при всех допустимых перемещениях  $v$  было справедливо равенство:

$$a(u, v) = \lambda \cdot d(u, v), \quad (4.11)$$

где  $d(u, v)$  — возможная работа усилий/напряжений при заданном их распределении  $\sigma_0$ .

Возможная работа  $d(u, v)$  может учитывать не только усилия растяжения-сжатия, но и остальные компоненты напряженно-деформированного состояния (моменты, перерезывающие силы) [4.2].

Обозначив  $D$  матрицу с элементами  $d_{i,j} = d(\mu_i, \mu_j)$ , получим из (4.11) задачу на собственные значения для пучка матриц:

$$KX = \lambda DX, \quad (4.12)$$

где  $K$  — матрица жесткости расчетной схемы;

$X$  — собственные вектора (в данном случае формы потери устойчивости).

Погрешность МКЭ в задаче устойчивости для критических сил и соответствующих им форм потери устойчивости пропорциональна  $h^r$ .

Для решения задачи (4.10) применяется, как и при вычислении частот и форм собственных колебаний в задачах динамики, метод итерации подпространств (QR-метод), что позволяет определить не только первую, но и высшие формы потери устойчивости и соответствующие им критические нагрузки. В данной версии допускается не более десяти форм.

По желанию пользователя могут быть выполнены два варианта расчета:

- классический расчет устойчивости по Эйлеру, когда при составлении матрицы  $D$  учитываются только продольные усилия в стержнях и мембранные усилия в оболочках;
- расчет устойчивости с учетом изгибно-крутильных форм, когда при составлении матрицы  $D$  учитываются все усилия.

Расчет реализуется в упругой стадии. Значения усилий в элементах схемы уже вычислены с помощью линейного процессора. При выполнении расчета на устойчивость предполагается, что эти значения выражены через критический параметр нагрузки:

$$P_{кр,i} = \lambda_i \cdot P_i, N_{кр,ij} = \lambda_i \cdot N_{ij}, \quad (4.13)$$

где  $i$  — номер нагружения;

$j$  — номер элемента в схеме;

$P_i$  — суммарная нагрузка в  $i$ -м нагружении;

$P_{кр,i}$  — критическая нагрузка в  $i$ -м нагружении;

$N_{ij}$  — усилия в  $j$ -м элементе в  $i$ -м нагружении;

$N_{кр,ij}$  — критические усилия в  $j$ -м элементе в  $i$ -м нагружении;

$\lambda_i$  — параметр нагрузки (коэффициент запаса устойчивости).

В процессе расчета для каждого нагружения определяются первые несколько форм потери устойчивости и соответствующие им коэффициенты запаса устойчивости. В ПК ЛИРА 10 анализ устойчивости можно выполнить для:

- статического нагружения;
- расчетного сочетания нагрузок (без вхождения динамических нагружений);
- стадии возведения сооружения.

В результате вычисляются коэффициенты запаса устойчивости  $\lambda_i$ , первые формы потери устойчивости и коэффициенты свободной длины для стержневых элементов, исходя из общей устойчивости, по следующим формулам:

$$\mu_{y,ij} = \frac{\pi}{l_j} \cdot \sqrt{\frac{EJ_{y,j}}{N_{кр,ij}}}, \quad \mu_{z,ij} = \frac{\pi}{l_j} \cdot \sqrt{\frac{EJ_{z,j}}{N_{кр,ij}}}, \quad (4.14)$$

где  $\mu_{y,ij}$ ,  $\mu_{z,ij}$  — коэффициенты свободной длины  $j$ -го стержня соответственно в плоскостях  $X1oZ1$ ,  $X1oY1$  для  $i$ -го нагружения;

$EJ_{y,j}$ ,  $EJ_{z,j}$  — изгибные жесткости  $j$ -го стержня в плоскостях соответственно  $X1oZ1$ ,  $X1oY1$ ;

$N_{кр,ij} = \lambda_i \cdot N_{ij}$  — критическое продольное усилие сжатия в  $j$ -м стержне для  $i$ -го нагружения;

$\lambda_i$  — коэффициент запаса устойчивости для  $i$ -го нагружения;

$l_j$  — длина  $j$ -го стержня.

#### 4.4 УЧЕТ ДЕПЛАНАЦИИ ДЛЯ 7-ГО ТИПА СТЕРЖНЯ

При решении задач с деформацией необходимо выбрать 7-й признак схемы в параметрах проекта. В этом случае становится возможным назначать стержням 7-й тип. Для таких элементов или их узлов становится доступным назначение шарниров, согласование сетей, объединение перемещений, деформации, нагрузок в виде бимоментов (см. Главу 2). Теоретические основы учета деформации при решении задачи методом конечных элементов приведены в главе 18.

При решении задач с учетом деформации стержней для определения напряжений во всех точках сечения необходимо знать составляющие момента чистого (свободного) кручения  $M_{xt}$ , иногда называемого крутящим моментом Сен-Венана, и момента стесненного кручения (изгибно-крутильного момента)  $M_{xw}$ . Это компоненты, на которые можно разложить полный внешний момент кручения  $M_x = M_{xt} + M_{xw}$ . Момент стесненного кручения и момент чистого кручения в аналитическом виде находятся из зависимостей:

$$M_{xw} = -\frac{d^3\theta}{dx^3} \cdot EJ_w \quad (4.15)$$

$$M_{xt} = GJ_x \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (4.16)$$

где  $\theta(x)$  — угол поворота сечения в своей плоскости;

$EJ_w$  — секториальная жесткость сечения;

$GJ_x$  — жесткость сечения на кручение;

$x$  — ось, направленная вдоль стержня.

Начиная с версии ПК ЛИРА 10.12, появилась возможность получать эпюры этих составляющих кручения ( $M_{xt}$  и  $M_{xw}$ ) для стержней с учетом деформации (тип КЭ 7). Соответствующие эпюры, или мозаики, можно отобразить в результатах для стержней.

#### 4.5 РЕДАКТИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ ЖЕСТКОСТИ ДЛЯ ПЛАСТИН И СТЕРЖНЕЙ

При решении задач методом конечных элементов в стержнях формируется матрица жесткости, которая в общем случае состоит из:

- Продольная составляющая:

$$K_{EF} = \int_A E(y, z) dydz,$$

где  $A$  — полная область поперечного сечения стержня;

$E(y, z)$  — модуль упругости элементарной площадки в точке  $(y, z)$ .

Характеризует продольные деформации от продольных сил.

- Изгибная составляющая вокруг оси  $Y$ :

$$K_{EIy} = \int_A E(y, z) \cdot (z - z_c)^2 dydz,$$

где  $A$  — полная область поперечного сечения стержня;

$E(y, z)$  — модуль упругости элементарной площадки в точке  $(y, z)$ ;

$z_c$  — координата центра жесткости сечения по оси  $Z$ .

Характеризует деформацию от крутящего момента вокруг локальной оси  $Y$ .

- Изгибная составляющая вокруг оси  $Z$ :

$$K_{EIz} = \int_A E(y, z) \cdot (y - y_c)^2 dydz,$$

где  $A$  — полная область поперечного сечения стержня;

$E(y, z)$  — модуль упругости элементарной площадки в точке  $(y, z)$ ;

$y_c$  — координата центра жесткости сечения по оси  $Y$ .

Характеризирует деформацию от крутящего момента вокруг локальной оси  $Z$ .

- Сдвиговая составляющая  $K_{GAy}$  — зависит от распределения сдвиговой площади вдоль местной оси стержня  $Y$  и модуля упругости, определяет сдвиговую деформацию стержня от сдвигового усилия  $Q_y$ .

- Сдвиговая составляющая  $K_{GAz}$  — зависит от распределения сдвиговой площади вдоль местной оси стержня  $Z$  и модуля упругости, определяет сдвиговую деформацию стержня от сдвигового усилия  $Q_z$ .

- Крутящая составляющая  $K_{EIx}$  — определяет деформацию кручения стержня от крутящего момента  $M_x$  (для стержня 7-го типа от  $M_{xt}$ ).

- Деplanationная составляющая  $K_{EIw}$  — определяет деplanation стержня от бимомента  $M_w$  (для стержня 7-го типа).

В ПК ЛИРА 10.12 почти для всех стержневых линейных сечений имеется возможность назначения коэффициентов редуцирования матрицы жесткости в **Редакторе сечений** (см. п. 2.13). В расчете будет использована начальная матрица стержня, умноженная на введенный к ее компонентам коэффициент.

Для изотропной пластины толщиной  $h$  матрица жесткости в общем случае состоит из мембранной, изгибной и сдвиговой составляющих.

#### Мембранная матрица для пластин:

$$\begin{bmatrix} D_{xxxx} & D_{xxuu} & 0 \\ \text{symm.} & D_{yyuu} & 0 \\ \text{symm.} & \text{symm.} & D_{xuhu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h & h & 0 \\ \text{symm.} & h & 0 \\ \text{symm.} & \text{symm.} & h \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

где  $D_{xxxx}$  — характеризует свойство пластины деформироваться в направлении действия усилия  $N_x$  от приложенного усилия  $N_x$ ;

$D_{yyuu}$  — характеризует свойство пластины деформироваться в направлении действия усилия  $N_y$  от приложенного усилия  $N_y$ ;

$D_{xxuu}$  — характеризует свойство пластины деформироваться в направлении действия усилия  $N_x$  от приложенного усилия  $N_y$  и в направлении действия усилия  $N_y$  от приложенного усилия  $N_x$  (деформация, что вызвана наличием ненулевого коэффициента Пуассона);

$D_{xuhu}$  — характеризует сдвиговую деформацию пластины от усилия  $T_{xu}$ .



**Изгибная матрица для пластин:**

$$\begin{bmatrix} K_{xxxx} & K_{xxyy} & 0 \\ \text{symm.} & K_{yyyy} & 0 \\ \text{symm.} & \text{symm.} & K_{xyxy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{h^3}{12} & \frac{h^3}{12} & 0 \\ \text{symm.} & \frac{h^3}{12} & 0 \\ \text{symm.} & \text{symm.} & \frac{h^3}{12} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

где  $K_{xxxx}$  — характеризует свойство пластины деформироваться в направлении действия усилия  $M_x$  (вокруг местной оси элемента  $Y$ ) от приложенного усилия  $M_x$ ;

$K_{yyyy}$  — характеризует свойство пластины деформироваться в направлении действия усилия  $M_y$  (вокруг местной оси элемента  $X$ ) от приложенного усилия  $M_y$ ;

$K_{xxyy}$  — характеризует свойство пластины деформироваться в направлении действия усилия  $M_x$  от приложенного усилия  $M_y$  и в направлении действия усилия  $M_y$  от приложенного усилия  $M_x$  (деформация, что вызвана наличием ненулевого коэффициента Пуассона);

$K_{xyxy}$  — характеризует деформацию «скручивания» пластины от усилия  $M_{xy}$ .

**Сдвиговая матрица для пластин:**

$$\begin{bmatrix} H_{xzxz} & 0 \\ 0 & H_{yzyz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{5h}{6} & 0 \\ 0 & \frac{5h}{6} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

где  $H_{xzxz}$  — характеризует сдвиг пластины в плоскости  $XOZ$  местной системы выравнивания напряжений элемента от приложения сдвигающих сил  $Q_x$ ;

$H_{yzyz}$  — характеризует сдвиг пластины в плоскости  $YOZ$  местной системы выравнивания напряжений элемента от приложения сдвигающих сил  $Q_y$ .

В ПК ЛИРА 10.12 для линейных пластин имеется возможность назначения коэффициентов редуцирования матрицы жесткости в **Редакторе сечений** (см. п. 2.13). В расчете при этом будет использована начальная матрица пластины, умноженная на введенный к ее компонентам коэффициент.

**ГЛАВА 5. СИСТЕМА ГРУНТ****Общие положения**

**Редактор грунта** предназначен для автоматизированного создания модели грунта и расчета параметров упругого основания: для фундаментных плит это коэффициенты постели  $C1$ ,  $C2$  и расчетное сопротивление; для свай это расчет жесткостей, несущей способности на сжатие и на выдергивание.

В одной расчетной модели может быть задан или плитный фундамент, или свайный. Совмещение этих фундаментов не реализовано.

При разработке **Редактора грунта** учитывались требования следующих нормативных документов:

- СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений.
- СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
- СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.
- СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.
- СП 24.13330.2011 (Изм.№1,2,3) Свайный фундамент.
- ДБН В.2.1-10:2009. Основания и фундаменты сооружений.
- ДБН В.2.1-10:2009 (Изм.№1 для свай).
- СН РК EN 1997-1: 2004/2011 (НТП РК 07-01.4-2012). Геотехническое проектирование.
- EN 1997-1:2004. Еврокод 7. Грунты.

**Редактор грунта** и редактор формирования расчетной модели взаимосвязаны. В редакторе формирования расчетной модели создается конечно-элементная модель фундамента с нагрузкой  $Pz$  на уровне подошвы фундамента (см. п. 2.11.9). Нагрузка, приложенная на каждый элемент, моделирующий фундаментную плиту, передается в **Редактор грунта**. Типы элементов, на которые может назначаться  $Pz$ , могут быть либо стержневыми, либо пластинчатыми (для фундаментных плит), или одноузловыми и архитектурными (для свай). Чтобы одноузловой элемент стал сваей, ему, кроме  $Pz$ , нужно назначить сечение-сваю.

Одноузловые элементы-сваи и архитектурные сваи можно объединять в группы, такие как **Свайный куст** или **Условный фундамент**. А пластинчатые элементы в группу **Плитный фундамент** (см. п. 2.11.14.)

В **Редакторе грунта** задается информация, относящаяся к инженерно-геологическим условиям строительной площадки: свойства грунтов основания, расположение скважин, нагрузки от соседних фундаментов. Задаются параметры и нормативны расчета. Результаты работы **Редактора грунта** автоматически переносятся в редактор формирования расчетной модели (см. п. 5.2.8). После выполнения расчета пользователь имеет возможность пересчитывать значения коэффициентов постели  $C1$  и  $C2$  для плит или жесткостей для свай на фактическую нагрузку (см. п. 5.4).

Средством контроля заданных параметров являются геологические **Разрезы**, построенные в любом месте площадки строительства (см. п. 5.2.3).

Расчет коэффициентов постели производится на основании модели линейно упругого полупространства, которая применяется при вычислении осадок основания, а также моделей основания, предложенных Винклером-Фуссом и Пастернаком [5.3].

Результаты расчета могут быть представлены как в графическом, так и в табличном виде.

## 5.1 НАЗНАЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТОВ

Чтобы элемент расчетной схемы стал фундаментной плитой, ему нужно:

- Назначить упругое основание (см. п. 2.11.9) с заданный в нем  $Pz$  и отметкой

**Уточнять по модели грунта.**

- Для стержневых элементов, если нет отметки **Ширина из сечения**, — задать ширину, в противном случае задать стержню сечение.

Чтобы КЭ 57 стал свайей, ему нужно:

- Назначить упругое основание (**Элементы упругой сваи**);
- Задать в упругом основании  $Pz$  и отметить **Уточнять по модели грунта**;
- Назначить элементу сечение **Свая (упругая связь)**.

### 5.1.1 Сечение Свая (упругая связь)

Сечение **Свая (упругая связь)** создается в **Редакторе сечений/жесткостей** (см. п. 2.13). Нажмите в окне редактора кнопку **Специальные** и выберите элемент **Свая (упругая связь)**, после чего в редакторе появится окно параметров выбранного сечения (рис. 5.1).

В окне параметров указываются характеристики сваи, способ ее погружения, тип конструкции, в которой она состоит, и пр.

Установка флажков в столбцах  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ,  $R_{ux}$ ,  $R_{uy}$ ,  $R_{uz}$ ,  $h_d$ ,  $F_d$  и  $F_{du}$  указывает программе, что значения в этих полях будут рассчитываться и заполняться программой. В противном случае программа будет использовать значение, заданное пользователем в соответствующем поле. Расчет жесткости сваи, глубины  $h_d$  и несущей способности сваи на сжатие и выдергивание можно выполнить в этом редакторе, нажав кнопку **Вычисление жесткости одиночной сваи** (см. п. 5.1.2), или в **Редакторе грунта** (см. п. 5.2).

При установке флажка **Использовать условную ширину**  $b_p$  используется значение  $b_p$  — условная ширина сваи (м), принимаемая равной: для свай с диаметром стволов 0,8 м и более  $b_p = d + 1$ , а для остальных размеров сечений свай  $b_p = 1,5d + 0,5$  (м).

В разделе **Сопряжение сваи с ростверком** необходимо указать тип примыкания сваи к ростверку и задать величину **Половина толщины ростверка**. Если выбрать **Шарнирное примыкание**, то для одноузловых конечных элементов жесткости по угловым направлениям будут обнулены, а при моделировании свай цепочкой стержней будут установлены шарниры по угловым степеням свободы.

В разделе **Нижний конец сваи** путем установки соответствующего переключателя задается вид конца сваи — открытый или закрытый. Чтобы задать пята с уширением, необходимо ввести величину диаметра уширения  $d_b$  ( $d_b \geq D$  — для круглого/кольцевого сечения;  $d_b \geq \max\{h; b\}$  — для прямоугольного сечения). После чего станет доступным флажок **Пята с уширением**, который нужно установить. Далее можно задать величину коэффициента условий работы под уширением  $\gamma_{cR}$  ( $\gamma_{RR}$ ) (п. 7.2.6 СП 24.13330.2011, п. Н.3.1 ДБН В.2.1-10:2009) либо в раскрывающемся списке выбрать тип устройства уширения и коэффициент

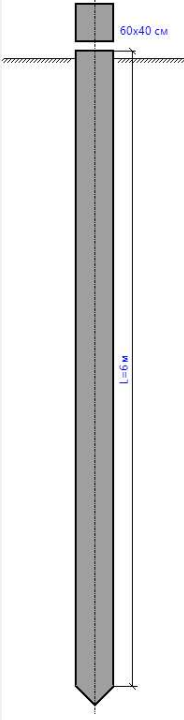
введется автоматически. Для буронабивных свай можно задать высоту уширения  $h$ , для этого необходимо установить флажок **Высота**.

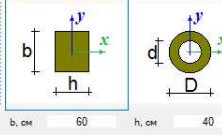
Специальные сечения: Свая (упругая связь) : Свая (упругая связь)

Имя: Свая (упругая связь) Описание:

Параметры жесткости КЗ

Погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль глобальной/локальной оси узла, тс/м			Погонная жесткость связи на поворот вокруг глобальной/локальной оси узла, тс <sup>2</sup> /м		
<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0

Конструктивное решение сваи: 

Поперечное сечение сваи: 

Использовать условную ширину  $b_p$ :

Соприжение сваи с ростверком:  Шарнирное  Жесткое  
Половина толщины ростверка: 10 см

Нижний конец сваи:  Открытый конец сваи  Пята с уширением  Закрытый конец сваи  
Коэффициент  $\gamma_{ср}, (\gamma_{RR})$ : 1.3 Канцелярское  
Диаметр уширения  $d_b$ : 0 см  Высота  $h$ : см

Параметры расчета сваи

Тип сваи	Забивные, вдавливаемые всех видов и сваи-оболочки, погр
Длина L	6 м
Глубина от поверхности земли, на которой при сейсмическом воздействии не учитывается сопротивление грунта по боковой поверхности $h_d$	<input type="checkbox"/> 0
Количество участков разбивки n	10
Модуль упругости ствола E	3.06E+06 тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона v	0.2
Объемный вес $\gamma$	2.5 тс/м <sup>3</sup>
Способ погружения сваи	1. Погружение сплошных и полых с закрытым нижним конц
Высота грунтового ядра от подошвы сваи $h_y$	0 м
Тип конструкции	1. Фундаменты под конструкции, за исключением п.2 и п.3 (см. к-
Коэффициент условий работы для определения $F_d$ (сжатие) $\gamma_c$	2. $\gamma_c = 1$ в остальных случаях
Коэффициент условий работы для определения $F_{du}$ (выдергивание) $\gamma_c$	3. $\gamma_c = 1$ для больших переходов, если вес сваи и рост-
Доля от общей нагрузки, воспринимаемая пятой сваи $\eta$	1
Несущая способность по грунту (сжатие) $F_d$	<input checked="" type="checkbox"/> 0 тс
Осадка по результатам полевых испытаний (сжатие) $S_d$	0 мм
Несущая способность по грунту (выдергивание) $F_{du}$	<input checked="" type="checkbox"/> 0 тс
Осадка по результатам полевых испытаний (выдергивание) $S_{du}$	0 мм

Архитектурная свая моделируется:  одноузловым элементом  стержнями эквивалентной жесткости

Установленный флажок предполагает вычисление соответствующего значения, а его отсутствие - ручной ввод этого значения

Параметры расчета арматуры сваи

Вычисление жесткости одиночной сваи

Рис. 5.1. Сечение Свая (упругая связь)

Параметры расчета арматуры сваи

Армирование	Привязка центра тяжести арматуры к	Способ наращивания арматуры
<input checked="" type="radio"/> Несимметричное	Верхней 5 см	<input checked="" type="radio"/> по проценту от
<input type="radio"/> Симметричное	Нижней 5 см	<input type="radio"/> по диаметру
<input type="radio"/> Пользовательское	Боковой 5 см	

Проверка арматуры производится только для пользовательского армирования

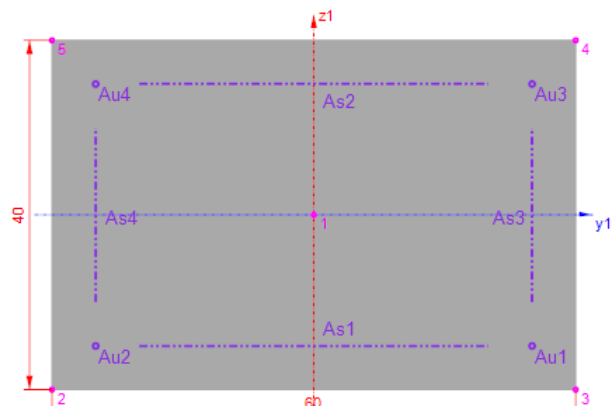


Рис. 5.2. Параметры расчета арматуры сваи

Армирование сваи можно задать в раскрывающейся вкладке **Параметры расчета арматуры сваи** данного окна (рис. 5.2). Вид таблицы параметров будет изменяться в зависимости от выбранного типа армирования:

- Несимметричное;
- Симметричное;
- Пользовательское.

### 5.1.2 Расчет жесткости одиночной сваи

Если при вычислении жесткостей КЭ 57 будет использована модель расчета **Одиночная свая**, нужно нажать кнопку **Вычисление жесткости одиночной сваи**, после чего откроется одноименное диалоговое окно (рис. 5.3).

Данное диалоговое окно содержит три вкладки (**Параметры**, **Геология**, **Результат**), где задается геология грунта, окружающего сваю, и дополнительные параметры для расчета.

На вкладке **Параметры** задаются нормы и параметры расчета сваи: сейсмичность/повторяемость, глубина погружения сваи в грунт, коэффициенты условий работы и коэффициент надежности, вертикальная и горизонтальные нагрузки, а также расчетные моменты (рис. 5.3).

Вычисление жесткости одиночной сваи

Параметры Геология Результат

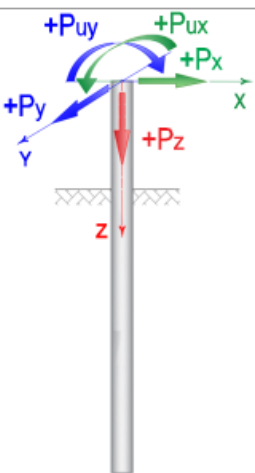
Параметры расчета		Нормы	Российская Федерация: СП 24.13330.20	
Расчетная сейсмичность/повторяемость			отсутствует	
Глубина погружения сваи в грунт		l	6 м	
Коэффициент условий работы (Прил.В, п.В.6)		$\gamma_{cz}$	1	
Коэффициент надёжности по грунту (п. 7.1.11)		$\gamma_{cg}$	1.4	
Коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности (Табл.П.1.5 и П.1.6)		$k_f$	0.5	
Коэффициент условий работы грунта под пятой (Табл.П.1.7 и П.1.8)		$k_p$	1	
	Вертикальная нагрузка		$P_z$	10 тс
	Горизонтальная расчетная сила от полных нагрузок вдоль локальной оси узла		$P_x$	0 тс
Расчетный момент от полных нагрузок вокруг локальной оси узла		$P_{ux}$	0 тс*м	
		$P_{uy}$	0 тс*м	
Горизонтальная расчетная сила от постоянных нагрузок вдоль локальной оси узла		$P_{x,c}$	0 тс	
		$P_{y,c}$	0 тс	
Расчетный момент от постоянных нагрузок вокруг локальной оси узла		$P_{ux,c}$	0 тс*м	
		$P_{uy,c}$	0 тс*м	

Рис. 5.3. Вычисление жесткости одиночной сваи вкладка **Параметры**

В зависимости от выбранного нормативного документа в раскрывающемся списке **Нормы** (рис. 5.4), на данной вкладке будут отображены те или иные параметры расчета.

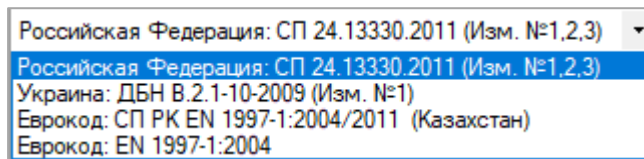


Рис. 5.4. Раскрывающийся список **Нормы**

На вкладке **Геология** (рис. 5.5) задаются слои грунта, каждый со своими характеристиками.

Вычисление жесткости одиночной сваи

Параметры | **Геология** | Результат

Геология		
Количество слоёв грунта	n	1
Характеристики слоя		
Текущий номер	i	1
Цвет		<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black;"> </span>
Толщина	$h_i$	10 м
Модуль деформации	$E_i$	1800 тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	$\nu_i$	0.35
Число пластичности	$I_{Pi}$	10
Природная влажность	w	0.2
Удельное сцепление	$c / i$	1.33 тс/м <sup>2</sup>
	$c // i$	2 тс/м <sup>2</sup>
Угол внутреннего трения	$\phi / i$	15.65 °
	$\phi // i$	18 °
Удельный вес	$\gamma / i$	1.83 тс/м <sup>3</sup>
	$\gamma // i$	1.87 тс/м <sup>3</sup>
Вода	<input type="checkbox"/>	
Показатель текучести	$IL_i$	0.26
Коэффициент пористости	$e_i$	0.68
Метод статического зондирования	<input type="checkbox"/>	
Коэффициент пропорциональности	$K_i$	1811.02 тс/м <sup>4</sup>
Тип грунта		16. Суглинок тугопластичный, 0.25<
Сопротивление скального грунта по боковой	$R_{si}$	90.7547 тс/м <sup>2</sup>
Сопротивление скального грунта под пятой сваи	R	2039.43 тс/м <sup>2</sup>

Вычислить

Рис. 5.5. Вкладка **Геология**

Кнопка **Вычислить** запускает расчет. Результаты расчета отображаются на вкладке **Результат** (рис. 5.6).

Погонная жесткость сваи на растяжение-сжатие вдоль глобальной/локальной оси, тс/м		
R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>
1593.61	1909.77	7613.16
Погонная жесткость сваи на поворот вокруг глобальной/локальной оси, тс*м		
R <sub>yx</sub>	R <sub>xy</sub>	R <sub>uz</sub>
7605.68	4171.66	2846.81
Несущая способность сваи (сжатие), тс	Коэффициент использования по F <sub>d</sub> (сжатие)	Осадка сваи, мм
F <sub>d</sub>	K	S
131.459	0.106497	1.31352
Несущая способность сваи (выдергивание), тс	Коэффициент использования по F <sub>du</sub> (выдергивание)	Глубина от поверхности земли, на которой при сейсмическом воздействии не учитывается
F <sub>du</sub>	K <sub>u</sub>	hd
-36.8382	0	0
Устойчивость основания, окружающего сваю (СП 24.13330.2011)		
Коэффициент деформации п.7.1.8, 1/м	Глубина условного защемления, м	
$\alpha_{\varepsilon x} / \alpha_{\varepsilon y}$	$l_{1x} / l_{1y}$	
0.763196 / 0.618376	2.62056 / 2.62056	
Расчетное давление на грунт по боковой поверхности сваи, тс/м <sup>2</sup>	Предельное давление на грунт по боковой поверхности сваи, тс/м <sup>2</sup>	Расчетная глубина, м
$\sigma_{1x} / \sigma_{1y}$	$\sigma_{1ux} / \sigma_{1uy}$	z <sub>1x</sub> /z <sub>1y</sub>
-/-	-/-	1.11374 / 1.11374
$\sigma_{2x} / \sigma_{2y}$	$\sigma_{2ux} / \sigma_{2uy}$	z <sub>2x</sub> /z <sub>2y</sub>
-/-	-/-	-/-

Рис. 5.6. Вкладка **Результат**

Чтобы перенести вычисленные параметры в диалоговое окно **Свая (упругая связь)**, нажмите кнопку **Применить**. Значения переносятся для тех параметров, для которых были предварительно установлены флажки в диалоговом окне параметров сваи.

По результатам расчета одиночной сваи имеется возможность документирования результатов. Нажмите на кнопку **Отчет**, чтобы сформировать и сохранить файл отчета.

### 5.1.3 Расчет осадки одиночной висячей сваи по СП 24.13330.2011 "Свайные фундаменты"

При расчете приняты следующие допущения:

1. Выполняется условие:

$$\begin{cases} \frac{1}{d} > 5 \\ \frac{G_1 l}{G_2 d} > 1 \end{cases},$$

где  $l$  — длина сваи;

$d$  — расчетный диаметр ствола сваи.

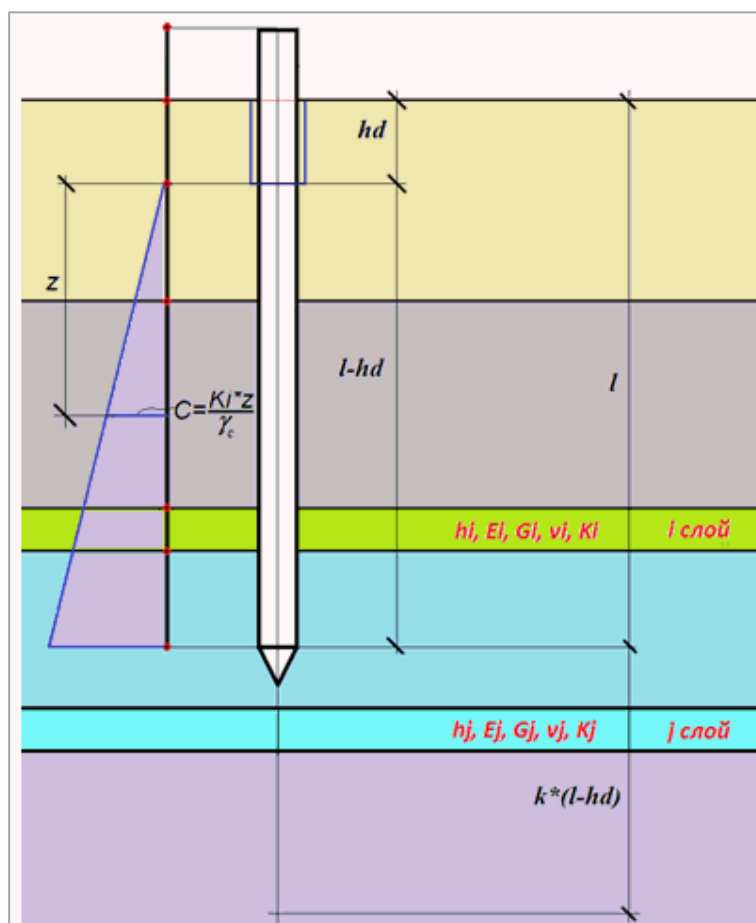


Рис. 5.7. Размеры на схеме

Для свай некруглого сечения:  $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$  ( $A$  — площадь поперечного сечения сваи);

$G_1$  — усредненный модуль сдвига для всех слоев грунта в пределах глубины погружения сваи:

$$G_1 = \frac{\sum_i^n G_i \cdot h_i}{1 - h_d}, \quad G_i = \frac{E_i}{2(1 + \nu_i)},$$

$G_2$  — усредненный модуль сдвига для всех слоев грунта в пределах  $kl$  от пяты сваи, т.е. на глубинах от  $l$  до  $kl$  (коэффициент  $k$  задается в опции **Сечение**):



$$G_2 = \frac{\sum_j^m G_j \cdot h_j}{k(1 - h_d)}, \quad G_j = \frac{E_j}{2(1 + \nu_j)},$$

где  $h_d$  — глубина, до которой не учитывают сопротивление грунта на боковой поверхности сваи при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий.

2. Под нижними концами свай отсутствуют глинистые грунты текучей консистенции, органоминеральные и органические грунты.

**Осадка одиночной сваи без уширения пяты** вычисляется:

$$s = \beta \frac{P_z}{G_1(1 - h_d)},$$

где

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + 0.5 \frac{1 - (\beta'/\alpha')}{\chi},$$

где  $\beta'$  — коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае:

$$\beta' = 0.17 \ln \left[ k_v \frac{G_1(1 - h_d)}{G_2 d} \right];$$

$\alpha'$  — коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае для случая однородного основания с характеристиками  $G_1$  (усредненный модуль сдвига грунтов в пределах ствола сваи) и  $\nu_1$  (усредненный коэффициент Пуассона грунтов в пределах ствола сваи):

$$\alpha' = 0.17 \ln \left[ k_{\nu_1} \frac{(1 - h_d)}{d} \right],$$

$$\nu_1 = \frac{\sum_i^n \nu_i \cdot h_i}{1 - h_d};$$

$k_v$  и  $k_{\nu_1}$  — коэффициенты, определяемые по формулам:

$$k_v = 2.82 - 3.78\nu + 2.18\nu^2,$$

$$k_{\nu_1} = 2.82 - 3.78\nu_1 + 2.18\nu_1^2,$$

где

$$\nu = \frac{(\nu_1 + \nu_2)}{2},$$

$\nu_2$  — усредненный коэффициент Пуассона грунтов для участка, глубиной  $kl$ , ниже пяты сваи:

$$\nu_2 = \frac{\sum_j^m \nu_j \cdot h_j}{k(1 - h_d)};$$

$\chi$  — относительная жесткость сваи:

$$\chi = \frac{EA}{G_1(1 - h_d)^2},$$

где  $EA$  — жесткость ствола сваи на сжатие;

$A$  — площадь поперечного сечения ствола сваи;

$\lambda_1$  — параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола:

$$\lambda_1 = \frac{2.12 \cdot \chi^{\frac{3}{4}}}{1 + 2.12 \cdot \chi^{\frac{3}{4}}}$$

**Осадка одиночной сваи с уширением пяты или сваи-стойки** вычисляется:

$$s = \frac{0.22P_z}{G_2 \cdot d_b} + \frac{P_z \cdot L}{E \cdot A},$$

где  $d_b$  — диаметр уширения сваи,  
 $L$  — длина сваи.

#### 5.1.4 Расчет осадки одиночной висячей сваи по ДБН В.2.1-10:2009 (Изм. №1)

На основании заданных характеристик вычисляются:

$$s = \frac{s_e \cdot P}{P_u - P},$$

где  $P_u$  — нагрузка, при которой исчерпывается несущая способность сваи (предельное сопротивление по грунту):  $P_u = 1.25 F_d$ ,

$F_d$  — несущая способность сваи по грунту.



*Реализовано 2 случая получения  $F_d$ :*

1. *Анализируется назначенная элементу строка в Редакторе Сечений. В случае, если установлен флажок напротив  $F_d$ , то  $F_d$  берется по результатам расчета внутри программы.*
2. *В случае, если флажок не установлен, то берется заданное значение в окне  $F_d$ .*

$s_e$  — упругая составляющая осадки:

$$s_e = 2(1 + \nu) \frac{P_e \cdot c}{E \cdot L} + \frac{P_e \cdot L(1 + b)}{2E_0 \cdot F},$$

где  $c$  — коэффициент осадки (табл. П. 1.1, ДБН В.2.1-10-2009);

$L$  — длина сваи;

$E$  — приведенный модуль деформации:

$$E = (1 - b)k_f \cdot E_f + k_p \cdot b \cdot E_p;$$

$P_e$  — нагрузка, ограничивающая линейный участок совместной осадки оголовка сваи (от сжатия самого столба сваи) и грунтового основания:  $P_e = 0.5 P_u$ .

Осредненные значения величин:

$\nu$  — коэффициент Пуассона грунта в пределах длины сваи:

$$\nu = \frac{\sum \nu_i \cdot h_i}{1 - h_d},$$

где  $h_d$  — глубина, до которой не учитывают сопротивление грунта на боковой поверхности сваи при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий;

$l$  — длина сваи;

$E_f$  — модуль деформации грунта в пределах длины сваи:

$$E_f = \frac{\sum E_i \cdot h_i}{1 - h_d};$$

$E_p$  — модуль деформации грунта в пределах одного диаметра выше и четырёх ниже отметки нижнего конца сваи:

$$E_p = \frac{\sum E_j \cdot h_j}{1 - h_d};$$

$b$  — коэффициент, определяющий часть нагрузки, передаваемой нижним концом сваи (табл. П.1.2 ДБН В.2.1-10-2009).

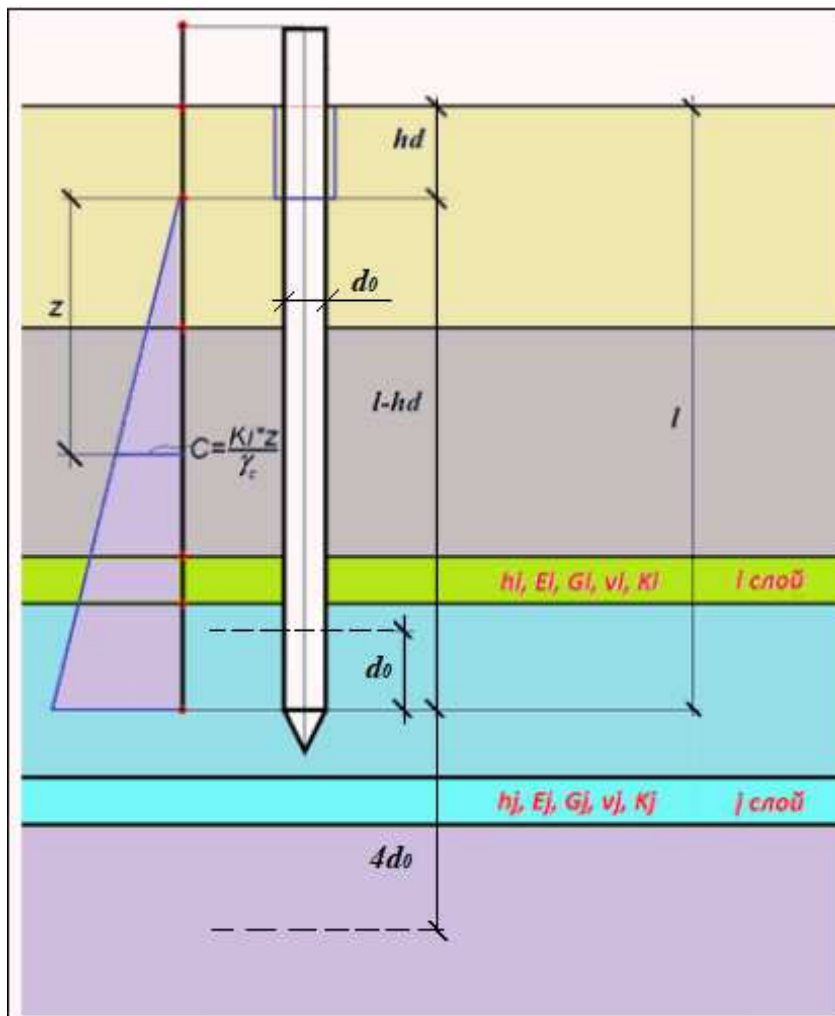



Рис. 5.8. Размеры на схеме

## 5.2 РЕДАКТОР ГРУНТА

Чтобы вызвать **Редактор грунта**, воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇨ **Редактор грунта** или кнопкой  на панели инструментов.

Пространство экрана в **Редакторе грунта** разделено на 3 части (рис. 5.9). В основной части экрана расположен **Двумерный графический редактор** (см. п. 2.12). Внизу экрана находится таблица **Характеристики грунтов** либо, в случае выполнения геологического разреза, **Разрез**. Слева отображаются панели создания/редактирования скважин или нагрузок, а также панели визуализации локальных результатов расчета.

В начальном окне загрузки в поле двумерного графического редактора отображается план площадки строительства с перенесенными из режима формирования расчетной схемы нагрузками  $P_z$ . В этом же поле задается расположение **Скважин** и дополнительные нагрузки от соседних фундаментов.

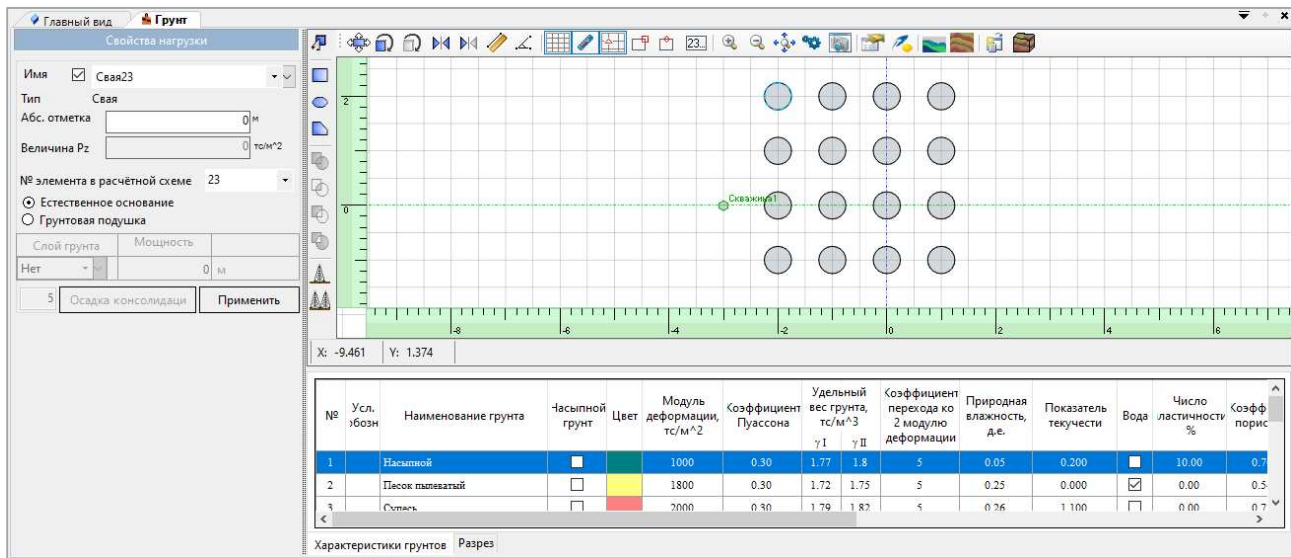


Рис. 5.9. Вид окна Грунт

### 5.2.1 Характеристики грунтов

В таблице исходных данных **Характеристики грунтов** задаются инженерно-геологические элементы (ИГЭ) грунтового массива, входящие в геологический разрез **Скважин**. Таблица **Характеристик грунтов** по умолчанию (рис. 5.10) содержит пять строк. В них приведены наиболее часто встречающиеся грунты с усредненным значением их характеристик [5.2]. В случае необходимости к **Таблице по умолчанию** можно вернуться щелчком правой кнопки мыши по закладке **Характеристики грунтов**.

№	Усл. обозн.	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м <sup>3</sup>		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Число пластичности	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения, °	Метод статич. пропорциональности	Коэффициент пропорциональности, К, тс/м <sup>4</sup>	Тип грунта для свайного основания		
1		Насыпной	<input checked="" type="checkbox"/>		1000	0.30	1.77	1.8	5	0.05	0.200	<input checked="" type="checkbox"/>	9.00	0.700	0.33	0.5	14.55	16	<input checked="" type="checkbox"/>	7647.9	1. Крупноблочный грунт с песчаным заполнителем, K=5098.581-10197.16 тс/м <sup>4</sup>
2		Песок пылеватый	<input type="checkbox"/>		1800	0.30	1.72	1.75	5	0.25	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	0.540	0.07	0.1	28.18	31	<input type="checkbox"/>	13256	2. Песок плотный гравелистый, e<0.55, K=13256.31 тс/м <sup>4</sup>
3		Супесь	<input type="checkbox"/>		2000	0.30	1.79	1.82	5	0.26	0.500	<input checked="" type="checkbox"/>	4.00	0.720	0.53	0.8	18.13	22	<input type="checkbox"/>	968.73	13. Супесь пластичная, 0<I<I<sub>L1</sub>, K=713.8013+1223.659 тс/м <sup>4</sup>
4		Суглинок тугопластичный	<input type="checkbox"/>		1800	0.35	1.83	1.87	5	0.17	0.260	<input type="checkbox"/>	10.00	0.680	1.33	2	15.65	18	<input type="checkbox"/>	1811	16. Суглинок тугопластичный, 0.25<I<I<sub>L0.5</sub>, K=1223.659+1835.489 тс/м <sup>4</sup>
5		Глина полутвердая	<input type="checkbox"/>		2200	0.42	1.88	1.92	5	0.02	0.150	<input type="checkbox"/>	24.00	0.800	3.33	5	13.91	16	<input type="checkbox"/>	1468.4	20. Глина полутвердая, 0<I<I<sub>L0.25</sub>, K=1223.659+1835.489 тс/м <sup>4</sup>

Рис. 5.10. Таблица **Характеристик грунтов** по умолчанию

## Создание ИГЭ

Для создания нового ИГЭ необходимо перейти на пустую строку в конце таблицы. Правила заполнения столбцов таблицы:

- **Номер ИГЭ** — присваивается автоматически после ввода полной информации.
- **Условное обозначение ИГЭ** — произвольный текст. Как правило, совпадает с обозначением, предложенным геологами в инженерно-геологическом описании площадки строительства.
- **Наименование грунта** — для каждой строки название грунта уникально. В случае совпадения наименования грунта программа автоматически модифицирует текст.
- **Насыпной грунт** — используется при планировке подсыпки.
- **Цвет ИГЭ** — редактируется щелчком мыши по ячейке.
- **Модуль деформации,  $E$**  — модуль деформации по ветви первичного нагружения.
- **Коэффициент Пуассона,  $\nu$** .
- **Нормативный удельный вес грунта,  $\gamma_I$  и  $\gamma_{II}$** .
- **Коэффициент перехода ко второму модулю деформации** — коэффициент перехода от модуля деформации по ветви первичного нагружения к модулю деформации по ветви вторичного нагружения. По умолчанию равен 5.
- **Природная влажность,  $\omega$** .
- **Показатель текучести,  $I_L$** .
- **Вода** — если задана данная отметка, программа учитывает взвешивающее действие воды:

- при степени влажности грунта  $S_r \neq 1$ :

$$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_s - \gamma_\omega}{1 + e} \quad (5.1)$$

- при степени влажности грунта  $S_r = 1$ :

$$\gamma_{взв} = \gamma_s - \gamma_\omega; \quad (5.2)$$

где

$$S_r = \frac{\omega \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_\omega}; \quad (5.3)$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma(1+e)}{1+\omega}; \quad (5.4)$$

- **Число пластичности.**
- **Коэффициент пористости,  $e$ .**
- **Удельное сцепление,  $c_I$  и  $c_{II}$ .**
- **Угол внутреннего трения,  $\varphi_I$  и  $\varphi_{II}$ .**
- **Метод статического зондирования.**
- **Коэффициент пропорциональности,  $K$**  — может задаваться численно либо интерполироваться автоматически по заданным показателю текучести  $I_L$  и коэффициенту пористости  $e$  при указании **Типа грунта** для свайного основания (СП 24.13330.2011, Приложение В, таблица В.1). Для плитных фундаментов не используется.
- **Тип грунта** — классификация грунтов по их характеристикам, соответствующая таблице В.1, Приложение В, СП 24.13330.2011. При интерполяции меньшие значения коэффициента  $K$  соответствуют более высоким значениям показателя текучести  $I_L$  глинистых

и коэффициента пористости  $e$  песчаных грунтов. Значения коэффициента  $K$  для плотных песков приняты на 30% выше, чем наибольшие значения, указанные в таблице В.1.


- **Сопротивление скального грунта по боковой поверхности сваи,  $R_{si}$**  (СП 24.13330.2011, Приложение Б, формула Б.3).

- **Сопротивление скального основания,  $R$**  — расчетное сопротивление скального грунта под нижним концом сваи.

### Редактирование ИГЭ

Удаление ИГЭ выполняется путем выделения строки с его описанием и нажатия клавиши **Del**.

Редактирование наименования и характеристик грунта выполняется путем указания курсором на нужную ячейку с последующим вводом данных.


 ПК ЛИРА 10 выполняет автоматический контроль характеристик грунтов по их граничным значениям [5.2].

В случае визуализации в нижней части экрана геологического **Разреза** переход к таблице **Характеристики грунтов** осуществляется щелчком по одноименной закладке, расположенной внизу экрана.

## 5.2.2 Задание скважин и нагрузок

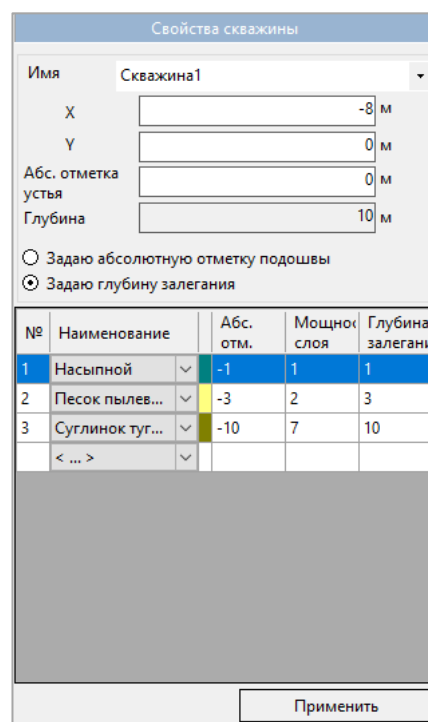
### Скважины

Перед заданием скважин необходимо задать все необходимые грунты в таблице **Характеристики грунтов**.

Для создания скважины нажмите кнопку  (Скважина) на вертикальной панели инструментов. Затем укажите курсором мыши на схеме **Двумерного графического редактора** положение скважины и дважды щелкните мышью. В левой части экрана появится панель **Свойства скважины** (рис. 5.11).

Здесь можно уточнить характеристики скважины:

- **Имя;**
- **X, Y** — координаты X, Y устья скважины на схеме (площадке строительства);
- **Абс. отметку устья** — абсолютную отметку устья.



№	Наименование	Абс. отм.	Мощность слоя	Глубина залегания
1	Насыпной	-1	1	1
2	Песок пылев...	-3	2	3
3	Суглинок туг...	-10	7	10
< ... >				


Рис. 5.11. Панель **Свойства скважины**


Внизу панели расположена таблица геологического **Разреза** скважины, каждая строка которой определяет слой грунта. Таблица состоит из 6 столбцов:

- **№** — номер ИГЭ скважины, присваивается при создании слоя.
- **Наименование** — название грунта. Соответствует наименованию грунта из таблицы **Характеристики грунтов**. Выбирается из раскрывающегося списка.
- **Цвет** — цвет слоя грунта, соответствует цвету грунта из таблицы **Характеристики грунтов**. Присваивается автоматически после выбора слоя грунта.
- **Абс. отм. подошвы** — абсолютная отметка подошвы слоя. Задается в случае выбора отметки **Задаю автоматическую отметку подошвы**, в противном случае вычисляется автоматически.
- **Мощность слоя** — мощность слоя грунта, вычисляется автоматически.
- **Глубина залегания** — глубина залегания подошвы слоя. Задается в случае выбора отметки **Задаю глубину залегания**, в противном случае вычисляется автоматически.

Для добавления слоя грунта в таблицу, выбираем его в раскрывающемся списке с обозначением <...> столбца **Наименование**. Затем указываем глубину или абсолютную отметку подошвы слоя и нажимаем клавишу **Enter**.

Кнопка **Применить** служит для немедленного запоминания и применения характеристик скважины в проекте.

 *Положение скважин на схеме модели грунта можно менять в Двумерном графическом редакторе средствами копирования, переноса и т.д. Или на панели **Свойства скважины**, изменяя координаты X, Y.*

Если нажать на кнопку  (**Таблица скважин**), раскроется окно с таблицей всех скважин, заданных в модели (рис. 5.12). При необходимости здесь можно откорректировать требуемые параметры как вручную, так и вставить уже готовые данные из других источников. Для подтверждения ввода нужно нажать кнопку **Применить**.

Имя	Скважина1	Скважина2	Скважина3	Скважина4	Скважина5	Скважина6
X	-2	2.4182	7	-1	1.0887	4.9958
Y	1	-3.0233	-4	-5	0.1296	-3.9594
Abs	0	0	0	0	0	0
№1 (dH1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
№2 (dH2)	3 (3)	6 (3)	3 (3)	3 (3)	6 (3)	6 (1.9074)
№3 (dH3)	4 (11)	4 (11)	4 (11)	4 (11)	4 (11)	3 (1.0926)
№4 (dH4)						4 (11)
* №5 (dH5)						

Кнопки: Применить, Отмена


Рис. 5.12. Окно **Таблица скважин в модели грунта**

## Нагрузки

В модели грунта существуют три вида нагрузок:

- нагрузки на элементы, моделирующие фундаментную плиту (плиты или стержни);
- нагрузки от соседних фундаментов;
- нагрузки от свай.

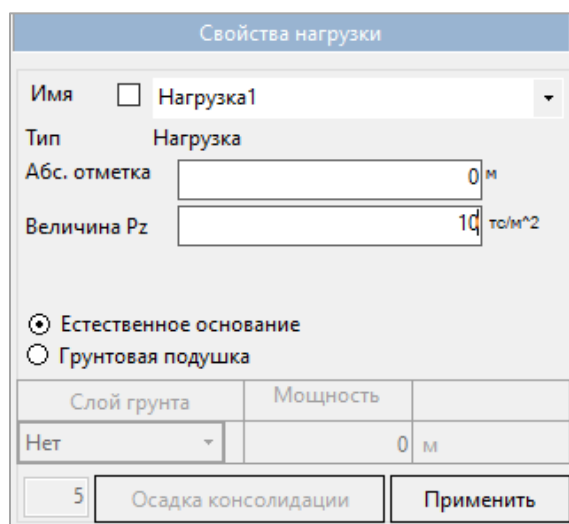
Первый и третий вид нагрузок связан с расчетной схемой и задается в режиме **Упругое основание** в редакторе формирования расчетной модели. Эти нагрузки отображаются на схеме редактора в соответствии с координатами расчетной схемы и автоматически переносятся в **Редактор грунта** в виде проекции на плоскость  $XOY$ .

 *Переносятся только те элементы, нормаль к плоскости которых наклонена к вертикали от 0 до 20 градусов, не более. Кроме того, стержням и одноузловым элементам должно быть назначено сечение.*

В **Редакторе грунта** нагрузки на элементы, моделирующие фундаментную плиту/стержень или сваи, не могут изменить свои координаты по  $X$  и  $Y$ .

Нагрузки от соседних фундаментов создаются и редактируются в **Редакторе грунта** по правилам редактирования графических объектов в **Двумерном графическом редакторе**. После создания эти графические объекты автоматически становятся нагрузками.

Для редактирования **Свойств нагрузок** выделяем их на схеме редактора. Выделить можно сразу несколько разнотипных нагрузок. В левой части экрана появится панель **Свойства нагрузки** (рис. 5.13).




Слой грунта	Мощность
Нет	0 м

Рис. 5.13. Панель **Свойства нагрузки**

Здесь можно выбрать конкретную нагрузку в раскрывающемся списке нагрузок, отмеченных на схеме, задать/изменить для этой нагрузки **Имя**, абсолютную отметку и величину  $P_z$ .




 *Изменение значения абсолютной отметки одного элемента фундамента приводит к автоматическому изменению отметок остальных ее элементов. При этом относительные координаты по вертикали между элементами фундаментной плиты сохраняются.*

Для нагрузок на элементы фундаментной плиты можно задать **Грунтовую подушку**.

Для этого:

1. На схеме редактора выделяем элементы фундаментной плиты, под которой будет грунтовая подушка.
2. Выбираем переключатель **Грунтовая подушка** на панели **Свойства нагрузки**.
3. В таблице ниже, в раскрывающемся списке, выбираем **Слой грунта**, являющийся грунтовой подушкой для отмеченных элементов.
4. Задаем его **Мощность**.
5. Нажимаем клавишу **Enter**.

 *При расчетах C1 и C2 грунтовая подушка имеет приоритет перед насыпным грунтом и слоями грунта, определенными по информации из геологических разрезов скважин.*


Кнопка **Осадка консолидации** доступна, если расчет плит выполняется по нормам Еврокодов и если при этом установлен флажок **Рассчитать консолидацию**. С ее помощью можно построить график осадки консолидации во времени (подробнее см. п. 5.2.6).

Кнопка **Применить** служит для немедленного запоминания и применения характеристик нагрузки в проекте.

### 5.2.3 Геологические разрезы

В системе ЛИРА 10 реализована возможность выполнять следующие виды геологических разрезов:

- **Вертикальный разрез** — выполняется по заданной пользователем линии на схеме **Двумерного графического редактора**. Разрез может быть выполнен, если на схеме задана хотя бы одна скважина.
- **Горизонтальный срез** — позволяет выполнить горизонтальный срез модели грунта на произвольной отметке.

Для построения вертикального разреза нажмите на панели инструментов **Редактора грунта** кнопку  (**Вертикальный разрез**). Затем укажите мышкой на поле **Двумерного графического редактора** положение первой точки на линии разреза. Зафиксируйте точку щелчком мыши. Перемещая мышь в нужном направлении линии разреза, зафиксируйте вторую точку линии щелчком левой кнопкой мыши. На схеме появится красная линия, по которой выполняется геологический **Разрез** (рис. 5.14).

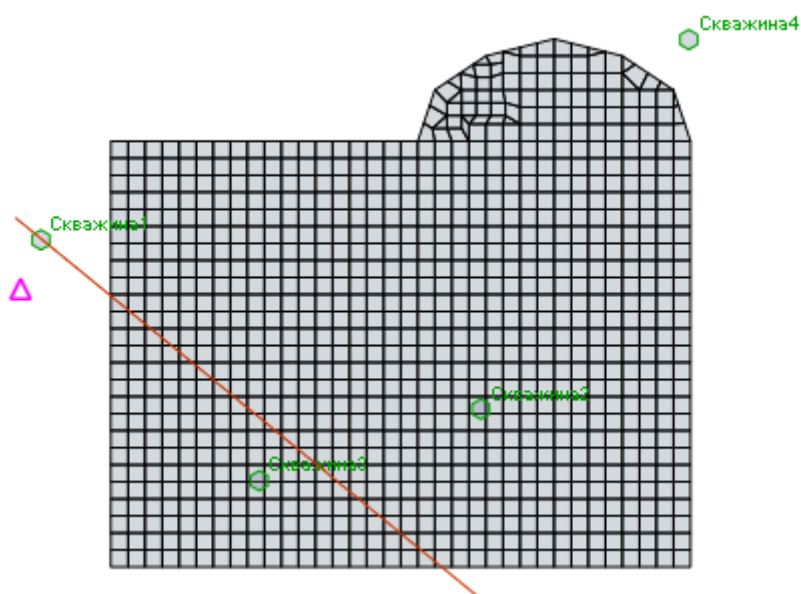


Рис. 5.14. Построение геологического разреза

Сам разрез отобразится внизу экрана в закладке **Разрез** (рис. 5.15).

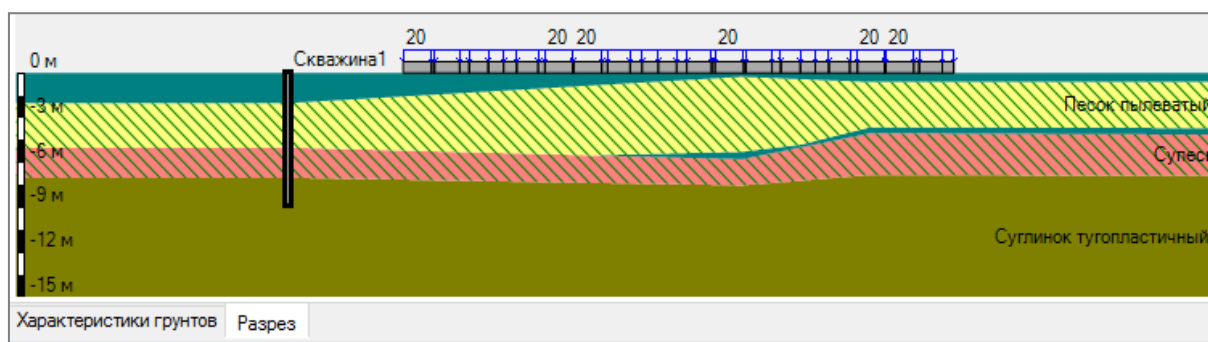


Рис. 5.15. Вертикальный разрез

На **Разрезе** отображаются:

- слои грунта в цветах из таблицы **Характеристики грунтов**;
- **Скважины**, если через них прошел **Разрез**;
- нагрузки, если через них прошел **Разрез**;
- шкала глубины, в единицах длины;
- названия некоторых слоев грунта;
- грунтовая подушка, если она есть.


Ширина скважин и толщина несвайных нагрузок условна. Остальные размеры соответствуют масштабу схемы. Водонасыщенные слои отмечены штриховкой.

В контекстном меню на закладке **Разрез** доступны следующие пункты:

- **Отметить скважину / Добавить скважину**. Пункт меню **Отметить скважину** позволяет начать процесс добавления скважины на основании данных **Разреза**. После выбора этого пункта, перемещая мышью, можно выбрать положение скважины на разрезе (показано красной вертикальной линией). Одновременно, на схеме **Редактора грунта** показывается положение этой же скважины в виде черного шестиугольника. Завершить процесс добавления

можно, выбрав в контекстном меню пункт **Добавить скважину** (скважина добавляется на схеме редактора) или выбрать пункт **Отменить** (тогда скважина не будет добавлена).

- **Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние** — позволяет приблизительно проставить горизонтальные расстояния на вертикальном разрезе.
- **Экспортировать текущий разрез в файл \*.fer** — экспортирует **Разрез** в файл проекта ПК ЛИРА 10.
- **Скопировать изображение разреза в файл** — позволяет сохранить изображение разреза, как оно есть, в файл для последующего использования его в **Отчетах**.
- **Отменить** — отмена для команд **Отметить скважину / Добавить скважину** и **Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние**.
- **Сбросить все изменения** — сбрасывает проставленные расстояния.

Для построения горизонтального среза нажмите на панели инструментов **Редактора грунта** кнопку  (**Горизонтальный срез**). Затем при помощи бегунка, который отобразится слева от окна редактора, укажите глубину, на которой требуется отобразить срез. Меняя положение бегунка при помощи мыши (либо при помощи клавиш со стрелками вниз и вверх), можно увидеть на схеме горизонтальные срезы грунта в зависимости от выбранной глубины (рис. 5.16).

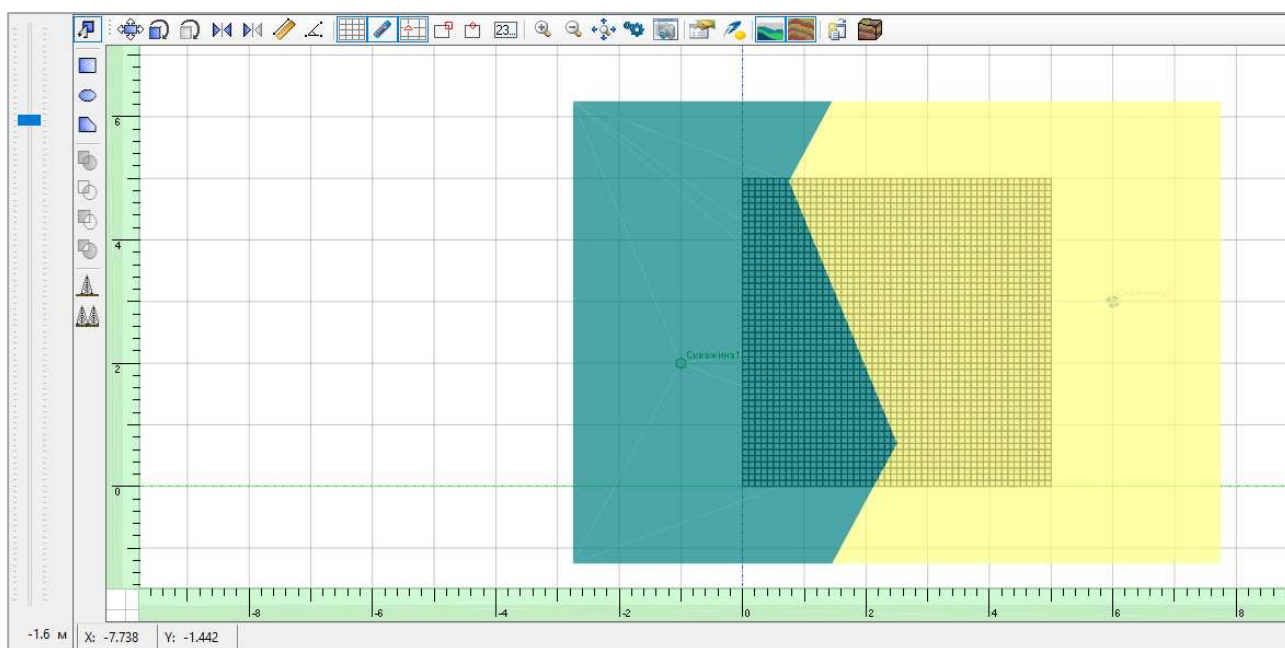



Рис. 5.16. Горизонтальный срез



### 5.2.4 Объемная модель грунта

Кнопка  на панели инструментов двумерного графического редактора служит для построения объемной модели грунта.

После нажатия указанной кнопки в левой части редактора грунта появляется дополнительная панель **Свойства объемной модели грунта** (рис. 5.17).

Данная функция позволяет на основании заданных скважин, отступов от плана здания или сооружения и заданной глубины построить 3D-модель грунтового основания, используя заданные параметры триангуляции в плане и по глубине. Построенную 3D-модель грунтового основания можно непосредственно присоединить к главной модели либо сохранить в файле.

### 5.2.5 Нормы и характеристики расчета

При первом запуске редактора **Грунт**, а также при щелчке по кнопке  или  на панели инструментов **Редактора грунта** появится диалоговое окно **Установить нормы и характеристики расчета**, состоящее из трех вкладок:

- **Общие;**
- **Плиты;**
- **Сваи.**

Закладка **Общие** (рис. 5.18) предназначена для задания следующих параметров:

- **Выбора Метода расчета** упругого основания для заданной модели грунта. В программе реализованы 3 модели основания — модель Пастернака (расчет по **Методу 1**), модель Винклера-Фусса (расчет по **Методу 2**) и модифицированная модель Пастернака (расчет по **Методу 3**).

- **Задания Коэффициента глубины сжимаемой толщи,  $\lambda$ .** Параметр  $\lambda$  определяет условие поиска нижней границы сжимаемой толщи  $H_c$ . Используется в формуле:  $\sigma_{zp} = \lambda * \sigma_{zq}$ , где  $\sigma_{zp}$  — дополнительное вертикальное нормальное напряжение от внешней нагрузки,  $\sigma_{zq}$  — вертикальное нормальное напряжение от собственного веса грунта.

- **Дополнительное постоянное напряжение по всей глубине.** Задание значения дополнительного напряжения, которое будет добавляться к напряжениям, возникающим от приложенных нагрузок, в любой точке сжимаемой толщи.

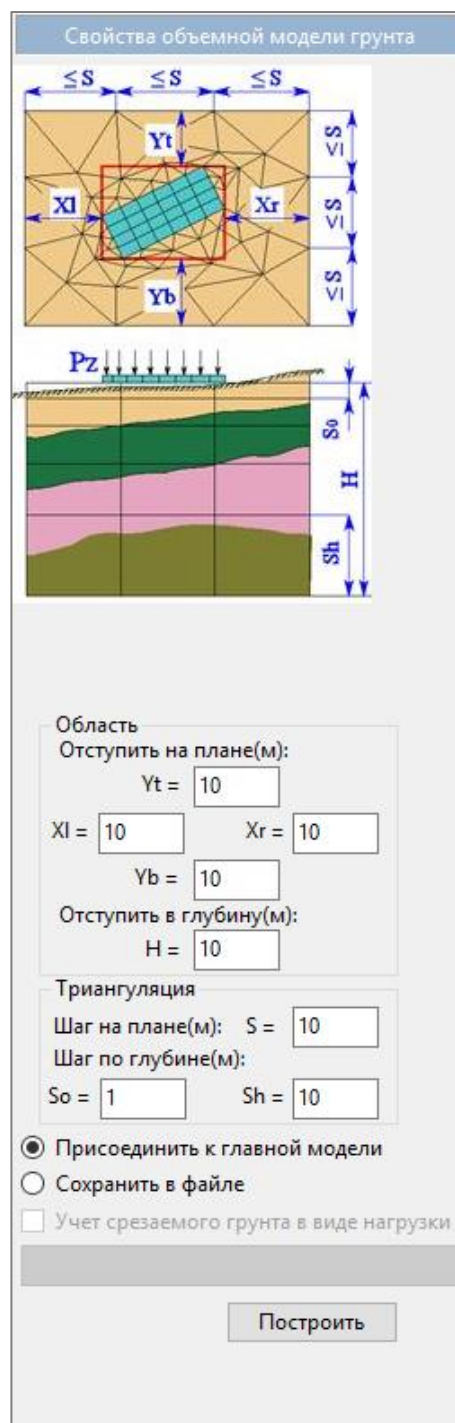

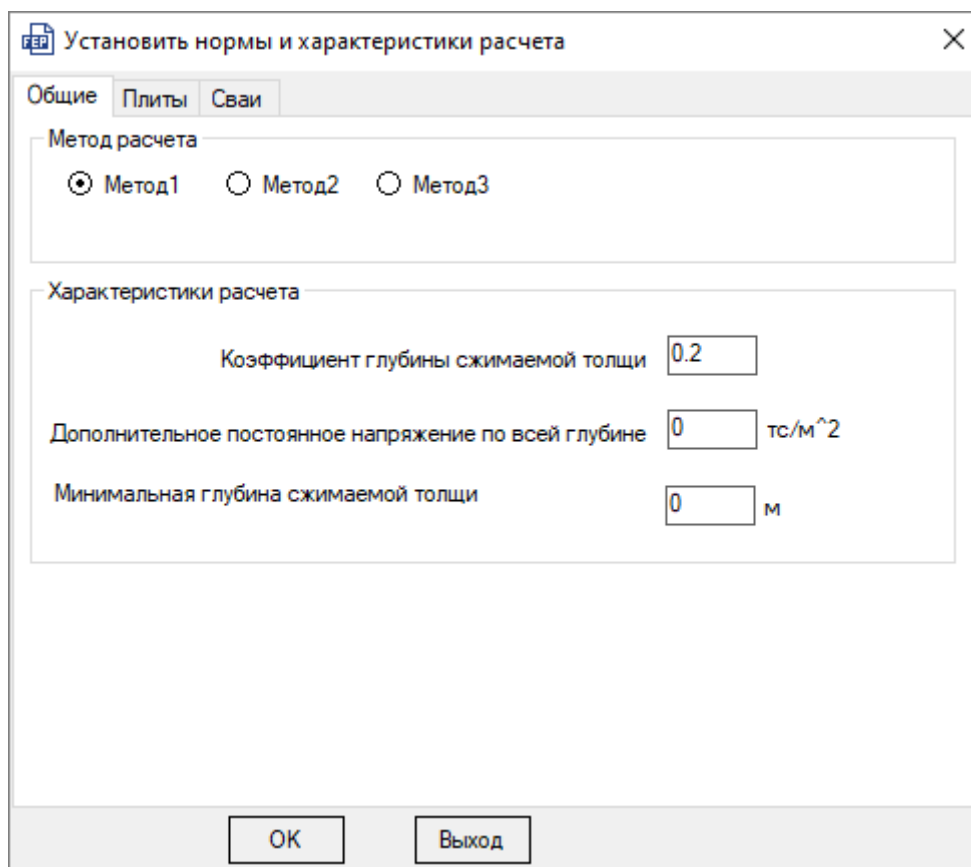


Рис. 5.17. Панель **Свойства объемной модели грунта**

- **Минимальная глубина сжимаемой толщи.** Этой величиной ограничивается минимальное значение глубины сжимаемой толщи. Значение может быть учтено при расчете по любым нормам. Допускается задавать равным нулю.

 По умолчанию коэффициент  $\lambda$  принят согласно рекомендованным значениям выбранных норм. При необходимости можно редактировать его значение.



Установить нормы и характеристики расчета

Общие Плиты Сваи

Метод расчета

Метод1  Метод2  Метод3

Характеристики расчета

Коэффициент глубины сжимаемой толщи

Дополнительное постоянное напряжение по всей глубине  тс/м<sup>2</sup>

Минимальная глубина сжимаемой толщи  м

OK Выход

Рис. 5.18. Окно Установить нормы и характеристики расчета, закладка **Общие**

Закладка **Плиты** предназначена для задания параметров расчета плитных фундаментов. Она позволяет задать следующие параметры (рис. 5.19):

- **Выбор норм** — выбор нормативного документа, на основании которого будут вычисляться глубина сжимаемой толщи и осадки фундамента. Выбор производится путем установки соответствующего переключателя.

- **Рассчитывать коэффициент  $C2$**  — при установке данного флажка рассчитывается коэффициент постели  $C2$ .

- **Характеристики расчета:**

- **Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки** — при установке данного флажка учитывается вес грунта выше подошвы фундамента.
- **При расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 метров, учитывать второе слагаемое** в приведенных формулах выбранных нормативных документах. При расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается в формуле не учитывать второе

слагаемое. При установке флажка происходит учет разуплотнения грунта вследствие разработки котлована.

- **Параметры расчета осадки консолидации** (данный блок параметров доступен лишь при выборе норм Еврокода):
  - **Рассчитать консолидацию** — задает расчет осадки консолидации.
  - **Промежуток времени,  $t$**  — указание промежутка времени действия нагрузок  $P_z$  на подошву фундамента основания (в годах).
  - **Продолжительность строительства / Продолжительность эксплуатации** — задание продолжительности строительства / эксплуатации объектов строительства (в годах).

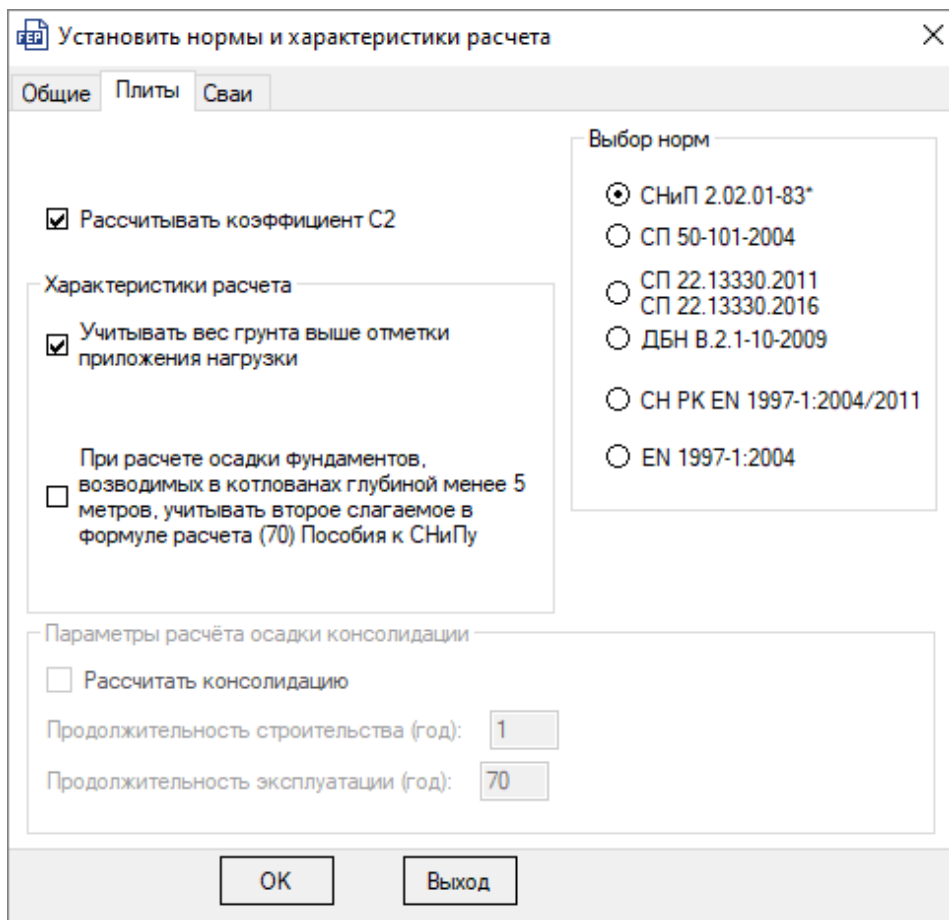


Рис. 5.19. Окно Установить нормы и характеристики расчета, закладка Плиты

Если требуется ввести в расчет влияние консолидации, то кроме времени действия приложенной нагрузки  $t$  требуется также задать **Коэффициенты фильтрации  $k_f$**  для слоев грунта в таблице **Характеристики грунтов** [5.8] (рис. 5.20).

№	Усл. обозн.	Наименование грунта	Численный грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м <sup>3</sup> γ1 γII	Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м <sup>2</sup> сI сII	Угол внутреннего трения, ° φI φII	Тип грунта	Коэффициент фильтрации грунта, м/с
1		Насыпной	<input checked="" type="checkbox"/>		1000	0.30	1.77 1.8	5	0.05	0.200	<input checked="" type="checkbox"/>	0.700	0.33 0.5	14.55 16	1. Крупнооблоночный грунт с песчаными заполнителями	0.00020202
2		Песок лигуватый	<input type="checkbox"/>		1800	0.30	1.77 1.75	5	0.25	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.540	0.33 0.1	14.55 31	2. Песок плотный гравелистый, e<0.55	0.00020202
3		Суглинок	<input type="checkbox"/>		2000	0.30	1.77 1.82	5	0.26	0.500	<input checked="" type="checkbox"/>	0.720	0.33 0.8	14.55 22	13. Суглинок пластичный, 0<SI<51	0.00020202
4		Суглинок тугопластичный	<input type="checkbox"/>		1800	0.35	1.77 1.87	5	0.17	0.260	<input type="checkbox"/>	0.680	0.33 2	14.55 18	16. Суглинок тугопластичный, 0.25<SI<0.5	0.00020202
5		Пыля илестоид	<input type="checkbox"/>		2200	0.42	1.77 1.92	5	0.02	0.150	<input type="checkbox"/>	0.800	0.33 5	14.55 16	20. Пыля илестоидная, 0<SI<0.25	0.00020202
6		Слабый	<input type="checkbox"/>		9000	0.30	1.77 1.8	5	0.05	0.150	<input type="checkbox"/>	0.800	0.33 2	14.55 16	1. Крупнооблоночный грунт с песчаными заполнителями	0.00020202

Рис. 5.20. Таблица Характеристики грунтов. Коэффициент фильтрации грунта

Закладка **Сваи** (рис. 5.21) предназначена для выбора нормативного документа, по которому будет произведен расчет, а также различных коэффициентов, доступность которых зависит от выбранных норм. Расчет производится как для одиночных свай, так и для свай, объединенных в свайные кусты или в условный фундамент с учетом сейсмичности.

Установить нормы и характеристики расчета

Общие Плиты **Сваи**

Характеристики расчета

Коэффициент глубины под пятой (п. 7.4.3)  $k$

Коэффициент условий работы (Прил. В, п.В.6)  $\gamma_{cz}$

Выбор норм

СП 24.13330.2011 (Изм. №1,2,3)

ДБН В.2.1-10:2009 (Изм. №1)

СН РК EN 1997-1:2004/2011

EN 1997-1:2004

Коэффициент надёжности по грунту (п. 7.1.11)  $\gamma_{cg}$

Коэффициент надёжности по ответственности сооружения (табл.2. ГОСТ 27751-2014)  $\gamma_n$

Расчет кустов свай

Коэффициент уплотнения грунта при погружении свай (Прил. В, п. В.7)  $\gamma_{cc}$

Учёт сейсмики

Расчетная сейсмичность

Повторяемость

Параметры нормы еврокода

Максимальная глубина от острия сваи для поиска жесткого слоя грунта в долях длины сваи

ОК Выход

Рис. 5.21. Окно **Установить нормы и характеристики расчета**, закладка **Сваи**

Расчет производится после нажатия на кнопку **ОК**.

## 5.2.6 Расчет плитных фундаментов

### Метод 1. Модель основания Пастернака

#### *Вычисление коэффициента постели $C1$*

По физическому смыслу коэффициент постели  $C1$  означает величину усилия в тонна-силах, которое необходимо приложить к  $1 \text{ м}^2$  поверхности основания, чтобы последнее осело на  $1 \text{ м}$ . Размерность  $C1$  —  $\text{тс}/\text{м}^3$ .

Значение коэффициента постели  $C1$  в расчетной точке, с координатами  $(x, y)$ , определяется по формуле:

$$C1 = \frac{E_0}{H_C(1-2\nu_0^2)}, \quad (5.5)$$

где  $E_0$  — усредненный модуль деформации;

$H_c$  — глубина сжимаемой толщи;  
 $\nu_0$  — усредненный коэффициент Пуассона.

### Вычисление глубины сжимаемой толщи $H_c$

В соответствии с нормативными документами [5.1, 5.4–5.7], для расчета  $H_c$  используется расчетная схема в виде линейно-деформируемого полупространства.

В расчетной точке с координатами  $(x, y)$  на глубине  $z_j$  от каждой  $k$ -й внешней нагрузки на грунт вычисляются суммарные дополнительные вертикальные напряжения  $\sigma_{zp_j} = \sum \sigma_{zp_{jk}}$  и вертикальные напряжения от собственного веса грунта  $\sigma_{zg_j}$ .

Если, начиная с глубины  $z_j$  и ниже, выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < \lambda \sigma_{zg_j}, \quad (5.6)$$

то фиксируется глубина сжимаемой толщи  $H_c = z_j$ .

Если расчет выполняется по нормам СНиП 2.02.01-83\* и нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E < 5$  МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то происходит пересчет  $H_c$  на значение  $\lambda = 0,1$ .

Если расчет выполняется по нормам СП 50-101-2004 и нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E < 5$  МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за  $H_c$  принимается минимальное из значений, соответствующее подошве слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < 0.1 \sigma_{zg_j}. \quad (5.7)$$

Если расчет по норме СП 22.13330.2011 и нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E \leq 7$  МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за  $H_c$  принимается минимальное из значений, соответствующее подошве слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < 0.2 \sigma_{zg_j}. \quad (5.8)$$

Если расчет по норме ДБН В.2.1-10-2009 и нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E \leq 5$  МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за  $H_c$  принимается минимальное из значений, соответствующее подошве слоя или глубине, где выполняется условие (5.8).

Так как расчет производится по схеме линейно-деформируемого полупространства (ЛПП), то по всем нормам для каждого ИГЭ контролируется модуль деформации  $E$ .

В случае, если  $E \geq 100$  МПа:

- по п. 2.40а СНиП 2.02.01-83\* после нахождения  $H_c$  производится проверка применимости схемы линейно-деформируемого слоя:

$$h_{zj} \geq H_c \left(1 - \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}\right), \quad (5.9)$$

где  $E_2$  — модуль деформации грунта, подстилающего слой с  $E \geq 100$  МПа.

В случае выполнения проверки по формуле (5.9), расчет будет произведен, однако следует самостоятельно проверить условия п. 2.40б на допустимость расчета по схеме ЛПП.



- по п. 5.5.41 СП 50-101-2004, п. 5.6.41 СП 22.13330.2011  $H_c$  допускается принимать до кровли грунта с  $E \geq 100$  МПа. Расчет продолжится после нажатия на кнопку: **Да** —  $H_c$  принимается до кровли этого грунта, **Нет** —  $H_c$  принимается из условия формулы (5.6).

- по ДБН В.2.1-10-2009, п. Д10, Приложение 10 расчет производится аналогично СП 50-101-2004 (п. 5.5.41), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.41).

### Вычисление усредненного модуля деформации $E_0$


Усредненный модуль деформации  $E_0$  в расчетной точке с координатами  $(x, y)$  в пределах сжимаемой толщи  $H_c$  определяется в соответствии с СНиП 2.02.01-83\* (п.11, Приложение 2), СП 50-101-2004 (п. 5.5.45), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.49, примечание 2), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д13, Приложение Д) по формуле:

$$E_0 = \sum \sigma_{z_{pjk}} h_j / \sum \frac{\sigma_{z_{pjk}} h_j}{E_j} \quad (5.10)$$

### Вычисление усредненного коэффициента Пуассона $\nu_0$

Усредненный коэффициент Пуассона  $\nu_0$  определяется в соответствии с СНиП 2.02.01-83\* (п.11, Приложение 2), СП 50-101-2004 (п. 5.5.45), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д13, Приложение Д) по формуле:

$$\nu_0 = \frac{\sum \nu_j h_j}{H_c} \quad (5.11)$$

 Можно учесть **Дополнительное постоянное напряжение** по всей глубине от сплошной распределенной нагрузки  $q$  (см. СНиП 2.02.01-83\* (п. 2.216), СП 50-101-2004 (п. 5.5.39), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.39), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д, Приложение Д)) и **Минимальную глубину сжимаемой толщи** (см. СП 50-101-2004 (п. 5.5.41), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.41), ДБН В.2.1-10-2009 п. Д10).

### Вычисление коэффициента постели $C_2$

Значение коэффициента постели  $C_2$  в расчетной точке с координатами  $(x, y)$  определяется по формуле:

$$C_2 = \frac{E_0 H_c}{6(1+\nu_0)} \quad (5.12)$$

При успешном завершении расчета (кроме описанных выше случаев) на экране появится сообщение (рис. 5.22).

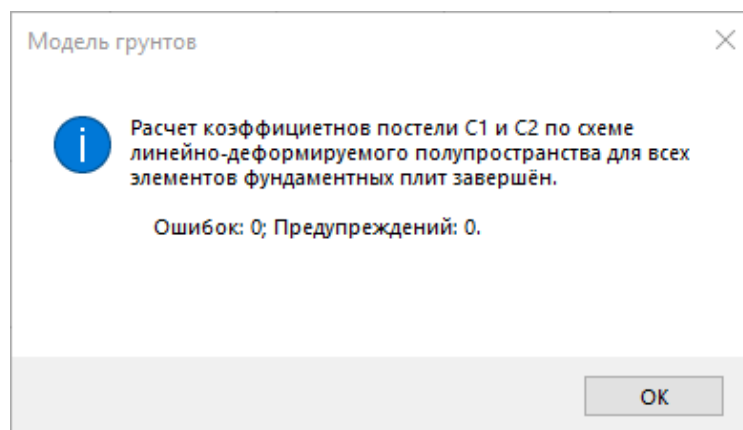


Рис. 5.22. Окно с сообщением об успешном завершении расчета

## Метод 2. Модель основания Винклера-Фусса

### Вычисление коэффициента постели $C1$

Согласно гипотезе Винклера коэффициент постели  $C1$  в расчетной точке с координатами  $(x, y)$  равен отношению значения  $P_z$  равномерно распределенной нагрузки в этой точке к ее осадке  $s$ :

$$C1 = \frac{P_z}{s}. \quad (5.13)$$

### Вычисление осадки $s$

Осадка основания фундамента  $s$  в соответствии с СНиП 2.02.01-83\* (п. 2.227), СП 50-101-2004 (п. 5.5.31), СП 22.13330.2011/ СП 22.13330.2016 (п. 5.6.31), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д1, Приложение Д) определяется методом послойного суммирования по формуле:


$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (5.14)$$


где  $\beta$  — безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zy,i}$  — среднее значение вертикального напряжения в  $i$ -м слое грунта от собственного веса, выбранного при отрывке котлована грунта;

$E_{e,i}$  — модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения;

$n$  — число слоев грунта, с учетом их дробления на подслои в пределах сжимаемой толщи  $H_c$ .

 Так как при расчете осадки  $s$  фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается в формуле (5.14) не учитывать второе слагаемое (см. СНиП 2.02.01-83\* (п. 2.227), СП 50-101-2004 (п. 5.5.34), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.34), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д4, Приложение Д)), то можно сделать соответствующую пометку в окне **Установить нормы и характеристики расчета** и произвести расчет без учета второго слагаемого.

 Для норм СНиП 2.02.01-83\*, п. 2, Приложение 2 допускается для фундаментов шириной  $b \geq 10$  м не учитывать собственный вес грунта на уровне подошвы фундамента. Сделать соответствующую пометку можно на панели **Установить нормы и характеристики расчета** — **Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки**.

### Вычисление коэффициента постели $C2$

Значение коэффициента постели  $C2$  в расчетной точке с координатами  $(x, y)$  определяется по формуле:

$$C2 = C1 \cdot \frac{H_c^2 (1 - 2\nu_0^2)}{6(1 + \nu_0)}. \quad (5.15)$$

### Метод 3. Модифицированная модель Пастернака

#### Вычисление коэффициента постели $C1$

Для определения коэффициента постели  $C1$  так же, как и для Метода 1, используется формула (5.5). Отличие состоит в том, что для определения среднего модуля деформации  $E_0$  вводится поправочный коэффициент  $k_i$  к величине модуля деформации  $E_i$   $i$ -го подслоя. Этот коэффициент изменяется от  $k_1=1$  на уровне подошвы фундамента до  $k_n=12$  на уровне уже вычисленной границы сжимаемой толщи  $H_C$ . Принято, что коэффициент  $k$  изменяется по закону квадратной параболы:

$$k_i(z) = \frac{11z^2}{H_C^2} + 1 \quad (5.16)$$

Кроме того, принимается, что дополнительное вертикальное напряжение по глубине распределено равномерно. Тогда:

$$E_0 = H_C / \sum \frac{h_j}{k_i E_i} \quad (5.17)$$

Коэффициент  $k$  вводится и при определении осадки:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) h_i}{k_i E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} h_i}{k_i E_{e,i}}, \quad (5.18)$$

#### Вычисление коэффициента постели $C2$

Значение коэффициента постели  $C2$  определяется аналогично Методу 2 по формуле (5.15).

### Определение расчетного сопротивления грунта

Определение расчетного сопротивления грунта основания является одним из важнейших расчетов зданий и сооружений по второму предельному состоянию. Ключевая предпосылка к применению методов расчета осадок, основанных на использовании положений теории линейного деформирования грунта, заключается в том, что среднее давление под подошвой фундамента не должно превышать расчетного сопротивления грунта основания:  $P_z \leq R$ . Для предварительных расчетов величина  $R$  используется в определении габаритов фундамента.

В версии ПК ЛИРА 10.12 для определения величины  $R$  реализованы положения нормативных документов: СНиП 2.02.02-83\* (п. 2.41), СП 50-101-2004 (п. 5.5.8), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.7), СП 22.13330.2016 (п. 5.6.7), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Е.4), где приводится формула:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}].$$

Для определения расчетного сопротивления грунта основания необходимо объединить элементы фундамента в группу (см. п. 2.11.14), задать расчетные параметры фундамента, а также назначить среднее давление  $P_z$  под подошвой фундамента для передачи на расчет в редактор **Грунт**. Впоследствии возможно уточнение коэффициента использования по расчетному сопротивлению грунта по результатам полученного среднего давления под подошвой фундамента.

### Проверка прочности подстилающего слоя в основании фундаментов

Одним из важнейших факторов проектирования оснований и фундаментов является прочность подстилающих слоев основания  $R_z$ . В версии ПК ЛИРА 10.12 для определения величины  $R_z$  реализованы положения нормативных документов: СНиП 2.02.02-83\*, СП 50-101-2004, СП 22.13330.2011, СП 22.13330.2016, ДБН В.2.1-10-2009. Проверка подстилающих слоев основания является развитием проверки прочности несущего слоя грунта.

Если под несущим слоем, в пределах сжимаемой толщи, на какой-либо глубине  $z$  залегает менее прочный грунт, то производится проверка напряжения, передаваемого на кровлю подстилающего слоя грунта по условию:

$$\sigma_z = (\sigma_{zp} - \sigma_{zy}) + \sigma_{zq} \leq R_z,$$

где  $R_z$  — расчетное сопротивление пониженной прочности:

$$R_z = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{cлII} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{cлII}].$$

При несоблюдении условия прочности подстилающего слоя грунта программа реагирует сообщением с перечнем элементов, под которыми прочность грунтового основания недостаточна (рис. 5.23).

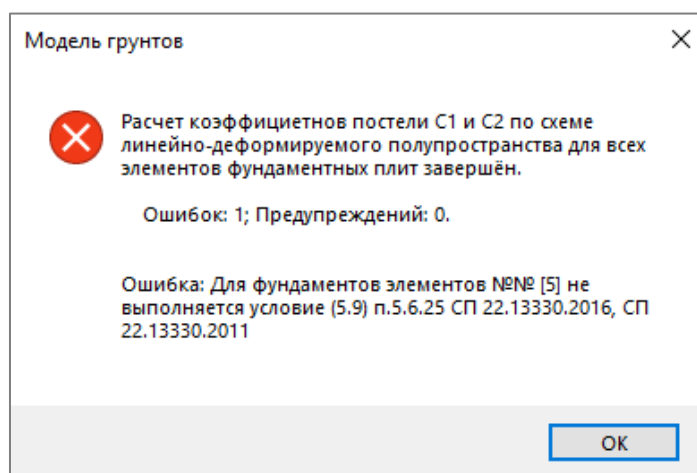


Рис. 5.23. Окно с сообщением о невыполнении условия

### Расчет осадки по EN 1997-1:2004 и СН РК EN 1997-1: 2004/2011

В ПК ЛИРА 10.12 полная осадка  $S$  состоит из двух компонент — мгновенной осадки  $S_0$  и осадки, вызванной консолидацией  $S_1$ :

$$S = S_0 + S_1.$$

**Общая мгновенная осадка фундамента** определяется (согласно DIN 4019) с использованием метода расчета, основанного на модели упругого полупространства с условным ограничением сжимаемой толщи (метод послойного суммирования) по формуле:

$$s_0 = \sum s_{0i} = \sum \left( \frac{\Delta \sigma_{z,i}}{E_i} \cdot \Delta z_i \right).$$

Вертикальные напряжения грунта  $\sigma_z$  на глубине  $z$  рассчитываются на основе подхода Буссинеска и принципа суперпозиции.

При расчете учитываются дополнительные напряжения, вызванные нагрузкой на фундамент, вплоть до глубины сжимаемой толщи  $H_c$ . В соответствии с EN 1997-1:2004,  $H_c$  принимается из условия, что эффективные напряжения от фундамента составляют 20% напряжений от собственного веса грунта. Соотношение может корректироваться Коэффициентом глубины сжимаемой толщи в закладке **Общие**.

**Осадка консолидации по нормам СН РК EN 1997-1: 2004/2011 (Приложение Д, НТП РК 07-01.4-2012)**

Расчет производится после установки флажка и заполнения параметров консолидации: времени действия приложенной нагрузки  $t$  и коэффициентов фильтрации  $k_f$  для слоев грунта.

Осадка консолидации для времени  $t$  определяется по формуле:

$$s_1 = \sum h_i \frac{E_i}{\beta_i} p \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \left( e^{-N_i} + \frac{e^{-9N_i}}{9} + \frac{e^{-25N_i}}{25} \right) \right],$$

где  $\beta_i$  — коэффициент, учитывающий поперечное расширение грунта в основании под фундаментом:

$$\beta_i = 1 - \frac{2\nu_i^2}{1 - \nu_i};$$

$$N_i = \frac{\pi^2 c_{vi}}{4h_i^2} t;$$

$c_{v,i}$  — коэффициент консолидации:

$$c_{v,i} = \frac{k_{\phi i}}{m_{vi} \cdot \gamma_w} = \frac{E_i \cdot k_{\phi i}}{\beta_i \cdot \gamma_w}.$$

**Осадка консолидации по нормам EN 1997-1:2004**

Расчет производится после установки флажка и заполнения параметров консолидации: времени строительства  $t_c$ , времени действия  $t$  эксплуатационных нагрузок  $P_z$ , коэффициента фильтрации  $k_f$  для слоев грунта.

Программой определяются границы консолидированного слоя грунта и направление фильтрации воды из этого слоя (вверх, вниз, в обоих направлениях). Если отток происходит в одном направлении, траектория оттока воды равна толщине консолидированного слоя, в случае оттока в двух направлениях — половине толщины слоя.

На расчёт консолидации влияют факторы времени, которые зависят от траектории оттока.

Реальный фактор времени:  $T_v = \frac{c_v t}{H^2}$ .

Фактор времени продолжительности строительства:  $T_c = \frac{c_v t_c}{H^2}$ .

Степень консолидации:

$$\text{при } T_v \leq T_c, \quad U_{av} = \frac{T_v}{T_c} \left\{ 1 - \frac{2}{T_v} \sum_{m=0}^3 \frac{1}{M^4} [1 - \exp(-M^2 \cdot T_v)] \right\};$$

$$\text{при } T_v > T_c, \quad U_{av} = 1 - \frac{2}{T_v} \sum_{m=0}^3 \frac{1}{M^4} [\exp(M^2 \cdot T_c)] \cdot \exp(-M^2 \cdot T_v),$$

где  $M = (2m + 1) \frac{\pi}{2}$ ,  
 $m = 0, 1, 2, 3$ .

Осадка консолидации  $i$ -го консолидированного слоя толщиной  $H_i$  в любой момент времени  $t$ :  $s_{ti} = s_i U_{avi}$ ,

где  $s_i = H_i P_i m_{vi} = H_i P_i \frac{\beta_i}{E_i}$  — полная стабилизационная осадка консолидированного слоя.

Полная осадка консолидации определяется по формуле:  $s_1 = \sum s_{ti}$ .

### 5.2.7 Расчет свайного фундаментов

Свая в ПК ЛИРА 10 моделируется как одноузловым конечным элементом упругой сваи Свая (КЭ 57), так и цепочкой стержней эквивалентной жесткости.

Жесткость сваи характеризуется следующими величинами:

- $R_x$  — жесткость вдоль глобальных или локальных осей координат узла X;
- $R_y$  — жесткость вдоль глобальных/локальных осей координат узла Y;
- $R_z$  — жесткость вдоль глобальных/локальных осей координат узла Z;
- $R_{ux}$  — жесткости на поворот вокруг глобальных/локальных осей координат узла X;
- $R_{uy}$  — жесткости на поворот вокруг глобальных/локальных осей координат узла Y;
- $R_{uz}$  — жесткости на поворот вокруг глобальных/локальных осей координат узла Z.

Жесткости  $R_x, R_y, R_z, R_{ux}, R_{uy}, R_{uz}$  вычисляются при помощи стержневого элемента, моделирующего сваю совместно с окружающим грунтом и обладающим переменными характеристиками по глубине. При этом нижний узел стержня (пята сваи) закреплен от поворота вокруг оси Z.

Вычисление жесткостей производится по формулам:

$$R_x = \frac{1}{u_x}; \quad R_y = \frac{1}{u_y}; \quad R_z = \frac{1}{u_z}; \quad R_{ux} = \frac{1}{\psi_{ux}}; \quad R_{uy} = \frac{1}{\psi_{uy}}; \quad R_{uz} = \frac{1}{\psi_{uz}},$$

где  $u_x, u_y, u_z$  — горизонтальные перемещения и углы поворота головы сваи;  
 $s$  — осадка.

Расчет осадки свай зависит от выбранного нормативного документа и выбранной модели расчета:

- Одиночная висячая свая;
- Свайный куст;
- Условный фундамент.

**Расчет по СП 24.13330.2011****Осадка сваи в Свайном кусте**

При расчете приняты следующие допущения:

1. Сваи, входящие в **Свайный куст**, должны быть описаны одной строкой в опции **Сечение** (т.е. должны иметь одну длину, сечение, конструктивные особенности).
2. Взаимное влияние кустов свай производится как для **Условных фундаментов**.

Расчет висячих свай в составе свайного куста производится в соответствии с пп. 7.4.4, 7.4.5 СП 24.13330.2011 по методике осадка одиночной сваи, учитывающей взаимное влияние свай в кусте.

Осадка  $n$ -й сваи в группе из свай  $n$  производится по формуле:

$$s_i = s(P_{zi}) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{P_{zi}}{G_{lij} \cdot l},$$

где  $s(P_{zi})$  — осадка  $i$ -й сваи (определяется по методике расчета осадки одиночной сваи);

$\sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{P_{zi}}{G_{lij} \cdot l}$  — сумма дополнительных осадок от влияния  $(n-1)$  свай в кусте к осадке  $i$ -й сваи,

где

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0.17 \ln \frac{k_{vij} \cdot G_{lij} \cdot l}{2G_{2ij} \cdot a_{ij}} & \text{если } \frac{k_{vij} \cdot G_{lij} \cdot l}{2G_{2ij} \cdot a_{ij}} > 1, \\ 0 & \text{если } \frac{k_{vij} \cdot G_{lij} \cdot l}{2G_{2ij} \cdot a_{ij}} < 1 \end{cases}$$

$a_{ij}$  — расстояние между осями  $i$ -й сваей, осадка которой рассчитывается, и  $j$ -й, влияющей сваей, дополнительная осадка от которой учитывается.

**Осадка сваи в Условном фундаменте**

При расчете приняты следующие допущения:

1. Грунт, на который опираются сваи, рассматривается как линейно-деформируемое полупространство.
2. Сваи, входящие в **Условный фундамент**, должны быть описаны одной строкой в опции **Сечение** (иметь одну длину, сечение, конструктивные особенности).
3. Выполняется соотношение:  $0 < E_1 < E_2$ ,  
где  $E_1$  — усредненный модуль деформации грунтов в пределах длины сваи  $l$ ;  
 $E_2$  — усредненный модуль деформации грунтов в пределах глубины сжимаемой толщи  $H_c$  **Условного фундамента**.

Расчет производится в соответствии с пп. 7.4.6, 7.4.9 СП 24.13330.2011.

Полная осадка  $i$ -й сваи в составе свайного поля, рассчитываемая по модели **Условного фундамента**, определяется по формуле:

$$s_i = s_{ef} + \Delta s_{pi} + \Delta s_{ci},$$

где  $s_{ef}$  — осадка **Условного фундамента**;

$\Delta s_{pi}$  — дополнительная осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента;

$\Delta s_{ci}$  — дополнительная осадка за счет сжатия ствола сваи.

**Определение осадки Условного фундамента  $s_{ef}$**

Расчет производится в соответствии с п. 7.4.7 СП 24.13330.2011.

Осадка **Условного фундамента** площадью  $A_{cf}$ , состоящего из  $n$  свай, определяется для его центра, имеющего координаты  $(x_{cf}, y_{cf})$ .

Нагрузка  $P_{zcf}$ , действующая на Условный фундамент и приложенная в его центре на уровне оголовка свай, определяется по формуле:

$$P_{zcf} = \sum_{i=1}^n P_{zi},$$

где  $P_{zi}$  — вертикальная нагрузка, действующая на оголовок  $i$ -й свай.

Среднее давление под подошвой Условного фундамента определяется без учета веса грунта в его пределах по формуле:

$$P_{zcf} = \frac{P_{zcf} + \sum_{i=1}^n V_i}{A_{cf}},$$

где  $v_i$  — вес  $i$ -й свай (вычисляется на основании заданных характеристик).

Расчет осадки  $s_{ef}$  производится методом послойного суммирования деформаций с условным ограничением сжимаемой толщи  $H_c$  (пп. 5.6.31 – 5.6.41 СП 22.13330.2011), при этом начальное напряжение  $\sigma_{zi}$  определяется с учетом отрывки котлована.

Взаимовлияние **Условных фундамента** между собой производится по методике плитных фундамента.

**Определение дополнительной осадки за счет продавливания  $\Delta s_{pi}$**

Расчет производится в соответствии с п. 7.4.8 СП 24.13330.2011.

Дополнительная осадка за счет продавливания  $i$ -й свай вычисляется по формуле:

$$\Delta s_{pi} = \frac{\Delta s_{pei}}{\frac{\Delta s_{pei}}{\Delta s_{poi}} \cdot \left(1 - \frac{E_{1i}}{E_{2i}}\right) + \frac{E_{1i}}{E_{2i}}}.$$

Осадка продавливания  $\Delta s_{pei}$   $i$ -й свай при однородных грунтах ( $E_{1i} = E_{2i}$ ):

$$\Delta s_{pei} = \frac{\pi(1 - \nu_{2i}^2) \cdot \frac{P_{zi}}{\Omega}}{4E_{2i}} (a - 1.5d),$$

где  $d$  — расчетный диаметр свай;

$\Omega$  — площадь продавливания свай;

$a$  — средний шаг свайного поля:

- для рядового расположения свай:

$$a = \sqrt{\Omega},$$

- для шахматного расположения свай:

$$a = \sqrt{\frac{2 \cdot \Omega}{\sqrt{3}}}.$$

Осадка продавливания  $i$ -й свай для случая идеальной свай ( $E_{1i} = 0$ ):

$$\Delta s_{poi} = \frac{(1 - \nu_{2i}^2) \cdot (1 - k) \cdot (P_{zi} + v_i)}{d \cdot E_{2i}},$$

где  $k = \sqrt{\frac{A}{\Omega}}$ ,  $A$  — площадь пяты свай.



**Определение дополнительной осадки за счет сжатия ствола сваи  $\Delta s_{ci}$** 

Расчет производится в соответствии с п. 7.4.9 СП 24.13330.2011.

$$\Delta s_{ci} = \frac{P_{zi} \cdot (l-a)}{E \cdot A},$$

где  $E$  — модуль упругости ствола сваи;

$A$  — площадь ствола сваи.

Значение вертикальной жесткости для  $i$ -й сваи:

$$R_{zi} = \frac{P_{zi}}{S_i}.$$

**Вычисление жесткости грунта в горизонтальном направлении**

Расчет производится в соответствии с Приложением В, пп. В.1-В.3, В.5 СП 24.13330.2011.

Для вычисления жесткостей  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_{ux}$ ,  $R_{uy}$ ,  $R_{uz}$  внутрипрограммно создается стержневой элемент, моделирующий сваю совместно с окружающим грунтом. Длина элемента равна  $L$ . Элемент разбит на заданное количество участков разбиения  $n$ , при этом полученные элементы опираются боковыми поверхностями на упругое основание, характеризуемое коэффициентами постели  $C_{zxi}$ ,  $C_{zyi}$ .

$$C_{zxi} = \frac{\alpha_{xi} \cdot K \cdot z}{\gamma_c},$$

$$C_{zyi} = \frac{\alpha_{yi} \cdot K \cdot z}{\gamma_c},$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, принимаемый в зависимости от вида грунта, окружающего сваю;

$z$  — глубина, для которой определяется коэффициент постели;

$\gamma_c$  — коэффициент условий работы;

$\alpha_{xi}$  — понижающий коэффициент для X направления;

$\alpha_{yi}$  — понижающий коэффициент для Y направления.

Понижающие коэффициенты вычисляются по формулам:


$$\alpha_{xi} = \gamma_c^\alpha \cdot \prod_{j=0, j \neq 1}^n \left\{ 1 - \frac{H}{r_{ij}} \left[ 1.17 + 0.36 \frac{x_j - x_i}{r_{ij}} - 0.15 \left( \frac{x_j - x_i}{r_{ij}} \right)^2 \right] \right\},$$

$$\alpha_{yi} = \gamma_c^\alpha \cdot \prod_{j=0, j \neq 1}^n \left\{ 1 - \frac{B}{r_{ij}} \left[ 1.17 + 0.36 \frac{y_j - y_i}{r_{ij}} - 0.15 \left( \frac{y_j - y_i}{r_{ij}} \right)^2 \right] \right\},$$

где  $\gamma_c^\alpha$  — коэффициент, учитывающий уплотнение грунта при погружении свай, принимаемый: 1.2 — для забивных свай сплошного сечения и 1 — для остальных видов свай;

$H, B$  — стороны поперечного сечения сваи (в случае круглых свай  $H = B = d$ );

$r_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$  — расстояние между близлежащими сваями в осях.

  $\prod_{j=0, j \neq i}^n$  — произведение распространяется только на сваи куста, непосредственно примыкающие к  $i$ -й свае.

**Расчет по EN 1997-1:2004 и СН РК EN 1997-1: 2004/2011*****Осадка одиночной сваи***

Метод расчета осадки одиночных свай в ПК ЛИРА 10.12 основан на использовании линейно-упругого метода Поулоса и Дэвиса, описанного в книге [5.9]. При этом методе грунт основания описывается модулем упругости  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ . Осадка одиночной сваи определяется с помощью комплекса поправочных коэффициентов.

При расчете приняты следующие допущения:

1. Свая и грунт изначально свободны от напряжений.
2. В свае нет остаточных напряжений, возникающих в результате ее установки.
3. Перемещения сваи и прилегающего грунта равны.

Осадка одиночной сваи от действия осевой нагрузки  $P_z$  определяется по формуле:


$$s = \frac{P_z I}{E_s d}$$

Коэффициентом влияния осадки  $I$  программа регулирует:


- для сваи на жестком основании (сваи-стойки):
  - влияние осадки пяты сваи (зависит от длины сваи и размеров ствола и пяты сваи);
  - сжимаемость сваи (зависит от коэффициента жёсткости сваи и отношения длины к диаметру сваи);
  - жесткость несущего слоя (зависит от отношения модулей упругости сваи и секущего модуля деформации грунта под сваей, а также от отношения окружающего грунта к коэффициенту жёсткости сваи — для разных отношений длины и диаметра сваи);
  - влияние понижения коэффициента Пуассона  $\nu$  в окружающем сваю грунте на понижение значения осадки сваи при постоянном модуле упругости грунта (зависит от коэффициента Пуассона окружающего грунта и коэффициентов жёсткости сваи).
- для висячей сваи:
  - влияние осадки пяты сваи;
  - сжимаемость сваи;
  - влияние несжимаемого грунта под пятой сваи (зависит от отношения длины сваи к диаметру сваи и отношения длины сваи к толщине сжимаемого слоя над несжимаемым слоем);
  - влияние понижения коэффициента Пуассона  $\nu$  грунта.

## 5.2.8 Результаты расчета

После выполнения расчета для каждого элемента фундамента можно посмотреть результаты. Для этого выберите на схеме нужные элементы, выделив их при помощи мыши. Слева появится панель **Свойства нагрузки** с исходными и расчетными данными, а также эпюрами напряжений (рис. 5.24).

 Если выбраны несколько элементов фундамента, то их имена заносятся в раскрывающийся список вверху панели, в котором можно выбрать конкретный элемент.

На рис. 5.24 показан пример панели **Свойств нагрузки** для элемента фундаментной плиты. В нижней части панели показаны результаты расчета. Ширина и высота элемента условны, остальные размеры соответствуют масштабу рисунка. Цвета слоев грунта соответствуют их цветам в таблице **Характеристики грунтов**. Водонасыщенные слои штрихуются.

Кнопка  позволяет скопировать изображение эпюр напряжений в файл для последующего использования его в документировании.

Если элементы объединены в группу **Плитный фундамент** (см. п. 2.11.14), то в результатах расчета на панели **Свойства нагрузки** на закладке **Осадка** также будет получено значение расчетного сопротивления,  $R$ .

А для анализа результатов расчета по прочности подстилающего слоя необходимо перейти на закладку **Расчетное сопротивление** (рис. 5.25). Она предназначена для анализа соотношения между расчетным сопротивлением подстилающего слоя  $R_z$  на глубине  $z$  от подошвы фундамента и суммарным давлением на грунт  $\sigma_z$  в этом слое.

При выполнении расчетов по нормам Еврокода программа позволяет создать график осадки консолидации во времени, который дает возможность оценить развитие осадки водонасыщенных грунтов во времени, а также ее стабилизацию. Для этого нужно задать в соответствующем поле требуемое количество лет, а затем нажать кнопку **Осадка консолидации** (рис. 5.26).

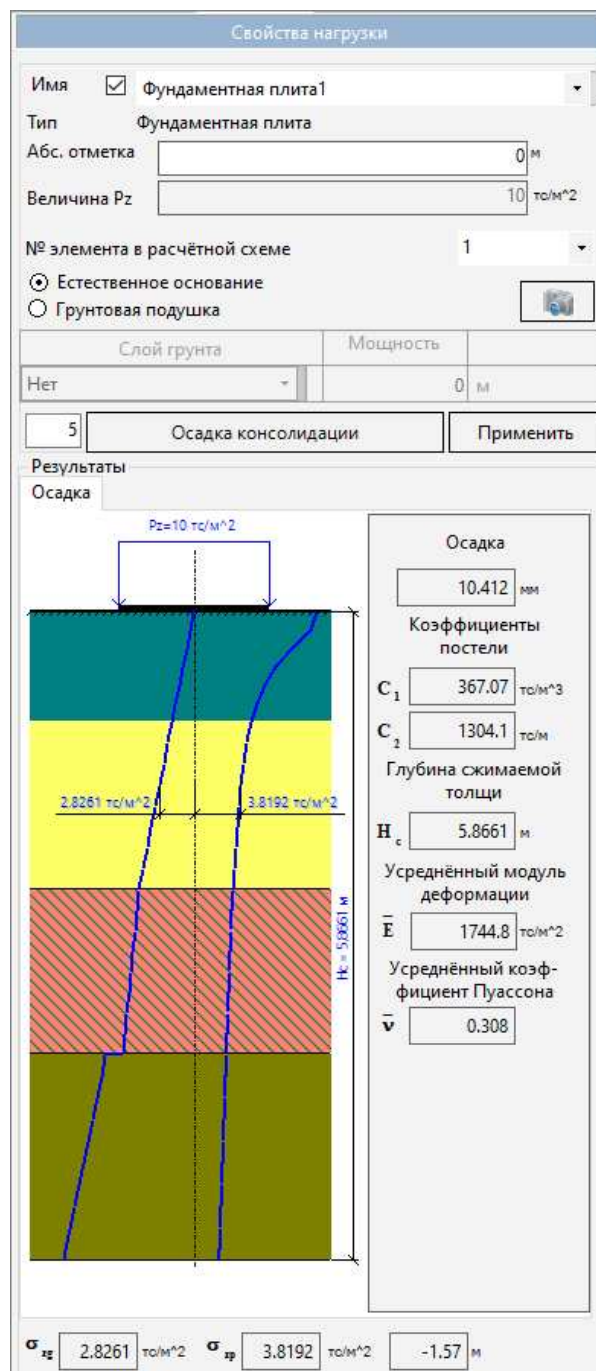


Рис. 5.24. Панель **Свойства нагрузки**

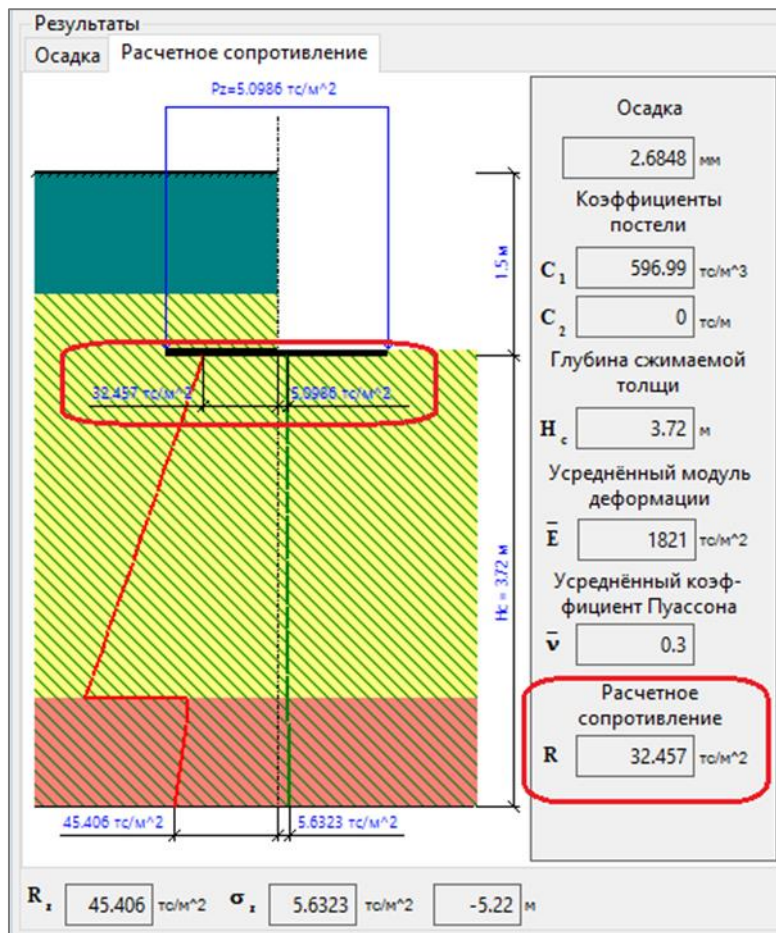


Рис. 5.25. Закладка Расчетное сопротивление

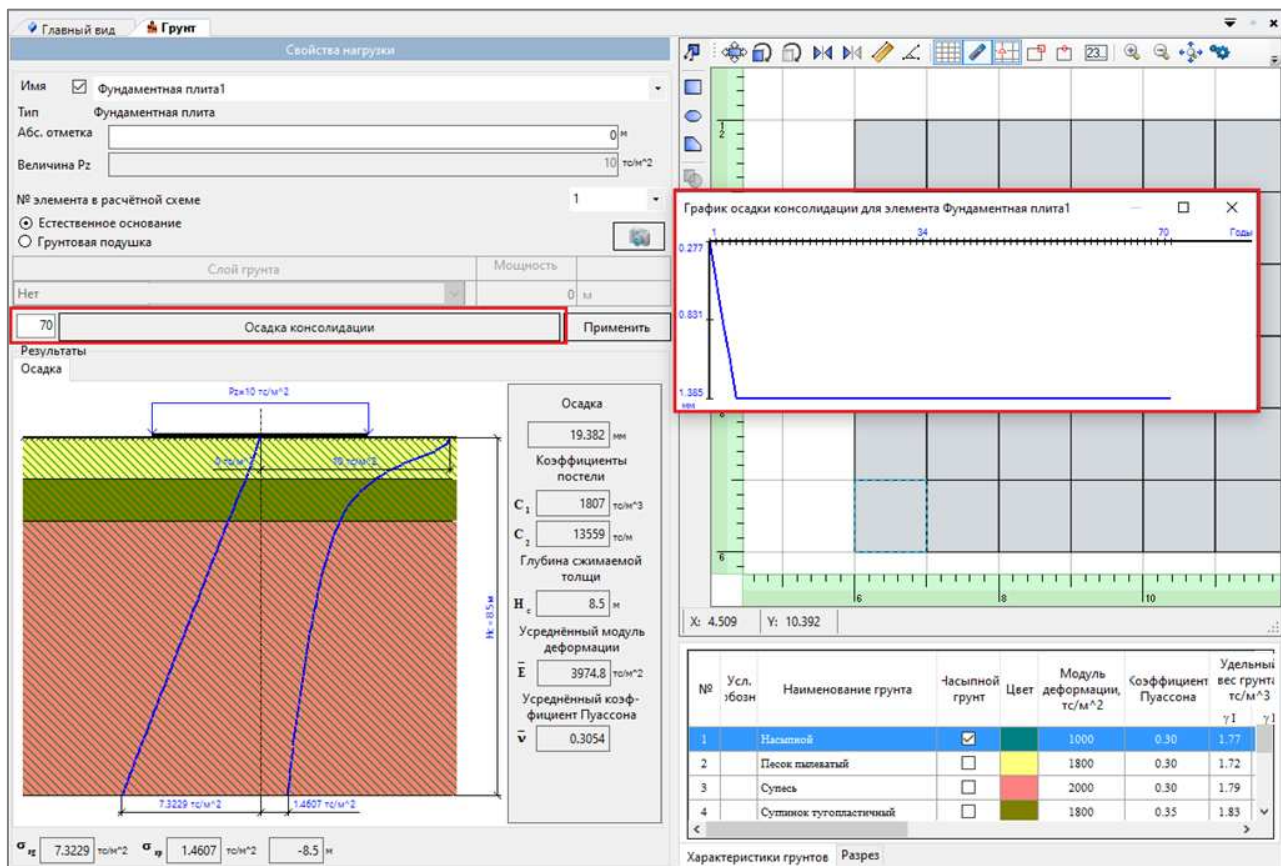


Рис. 5.26. График осадки консолидации


## 5.2.9 Импорт модели грунта

Импорт модели грунта можно осуществлять из двух типов файлов:

- файлы \*.dxf с замкнутыми полигонами;
- файлы модели ЛИРА (\*.fer), в которых сохранена модель грунта.

### Импорт файла \*.dxf с замкнутыми полигонами

#### Способ 1

Нажав кнопку  (**Свойства**), а затем выбрав в раскрывшемся окне закладку **Импорт**, задайте масштабный коэффициент для изменения размеров импортируемых полигонов из файлов \*.dxf (рис. 5.27).

При нажатии кнопки **Применить** импорт начнется немедленно.

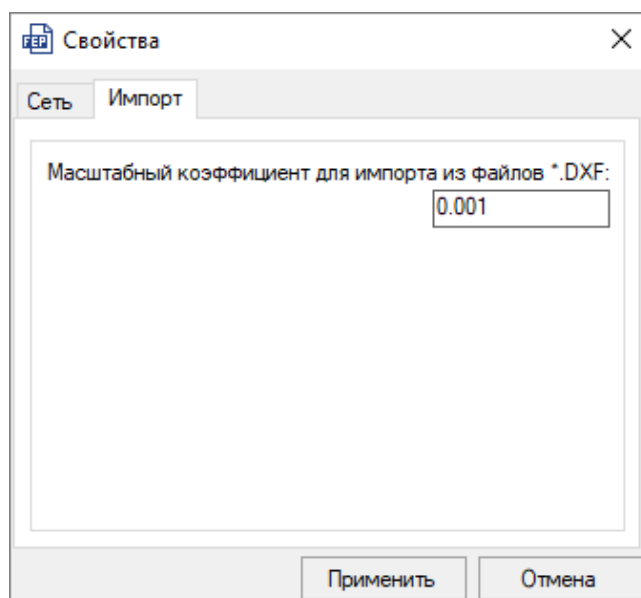




Рис. 5.27. Окно **Свойства**

#### Способ 2

Нажмите в верхнем ряду кнопок **Редактора грунта** кнопку  (**Импортировать модель грунта из файла**). Появится стандартное окно открытия файла. Выберите файл \*.dxf для импорта.

Замкнутые полигоны из файла \*.dxf импортируются отдельно по принципу: один полигон — одна нагрузка от соседнего фундамента. Если необходимо, их можно в дальнейшем объединить в одну нагрузку с помощью средств **Двумерного графического редактора**.

## Импорт файла модели ЛИРА (\*.fer), в котором сохранена модель грунта

Нажмите в верхнем ряду кнопок **Редактора грунта** кнопку . Выберите файл для импорта \*.fer. Если в файле нет данных для импорта, на этом операция закончится. В противном случае появится окно **Характеристики импорта модели грунта** (рис. 5.28).

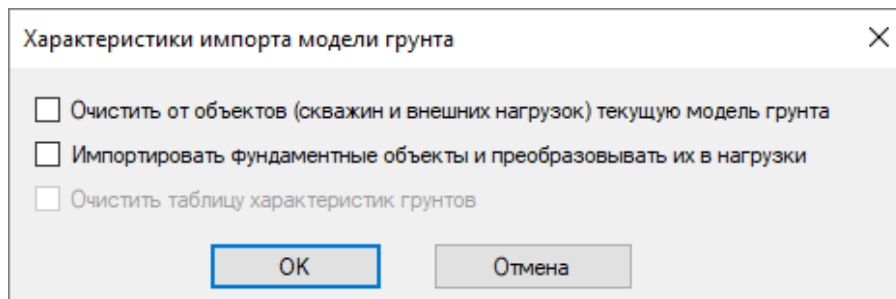


Рис. 5.28. Характеристики импорта модели грунта

Здесь:

- **Очистить от объектов (скважин и внешних нагрузок) текущую модель грунта** — установка флажка означает, что перед импортом все объекты текущей модели грунта (**Нагрузки** и **Скважины**, но не таблица **Характеристики грунтов**) удаляются. То есть объекты из импортируемой модели замещают существующие.

- **Импортировать фундаментные объекты и преобразовывать их в нагрузки** — установка флажка означает, что все найденные в импортируемом файле нагрузки на элементы фундамента преобразуются в нагрузки от соседних фундаментов по контурам исходных объектов. В противном случае нагрузки на фундаментные объекты не импортируются.

- **Очистить таблицу характеристик грунтов** — установка флажка означает, что перед импортом нужно очистить таблицу характеристик грунтов в текущей модели. Данный флажок становится доступным, если установлен флажок **Очистить от объектов (скважин и внешних нагрузок) текущую модель грунта**.

По окончании импорта на экране редактора появляются контуры импортируемых объектов, выделенные красным цветом. При необходимости местоположение импортируемых объектов можно отредактировать средствами **Двумерного графического редактора** или отменить импорт, нажав клавишу **Esc**.

Из файлов \*.fer импортируется:

- таблица **Характеристики грунтов** — ИГЭ из импортируемой таблицы добавляются в конец существующей таблицы;




- **Скважины**;

- **Нагрузки** от соседних фундаментов;


- Нагрузки на элементы фундаментной плиты **Pz** — только если в окне (рис. 5.28) установлен флажок **Импортировать фундаментные объекты и преобразовывать их в нагрузки**.

## 5.3 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Визуализация/просмотр результатов расчета возможна после выполнения расчета в **Редакторе грунта**. В режиме формирования расчетной модели можно визуализировать результаты в трех вариантах:

- **Информация об элементе или узле**, кнопка ;
- **Упругое основание**, кнопка ;
- **Анализ модели**, кнопка .

### 5.3.1 Просмотр результатов в режиме Информация об узле или элементе

Для просмотра информации об узле или элементе воспользуйтесь командой **Анализ ⇌ Информация** либо нажмите кнопку  на панели инструментов. Активизируется панель активного режима **Информация об узле или элементе** с исходными и рассчитанными данными выбранного элемента (рис. 5.29).

На этой панели откройте пункт **Упругое основание**, затем откройте свойство **Тип** и, если расчет коэффициентов постели был ранее выполнен, будут показаны значения  $C1$  и  $C2$  для этого элемента. Для стержней визуализируются значения коэффициентов постели, действующих в двух направлениях: вдоль оси  $Z1$  местной системы координат —  $C1$  и  $C2$  (вертикальный отпор грунта), и вдоль оси  $Y1$  местной системы координат —  $yC1$  и  $yC2$  (горизонтальный отпор грунта). Коэффициенты  $yC1$  и  $yC2$  задаются пользователем и визуализируются только в этом случае. Кроме этого, для стержней выдается информация о ширине и глубине осадочной лунки и политика назначения размеров стержня — **Из сечения** либо задана пользователем (рис. 5.30).

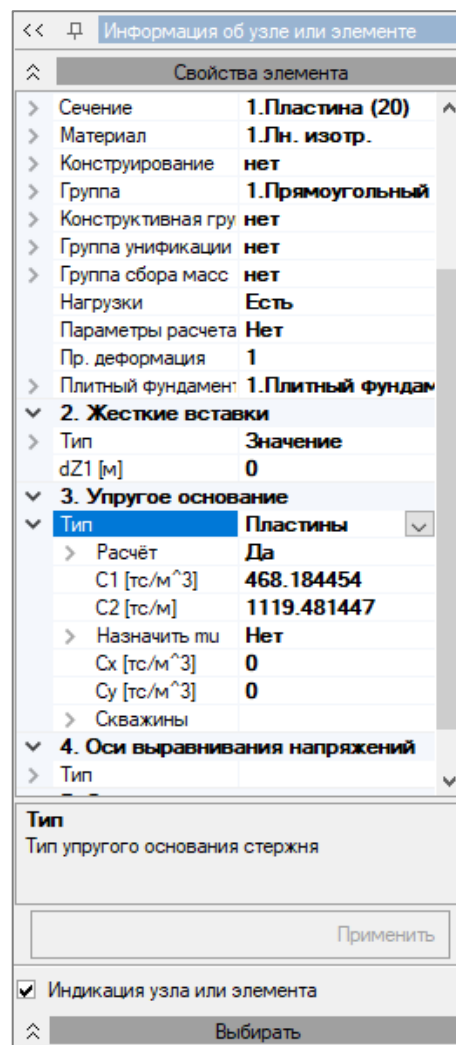



Рис. 5.29. Панель **Информация об узле или элементе**

<b>6. Упругое основание</b>	
Тип	Стержни
Расчёт	Да
C1 [тс/м^3]	1987
C2 [тс/м]	0
Из сечения Z	Да
Width [м]	0
yC1 [тс/м^3]	100
yC2 [тс/м]	100
Из сечения Y	Нет
yWidth [м]	0.4
Назначить mu	Нет
Cx [тс/м^3]	0
Ширина Wx [м]	0
Скважины	

Рис. 5.30. Информация для стержня

### 5.3.2 Визуализация результатов в режиме Упругое основание

Для активизации режима **Упругое основание** воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨ **Упругое основание** либо кнопкой  на панели инструментов. Перейдите на вкладку **Визуализация** для просмотра результатов (рис. 5.31).

На этой вкладке можно:

- выбрать, какие конечные элементы будут визуализироваться;
- нажимая одну из кнопок *C1*, *C2*, *C1y*, *C2y*, *Cx*, *Cy* или *Pz*, можно увидеть в режиме формирования расчетной модели распределение по элементам значений коэффициентов постели или нагрузки *Pz*.

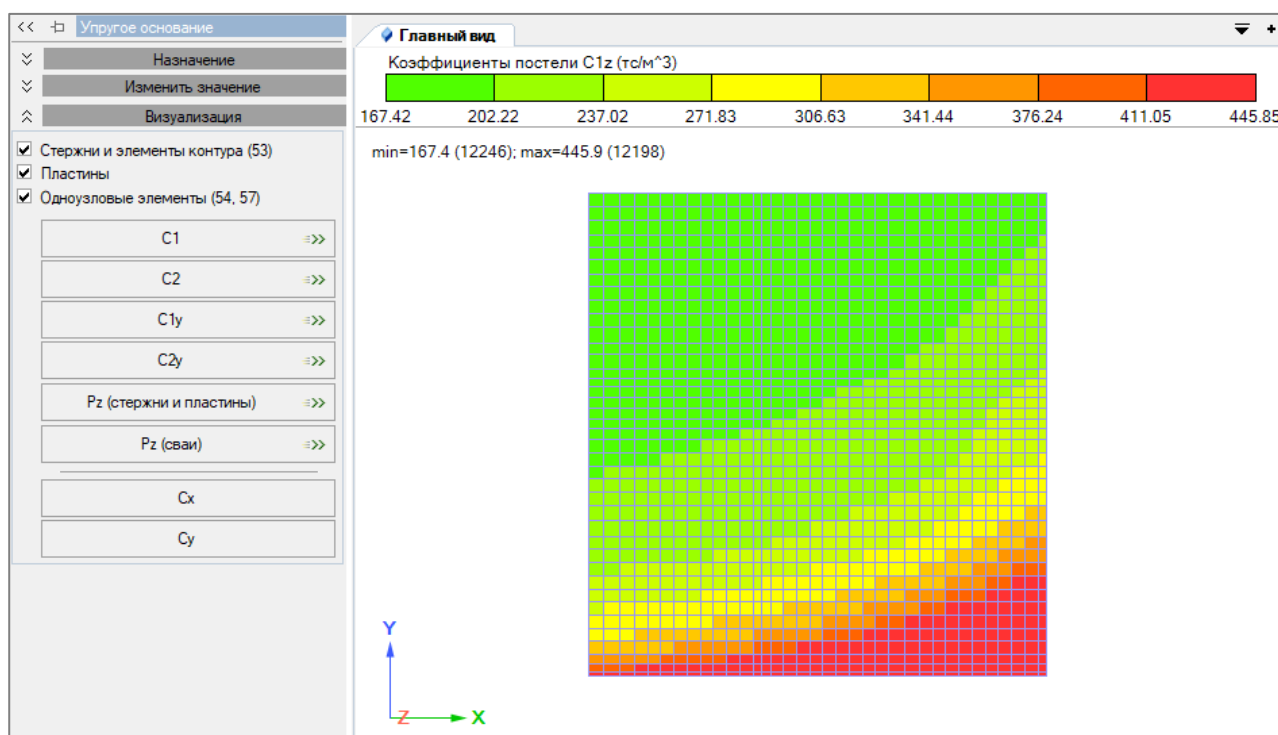



Рис. 5.31. Визуализация результатов в режиме **Упругое основание**



### 5.3.3 Визуализация результатов в режиме Анализ модели

Для активизации режима **Анализ модели** воспользуйтесь командой **Анализ ⇨ Анализ модели** или кнопкой  на панели инструментов.

Раскрывающаяся вкладка **Упругое основание** позволяет визуализировать как заданные характеристики упругого основания, так и характеристики, вычисленные в редакторе грунта. Все эти данные (см. п. 2.17.6) отображаются в виде распределения значений по элементам.

Чтобы показать относительную разность осадок, для начала нужно выбрать на схеме реперный элемент, относительно которого эта разность рассчитается. Для этого:

1. Установите курсор мыши на нужном элементе.
2. Правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню.
3. Выберите пункт меню **Реперный элемент относительной разности осадок**.
4. Активизируется кнопка **Относительная разность осадок**. На панели под кнопками будет указан номер этого элемента (рис. 5.28).
5. Нажмите кнопку **Относительная разность осадок** и получите на схеме распределение относительных разностей осадок по элементам (рис. 5.32).

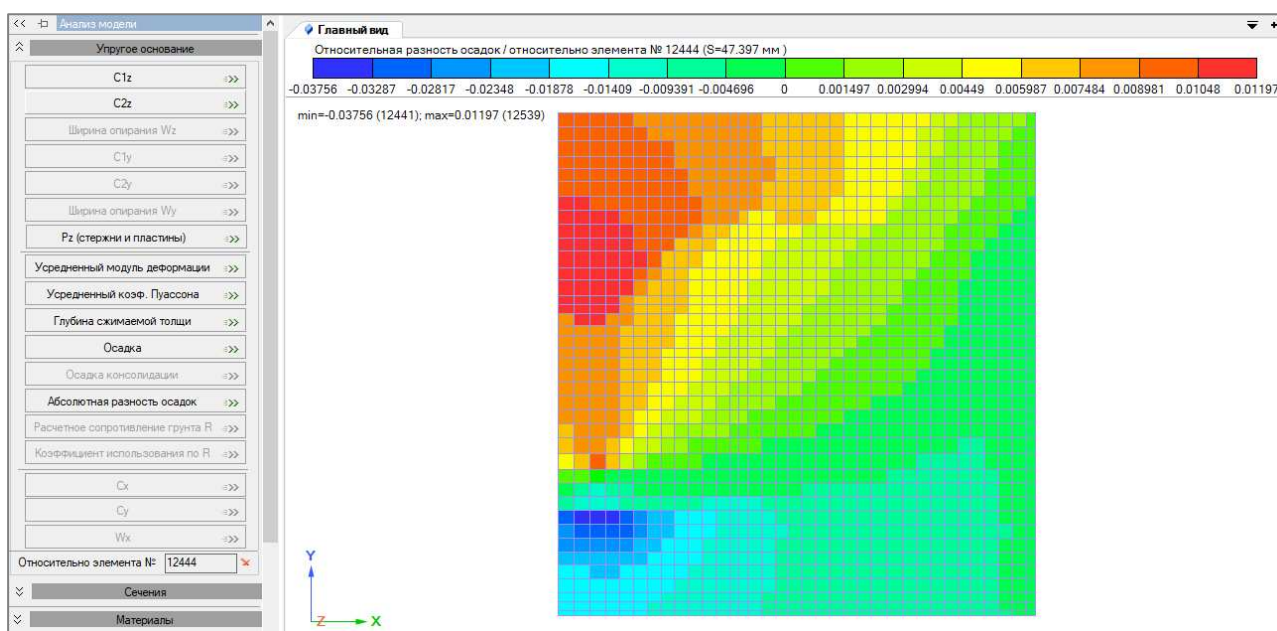



Рис. 5.32. Относительная разность осадок

 *Изменить реперный элемент можно с помощью команды **Реперный элемент относительной разности осадок** контекстного меню. Если данная команда не выбрана или же при ее выборе ничего не происходит, значит у этого элемента либо нет данных об осадке, либо он не принадлежит к упругому основанию, либо выбран узел, а не элемент фундаментной плиты.*

Также с помощью кнопки **Абсолютная разность осадок** можно посмотреть на схеме распределение абсолютных разностей осадок по элементам.

Убрать реперный элемент можно, нажав кнопку .

### 5.4 ПЕРЕСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ НА НОВУЮ НАГРУЗКУ

Уточнять коэффициенты постели  $C1$  и  $C2$  на приложенную фактическую нагрузку можно только после получения результатов расчета схемы.


Преобразование отпора грунта  $Rz$  в нагрузку  $Pz$  выполняется в следующей последовательности:

1. Перейдите в **Результаты** расчета.
2. Задайте текущим нужное загрузжение или РСН.
3. Выведите на экран **Результаты по пластинам**

(кнопка ) , **Результаты по стержням** (кнопка ) либо

**Результаты по спец. элементам** (кнопка ) .

4. Отобразите на экране отпор грунта, нажав на кнопку **Усилие  $Rz$**  (рис. 5.33) или **Усилие  $Ry$**  для стержней, либо выберите одно из усилий для одноузлового элемента сваи.

5. Перейдите в режим **Преобразование результатов в исходные данные** (Спец. результаты, кнопка ) .

6. На панели **Результаты в исходные данные** откройте вкладку **Преобразование в  $Pz$** .

7. При преобразовании РСН сделайте выбор в раскрывающемся списке **Тип сочетания** (рис. 5.34).

8. При необходимости откорректируйте **Коэффициент преобразования**.

9. На вкладке **Политика преобразования** при помощи соответствующих переключателей укажите элементы (выбранные или все), для которых предполагается выполнить перерасчет.

10. Выполните преобразование, нажав на кнопку **Преобразовать**.

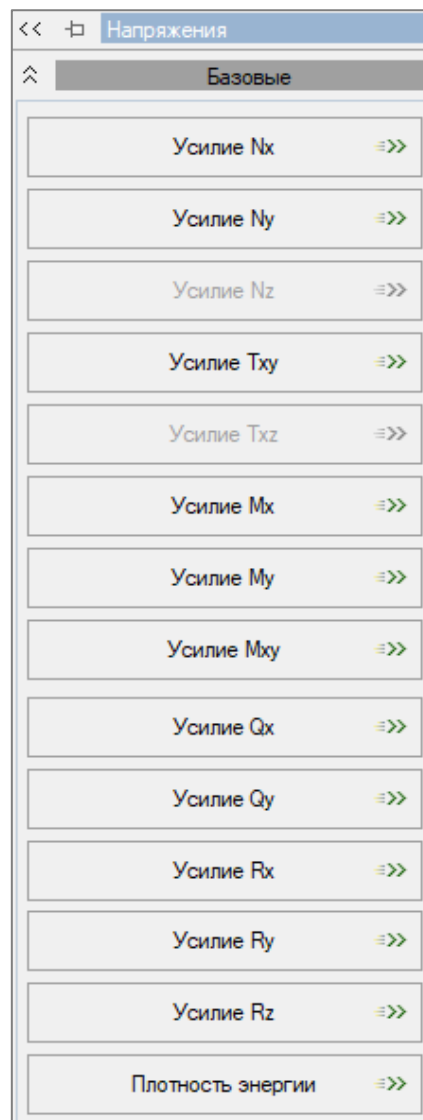


Рис. 5.33. Панель **Напряжения**

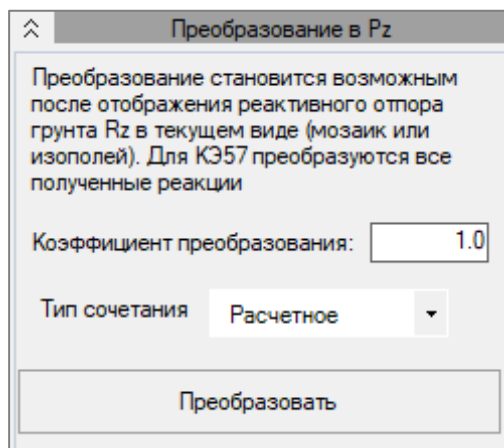


Рис. 5.34. Вкладка **Преобразование в  $Pz$**

На экран выведется сообщение о количестве измененных элементов, суммарной площади измененных элементов, суммарной нагрузке до и после изменения, а также процент изменения нагрузки и изменение положения центра сил (рис. 5.35).

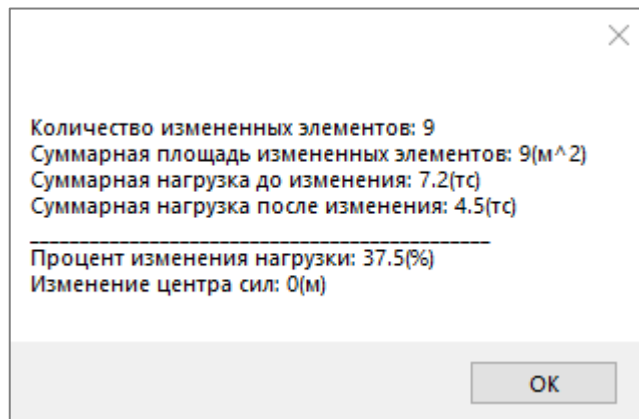


Рис. 5.35. Окно с данными преобразования

После нажатия кнопки **ОК** значения нагрузки  $P_z$  (заданные для работы в **Редакторе грунта**) будут заменены на значения отпора  $R_z$ . Для элементов, где присутствует отрыв от грунтового основания (положительное значение  $R_z$ ),  $R_z$  при переносе обнуляется.

Для выполнения перерасчета необходимо вернуться в **Исходные данные** и выполнить команду **Расчет** ⇒ **Запустить расчет**. На экране появится следующее сообщение (рис. 5.36).

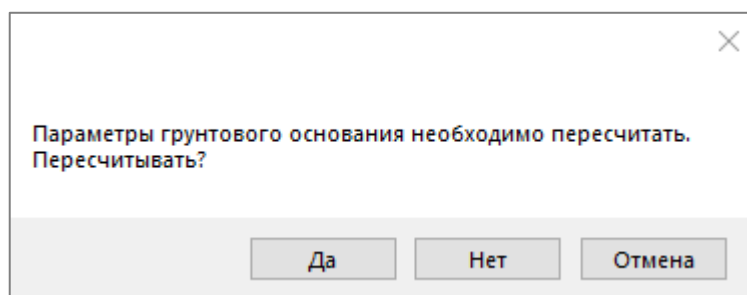


Рис. 5.36. Окно с предложением пересчета

После нажатия кнопки **Да** коэффициенты постели  $C1$ ,  $C2$  будут пересчитаны, а расчет продолжен на измененное упругое основание.

После выполнения повторного расчета и анализа сообщения о преобразовании отпора грунта в нагрузки расчет коэффициентов постели можно продолжить до получения желаемой точности.

## ГЛАВА 6. РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК/УСИЛИЙ

### Общие положения

Решение задачи об определении наиболее опасных сочетаний нагрузок обеспечивает взаимосвязь между результатами расчета сооружения на различные нагрузки и конструированием его элементов.

Для решения этой задачи применяются различные подходы:


- расчетных сочетаний нагрузок (РСН);
- расчетных сочетаний усилий (PCY).

Способ определения PCY основан на нахождении экстремумов упругого потенциала в любой точке конструкции от действия многих нагрузок (или многих загрузений). Применение PCY приводит к ограниченному (гораздо менее  $2^n$ , где  $n$  — количество загрузений) количеству рассматриваемых комбинаций, которые и являются наиболее опасными. При этом проектирование с применением РСН предполагает изучение всех возможных комбинаций, в предельном случае их количество достигает  $2^n$ .

Определение PCY производится по нормативным формулам СНиП, СП, ДБН или EN, а вычисления выполняются на основании вышеописанного способа, учитывающего особенности упругого потенциала, характерные для сечений стержней, пластин, оболочек и объемных тел. Эти особенности позволяют выразить решение задачи выбора опасных сочетаний через критерий экстремальных напряжений в характерных точках сечений. Благодаря этому количество рассматриваемых сочетаний существенно ограничивается.

### 6.1 ОСОБЕННОСТИ ЗАДАНИЯ PCY В РЕДАКТОРЕ ЗАГРУЖЕНИЙ

Подготовка исходных данных для расчетных сочетаний нагрузок выполняется в редакторе загрузений. Переход в режим осуществляется с помощью команды меню

**Редакторы** ⇨ **Редактор загрузений** (кнопка  на панели инструментов).

В редакторе необходимо задать данные в соответствии с общими правилами формирования PCY:

- параметры расчетных сочетаний задаются для каждого из загрузений задачи;
- каждое PCY относится к одному из предусмотренных нормативными документами видов сочетаний;
- реализовано 8 видов загрузений, с помощью которых программно обеспечивается их корректная логическая взаимосвязь.

### 6.1.1 РСУ по нормам СНИП 2.01.07-85\*, ДБН В.1.2-2:2006, СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016

Существует возможность учета знакопеременности, взаимоисключения и сопутствия загружений. Виды загружений:

- постоянное;
- длительное;
- кратковременное;
- крановое вертикальное;
- особое;
- мгновенное;
- неактивное.

Все операции по формированию РСУ выполняются в окне редактора загружений (рис. 6.1).

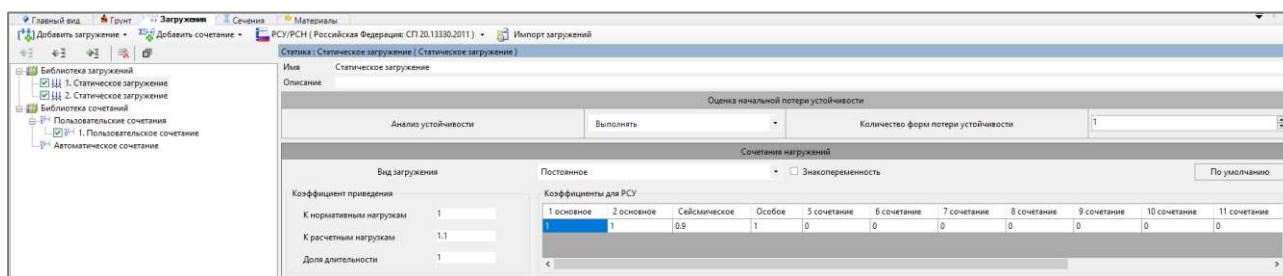


Рис. 6.1. Формирование РСУ

Параметры РСУ здесь включают:

- Коэффициенты к расчетным нагрузкам.
- **Доля длительности** — коэффициент, показывающий, какая часть нагрузки в рассматриваемом загружении принимается как длительно действующая.
  - Учитывать **знакопеременность** — установленный флажок означает, что в РСУ следует учесть вероятность изменения знака основного усилия сочетания. К таким усилиям относятся, например, сейсмические.
  - **Сопутствующие загрузки** — имеются в виду загрузки (не более шести), которые могут рассматриваться совместно с основным для данного вида загружением. Например, если основным является загружение вертикальными крановыми нагрузками, то сопутствующим является загружение горизонтальным тормозным воздействием.
  - **Взаимоисключающие загрузки** — этим параметром вводятся ограничения на те загрузки, которые не могут входить в одно сочетание одновременно. Такими, например, являются загрузки **Ветер справа** и **Ветер слева**.

Также для формирования РСУ и автоматического формирования РСН в библиотеке сочетаний задаются ограничения для кранов и тормозов (рис. 6.2, 1), а также могут быть заданы коэффициенты сочетаний по степени влияния для длительных, кратковременных и кратковременных крановых нагрузок (рис. 6.2, 2 и 3). Также в окне с коэффициентами сочетаний по степени влияния задаются группы режимов работы кранов.

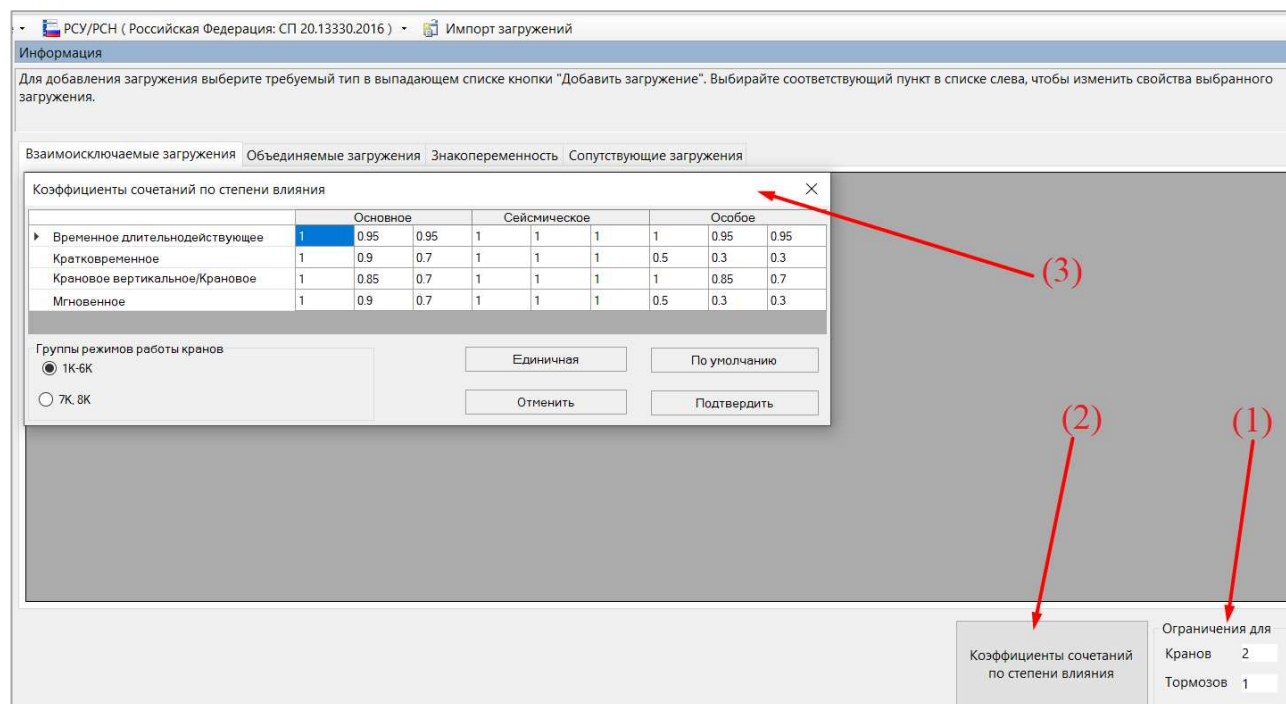


Рис. 6.2. Библиотека сочетаний. Ограничения и коэффициенты сочетаний по степени влияния

В результате работы процессора РСУ вычисляются 4 группы сочетаний:

- **группа А** — расчетные значения, учитывающие только те загрузки, которые обладают длительностью действия; в эту группу включаются загрузки постоянными, длительными и кратковременными нагрузками;
- **группа В** — расчетные значения, учитывающие все загрузки независимо от длительности действия;
- **группа АН** — нормативные значения, соответствующие группе А;
- **группа ВН** — нормативные значения, соответствующие группе В.

В таблице результатов печатаются только **расчетные значения** по группам А и В, а группы АН и ВН с нормативными значениями используются конструирующими системами для расчета и проверки сечений стальных, железобетонных и деревянных элементов.

### 6.1.2 РСУ по нормам Евросоюза (EN 1990:2002)

Для РСУ по EN в параметрах загрузений в общем случае может быть задано:

- **Постоянное воздействие** со следующими видами воздействия:

- Металлические конструкции.
- Бетонные, железобетонные, каменные, армокаменные, деревянные конструкции.
- Изоляционные, выравнивающие и отделочные слои, выполняемые в заводских условиях.
- Изоляционные, выравнивающие и отделочные слои, выполняемые на строительных площадках.
- Грунты в природном залегании.
- Грунты на строительной площадке.
- Другие постоянные.

- **Временное воздействие** со следующими видами воздействия:

- Категория А: бытовые, жилые зоны.
- Категория В: офисные площади.
- Категория С: зоны для собрания.
- Категория D: торговые площади.
- Категория Е: складские площади.
- Категория F: зоны дорожного движения для транспортных средств  $\leq 30$  кН.
- Категория G: зоны дорожного движения для транспортных средств от 30 до 160 кН.
- Категория Н (покрытия и крыши).
- Снеговые нагрузки на здания (см. EN1991-1-3)\*: Финляндия, Исландия, Норвегия, Швеция.
- Снеговые нагрузки на здания для районов в других странах — членах CEN, находящихся на высоте  $H > 1000$  м над уровнем моря.
- Снеговые нагрузки на здания для районов в других странах — членах CEN, находящихся на высоте  $H \leq 1000$  м над уровнем моря.
- Гололедные нагрузки.
- Температурные воздействия (исключая пожары).
- Прочее временное.

- **Крановое вертикальное** со следующими видами воздействия:

- Полные вертикальные нагрузки от мостовых и подвижных кранов.
- Пониженные вертикальные нагрузки от мостовых и подвижных кранов.

- Для сопутствующего статического нагружения может дополнительно назначаться

**Крановое тормозное** воздействие со следующими видами воздействия:

- Торможение вдоль кранового пути.
- Торможение тележки вдоль мостового крана.
- Перекос крана при движении вдоль подкрановой балки.
- Буферные силы, связанные с движением крана.
- Буферные силы, связанные с движением тележки вдоль мостового крана.

- **Сейсмическое воздействие.**

- **Аварийное воздействие** (кроме сейсмического).

- **Предварительное натяжение.**

- **Неактивное.**

Для разных видов воздействия в активных колонках, дополнительно, в зависимости от вида воздействия, может назначаться знакопеременность воздействия, коэффициент к нормативным нагрузкам, коэффициенты по группам А, В, С к расчетным неблагоприятным и расчетным благоприятным нагрузкам, коэффициенты  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ .

В библиотеке сочетаний задаются ограничения для кранов и тормозов (рис. 6.3, 1), а также могут быть заданы коэффициенты переменных воздействий (рис. 6.3, 2 и 3). Дополнительно в окне с коэффициентами переменных воздействий задается:

- На выбор использование из EN 1990:2002 формулы 6.10a и 6.10b по комбинации воздействия для постоянных или переходных расчетных ситуаций.
- Коэффициенты  $\psi_{1,1}$  или  $\psi_{2,1}$ , которые используются в комбинации воздействий для аварийных расчетных ситуаций.

- Таблицы предельных состояний:

- EQU (Группа А) — потеря статического равновесия сооружением или любой его части, рассматриваемых как жесткое тело, для которого незначительные изменения значения или пространственного распределения постоянных воздействий одинакового происхождения являются существенными, и прочность материалов конструкций или грунта основания, как правило, не являются определяющими;

- STR/GEO (Группа В и/или Группа С),

где STR — это потеря статического равновесия сооружением или любой его частью, рассматриваемых как жесткое тело, для которого незначительные изменения значения или пространственного распределения постоянных воздействий одинакового происхождения являются существенными, и прочность материалов конструкций или грунта основания, как правило, не являются определяющими;

GEO — это отказ или чрезмерные деформации грунта оснований, для которых прочность грунтов или скальных формаций являются определяющими в обеспечении сопротивляемости.

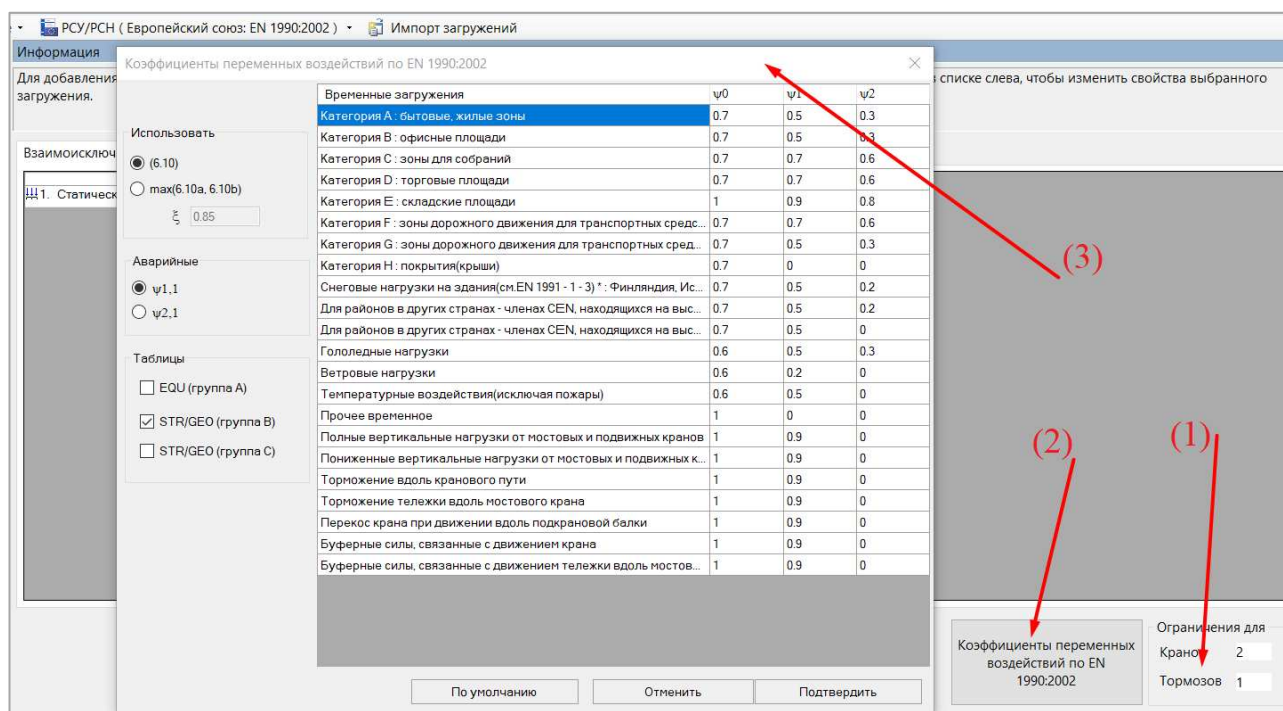


Рис. 6.3. Библиотека сочетаний. Ограничения и коэффициенты переменных воздействий

В результате работы процессора PCY, согласно нормам Евросоюза, вычисляются:

- PCY (расчетные сочетания усилий): по группам критического предельного состояния (номера формул из EN 1990:2002 6.10, 6.10a, 6.10b, 6.11b, 6.12b);

- HCY (нормативные сочетания усилий): предельные состояния по эксплуатационной пригодности (номера формул из EN 1990:2002 6.14b, 6.15b, 6.16b), используются в конструирующих расчетах сечений стальных, железобетонных и деревянных элементов для 2-го предельного состояния.

В таблице результатов PCY по нормам Евросоюза печатается номер формулы из EN 1990:2002, по которой было получено сочетание, а также имеется колонка, в которой прописаны конечные коэффициенты к каждому из загрузений, которое попало в определенное сочетание.



### 6.1.3 Взаимосвязь нагрузок

При определении РСУ учитываются логические связи между нагрузками, которые отражают физический смысл нагрузок и требования, регламентируемые различными нормативными документами. Выделяются три типа нагрузок:

- независимые (собственный вес, вес оборудования и т.п.);
- взаимоисключающие (ветер слева и ветер справа, сейсмическое воздействие вдоль разных осей координат и т.п.);
- сопутствующие (тормозные при наличии вертикальных крановых нагрузок и т.п.).

Предоставляется также возможность обозначить знакопеременность нагрузки при одинаковом модуле его вектора.

Производится учет длительности действия нагрузок (кроме норм Евросоюза).

### 6.2 РСУ в СТЕРЖНЯХ

В качестве критерия определения РСУ приняты экстремальные значения нормальных и касательных напряжений в контрольных точках условного прямоугольного сечения (рис. 6.4).

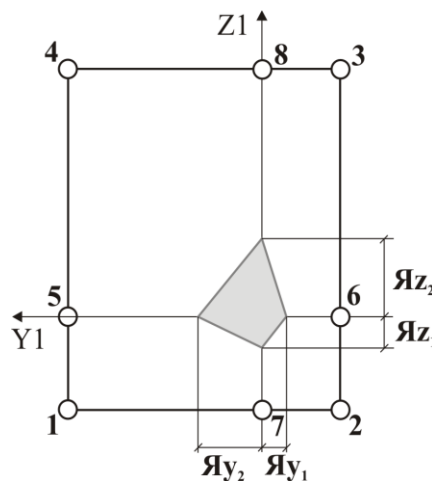


Рис. 6.4. Условное прямоугольное сечение

Для нормальных напряжений применяется следующая формула:

$$\sigma_k = \frac{N}{F} - \frac{M_y}{J_y} Z_k + \frac{M_z}{J_z} Y_k, \quad (6.1)$$

где  $k$  — точка сечения стержня ( $k = 1 \div 9$ ).

Эта формула преобразуется следующим образом при  $y = \pm \frac{b}{2}; z = \pm \frac{h}{2}$ :

$$\sigma_k F = N \pm \frac{M_y}{Я_{z,i}} \pm \frac{M_z}{Я_{y,i}}, \quad (6.2)$$

где  $Я_{z,i}$  и  $Я_{y,i}$  — ядровые расстояния в сечении стержня ( $i = 1, 2$ ).

Такой подход позволяет определить экстремальные нормальные напряжения в сечении любой формы, приведя ее к прямоугольной.

Для касательных напряжений используется приближенная формула:

$$\tau_{y,z} F = \frac{Q_{y,z}}{2} \pm \frac{M_{kp}}{2(\mathcal{Y}_{y_1, z_1} + \mathcal{Y}_{y_2, z_2})} \quad (6.3)$$

Формулы вычисления экстремальных значений для каждой точки сечения приведены в табл. 6.1 (используется принятое для усилий правило знаков), а нумерация «критериальных» значений и соответствующих им напряжений — в табл. 6.2.

Кроме экстремальных напряжений вычисляются также экстремальные значения продольной и перерезывающих сил.

Всего для сечения стержня отбирается 34 значения РСУ.

Таблица 6.1. Формулы вычисления экстремальных значений

№ точки сечения	Нормальные напряжения	Касательные напряжения сечения
1	$\sigma F = N + M_y / \mathcal{Y}_{z_2} + M_z / \mathcal{Y}_{y_1}$	—
2	$\sigma F = N + M_y / \mathcal{Y}_{z_2} - M_z / \mathcal{Y}_{y_2}$	—
3	$\sigma F = N - M_y / \mathcal{Y}_{z_1} - M_z / \mathcal{Y}_{y_2}$	—
4	$\sigma F = N - M_y / \mathcal{Y}_{z_1} + M_z / \mathcal{Y}_{y_1}$	—
5	$\sigma F = N + M_z / \mathcal{Y}_{y_1}$	$\tau F = \frac{Q_z}{2} + \frac{M_{kp}}{2(\mathcal{Y}_{y_1} + \mathcal{Y}_{y_2})}$
6	$\sigma F = M - M_z / \mathcal{Y}_{y_2}$	$\tau F = \frac{Q_z}{2} - \frac{M_{kp}}{2(\mathcal{Y}_{y_1} + \mathcal{Y}_{y_2})}$
7	$\sigma F = N + M_y / \mathcal{Y}_{z_2}$	$\tau F = \frac{Q_z}{2} + \frac{M_{kp}}{2(\mathcal{Y}_{z_1} + \mathcal{Y}_{z_2})}$
8	$\sigma F = N - M_y / \mathcal{Y}_{z_1}$	$\tau F = \frac{Q_z}{2} - \frac{M_{kp}}{2(\mathcal{Y}_{z_1} + \mathcal{Y}_{z_2})}$

Таблица 6.2. Критерии и их значения

№№ критериев	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение	$\sigma_1 +$	$\sigma_1 -$	$\sigma_2 +$	$\sigma_2 -$	$\sigma_3 +$	$\sigma_3 -$	$\sigma_4 +$	$\sigma_4 -$	$\tau_7 +$	$\tau_7 -$
№№ критериев	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Значение	$\tau_8 +$	$\tau_8 -$	$\tau_5 +$	$\tau_5 -$	$\tau_6 +$	$\tau_6 -$	N+	N-	$\sigma_7 +$	$\sigma_7 -$
№№ критериев	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Значение	$\sigma_8 +$	$\sigma_8 -$	$\sigma_5 +$	$\sigma_5 -$	$\sigma_6 +$	$\sigma_6 -$	$Q_{y+}, N+$	$Q_{y-}, N+$	$Q_{y+}, N-$	$Q_{y-}, N-$
№№ критериев	31	32	33	34	—	—	—	—	—	—
Значение	$Q_{z+}, N+$	$Q_{z-}, N+$	$Q_{z+}, N-$	$Q_{z-}, N-$	—	—	—	—	—	—

### 6.3 РСУ в ПЛАСТИНАХ

#### РСУ для плоского напряженного состояния

В общем случае главные напряжения в одной и той же точке конструкции для разных нагрузок имеют различную ориентацию. Поэтому здесь определение РСУ производится по огибающим экстремальным кривым нормальных и касательных напряжений по формулам:

$$\sigma_{\alpha_k} = N_x \cos^2 \alpha_k + N_z \sin^2 \alpha_k + T_{xz} \sin 2\alpha_k, \quad (6.4)$$

$$\tau_{\alpha_k} = \frac{1}{2}(N_z - N_x) \sin 2\alpha_k + T_{xz} \cos 2\alpha_k, \quad (6.5)$$

где  $k$  — номер нагрузки.

Обозначения приведены на рис. 6.5.

Напряжения вычисляются в диапазоне от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

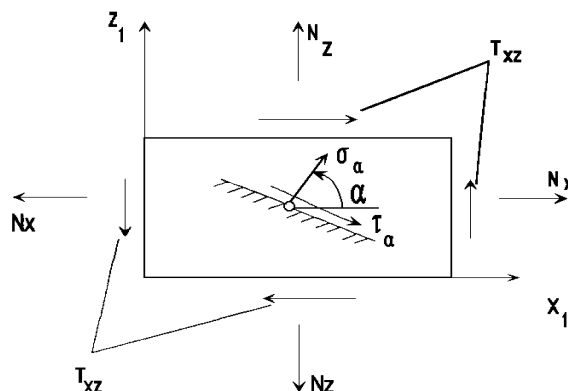


Рис. 6.5. Плоское напряженное состояние

#### РСУ для плит

Здесь применяется подход, аналогичный тому, который описан в предыдущем разделе. Изгибные и крутящий моменты в плите дают возможность определить нормальные и касательные напряжения на верхней и нижней поверхностях плиты. Эти напряжения по модулю равны, поэтому формулы (6.4) и (6.5) приобретают вид:

$$M_{\alpha_k} = M_x \cos^2 \alpha_k + M_y \sin^2 \alpha_k + M_{xy} \sin 2\alpha_k, \quad (6.6)$$

$$M_{c\alpha_k} = \frac{1}{2}(M_y - M_x) \sin 2\alpha_k + M_{xy} \cos 2\alpha_k \quad (6.7)$$

#### Критерии РСУ для оболочек

Здесь также применяется аналогичный подход. Напряжения вычисляются на верхней и нижней поверхностях оболочки. При этом учитываются мембранные напряжения и изгибающие усилия по следующим зависимостям:

$$\sigma_x^{H/B} = N_x \pm \frac{6M_x}{h^2}; \sigma_y^{H/B} = N_y \pm \frac{6M_y}{h^2}; \tau^{H/B} = T_{xy} \pm \frac{6M_{xy}}{h^2}, \quad (6.8)$$

где:

$h$  — толщина оболочки;

$B$  и  $H$  — индексы, означающие принадлежность к верхней и нижней поверхностям.

### 6.4 РСУ в ОБЪЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Критерием для определения опасных сочетаний напряжений в общем случае НДС приняты экстремальные значения среднего напряжения (гидростатического давления) и главных напряжений девиатора. Определяются углы наклона главных напряжений в каждом элементе для каждого нагружения. Вычисление производится по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \sigma_x l^2 + \sigma_y m^2 + \sigma_z n^2 + 2\tau_{xy} lm + 2\tau_{xz} ln + 2\tau_{yz} mn; \\ \sigma_{TM} &= \sigma_0 + S_m; \\ S_x &= \sigma_x \left(1 - \frac{1}{3l^2}\right); S_y = \sigma_y \left(1 - \frac{1}{3m^2}\right); S_z = \sigma_z \left(1 - \frac{1}{3n^2}\right); \\ S_m &= S_x l^2 + S_y m^2 + S_z n^2 + 2\tau_{xy} lm + 2\tau_{xz} ln + 2\tau_{yz} mn\end{aligned}\tag{6.9}$$

где:

$\sigma_\phi$  — нормальное напряжение на площадке с направляющими косинусами  $l, m, n$  к осям  $X1, Y1, Z1$ ;

$S_\phi$  — нормальное напряжение девиатора на этой же площадке;

$\sigma_0 = \frac{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)}{3}$  — среднее напряжение.

Процесс выбора организован следующим образом. Для данного элемента вычисляются направляющие косинусы главных площадок по всем нагружениям. Если в схеме задано  $n$  нагружений, то будет найдено  $3n$  площадок. Затем вычисляются напряжения  $S_\phi$  на этих площадках от всех нагружений и производится накопление положительных и отрицательных значений напряжений.

В соответствии с этим принято обозначение критериев как трехзначных чисел. Первые две цифры обозначают порядковый номер нагружения, на площадках которого вычисляются напряжения от всех нагружений. Третья цифра может принимать значения от 1 до 6, которым придается следующий смысл:

- 1 — положительное суммарное значение напряжений на первой главной площадке;
- 2 — отрицательное суммарное значение напряжений на первой главной площадке;
- 3 и 4 — то же на второй главной площадке;
- 5 и 6 — то же на третьей главной площадке.

Так, например, критерий 143 означает, что на второй главной площадке 14-го нагружения получено наибольшее положительное напряжение. Критерий 076 означает, что на третьей главной площадке 7-го нагружения получено наибольшее отрицательное напряжение.

Критерии, соответствующие наибольшему и наименьшему значениям среднего напряжения, обозначаются цифрами 7 и 8 соответственно.

## 6.5 РСУ в СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Критерием для определения опасных сочетаний в специальных (одноузловых КЭ 56 и двухузловых КЭ 55) элементах приняты экстремальные значения реакций.

Для КЭ 55 и 56 принята нумерация критериев от 1 до 12, соответствующая индексации усилий в этом КЭ.

Для законтурных элементов грунта (КЭ 53, 54) РСУ не вычисляются.


## 6.6 Унификация РСУ

Под унификацией в ПК ЛИРА 10 подразумевается объединение группы конечных элементов с идентичными свойствами (параметрами материала и размерами сечения) в единый унифицированный элемент. Унификация выполняется на основании РСУ. Из вычисленных значений каждого критерия РСУ выбирается наибольшее и присваивается унифицированному элементу. Унификация целесообразна при конструировании элементов и позволяет для них получить общее конструктивное решение.

Реализованы два типа унификации:

- **1 тип** — группа элементов, обладающая единым сечением; при этом каждый стержневой элемент в этой группе обладает единым по длине расчетным сечением;
- **2 тип** — группа элементов обладает одинаковыми расчетными сечениями в порядке возрастания номеров расчетных сечений, то есть у группы элементов одинаковые первые сечения, одинаковые вторые и т.д. расчетные сечения.

Для стержневых конечных элементов применимы оба типа унификации. Для плоскостных и объемных КЭ применим 1-й тип, так как эти конечные элементы имеют единственное расчетное сечение.

Режим **Унификация РСУ** вызывается кнопкой  на панели инструментов.

Панель режима **Унификация РСУ** содержит список существующих групп унифицированных элементов, в котором можно изменить имя группы и цвет ее индикации на экране. Под списком групп отображается список номеров узлов, из которых состоит текущая группа.

Возможен выбор типа унификации:

- единое сечение для всей группы;
- унификация по отдельным элементам.

Добавление группы унифицированных элементов выполняется при нажатии соответствующей кнопки, также при необходимости есть возможность изменить группу элементов, пополнить группу элементами и удалить группу.

## 6.7 РСН

Вычисление расчетных сочетаний нагрузжений (РСН) производится непосредственным суммированием соответствующих перемещений узлов и усилий (напряжений) в элементах.

Формирование таблиц РСН возможно с помощью **Пользовательского сочетания** (рис. 6.6) или **Автоматического сочетания** (рис. 6.7). Автоматическое сочетание доступно для норм СНиП 2.01.07-85\*, ДБН В.1.2-2:2006, СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016. Для **Пользовательского сочетания** в столбце **Коэффициент** нужно вручную указать коэффициент в зависимости от типа сочетания и типа нагрузки.

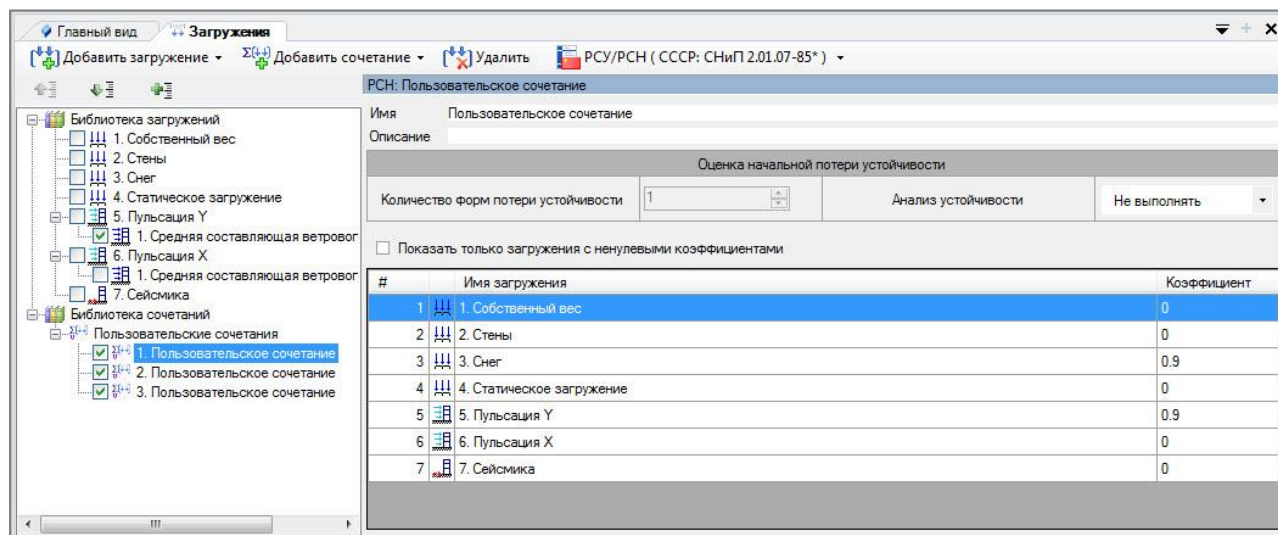


Рис. 6.6. Пользовательское сочетание нагружений

Автоматическое сочетание создается на основании заданных исходных данных по индивидуальным нагружениям. Будет построен граф сочетания, на базе которого будут сгенерированы автоматические сочетания с помощью кнопки **Сгенерировать сочетания**. В случае, если граф был скорректирован, можно добавить сочетания, которые получатся в результате корректировки, с помощью кнопки **Добавить новые сочетания в список**.

Отображение вершин графа подается в двух видах: полное имя загрузки или его порядковый номер в библиотеке. Выбрать вид отображения графа можно с помощью переключателей **Имена нагружений** / **Только номера**.

В случае, если в библиотеке нагружений были добавлены/удалены/отключены загрузки, нужно нажать на кнопку **Перестроить граф** для того, чтобы получить актуальный граф.

Список сгенерированных сочетаний нагружений находится во вкладке **Сочетания**. Выделив строку с сочетанием нагружений и вызвав контекстное меню, можно скопировать это сочетание в пользовательское сочетание нагружений.

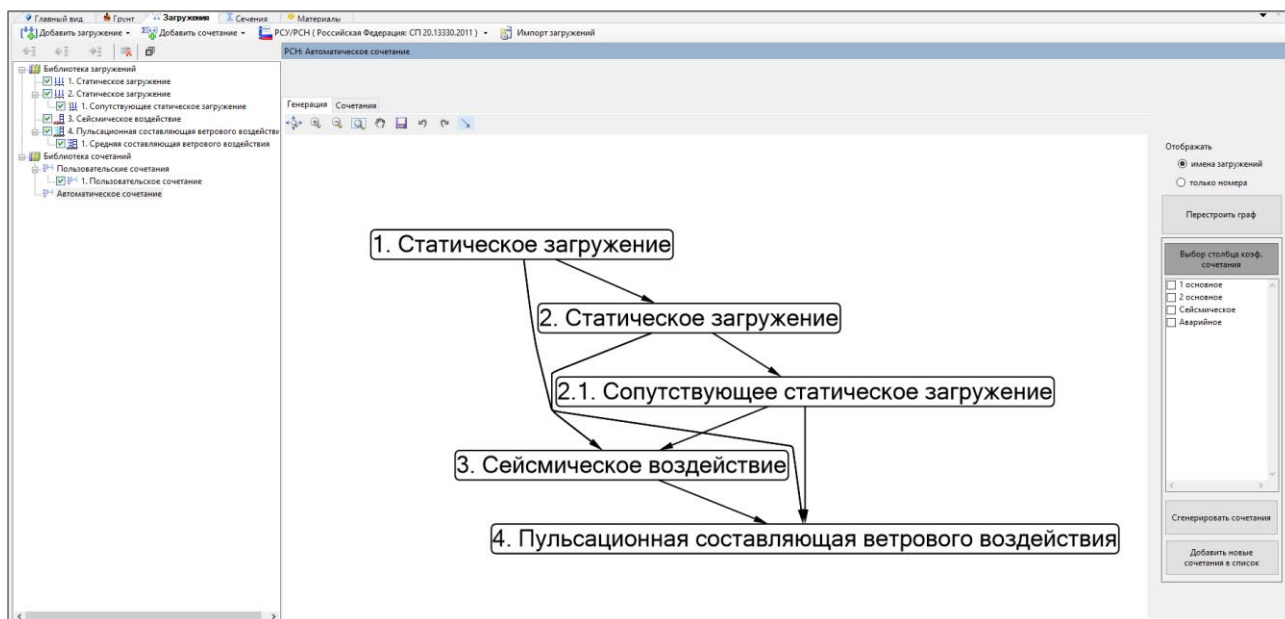


Рис. 6.7. Автоматическое сочетание нагрузений

## ГЛАВА 7. СИСТЕМА ВАРИАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Система **Вариация моделей** предназначена для объединения результатов прочностного расчета нескольких расчетных схем с одинаковой топологией в одну задачу для дальнейших расчетов в конструирующих системах. Под одинаковой топологией имеется в виду одинаковые координаты всех узлов, одинаковая геометрия и типы всех конечных элементов, а также одинаковые параметры сечений, назначенные элементам. Все остальные параметры задачи и свойства узлов/элементов могут быть различны. Например, могут быть объединены результаты расчета с использованием систем **Динамика+** и **Монтаж** с результатами простого линейного расчета на статические и динамические воздействия. При этом в расчетных моделях могут быть назначены различные граничные условия, свойства материалов, параметры упругого основания и многое другое.

Объединение результатов может быть произведено как на уровне унификации уже вычисленных РСУ (п. 7.1), так и на уровне объединения вычисленных усилий, перемещений и реакций от загрузений в объединяемых задачах (п. 7.2), с дальнейшим вычислением РСУ и/или РСН.

Результирующая схема будет содержать исходные данные базовой (первой в списке) задачи и результаты, полученные после объединения, на основании которых будет выполняться подбор и проверка в конструирующих системах.

Для начала работы с системой **Вариация моделей** активизируйте команду **Вариация моделей** в окне начальной загрузки (рис. 7.1).


Отобразится форма задания исходных данных для системы **Вариация моделей** (рис. 7.2). В верхней части окна расположен ряд кнопок, предназначенных для редактирования списка задач, подготовленных к объединению:

- кнопка **Удалить** удаляет из списка отдельно выбранные файлы;
- кнопка **Очистить** выполнит удаление всей группы файлов;
- кнопка **Каталог** открывает путь к выбранным файлам.

А также **Имя обобщенной задачи** — это имя будет присвоено расчетной схеме, полученной в результате объединения.

Таблица объединяемых задач расположена в центральной части формы и содержит 4 колонки:


1. Порядковый номер задачи.

2. Кнопка  для добавления или изменения пути к файлу задачи.

3. **Имя файла** задачи, подготовленного к объединению.

4. **Статус** задачи (информационное сообщение) — выполнен ли в данной задаче расчет по РСУ.

В нижней части формы вы можете выбрать требуемый режим работы системы **Вариация**

**моделей**  **Использовать РСУ задач**  
 **Использовать загрузки задач**

. В зависимости от выбранного режима работы, набор необходимых исходных данных будет меняться.

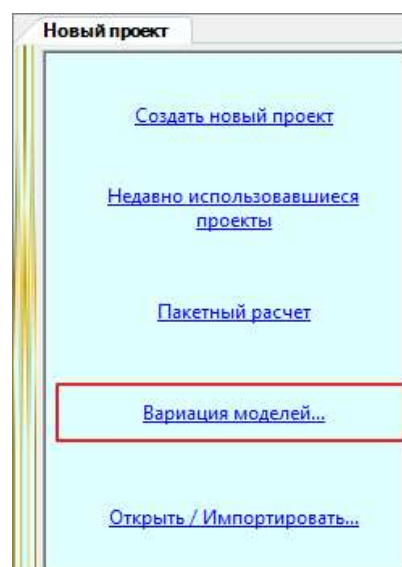
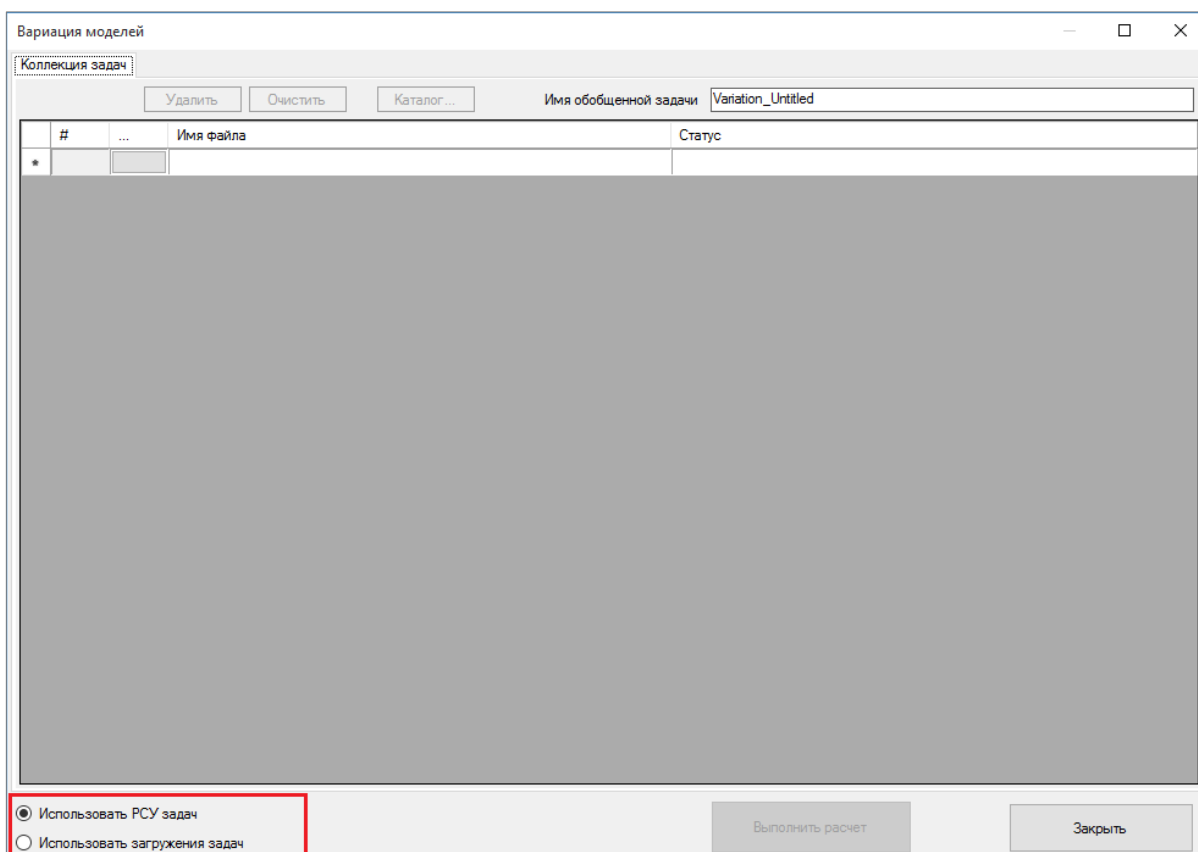


Рис. 7.1. Редактор начальной загрузки



Рис. 7.2 Окно **Вариация моделей**

После задания всех необходимых исходных данных для запуска процесса объединения нажмите кнопку **Выполнить расчет**.

После окончания процесса объединения расчетных схем откроется базовая модель в режиме анализа результатов расчета. При этом информация о заданных параметрах конструирования, назначенных конструктивных элементах и раскреплениях сохраняется.

### 7.1 ВАРИАЦИЯ МОДЕЛЕЙ С ОБЪЕДИНЕНИЕМ РСУ

Для объединения уже вычисленных РСУ все объединяемые задачи должны содержать результаты вычисления расчетных сочетаний усилий. Допускается использование следующих типов задач в любой комбинации:

- Линейная статическая задача, включая динамику с разложением по собственным формам колебаний;
- Линейная монтажная задача (**МОНТАЖ+**);
- Линейная задача с динамикой во времени (**ДИНАМИКА+**);
- Линейная монтажная задача с динамикой во времени на последней стадии монтажа.

После выполнения объединения будут доступны некоторые таблицы исходных данных и результаты, относящиеся к вычислению РСУ. Во всех таблицах результатов расчета РСУ будет добавлен столбец **Номер модели**, в котором будет отображаться порядковый номер расчетной схемы, из которой получено данное сочетание. Список объединенных расчетных схем можно увидеть в таблице **Вариация моделей**.

## 7.2 ВАРИАЦИЯ МОДЕЛЕЙ С ВЫЧИСЛЕНИЕМ РСУ и РСН НА ОСНОВЕ РАНЕЕ ВЫЧИСЛЕННЫХ УСИЛИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Для объединения результатов по отдельным загрузкам для всех объединяемых задач должны быть вычислены узловые перемещения и усилия в элементах. Допускается использование только линейных статических задач, включая динамику с разложением по собственным формам колебаний.

Для этого типа вариации моделей кроме списка объединяемых задач доступен **Редактор загрузок** (рис. 7.3), где отображается список всех загрузок, заданных в файлах задач, которые находятся в списке объединяемых задач. В редакторе загрузок указываются параметры, необходимые для вычисления РСУ и/или РСН обобщенной задачи. Все остальные параметры загрузок не будут доступны для редактирования. Подробнее о работе в редакторе загрузок смотрите п. 2.15.

После выполнения объединения будут доступны некоторые таблицы исходных данных и результаты, относящиеся как к отдельным загрузкам (перемещения, реакции, усилия и т.д.), так и к сочетаниям усилий и/или нагрузок. Список объединенных расчетных схем можно увидеть в таблице **Вариация моделей**, а исходные данные, заданные для вычисления сочетаний, в таблицах **Коэффициенты для РСУ** и **Коэффициенты для РСН**.

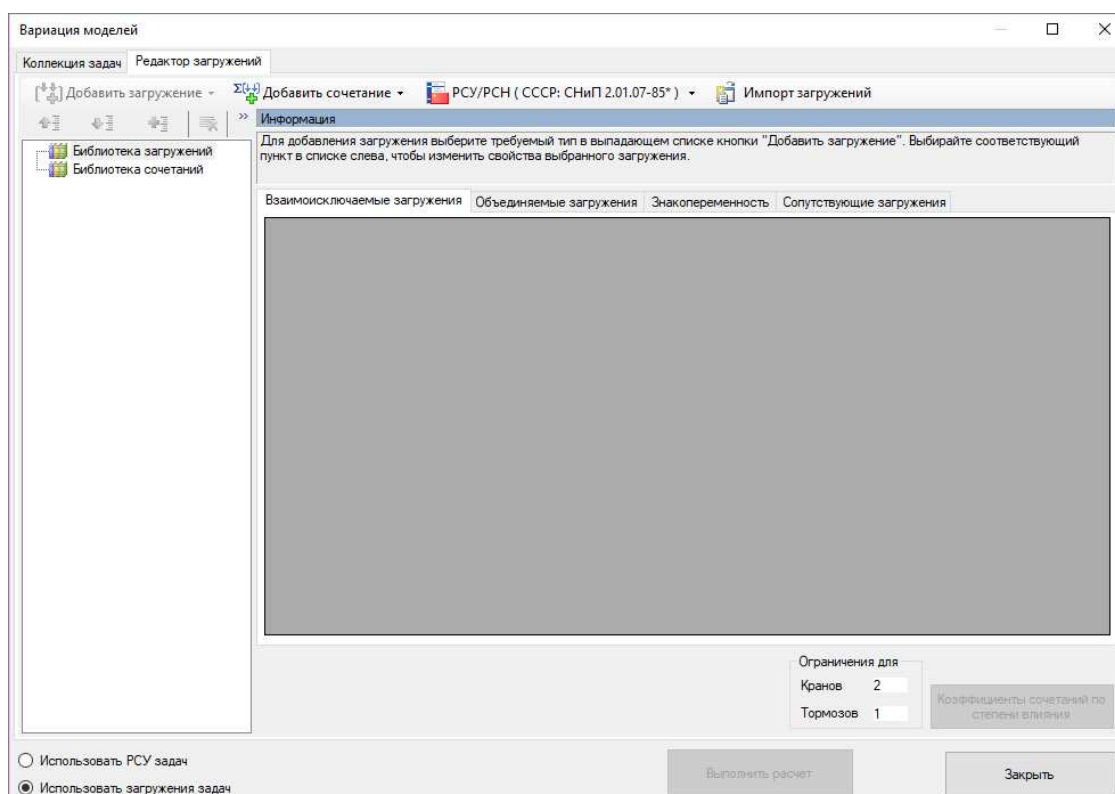


Рис. 7.3 Вкладка Редактор загрузок

## ГЛАВА 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 8.1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Режим **Расчет конструкций – Железобетонные элементы** предназначен для подбора и проверки армирования параметрически заданных сечений стержневых и пластинчатых элементов.

Расчет бетонных и железобетонных конструкций производится по первой и второй группам предельных состояний в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции.
- СП 63-13330-2012 (СНиП 52-01-2003). Бетонные и железобетонные конструкции.

Основные положения.

- СП 63-13330-2018 (СНиП 52-01-2003). Бетонные и железобетонные конструкции.

Основные положения.

- СП 295.1325800.2017. Конструкции бетонные армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования.

- Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий.

- ДБН В.2.6-98:2009. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования.


- ДСТУ-Н Б.В.2.6-185:2012. Руководство по проектированию и изготовлению бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой на основе базальто- и стекловолокна.

- АСІ 318-11. Строительный кодекс. Требования к железобетону.
- Еврокод 2 (Беларусь) (ТПК EN 1992-1-1-2009\*).
- Еврокод 2 (Казахстан) (СН РК EN 1992-1-1:2004/2011).
- СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

Исходными данными для расчета элементов конструкции являются: сечение, материал, параметры конструирования, усилия, как от отдельных загрузений, так и от расчетных сочетаний нагрузок (РСН) либо расчетных сочетаний усилий (PCY).

Для подбора/проверки армирования элементов могут задаваться дополнительные требования: назначаться **Конструктивные элементы** (см. п. 2.11.11), **Унификация PCY** (см. п. 6.5) и т.д.

Результаты расчета подобранной арматуры могут быть переданы в режим **Исходных данных** для корректировки и последующей проверки заданного армирования.

Режим **Расчет конструкций – Железобетонные элементы** вызывается при помощи команды меню **Расчет** ⇒ **Расчет конструкций** (кнопка  на панели инструментов).

Расчет на **Продавливание безбалочных железобетонных плит** является самостоятельным и производится с помощью команды меню **Конструирование** ⇒

**Продавливание** (кнопка  на панели инструментов).

## 8.2 ПОДБОР АРМАТУРЫ. ПРОВЕРКА ЗАДАННОГО АРМИРОВАНИЯ

### 8.2.1 Подготовка исходных данных

Исходные данные для расчета сечений задаются в **Редакторе сечений/жесткостей** для каждого сечения отдельно. Для этого выбираем нужное сечение и активизируем переключатель **Подбор арматуры** (рис. 8.1).

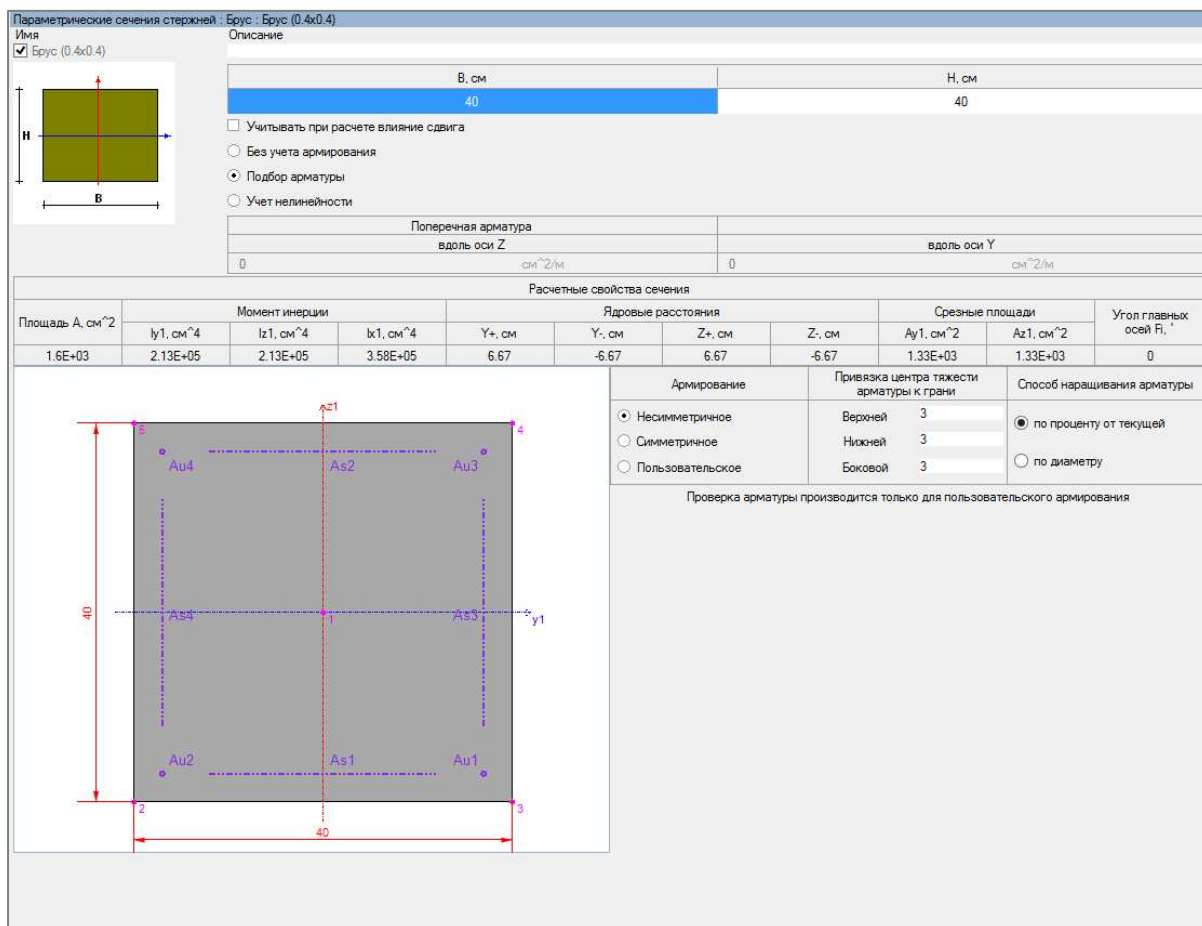


Рис. 8.1. Отображение параметров сечения стержня при выборе переключателя **Подбор арматуры**

### 8.2.2 Задание армирования в стержневых железобетонных сечениях

Для задания типа армирования в сечениях железобетонных стержневых элементов реализованы три варианта:

- **Несимметричное;**
- **Симметричное;**
- **Пользовательское.**

Чтобы задать нужный вариант, выберите соответствующий переключатель в области **Армирование** панели параметров сечения (рис. 8.1).

**Несимметричное** и **Симметричное** армирование представляют собой программно созданные схемы расположения арматуры в сечении, отличающиеся лишь особенностями

расстановки и подбора арматуры. В случае выбора **Несимметричного** армирования будут наращиваться те арматурные включения, которые находятся в самых напряженных позициях: наиболее растянутое или наиболее сжатое. **Симметричное** армирование подразумевает наращивание арматурных включений с сохранением симметрии.

При выборе пунктов **Симметричное** или **Несимметричное** армирование пользователю доступна возможность задания величины **Привязки центра тяжести арматуры к грани** и **Способ наращивания арматуры** (рис. 8.2).

Привязка центра тяжести арматуры к грани		Способ наращивания арматуры
Верхней	3 <input type="text"/> см	<input checked="" type="radio"/> по проценту от текущей
Нижней	3 <input type="text"/> см	<input type="radio"/> по диаметру
Боковой	3 <input type="text"/> см	

Рис. 8.2. Области задания **Привязки центра тяжести арматуры к грани** и **Способа наращивания арматуры**

**Привязка центра тяжести арматуры к грани** позволяет управлять расположением арматурных включений в сечении (рис. 8.3). Пользователь может корректировать расстояние центра тяжести арматуры от:

- **Верхней** грани;
- **Нижней** грани;
- **Боковой** грани.

Для симметричного и несимметричного армирования в стержнях распределенная арматура привязывается к граням по следующим правилам: для прямоугольника, швеллера, коробки, креста и двутавра концы распределенной арматуры находятся от точечной на расстоянии 5 см. Для уголка и тавров — на расстоянии 1 см, кроме арматуры в стенке тавра, которая идет до полки.

На рис. 8.3 показан пример привязки центра тяжести арматуры для сечения швеллера.

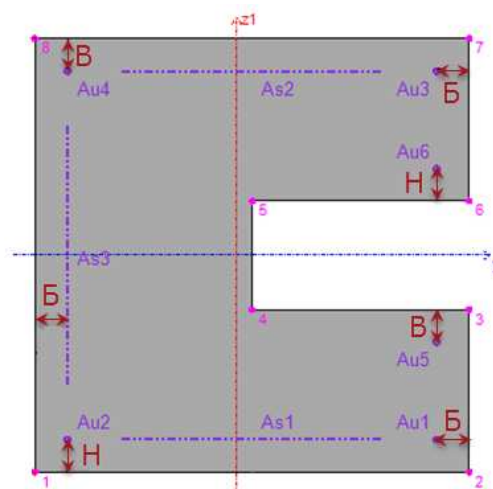



Рис. 8.3. **Привязка центра тяжести арматуры к граням сечения швеллера:**  
В — к верхней грани, Н — к нижней грани, Б — к боковой грани

 При работе с кольцевым сечением учитываются только изменения значения привязки по радиусу.

**Способ наращивания арматуры** определяет механизм, согласно которому будет увеличиваться площадь арматурных включений. Доступны два варианта:

- **По проценту от текущей** — площадь включения будет увеличена на величину, которая зависит от текущего значения площади.
- **По диаметру** — площадь включения будет изменяться с учетом сортамента арматуры, выбранного класса (см. п. 8.2.5).

Варианты **Несимметричное** и **Симметричное** армирование реализуют стандартные возможности по управлению расположением арматурных включений и могут быть использованы только для подбора арматуры. Для случаев, когда нужно произвести проверку/подбор сечения на заданное армирование с учетом заданных граничных условий, реализован третий вид армирования — **Пользовательское**.

При выборе типа армирования **Пользовательское** становятся доступными следующие панели управления арматурой: **Поперечная арматура**, **Точечная арматура**, **Распределенная арматура**.

Панель **Поперечная арматура** имеет два поля для ввода суммарной площади поперечной арматуры (в кольцевом сечении — одно), вдоль локальных осей Y1 и Z1 (рис. 8.4). В зависимости от типа решаемой задачи эта площадь будет использована по-разному: при **Подборе** станет стартовой, а в случае **Проверки**, соответственно, проверена.

Поперечная арматура	
вдоль оси Z	вдоль оси Y
0	0
см <sup>2</sup> /м	см <sup>2</sup> /м

Рис. 8.4. Панель задания площади **Поперечной арматуры**

 Площадь **Поперечной арматуры** задается при шаге 1 м.

### Панели задания продольной Пользовательской арматуры

Панели **Точечная арматура** и **Распределенная арматура** позволяют производить более детальную расстановку продольной арматуры в сечении. Эти панели идентичны для всех видов параметрических сечений, кроме кольцевого. Обе панели представляют собой таблицы, в которые заносятся данные об арматурных включениях.

Панель **Точечная арматура** (рис. 8.5) для параметрически заданных сечений, кроме кольцевого, имеет следующие столбцы:

- **Имя** — служит уникальным идентификатором включения. Не может быть пустым или повторяться.
- **Т. пр.** — точка привязки, относительно которой будет размещено арматурное включение.
- **u(y)** — расстояние от точки привязки до центра тяжести арматурного включения вдоль оси Y1. Задается с учетом знака.

- $v(z)$  — расстояние от точки привязки до центра тяжести арматурного включения вдоль оси Z1. Задается с учетом знака.

- **Лог. группа** — обозначает номер группы, в которую входит включение. **Лог. группа** создается из следующих предпосылок: все арматурные включения группы должны иметь одинаковые значения начальной площади (**Нач. площадь**), максимальной площади (**Макс. площадь**) и флага блокировки (**Блок.**). В пределах одной логической группы все арматурные включения при подборе наращивают площадь одновременно. Включения, находящиеся в одной **Лог. группе**, выделяются в таблице цветом. На рис. 8.5 группа отмечена цветом и номером 1.

- **Блок.** — отметка флага блокировки указывает на то, что площадь арматуры в процессе подбора увеличиваться не будет. При этом блокируется задание максимальной площади включения (рис. 8.5).

- **Способ нар. площади** — предлагает на выбор два варианта увеличения площади арматуры: 1 — по проценту от текущей площади, 2 — используя доступный список диаметров арматуры, согласно сортаменту выбранных норм (см. п. 8.2.5).

- **Нач. площадь** — площадь, с которой начнется подбор арматуры или, в режиме проверки заданного армирования, площадь, которую программа будет проверять. Допускается нулевое значение.

- **Макс. площадь** — предельная площадь включения, при достижении которой последующее наращивание площади включения производиться не будет. Всегда должна быть больше или равна начальной площади. В случае задания нулевого значения программа вместо него будет использовать величину площади, соответствующую максимальному диаметру выбранного класса арматуры (см. п. 8.2.5).

- **Кол-во стержней в пучке** — указывает на количество арматурных стержней в арматурном включении. Это число используется при определении текущего диаметра арматуры, а также для задания максимальной площади включения (**Макс. Площадь**). В случае задания нулевого значения **Макс. Площадь** она принимается равной произведению количества стержней на площадь, соответствующую максимальному диаметру выбранного класса арматуры (см. п. 8.2.5).

- **Материал** — указывает индекс материала арматурного включения. Используется для случаев, когда в одном сечении имеется арматура из разных материалов.

Точечная арматура													
	Имя	Т. пр.	u(y), см	v(z), см	Лог. групп.	Блок.	Способ нар. площади	Нач. площадь см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	К-во стержней в пучке	Материал		
	Au1(1)	3	▼	-5	5	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Пло...	▼	3.14159	0	1	1
▶	Au2(2)	2	▼	5	5		<input checked="" type="checkbox"/>	Пло...	▼	3.14159	0	1	2
	Au3(2)	4	▼	-5	-6		<input checked="" type="checkbox"/>	Пло...	▼	3.14159	0	1	2
	Au4(1)	5	▼	5	-6	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Пло...	▼	3.14159	0	1	1

Рис. 8.5. Вид панели **Точечная арматура** для сечений, кроме кольцевого

Для кольцевого сечения набор столбцов имеет незначительные отличия (рис. 8.6). Отсутствуют столбцы **u(y)** и **v(z)**, при этом добавляются новые, а именно:

- **Начальный угол** — угол поворота стержней с учетом знака. Знак «+» соответствует направлению против часовой стрелки.
- **Расстояние от т. пр.** — расстояние от точки привязки до арматурного включения. Должно быть больше нуля.
- **Кол-во стержней по окружности** — количество стержней, которые будут равномерно расположены по окружности.

Точечная арматура												
	Имя	Т. пр.	Угол, °	Расстояние от т. пр., см	Лог. группа	Блок.	Способ нар. площади	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	К-во стержней в пучке	К-во гержне по ружнос	Материал
▶	Au1	1	15	10		<input type="checkbox"/>	Пло...	0.502655	0	1	4	2
*						<input type="checkbox"/>						

Рис. 8.6. Вид панели **Точечная арматура** для кольцевого сечения

Панель **Распределенная арматура** для всех сечений (рис. 8.7), за исключением кольцевого, состоит из следующего набора столбцов:

- **Имя** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Т. пр.** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Расстояние от т. пр.** — расстояние от точки привязки до арматурного включения с учетом знака.
- **Отступ1** — расстояние от края включения до ближайшей левой (значение столбца **Положение** равно «←») или нижней (значение столбца **Положение** равно «|») грани сечения (рис. 8.8).
- **Отступ2** — расстояние от края включения до ближайшей правой (значение столбца **Положение** равно «→») или верхней грани (значение столбца **Положение** равно «|») сечения (рис. 8.8).
- **Лог. группа** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Блок.** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Нач. площадь** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Макс. площадь** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Положение** — определяет, в каком положении находится включение («|» — вертикально, «←» — горизонтально).
- **Материал** — указывает индекс материала арматурного включения, используется для случаев, когда в одном сечении имеется арматура из разных материалов.

Распределенная арматура											
	Имя	Т. пр.	Расстояние от т. пр., см	Отступ1, см	Отступ2, см	Лог. группа	Блок.	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	Положение	Материал
	As1(1)	2	5	15	15	1	<input type="checkbox"/>	0	14.7262	--	1
▶	As2(2)	4	-5	15	15		<input type="checkbox"/>	0	14.7262	--	2
	As3(1)	4	-5	15	15	1	<input type="checkbox"/>	0	14.7262		1
	As4(2)	2	5	15	15		<input type="checkbox"/>	0	14.7262		2

Рис. 8.7. Вид панели **Распределенная арматура** для всех сечений, кроме кольцевого



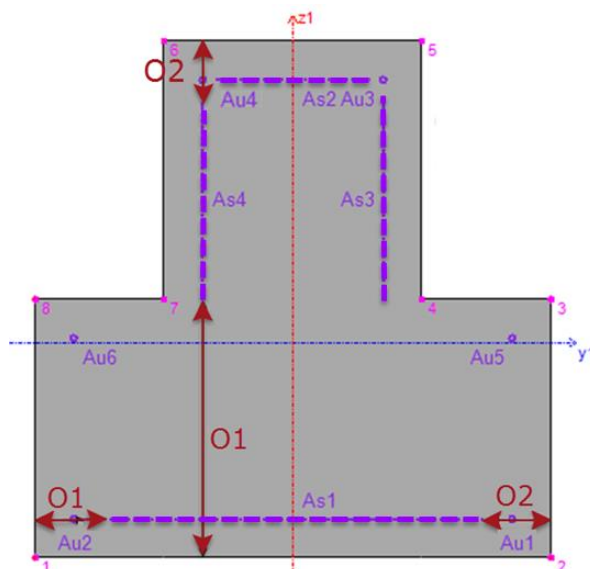


Рис. 8.8. Отступы распределенной арматуры в тавровом сечении:  
O1 — Отступ1, O2 — Отступ2

Панель **Распределенная арматура** для кольцевого сечения (рис. 8.9) включает свой список столбцов, содержание которых описано выше.

Распределенная арматура								
	Имя	Т. пр.	Расстояние от т. пр., см	Лог. группа	Блок.	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	Материал
▶	As1	1	17		<input type="checkbox"/>	6.15752	0	1
*					<input type="checkbox"/>			

Рис. 8.9. Панель **Распределенная арматура** для кольцевого сечения

Для простоты и удобства задания значений начальной и максимальной площадей на панелях точечной арматуры предусмотрен вызов окна сортамента арматуры (рис. 8.10), которое открывается после двойного щелчка по ячейке площади, которую вы хотите изменить.

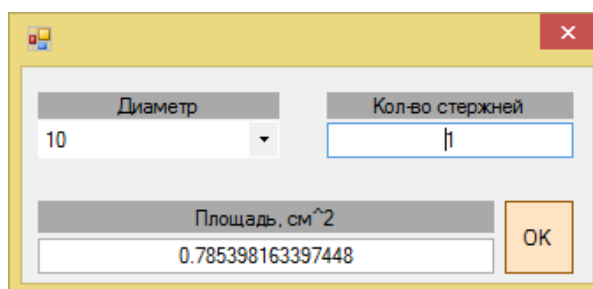


Рис. 8.10. Окно сортамента арматуры

### Возможные ошибки при работе с панелями пользовательской арматуры

Программа осуществляет контроль исходных данных на стадии их задания. В случае неверных значений параметров арматурных включений они будут выделены в таблице панели красным цветом. Ниже перечислены возможные виды ошибок:

- неверные значения расстояния от точки привязки или отступов, которые привели к тому, что включение находится вне пределов сечения;
- отрицательное значение начальной площади;
- имя включения пустое или повторяющееся в пределах текущей таблицы;
- отрицательное количество стержней в пучке (включении);
- номер логической группы меньше «-1» («-1» указывает на отсутствие группы).

### 8.2.3 Задание армирования в стержневых сталежелезобетонных сечениях

Для задания типа армирования в сечениях сталежелезобетонных стержневых элементов реализованы три варианта:

- **Несимметричное;**
- **Симметричное;**
- **Пользовательское.**

Чтобы задать нужный вариант, выберите соответствующий переключатель в области **Армирование** панели параметров сечения (рис. 8.11).

Армирование	Привязка центра тяжести арматуры к грани	Способ наращивания арматуры
<input type="radio"/> Несимметричное	Верхней 3 <input type="text"/> см	<input checked="" type="radio"/> по проценту от текущей
<input checked="" type="radio"/> Симметричное	Нижней 3 <input type="text"/> см	<input type="radio"/> по диаметру
<input type="radio"/> Пользовательское	Боковой 3 <input type="text"/> см	

Проверка арматуры производится только для пользовательского армирования

Рис. 8.11. Области задания **Армирования**, **Привязки центра тяжести арматуры к грани** и **Способа наращивания арматуры**

**Несимметричное** и **Симметричное** армирование представляют собой программно созданные схемы расположения арматуры в сечении, отличающиеся лишь особенностями расстановки и подбора арматуры. В случае выбора **Несимметричного** армирования будут наращиваться те арматурные включения, которые находятся в самых напряженных позициях: наиболее растянутое или наиболее сжатое. **Симметричное** армирование подразумевает наращивание арматурных включений с сохранением симметрии.

При выборе пунктов **Симметричное** или **Несимметричное** армирование пользователю доступна возможность задания величины **Привязки центра тяжести арматуры к грани** и **Способ наращивания арматуры** (рис. 8.11).

**Привязка центра тяжести арматуры к грани** позволяет управлять расположением арматурных включений в сечении. Пользователь может корректировать расстояние центра тяжести арматуры от:

- **Верхней** грани;
- **Нижней** грани;
- **Боковой** грани.

На рис. 8.12 приведен пример привязки центра тяжести арматуры для сечения сталежелезобетонной коробки с коробчатым сердечником.

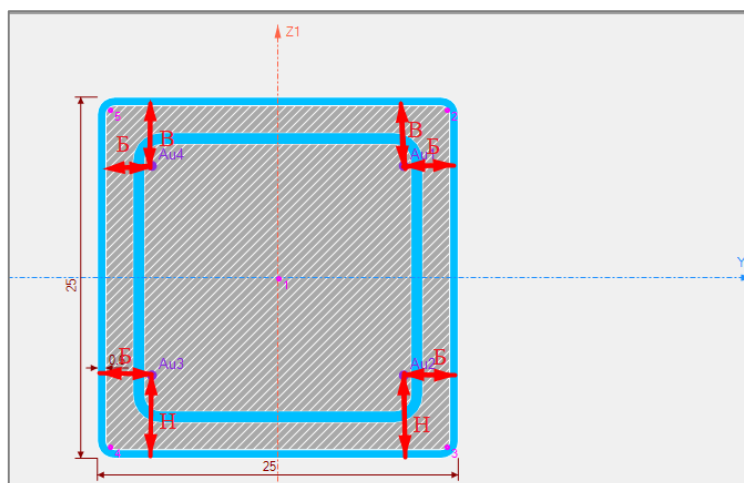



Рис. 8.12. Привязка центра тяжести арматуры к граням сечения сталежелезобетона:  
В — к верхней грани, Н — к нижней грани, Б — к боковой грани

 При работе с кольцевым сечением учитываются только изменения значения привязки по радиусу.

**Способ наращивания арматуры** определяет механизм, согласно которому будет увеличиваться площадь арматурных включений. Доступны два варианта:

- **По проценту от текущей** — площадь включения будет увеличена на величину, которая зависит от текущего значения площади.
- **По диаметру** — площадь включения будет изменяться с учетом сортамента арматуры, выбранного класса (см. п. 8.2.5).

Варианты **Несимметричное** и **Симметричное** армирование реализуют стандартные возможности по управлению расположением арматурных включений и могут быть использованы только для подбора арматуры. Для случаев, когда нужно произвести проверку/подбор сечения на заданное армирование с учетом заданных граничных условий, реализован третий вид армирования — **Пользовательское**.

При выборе типа армирования **Пользовательское** становятся доступными следующие панели управления арматурой: **Точечная арматура**, **Распределенная арматура**.

### Панели задания продольной Пользовательской арматуры

Панели **Точечная арматура** и **Распределенная арматура** позволяют производить более детальную расстановку продольной арматуры в сечении. Панели для прямоугольного и кольцевого сечений немного отличаются. Обе панели представляют собой таблицы, в которые заносятся данные об арматурных включениях.

Панель **Точечная арматура** (рис. 8.13) для прямоугольных сечений имеет следующие столбцы:

- **Имя** — служит уникальным идентификатором включения. Не может быть пустым или повторяться.
- **Т. пр.** — точка привязки, относительно которой будет размещено арматурное включение.

- **u(y)** — расстояние от точки привязки до центра тяжести арматурного включения вдоль оси Y1. Задается с учетом знака.

- **v(z)** — расстояние от точки привязки до центра тяжести арматурного включения вдоль оси Z1. Задается с учетом знака.

- **Лог. группа** — обозначает номер группы, в которую входит включение. **Лог. группа** создается из следующих предпосылок: все арматурные включения группы должны иметь одинаковые значения начальной площади (**Нач. площадь**), максимальной площади (**Макс. площадь**) и флага блокировки (**Блок.**). В пределах одной логической группы все арматурные включения при подборе наращивают площадь одновременно. Включения, находящиеся в одной **Лог. группе**, выделяются в таблице цветом. На рис. 8.13 группа отмечена цветом и номером 1.

- **Блок.** — отметка флага блокировки указывает на то, что площадь арматуры в процессе подбора увеличиваться не будет. При этом блокируется задание максимальной площади включения.

- **Способ нар. площади** — предлагает на выбор два варианта увеличения площади арматуры: 1 — по проценту от текущей площади, 2 — используя доступный список диаметров арматуры, согласно сортаменту выбранных норм (см. п. 8.2.5).

- **Нач. площадь** — площадь, с которой начнется подбор арматуры или, в режиме проверки заданного армирования, площадь, которую программа будет проверять. Допускается нулевое значение.

- **Макс. площадь** — предельная площадь включения, при достижении которой последующее наращивание площади включения производиться не будет. Всегда должна быть больше или равна начальной площади. В случае задания нулевого значения программа вместо него будет использовать величину площади, соответствующей максимальному диаметру выбранного класса арматуры (см. п. 8.2.7).

- **Кол-во стержней в пучке** — указывает на количество арматурных стержней в арматурном включении. Это число используется при определении текущего диаметра арматуры, а также для задания максимальной площади включения (**Макс. Площадь**). В случае задания нулевого значения **Макс. Площадь** она принимается равной произведению количества стержней на площадь, соответствующую максимальному диаметру выбранного класса арматуры (см. п. 8.2.7).

Точечная арматура										
	Имя	Т. пр.	u(y), см	v(z), см	Лог. группа	Блок.	Способ нар. площади	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	К-во стержней в пучке
	Au1	2	-3	-4	1	<input type="checkbox"/>	Площадь	0.0706858	0	1
	Au2	3	-3	5	1	<input type="checkbox"/>	Площадь	0.0706858	0	1
▶	Au3	4	3	5		<input type="checkbox"/>	Площадь	2.01062	0	1
	Au4	5	3	-4		<input type="checkbox"/>	Площадь	0	0	1
*						<input type="checkbox"/>				

Рис. 8.13. Вид панели **Точечная арматура** для сечений, кроме кольцевого

Для кольцевого сечения набор столбцов имеет незначительные отличия (рис. 8.14). Отсутствуют столбцы  $u(y)$  и  $v(z)$ , при этом добавляются новые, а именно:

- **Угол** — угол поворота стержней с учетом знака. Знак «+» соответствует направлению против часовой стрелки.
- **Расстояние от т. пр.** — расстояние от точки привязки до арматурного включения. Должно быть больше нуля.
- **Кол-во стержней по окружности** — количество стержней, которые будут равномерно расположены по окружности.

Точечная арматура											
	Имя	Т. пр.	Угол, °	Расстояние от т. пр., см	Блок.	Способ нар. площади	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	К-во стержней в пучке	К-во стержней по	
▶	As1	1	0	3	<input type="checkbox"/>	Площадь	12	0	1	8	
	As2	2	0	0	<input type="checkbox"/>	Площадь	14	0	1	4	
*					<input type="checkbox"/>						

Рис. 8.14. Вид панели **Точечная арматура** для кольцевого сталежелезобетонного сечения

Панель **Распределенная арматура** для прямоугольных сечений (рис. 8.15) состоит из следующего набора столбцов:

- **Имя** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Т. пр.** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Расстояние от т. пр.** — расстояние от точки привязки до арматурного включения с учетом знака.
- **Отступ1** — расстояние от края включения до ближайшей левой (значение столбца **Положение** равно «←») или нижней (значение столбца **Положение** равно «|») грани сечения.
- **Отступ2** — расстояние от края включения до ближайшей правой (значение столбца **Положение** равно «←») или верхней грани (значение столбца **Положение** равно «|») сечения.
- **Лог. группа** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Блок.** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Нач. площадь** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Макс. площадь** — см. панель **Точечная арматура**.
- **Положение** — определяет, в каком положении находится включение («|» — вертикально, «←» — горизонтально).

Распределенная арматура											
	Имя	Т. пр.	Расстояние от т. пр., см	Отступ1, см	Отступ2, см	Лог. группа	Блок.	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	Положение	
▶	As1	1	2	2	2		<input type="checkbox"/>	2.54469	0	--	
	As2	1	2	2	2		<input type="checkbox"/>	2.54469	0	--	
*							<input type="checkbox"/>				

Рис. 8.15. Вид панели **Распределенная арматура** для прямоугольных сечений

Панель **Распределенная арматура** для кольцевого сечения (рис. 8.16) содержит свой список столбцов, содержание которых описано выше.

Распределенная арматура						
	Имя	Т. пр.	Расстояние от т. пр., см	Блок.	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>
▶	As3	1	4	<input type="checkbox"/>	12	0
*				<input type="checkbox"/>		

Рис. 8.16. Панель **Распределенная арматура** для кольцевого сечения

Для простоты и удобства задания значений начальной и максимальной площадей, на панелях точечной арматуры предусмотрен вызов окна сортамента арматуры (рис. 8.10). Окно вызывается двойным щелчком мыши по ячейке площади, которую необходимо изменить.

### Возможные ошибки при работе с панелями пользовательской арматуры

Программа осуществляет контроль исходных данных на стадии их задания. В случае неверных значений параметров арматурных включений они будут выделены в таблице панели красным цветом. Ниже перечислены возможные виды ошибок:

- неверные значения расстояния от точки привязки или отступов, которые привели к тому, что включение находится вне пределов сечения;
- отрицательное значение начальной площади;
- имя включения пустое или повторяющееся в пределах текущей таблицы;
- отрицательное количество стержней в пучке (включении);
- номер логической группы меньше «-1» («-1» указывает на отсутствие группы).

## 8.2.4 Задание армирования в плитных сечениях

Пункт **Подбор арматуры** дает возможность выбора **Армирования**:

- По умолчанию;
- Пользовательское.

Пункт **По умолчанию** открывает доступ к панели **Привязка центра тяжести арматуры к грани: Верхней и Нижней**. При этом начальная площадь арматуры при задании расчета на подбор будет принята по умолчанию со следующими значениями (табл. 8.1).

Таблица 8.1. Минимальное значение  $A_s$  **По умолчанию**

Имя	As1X	As2X	As1Y	As2Y
Начальная площадь	0.785 см <sup>2</sup> /м	0.785 см <sup>2</sup> /м	0.785 см <sup>2</sup> /м	0.785 см <sup>2</sup> /м

Выбор пункта **По умолчанию** позволяет выполнять подбор арматуры в наиболее часто встречающемся случае ее расположения относительно граней сечения. При этом реализовано двухуровневое армирование (нижнее и верхнее) с осредненной для каждого уровня привязкой центра тяжести. Фактическое разделение привязок по осям X1 и Y1 для пункта **По умолчанию** не реализовано.

Выбор пункта армирования **Пользовательское** открывает доступ к следующим панелям:

- Поперечная арматура;
- Арматурные вставки.

Панель **Поперечная арматура** имеет два поля для ввода площади поперечной арматуры: **вдоль оси Y** и **вдоль оси X** (рис. 8.17). Направление осей Y/X должно совпадать с направлением осей выравнивания напряжений Y1/X1. В зависимости от типа расчета эта площадь будет: при **Подборе** — стартовой, при **Проверке** — проверяемой.

Поперечная арматура	
вдоль оси Y	вдоль оси X
0	0
см <sup>2</sup> /м	см <sup>2</sup> /м

Рис. 8.17. Панель задания площади **Поперечной арматуры** для плитных сечений

 *Площадь **Поперечной арматуры** задается при шаге 1 м.*

Панель **Арматурные вставки** предназначена для задания фактической расстановки продольной арматуры в сечении, создания логических групп внутри сечения, учета различных граничных условий для площади продольной арматуры (рис. 8.18).

Арматурные вставки									
	Имя	Т. пр.	Расстояние от т. пр., см	Лог. группа	Блок.	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	Ось	Материал
▶	As1	1	5.5		<input type="checkbox"/>	0.981748	61.5752	x	1
	As2	3	-7.5		<input type="checkbox"/>	0.981748	61.5752	x	1
	As3	1	7.5		<input type="checkbox"/>	0.981748	61.5752	y	1
	As4	3	-5.5		<input type="checkbox"/>	0.981748	61.5752	y	1
*					<input type="checkbox"/>				

Рис. 8.18. Панель **Арматурные вставки** для плитных сечений

Панель **Арматурные вставки** содержит следующие столбцы:

- **Имя** — будет использоваться при выводе результатов, а также на рисунках исходной информации и локальных результатов (As1X...As2Y, рис. 8.19). Не может быть пустым или повторяться.
- **Т. пр.** — номер точки привязки, относительно которой будет размещена **Арматурная вставка** (на рис. 8.19 точки привязки обведены рамкой).
- **Лог. группа** — номер, определяющий вхождение арматурной вставки в логическую группу. Арматурные вставки одной **Лог. группы** имеют одинаковые начальные площади (**Нач. площадь (Ax) / Нач. площадь (Ay)**) и максимальные площади (**Макс. Площадь (Ax) / Макс. Площадь (Ay)**). Во время подбора их площадь наращивается одновременно.
- **Блок.** — арматурная вставка участвует в расчете подбора арматуры со значениями, указанными в столбцах **Нач. площадь (Ax) / Нач. площадь (Ay)**, при этом их наращивание блокируется. Значение **Макс. Площадь (Ax) / Макс. Площадь (Ay)** игнорируется.
- **Нач. площадь** — площадь арматурной вставки по грани, перпендикулярной оси X, с которой начнется проверка или наращивание арматуры при подборе.
- **Макс. Площадь** — площадь арматурной вставки по грани, перпендикулярной оси X, при достижении которой наращивание вставки заблокируется.
- **Ось** — указывается направление, вдоль которого устанавливается продольная арматура.

- **Материал** — указывает индекс материала арматурного включения. Используется для случаев, когда в одном сечении имеется арматура из разных материалов.

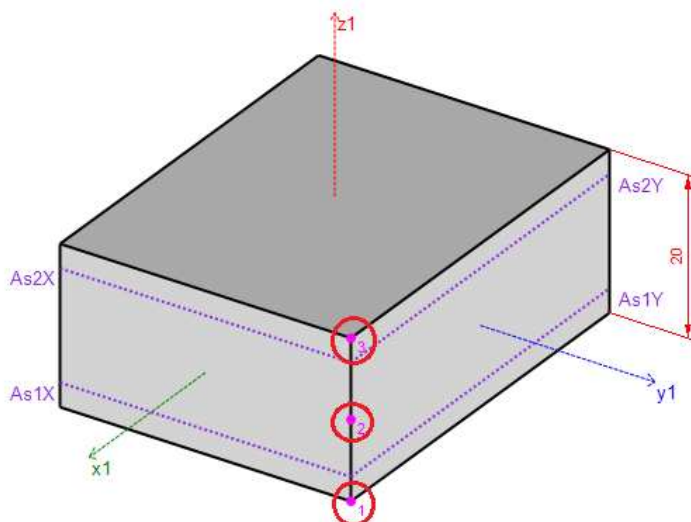


Рис. 8.19. Точки привязки Арматурных вставок для плитных элементов

Для редактирования и ввода значений начальной и максимальной площадей на панели **Арматурные вставки** реализован вызов окна сортамента арматуры (рис. 8.10). В соответствующие поля выводится вычисленная площадь. Для вычисления площади сечения арматуры для нескольких арматурных стержней необходимо в сортаменте арматуры задать их количество в поле **Количество стержней** и диаметр арматуры в поле **Диаметр**.

### 8.2.5 Задание конструирования для железобетонных стержневых элементов

**Задание конструирования для стержневых элементов по нормам СП 63.13330.2012, СП 63.13330.2018, СП 295.1325800.2017**

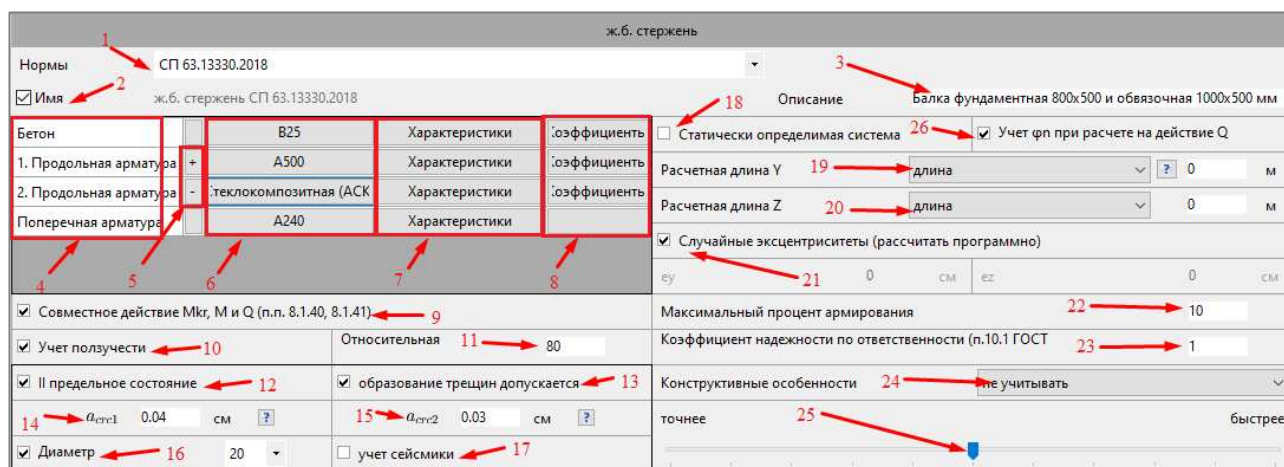


Рис. 8.20. Область редактирования параметров конструирования для норм СП 63.13330.2018



Панель **Параметры конструирования железобетонных стержней** состоит из таких элементов (рис. 8.20):

- 1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.
- 2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. стержень» + название выбранных норм.
- 3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.
- 4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.
- 5 – Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.5–8.7, 8.9).
- 6 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.
- 7 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.
- 8 – Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.
- 9 – Совместное действие  $M_{кр}$ ,  $M$  и  $Q$  (п.п. 8.1.40, 8.1.41)** — при подборе и проверке с установленным флажком учитываются пункты 8.1.40, 8.1.41 СП 63.13330.2018 (формулы 8.78–8.79 по СП 63.13330.2018).
- 10 – Учет ползучести** — при расчете железобетона по длительнодействующей части усилий или сочетаний модуль упругости бетона принимают согласно п. 6.1.15 СП 63.13330.2018, а предельные относительные деформации — согласно табл. 6.10 СП 63.13330.2018.
- 11 – Относительная влажность** — относительная влажность воздуха окружающей среды, принимается по СП 131.13330 как средняя месячная относительная влажность наиболее теплого месяца для района строительства. Используется для определения относительных деформаций (табл. 6.10 СП 63.13330.2018) и коэффициента ползучести (табл. 6.12 СП 63.13330.2018) для длительнодействующей части нагрузки.
- 12 – Учет 2-го предельного состояния** — при установленном флажке производится расчет раскрытия трещин.
- 13 – Образование трещин допускается** — при неустановленном флажке проверяются максимальные растягивающие деформации в бетоне по нелинейно-деформационной модели. Деформации не должны превышать значений, при которых образуются трещины.
- 14 – Предельное раскрытие трещин для непродолжительной части.**
- 15 – Предельное раскрытие трещин для продолжительной части.**
- 16 – Область назначения номинального диаметра арматуры** — номинальный диаметр арматуры, который используется для определения базового расстояния между трещинами (п. 8.2.17 СП 63.13330). Если же диаметр задан не был (флажок **диаметр стержней**


не установлен), то его значение будет посчитано автоматически, исходя из площади подобранной арматуры.

**17 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам, при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**18 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения (см. п. 8.1.7 СП 63.13330). Возможны два варианта определимости: **статически определяемая** и **статически неопределимая**.

**19 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Y. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

**20 – Расчетная длина по оси Z** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Z. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

 Если заданная пользователем расчетная длина по Y или Z равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины стержня.

**21 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в стержне. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**22 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**23 – Коэффициент надежности по ответственности** (п. 10.1 ГОСТ 27751-2014).

**24 – Конструктивные особенности** — определяют конструктивные требования для стержня. Доступны следующие варианты:

- **стержень** — конструктивные требования отсутствуют; выполняется учет влияния продольной силы (нужно выставить вариант **Не учитывать**);
- **балка** — конструктивные требования для балки; учет влияния продольной силы не выполняется;
- **колонна** — конструктивные требования для колонны; выполняется учет влияния продольной силы.

**25 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

**26 – Учет  $f_{п}$  при расчете на действие Q** — учитывается влияние осевой силы на прочность от поперечных сил согласно п. 8.1.34 СП 63.13330.

## Создание конструирования для стержневых элементов по СНиП 2.03.01-84\*

Рис. 8.21. Область редактирования параметров конструирования для норм СНиП 2.03.01-84\*

Панель **Параметры конструирования железобетонных стержней** состоит из таких элементов (рис. 8.21):

- 1 – **Нормы** — название выбранных норм проектирования.
- 2 – **Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. стержень» + название выбранных норм.
- 3 – **Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.
- 4 – **Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.
- 5 – **Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.5–8.7, 8.9).
- 6 – **Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.
- 7 – **Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.
- 8 – **Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.
- 9 – **Учет 2-го предельного состояния** — при установленном флажке производится расчет раскрытия трещин.
- 10 – **Предельное раскрытие трещин для непродолжительной части.**
- 11 – **Предельное раскрытие трещин для длительной части.**
- 12 – **Область назначения диаметра арматуры** — диаметр арматуры, который используется при расчете раскрытия трещин. Если же диаметр задан не был (флажок


диаметр стержней не установлен), то его значение будет посчитано автоматически, исходя из площади подобранной арматуры.

**13 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**14 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определмости: **статически определяемая** и **статически неопределяемая**.

**15 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Y. Может быть задан непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

**16 – Расчетная длина по оси Z** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Z. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

 Если заданная пользователем расчетная длина по Y или Z равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины стержня.

**17 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в стержне. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**18 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**19 – Конструктивные особенности** — определяют конструктивные требования для стержня. Доступны следующие варианты:

- **стержень** — конструктивные требования отсутствуют; выполняется учет влияния продольной силы (нужно выбрать вариант **Не учитывать**);
- **балка** — конструктивные требования для балки; учет влияния продольной силы не выполняется;
- **колонна** — конструктивные требования для колонны; выполняется учет влияния продольной силы.

**20 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

## Создание конструирования для стержневых элементов по нормам ДСТУ Б В.2.6-156:2010, ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012

Рис. 8.22. Область редактирования параметров конструирования для норм ДСТУ Б В.2.6-156:2010

Панель **Параметры конструирования железобетонных стержней** состоит из таких элементов (рис. 8.22):

- 1 – **Нормы** — название выбранных норм проектирования.
- 2 – **Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. стержень» + название выбранных норм.
- 3 – **Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.
- 4 – **Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.
- 5 – **Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.5–8.7, 8.9).
- 6 – **Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.
- 7 – **Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.
- 8 – **Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.
- 9 – **Криволинейная диаграмма** — при установленном флажке будут использоваться криволинейные расчетные диаграммы, которые более точно аппроксимируют фактические законы деформирования бетона и арматуры.
- 10 – **Дополнительные коэффициенты** — открывает возможность ввода дополнительных коэффициентов для учета сейсмического воздействия, а также коэффициентов надежности и ответственности.

**11 – Учет ползучести** — отвечает за учет ползучести (уменьшение модуля упругости) при расчете по второй группе предельных состояний.

**12 – Относительная влажность** — поле ввода значения относительной влажности, доступно при учете ползучести.

**13 – Флажок II предельное состояние** отвечает за выполнение расчета элемента по II группе предельных состояний.

**14 – Поле ввода критического раскрытия непродолжительных трещин.**

**15 – Поле ввода критического раскрытия для продолжительных трещин.**


**16 – Диаметр стержней** — диаметр арматуры, который используется при расчете раскрытия трещин для максимального шага трещин. Если же диаметр задан не был (флажок **диаметр стержней** не установлен), то его значение будет посчитано автоматически, исходя из площади подобранной арматуры.

**17 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**18 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определмости: **статически определимая** и **статически неопределимая**.

**19 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Y. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

**20 – Расчетная длина по оси Z** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Z. Может быть задан непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

 Если заданная пользователем расчетная длина по Y или Z равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины стержня.

**21 – Случайные эксцентриситеты** — значение случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в стержне. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**22 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**23 – Тип заполнителя** — раскрывающийся список, при помощи которого задается тип заполнителя бетона.

**24 – Конструктивные особенности** — раскрывающийся список (**не учитывать/ балка/ колонна**), определяющий тип конструкции.

**25 – Перераспределение моментов для колонн** — флажок, отвечающий за учет перераспределения усилий при расчете. Доступен только для колонн.

**26 – При установленном флажке Перераспределение моментов для колонн активизируется поле ввода коэффициента перераспределения.**

**27 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных

соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

### Создание конструирования для стержневых элементов по нормам Еврокод 2 (EN 1992-1-1:2004, IDT), Еврокод 2 (Беларусь) (ТПК EN 1992-1-1:2009\*), Еврокод 2 (Казахстан) (СП РК EN 1992-1-1:2004/2011)

Рис. 8.23. Область редактирования параметров конструирования для норм Еврокод 2 (Казахстан) (СП РК EN 1992-1-1:2004/2011)

Панель **Параметры конструирования железобетонных стержней** состоит из таких элементов (рис. 8.23):

- 1 – **Нормы** — название выбранных норм проектирования.
- 2 – **Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. стержень» + название выбранных норм.
- 3 – **Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.
- 4 – **Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.
- 5 – **Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.5–8.7, 8.9).
- 6 – **Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.
- 7 – **Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.
- 8 – **Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.

**9 – Учет ползучести** — отвечает за учет ползучести (уменьшение модуля упругости) при расчете по второй группе предельных состояний.

**10 – Относительная влажность** — поле ввода значения относительной влажности, доступно при учете ползучести.

**11 – Возраст бетона** — поле ввода значения возраста бетона, участвует при расчете ползучести.

**12 –  $T(\Delta t)$**  — температура  $T$  в течение периода времени  $\Delta t$  (приложение В, п.3 EN 1992-1-1:2004). Участвует при расчете ползучести.

**13 – Тип цемента** — раскрывающийся список для выбора нужного типа цемента. Участвует при расчете ползучести.

**14 – Увеличить сейсмические поперечные силы** — установленный флажок позволяет увеличивать сейсмические поперечные силы согласно п. 5.4.2.4(7) СП РК EN 1992-1-1:2004/2011. Применяется только для эквивалентных стержней (тип КЭ 110).

**15 – Флажок II предельное состояние** отвечает за выполнение расчета элемента по II группе предельных состояний.

**16 – Поле ввода критического раскрытия непродолжительных трещин.**

**17 – Поле ввода критического раскрытия для продолжительных трещин.**


**18 – Диаметр стержней** — диаметр арматуры, который используется при расчете раскрытия трещин для максимального шага трещин. Если же диаметр задан не был (флажок **диаметр стержней** не установлен), то его значение будет посчитано автоматически, исходя из площади подобранной арматуры.

**19 – Учет сейсмики** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно отключить флажок **Учет сейсмики**.

**20 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определимости: **статически определимая** и **статически неопределимая**.

**21 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Y. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

**22 – Расчетная длина по оси Z** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Z. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

 Если заданная пользователем расчетная длина по Y или Z равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины стержня.

**23 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в стержне. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**24 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.



**25 – Тип заполнителя** — раскрывающийся список, при помощи которого задается тип заполнителя бетона.

**26 – Конструктивные особенности** — раскрывающийся список (**не учитывать/ балка/ колонна**), определяющий тип конструкции.

**27 – Класс условий эксплуатации** — раскрывающийся список для выбора класса условий эксплуатации.

**28 – Перераспределение моментов для колонн** — флажок, отвечающий за учет перераспределения усилий при расчете. Доступен только для колонн.

**29** – При установленном флажке **Перераспределение моментов для колонн** активизируется поле ввода коэффициента перераспределения.

**30 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

### Создание конструирования для стержневых элементов по нормам АСІ 318-11

Рис. 8.24. Область редактирования параметров конструирования для норм АСІ 318-11

Панель **Параметры конструирования железобетонных стержней** состоит из таких элементов (рис. 8.24):

**1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.

**2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. стержень» + название выбранных норм.

**3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.

**4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.

**5 – Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используется в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.5–8.7, 8.9).

**6 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.

**7 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.

**8 – Флажок II предельное состояние** отвечает за выполнение расчета элемента по II группе предельных состояний.

**9 – Поле ввода критического раскрытия трещин.**


**10– Раскрывающийся список выбора диаметра стержня.** Есть возможность автоматического определения диаметра стержня на основании актуальной площади, полученной в результате расчета; для этого необходимо сбросить флажок задания диаметра.

**11– Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**12– Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определимости: **статически определимая** и **статически неопределимая**.

**13– Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Y. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

**14– Расчетная длина по оси Z** — задает значения расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Z. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

 *Если заданная пользователем расчетная длина по Y или Z равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины стержня.*

**15– Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в стержне. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**16– Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**17– Конструктивные особенности** — раскрывающийся список (**не учитывать/ балка/ колонна**), определяющий тип конструкции. К конструктивным требованиям железобетона обычно относят защитный слой бетона, минимальное расстояние между стержнями арматуры, минимальный процент армирования, шаг и диаметр поперечной арматуры.

**18– Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

## 8.2.6 Задание конструирования для железобетонных плитных элементов

### Задание конструирования для железобетонных плитных элементов по СП 63.13330.2012, СП 63.13330.2018, СП 295.1325800.2017

Бетон		B25	Характеристики	коэффициенты
1. Продольная армату...	+	A500	Характеристики	коэффициенты
2. Продольная армату...	-	зальтокомпозитная (АБ)	Характеристики	коэффициенты
Поперечная арматура		A240	Характеристики	коэффициенты

Шаг поперечных стержней при продавлении: 20 см

Диаметр стержней: 12

Учет ползучести:  $\alpha_{cr1} = 0.04$  см

II предельное состояние:  $\alpha_{cr2} = 0.03$  см

Учет сейсмики:

Статически определимая система:  Учет фп при расчете на действие Q:

Расчетная длина X: 7.1 м

Расчетная длина Y: 7.1 м

Случайные эксцентриситеты (рассчитать программно):

Минимальный процент армирования: 0.5

Максимальный процент армирования: 5

Коэффициент надежности по ответственности (п.10.1 ГОСТ): 1

Метод расчета: Аналитический

точнее / быстрее

Рис. 8.25. Область редактирования параметров конструирования для плитин по нормам СП 63.13330.2018

Панель **Параметры конструирования железобетонных плит** состоит из таких элементов (рис. 8.25):

- 1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.
- 2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. пластина» + название выбранных норм.
- 3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.
- 4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.
- 5 – Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.18).
- 6 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.
- 7 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.
- 8 – Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.

**9 – Шаг поперечных стержней при продавливании** — поле для ввода шага стержней поперечной арматуры, который устанавливается в контуре продавливания (поперечная арматура по поперечной силе в зоне продавливания не учитывается).

**10 – Переключатель для Шаг поперечных стержней и Диаметр стержней.**

**11 – Поле для ввода шага/диаметра стержней.**

**12 – Учет ползучести** — при расчете железобетона по длительнодействующей части усилий или сочетаний модуль упругости бетона принимают согласно п. 6.1.15 СП 63.13330.2018, а предельные относительные деформации — согласно табл. 6.10 СП 63.13330.2018.

**13 – Относительная влажность** — относительная влажность воздуха окружающей среды, принимается по СП 131.13330 как средняя месячная относительная влажность наиболее теплого месяца для района строительства. Используется для определения относительных деформаций (табл. 6.10 СП 63.13330.2018) и коэффициента ползучести (табл. 6.12 СП 63.13330.2018) для длительнодействующей части нагрузки.

**14 – Учет 2-го предельного состояния** — при установленном флажке производится расчет раскрытия трещин.

**15 – Образование трещин допускается** — при сброшенном флажке проверяются максимальные растягивающие деформации в бетоне по нелинейно-деформационной модели. Деформации не должны превышать значений, при которых образуются трещины.

**16 – Предельное раскрытие трещин для непродолжительной части.**

**17 – Предельное раскрытие трещин для продолжительной части.**


**18 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**19 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения (см. п. 8.1.7 СП 63.13330). Возможны два варианта определимости: **статически определяемая** и **статически неопределяемая**.

**20 – Учет  $f_{п}$  при расчете на действие  $Q$**  — учитывается влияние осевой силы на прочность от поперечных сил согласно п. 8.1.34 СП 63.13330 по каждому из направлений пластины.

**21 – Расчетная длина по оси  $X$**  — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси  $X$ .

**22 – Расчетная длина по оси  $Y$**  — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси  $Y$ .

 Если заданная пользователем расчетная длина по  $X$  или  $Y$  равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины элемента.

**23 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в элементе. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**24 – Минимальный процент армирования** — если подобранная арматура меньше, чем заданное значение, то арматура наращивается автоматически. Проверка идет по каждому из направлений пластин, относительно заданного значения.

**25 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**26 – Коэффициент надежности по ответственности** (п. 10.1 ГОСТ 27751-2014).

**27 – Метод расчета** — доступны на выбор три метода расчета (Аналитический, СП 63.13330.2018, Вуда-Армера), учитывающих ситуацию, при которой направления главных напряжений не совпадают с направлением армирования. Подробнее о методах расчета пластин см. п. 8.2.8 Подбор арматуры в Пластинах.

**28 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

### Задание конструирования для железобетонных плитных элементов по нормам ДСТУ Б В.2.6-156:2010, ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012

Бетон	C25/30	Характеристики	Коэффициенты
1. Продольная арматура	+	A240C	Характеристики
2. Продольная арматура	-	A500C	Характеристики
Поперечная арматура		A240C	Характеристики

Рис. 8.26. Область редактирования параметров конструирования для пластин по ДСТУ Б В.2.6-156:2010

Панель **Параметры конструирования железобетонных плит** состоит из таких элементов (рис. 8.26):

**1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.

**2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. пластина» + название выбранных норм.

**3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.

**4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.

**5 – Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.18).

**6 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.

**7 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.

**8 – Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.

**9 – Шаг поперечных стержней при продавливании** — поле для ввода шага стержней поперечной арматуры, который устанавливается в контуре продавливания (поперечная арматура по поперечной силе в зоне продавливания не учитывается).

**10** – При установленном флажке коэффициент  $\gamma_s$  будет увеличен на 20%.

**11** – Переключатель для **Шаг поперечных стержней** и **Диаметр стержней**.

**12** – Поле для ввода шага/диаметра стержней.

**13 – Криволинейная диаграмма** — при установленном флажке будут использоваться криволинейные расчетные диаграммы, которые более точно аппроксимируют фактические законы деформирования бетона и арматуры.

**14 – Дополнительные коэффициенты** — открывает возможность ввода дополнительных коэффициентов для учета сейсмического воздействия, а также коэффициентов надежности и ответственности.

**15 – Учет ползучести** — отвечает за учет ползучести (уменьшение модуля упругости) при расчете по второй группе предельных состояний.

**16 – Относительная влажность** — поле ввода значения относительной влажности, доступно при учете ползучести.

**17 – Учет 2-го предельного состояния** — при установленном флажке производится расчет раскрытия трещин.

**18 – Предельное раскрытие трещин для непродолжительной части.**


**19 – Предельное раскрытие трещин для продолжительной части.**

**20 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**21 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определмости: статически определимая и статически неопределимая.

**22 – Расчетная длина по оси X** — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси X.

**23 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси Y.

 Если заданная пользователем расчетная длина по X или Y равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины элемента.

**24 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в элементе. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**25 – Минимальный процент армирования** — если подобранная арматура меньше, чем заданное значение, то арматура наращивается автоматически. Проверка идет по каждому из направлений пластин, относительно заданного значения.

**26 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**27 – Тип заполнителя** — раскрывающийся список, при помощи которого задается тип заполнителя бетона.

**28 – Метод расчета** — доступны на выбор два метода расчета (Аналитический и Вуда-Армера), учитывающих ситуацию, при которой направления главных напряжений не совпадают с направлением армирования. Подробнее о методах расчета пластин см. п. 8.2.8 **Подбор арматуры в Пластинах.**

**29 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

### Задание конструирования для железобетонных пластин по СНиП 2.03.01-84\*

Рис. 8.27. Область редактирования параметров конструирования для пластин по СНиП 2.03.01-84\*

Панель **Параметры конструирования железобетонных плит** состоит из таких элементов (рис. 8.27):

**1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.

**2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. пластина» + название выбранных норм.

**3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.

**4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.

**5 – Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения

арматурных включения в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.18).

**6 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.

**7 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.

**8 – Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.

**9 – Шаг поперечных стержней при продавливании** — поле для ввода шага стержней поперечной арматуры, который устанавливается в контуре продавливания (поперечная арматура по поперечной силе в зоне продавливания не учитывается).

**10 – Переключатель для Шаг поперечных стержней и Диаметр стержней.**

**11 – Поле для ввода шага/диаметра стержней.**

**12 – Учет 2-го предельного состояния** — при установленном флажке производится расчет раскрытия трещин.

**13 – Предельное раскрытие трещин для непродолжительной части.**


**14 – Предельное раскрытие трещин для продолжительной части.**

**15 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**16 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определимости: **статически определимая** и **статически неопределимая**.

**17 – Расчетная длина по оси X** — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси X.

**18 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси Y.

 Если заданная пользователем расчетная длина по X или Y равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины элемента.

**19 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в элементе. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**20 – Минимальный процент армирования** — если подобранная арматура меньше, чем заданное значение, то арматура наращивается автоматически. Проверка идет по каждому из направлений пластин относительно заданного значения.

**21 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**22 – Метод расчета** — доступны на выбор два метода расчета (Аналитический и Вуда-Армера), учитывающих ситуацию, при которой направления главных напряжений не совпадают с направлением армирования. Подробнее о методах расчета пластин см. п. 8.2.8 **Подбор арматуры в Пластинах**.



**23 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

**Задание конструирования для железобетонных плитных элементов по нормам Еврокод 2 (EN 1992-1-1:2004, IDT), Еврокод 2 (Беларусь) (ТПК EN 1992-1-1:2009\*), Еврокод 2 (Казахстан) (СП РК EN 1992-1-1:2004/2011)**

Рис. 8.28. Область редактирования параметров конструирования для плитин по СП РК EN 1992-1-1:2004/2011

Панель **Параметры конструирования железобетонных плит** состоит из таких элементов (рис. 8.28):

- 1 – **Нормы** — название выбранных норм проектирования.
- 2 – **Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. пластина» + название выбранных норм.
- 3 – **Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.
- 4 – **Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.
- 5 – **Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используется в тех случаях, если решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.18).
- 6 – **Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.
- 7 – **Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.

**8 – Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.

**9 – Шаг поперечных стержней при продавливании** — поле для ввода шага стержней поперечной арматуры, который устанавливается в контуре продавливания (поперечная арматура по поперечной силе в зоне продавливания не учитывается).

**10 – Переключатель для Шаг поперечных стержней и Диаметр стержней.**

**11 – Поле для ввода шага/диаметра стержней.**

**12 – Учет ползучести** — отвечает за учет ползучести (уменьшение модуля упругости) при расчете по второй группе предельных состояний.

**13 – Относительная влажность** — поле ввода значения относительной влажности, доступно при учете ползучести.

**14 – Возраст бетона** — поле ввода значения возраста бетона, участвует при расчете ползучести.

**15 –  $T(\Delta t)$**  — температура  $T$  в течение периода времени  $\Delta t$  (приложение В, п.3 EN 1992-1-1:2004). Участвует при расчете ползучести.

**16 – Тип цемента** — раскрывающийся список для выбора нужного типа цемента. Участвует при расчете ползучести.

**17 – Флажок II предельное состояние** отвечает за проведение расчета элемента по II группе предельных состояний.

**18 – Поле ввода критического раскрытия непродолжительных трещин.**


**19 – Поле ввода критического раскрытия для продолжительных трещин.**

**20 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**21 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного. Возможны два варианта определимости: **статически определимая** и **статически неопределимая**.

**22 – Расчетная длина по оси X** — задают значения расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси X.

**23 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси Y.

 Если заданная пользователем расчетная длина по X или Y равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины элемента.

**24 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в элементе. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**25 – Минимальный процент армирования** — если подобранная арматура меньше, чем заданное значение, то арматура наращивается автоматически. Проверка идет по каждому из направлений пластин относительно заданного значения.

**26 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**27 – Тип заполнителя** — раскрывающийся список, при помощи которого задается тип заполнителя бетона.

**28 – Конструктивные особенности** — раскрывающийся список (**не учитывать/ балка/ колонна**), определяющий тип конструкции.

**29 – Класс условий эксплуатации** — раскрывающийся список для выбора классов условий эксплуатации.

**30 – Метод расчета** — доступны на выбор два метода расчета (Аналитический и Вуда-Армера), учитывающих ситуацию, при которой направления главных напряжений не совпадают с направлением армирования. Подробнее о методах расчета пластин см. п. 8.2.8 **Подбор арматуры в Пластинах**.

**31 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

### Задание конструирования для железобетонных пластин по нормам ACI 318-11

Рис. 8.29. Область редактирования параметров конструирования пластин для норм ACI 318-11

Панель **Параметры конструирования железобетонных плит** состоит из таких частей (рис. 8.29):

**1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.

**2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. пластина» + название выбранных норм.

**3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.

**4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.

**5 – Кнопки добавления/удаления арматурных включений** — для добавления арматурного включения («+») и для удаления («-»). Используются в случаях, когда решается задача с разными арматурными включениями. При этом для корректного соотношения арматурных включений в редакторе сечений и редакторе конструирования номер материала

продольной арматуры в редакторе конструирования должен совпадать с номером материала в редакторе сечений (см. столбец **Материал** на рис. 8.18).

**6 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.

**7 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.

**8 – Шаг поперечных стержней при продавливании** — поле для ввода шага стержней поперечной арматуры, который устанавливается в контуре продавливания (поперечная арматура по поперечной силе в зоне продавливания не учитывается).

**9 –  $\alpha_s$**  — константа, используемая для расчета  $V_c$  (минимальной сдвиговой прочности, которую обеспечивает бетон) в перекрытиях и фундаментах. Для средних колонн  $\alpha_s = 40$ , для крайних колонн  $\alpha_s = 30$ , а для угловых колонн  $\alpha_s = 20$ .

**10 – Переключатель для Шаг поперечных стержней и Диаметр стержней.**

**11 – Поле для ввода шага/диаметра стержней.**

**12 – Флажок II предельное состояние** отвечает за проведение расчета элемента по II группе предельных состояний.


**13 – Поле ввода критического раскрытия трещин.**

**14 – Учет сеймики** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сеймики**.

**15 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определмости: **статически определяемая** и **статически неопределяемая**.

**16 – Расчетная длина по оси X** — задают значения расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси X.

**17 – Расчетная длина по оси Y** — задают значения расчетной длины пластины для учета влияния прогиба относительно оси Y.

 Если заданная пользователем расчетная длина по X или Y равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины элемента.

**18 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в элементе. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**19 – Минимальный процент армирования** — если подобранная арматура меньше, чем заданное значение, то арматура наращивается автоматически. Проверка идет по каждому из направлений пластин относительно заданного значения.

**20 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**21 – Метод расчета** — доступны на выбор два метода расчета (Аналитический и Вуда-Армера), учитывающих ситуацию, при которой направления главных напряжений не совпадают с направлением армирования. Подробнее о методах расчета пластин см. п. 8.2.8 **Подбор арматуры в Пластинах**.

**22 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных

соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.

### 8.2.7 Задание конструирования для сталежелезобетонных стержневых элементов

Рис. 8.30. Область редактирования параметров конструирования сталежелезобетонных стержней

Панель **Параметры конструирования сталежелезобетонных стержней** состоит из таких элементов (рис. 8.30):

**1 – Нормы** — название выбранных норм проектирования.

**2 – Имя** — служит для удобства навигации в списке параметров конструирования и при работе с расчетной схемой. По умолчанию имеет значение: «ж.б. стержень» + название выбранных норм.

**3 – Описание** — дополнительная информация для удобства навигации в списке параметров конструирования.

**4 – Область видов материалов** — отображается вид материала: бетон, список продольных арматур, поперечная арматура.

**5 – Кнопка для смены типа бетона и арматуры** — щелчок на кнопке позволяет менять тип арматуры и бетона на доступные в базе данных.

**6 – Кнопка для просмотра характеристик материала** — щелчок на кнопке позволяет просматривать табличные характеристики бетона и арматуры.

**7 – Кнопки для редактирования коэффициентов к материалу** — щелчок на кнопке позволяет редактировать коэффициенты к материалу для различных условий нагружения и эксплуатации.

**8 – Флажок II предельное состояние** отвечает за проведение расчета элемента по II группе предельных состояний. Производится только для сталежелезобетона без внешнего профиля.

**9 – Образование трещин допускается** — при сброшенном флажке проверяются максимальные растягивающие деформации в бетоне по нелинейно-деформационной модели. Деформации не должны превышать значений, при которых образуются трещины.

**10 – Поле ввода критического раскрытия трещин для непродолжительных нагрузок.**

**11 – Поле ввода критического раскрытия трещин для продолжительных нагрузок.**

**12 – Область назначения номинального диаметра арматуры** — номинальный диаметр арматуры, который используется для определения базового расстояния между


трещинами. Если же диаметр задан не был (флажок **диаметр стержней** не установлен), то его значение будет посчитано автоматически, исходя из площади подобранной арматуры.

**13 – Учет сейсмике** — согласно действующим нормам при расчете раскрытия трещин сейсмические сочетания разрешается не учитывать. Для этого нужно сбросить флажок **Учет сейсмике**.

**14 – Определимость системы** — устанавливает расчет величины эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения. Возможны два варианта определимости: **статически определимая** и **статически неопределимая**.

**15 – Расчетная длина по оси Y** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Y. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

**16 – Расчетная длина по оси Z** — задает значение расчетной длины стержня для учета влияния прогиба относительно оси Z. Может задаваться непосредственно через длину или через коэффициент, на который будет умножена фактическая длина конечного или конструктивного элемента.

 Если заданная пользователем расчетная длина по Y или Z равна нулю, то в расчет по этой оси пойдет значение фактической длины стержня.

**17 – Случайные эксцентриситеты** — значения случайных эксцентриситетов, которые вызывают дополнительные изгибающие моменты при наличии усилий сжатия в стержне. Значения могут быть заданы вручную или посчитаны программно в процессе расчета. Для автоматического расчета нужно установить флажок **Рассчитать программно**.

**18 – Максимальный процент армирования** — если подобранная арматура превышает заданное значение, то дальнейший подбор арматуры блокируется.

**19 – Точность и скорость расчета** — данный ползунок позволяет устанавливать соотношение между скоростью и точностью подбора. Однако при определенных соотношениях осевой силы и изгибающего момента эффект от такой регулировки не всегда может быть заметным.


### 8.2.8 Расчет

Для того чтобы произвести подбор/проверку железобетонных элементов, необходимо, находясь в режиме **Исходные данные**, задать исходную информацию, относящуюся к геометрии и условиям армирования сечений (**Редактор параметров конструирования**), особенностям расчета (**Унификация РСУ, Редактирование конструктивных элементов и т. д.**).

Армирование стержневых элементов возможно только для постоянных по длине, параметрически заданных сечений.

Для всех норм реализована база бетона и арматуры, в которой содержатся расчетные и нормативные характеристики материалов, диаметры и площади арматурных стержней, содержащиеся в нормативных документах. Характеристики материалов корректируются программой в зависимости от вида материала, условий эксплуатации, типа нагружений и других нормативных условий.

В случае применения норм СНиП 2.03.01-84 при расчете по РСУ для сочетаний с пометкой «группа А» (учет постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, кроме нагрузок непродолжительного действия, а также особых нагрузок) расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению  $R_b$  и  $R_{bt}$  принимаются с коэффициентом  $\gamma_{b2} = 0,9$ . Если же для сочетания стоит пометка «группа В» (учет всех нагрузок, включая нагрузки непродолжительного действия),  $R_b$  и  $R_{bt}$  принимаются с коэффициентом  $\gamma_{b2} = 1,1$ . Если в поле **Условия эксплуатации бетона** выбраны условия **Благоприятные для нарастания прочности**, расчет по «группе А» производится с учетом  $\gamma_{b2} = 1,0$  [8.11, п. 3.1].

 *Задание и редактирование исходных данных в Редакторе параметров конструирования возможно как в режиме **Исходные данные**, так и в режиме **Результаты расчета**. В режиме **Результаты расчета** допускается многократное изменение параметров конструирования.*

Площади арматуры по первой и второй группе предельных состояний вычисляются по полученным в результате расчета наборам усилий: от отдельных загружений, от расчетных сочетаний усилий (PCY), от расчетных сочетаний нагрузок (PCN). При использовании системы **Монтаж+** арматура подбирается по усилиям для каждой стадии и по PCY от всех стадий.

Учет эксцентриситетов приложения продольной силы  $N$ , **Случайных эксцентриситетов EY и EZ**, а также коэффициентов, учитывающих влияние продольной силы на значение эксцентриситета продольной силы  $N$ , выполняется внутрипрограммно по методике, описанной в используемых нормативных документах.

Выбор набора усилий (**Силовых факторов**) осуществляется после запуска на **Расчет конструкций** (рис. 8.31).

Расчет железобетонных элементов происходит по двум ветвям:

- подбор арматуры;
- проверка заданного армирования.

### Подбор арматуры в Стержнях

Расчет происходит от одновременного действия шести видов усилий:

- $N$  — осевое усилие;
- $M_k$  — крутящий момент относительно оси  $X1$ ;
- $M_y$  — изгибающий момент относительно оси  $Y1$ ;
- $Q_z$  — перерезывающая сила вдоль оси  $Z1$ ;
- $M_z$  — изгибающий момент относительно оси  $Z1$ ;
- $Q_y$  — перерезывающая сила вдоль оси  $Y1$ .

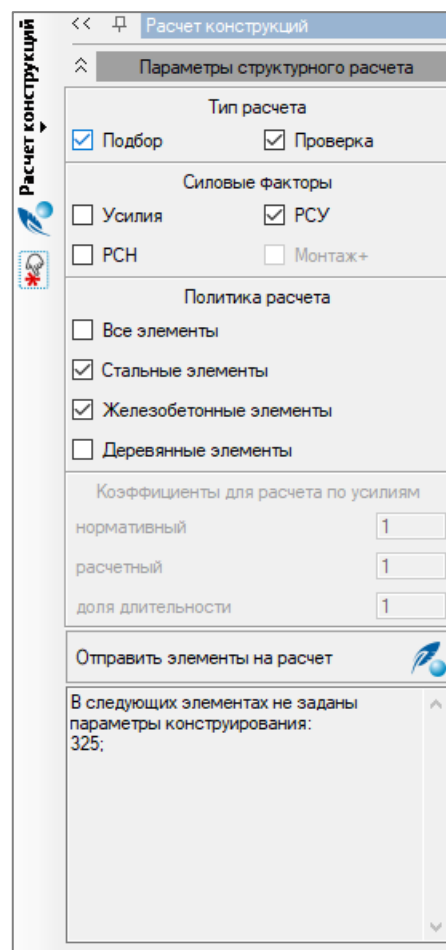



Рис. 8.31. Режим  
**Расчет конструкций**

### **Расчет на прочность**

Процесс наращивания арматуры начинается с начального минимального армирования. Если оно не проходит, не удовлетворяет требованиям соответствующих нормативных документов, то происходит наращивание наиболее растянутой арматуры. В случае достижения растянутой арматурой предела прочности наращивается наиболее сжатая арматура.

Наращивание арматуры на действие крутящего момента для прямоугольного сечения по нормам СНиП 2.03.01.84 выполняется в соответствии с п.п. 3.84 – 3.86, для сечений, имеющих входящие углы, — в соответствии с п.п. 3.88 – 3.90.

Расчет элементов на действие поперечной силы осуществляется по методике, изложенной в соответствующих нормативных документах.

 Согласно [8.10, п. 8.1.34], коэффициент  $\varphi_n$ , влияния сжимающих и растягивающих напряжений принимается как множитель к правой части неравенств (8.55) и (8.56). Зачастую введением этого коэффициента значительно ужесточаются условия проверок на действие поперечных сил по бетонной полосе между наклонными сечениями и по наклонным сечениям. Невозможность подбора поперечной арматуры по поперечной силе, вероятнее всего, связана с влиянием коэффициента  $\varphi_n$ .

Площади продольной и поперечной арматуры, обусловленной кручением, определяются по методике, изложенной в соответствующих нормативных документах. При этом происходит проверка прочности как между пространственными сечениями, так и по наклонным сечениям.

Значения армирования на действие крутящего момента добавляется к полученным ранее значениям из расчета на изгибающие моменты и поперечную силу.

Учет распределенной вдоль граней арматуры происходит автоматически при достижении угловой арматурой предельных площадей/диаметров, указанных либо в нормативной литературе (симметричное и несимметричное сечение), либо пользователем (пользовательское сечение).

Контролируется процент армирования. Если он превышает 3%, выдается сообщение с рекомендацией увеличить размеры сечения или повысить классы материалов.

Расчет заканчивается, когда подобранная арматура удовлетворяет всем проверкам первого предельного состояния и, если был выбран соответствующий расчет, второго предельного состояния.

Предусмотрен учет особых условий работы стержня (главы **Конструктивные требования** в соответствующих нормативных документах): обычный **Стержень**, **Балка**, **Колонна (Колонна со спиральной арматурой, Колонна с хомутами для [8.1])**. К **Конструктивным требованиям** относятся:

- минимальный процент армирования;
- минимальный диаметр рабочей и конструктивной продольной и поперечной арматуры;
- минимальный класс бетона;
- расстояние между стержнями продольной арматуры у боковых граней;
- контур поперечной арматуры из условия работы на кручение должен иметь замкнутое очертание;



- шаг поперечных стержней из условий работы на поперечную силу и предотвращение выпучивания.

## Проверка заданного армирования в Стержнях

### *Проверка на продольную силу и изгибающий момент*

По нормам СНиП 2.03.01-84 положение нейтральной оси определяется из условий равенства внешней и внутренней нормальных сил и параллельности векторов внешних и внутренних моментов. Внутренний момент должен быть больше внешнего.

По другим нормам положение нейтральной оси определяется из условий равенства внешних и внутренних нормальных сил и моментов согласно нелинейной деформационной теории. Максимальное сжатие в бетоне и растяжение в арматуре должны быть меньше соответствующих предельных значений.

Вычисление **Процента использования (%)** сечения по продольной силе (**N**) и изгибающим моментам (**M**) происходит следующим образом: по методике, изложенной в нормативных документах, определяются предельные усилия, воспринимаемые сечением с заданной продольной арматурой. **Процент использования (%)** вычисляется как отношение предельных и фактических усилий (**N**) и (**M**) в сечении элемента.

### *Проверка на крутящий момент*

Проверка выполняется следующим образом:

1. Производится подбор продольной арматуры из условий ее работы на изгиб (**M<sub>y</sub>**) и (**M<sub>z</sub>**) и нормальную силу (**N**).
2. По методике выбранного норматива производится подбор площади поперечной арматуры (**A<sub>swZ</sub>**) и (**A<sub>swY</sub>**) на действие поперечных сил (**Q<sub>z</sub>**) и (**Q<sub>y</sub>**).
3. Продольная арматура, указанная пользователем, состоит из арматуры, работающей на изгиб (**M<sub>y</sub>**) и (**M<sub>z</sub>**), нормальную силу (**N**) и кручение (**M<sub>x</sub>**). Вычитая из **Полной** площади арматуры площадь арматуры, работающей на изгиб и нормальную силу, получаем площадь арматуры, необходимую для работы на кручение. Это (условно) требуемая продольная арматура, работающая на кручение.
4. Поперечная арматура, указанная пользователем, состоит из арматуры, работающей на поперечную силу (**Q<sub>y</sub>**) и (**Q<sub>z</sub>**) и кручение (**M<sub>x</sub>**). Вычитая из **Полной** площади арматуры площадь арматуры, работающей на поперечную силу (**Q<sub>y</sub>**) и (**Q<sub>z</sub>**), получаем площадь арматуры, необходимую для работы на кручение (**M<sub>x</sub>**). Это (условно) требуемая поперечная арматура, работающая на кручение.
5. Производится подбор фактической площади продольной и поперечной арматуры, работающей на кручение (**M<sub>x</sub>**). Требуемая арматура должна превышать вычисленную фактическую арматуру.
6. Для получения **Процента использования (%)** сечения на крутящий момент (**M<sub>x</sub>**) программа делит площадь арматуры, полученную в результате подбора на крутящий момент, на площадь требуемой арматуры, вычисленную ранее, как разность **Полной** и суммарной от изгиба и поперечных сил. При этом получается два числа для процента использования: одно — по продольной арматуре, второе — по поперечной. В результаты будет записано худшее из них.

### **Проверка на раскрытие трещин**

Используется продольная арматура, заданная пользователем. На эту арматуру производится расчет ширины раскрытия трещин. **Процент использования (%)** — это частное от деления полученной ширины раскрытия трещин на значения, заданные в параметрах конструирования. Выводятся полученные **Проценты использования (%)** на кратковременное и длительное раскрытие трещин.

### **Подбор арматуры в Пластинах**

Подбор арматуры выполняется на следующие усилия и напряжения:

- $N_x, N_z, T_{xz}$  — для балок-стенок (КЭ плоского напряжения);
- $N_x, N_y, N_z, T_{xz}$  — для балок-стенок (КЭ плоской деформации);
- $M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y$  — для плит;
- $N_x, N_y, T_{xy}, M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y$  — для оболочек.

### **Аналитический метод для расчета пластин**

При определении армирования пластинчатых элементов по всем нормативным документам используется по умолчанию теория, изложенная в трудах академика Н.И. Карпенко [8.7] — в параметрах конструирования пластин это именуется **Аналитический метод**.

Подбор арматуры осуществляется с учетом работы арматуры по ортогональным направлениям. Исходя из максимальных усилий (действующих в направлении координатных осей, совпадающих с направлениями расположения стержней арматурной сетки), максимальные площади сечения арматуры вычисляются как для внецентренного сжатия-растяжения в одном направлении:

$$N^{ст} = [N_x^{пл} \cdot \cos^2(\phi) + N_y^{пл} \sin^2(\phi) + 2T_{xy}^{пл} \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\phi)] \cdot h; \quad (8.1)$$

$$M^{ст} = M_x^{пл} \cdot \cos^2(\phi) + M_y^{пл} \sin^2(\phi) + 2M_{xy}^{пл} \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\phi); \quad (8.2)$$

$$Q_x^{ст} = Q_x^{пл}; \quad Q_y^{ст} = Q_y^{пл}. \quad (8.3)$$

Подбор производится для достаточно плотного количества направлений — через каждые  $\phi = n \cdot \pi/12$ ,  $0 \leq n < 12$ , как для стержня прямоугольного сечения, с высотой, равной толщине пластины.

### **Метод Вуда-Армера для расчета армирования пластин**

Одним из критериев расчета армирования пластинчатых элементов служат напряжения, определяемые по методу **Вуда-Армера**. Согласно методу эквивалентных моментов Вуда-Армера [8.3], для каждого из двух координатных направлений пластинчатого элемента считаются два набора изгибающих моментов: «нижние», когда растяжение сечения преимущественно снизу, и «верхние», когда растяжение в элементе сверху.

«Нижние» моменты:

$$M_{xd} = M_x + |M_{xy}|$$

$$M_{yd} = M_y + |M_{xy}|$$

Если  $M_x < -|M_{xy}|$ , то:

$$M_{xd} = 0;$$

$$M_{yd} = M_y + |M_{xy} \cdot \frac{M_{xy}}{M_x}|$$

Если  $M_y < -|M_{xy}|$ , то:

$$M_{yd} = 0;$$

$$M_{xd} = M_x + |M_{xy} \cdot \frac{M_{xy}}{M_y}|$$

Если любой из этих полученных моментов  $M_{xd}$ ,  $M_{yd}$  меньше нуля, то он считается равным нулю.

«Верхние» моменты:

$$M_{xg} = M_x - |M_{xy}|$$

$$M_{yg} = M_y - |M_{xy}|$$

Если  $M_x > |M_{xy}|$ :

$$M_{xg} = 0;$$

$$M_{yg} = M_y - |M_{xy} \cdot \frac{M_{xy}}{M_x}|$$

Если  $M_y > |M_{xy}|$ :

$$M_{yg} = 0;$$

$$M_{xg} = M_x - |M_{xy} \cdot \frac{M_{xy}}{M_y}|$$

Если любой из этих полученных моментов  $M_{xg}$ ,  $M_{yg}$  больше нуля, то он обнуляется.

Также для направлений  $x_1$  и  $y_1$  считаются два набора продольных сил: растягивающие и сжимающие.

Растягивающие силы:

$$N_{xr} = N_x + |N_{xy}|$$

$$N_{yr} = N_y + |N_{xy}|$$

Если  $N_x < -|N_{xy}|$ :

$$N_{xr} = 0;$$

$$N_{yr} = N_y + |N_{xy} \cdot \frac{N_{xy}}{N_x}|$$

Если  $N_y < -|N_{xy}|$ :

$$N_{yr} = 0;$$

$$N_{xr} = N_x + |N_{xy} \cdot \frac{N_{xy}}{N_y}|$$

Если любая из полученных сил  $N_{xr}$ ,  $N_{yr}$  меньше нуля, то они считаются равными нулю (сжимающие силы  $N_{xs}$ ,  $N_{ys}$  определяются далее).

Сжимающие силы:

$$N_{xs} = N_x - |N_{xy}|$$

$$N_{ys} = N_y - |N_{xy}|$$

Если  $N_x > |N_{xy}|$ :

$$N_{xs} = 0;$$

$$N_{ys} = N_y - |N_{xy} \cdot \frac{N_{xy}}{N_x}|$$

Если  $N_y > |N_{xy}|$ :

$$N_{ys} = 0;$$

$$N_{xs} = N_x - |N_{xy} \cdot \frac{N_{xy}}{N_y}|$$

Если любая из полученных сил  $N_{xs}$ ,  $N_{ys}$  больше нуля, то они считаются равными нулю (растягивающие силы  $N_{xr}$ ,  $N_{yr}$  определяются ранее).

### **Метод СП 63.13330.2018 для расчета пластин**

Указанный метод доступен для выбора в параметрах конструирования только для пластин, которые считаются по нормам СП.

Согласно п.п. 8.1.53-8.1.59 СП 63.13330.2018, учет крутящих моментов и сдвигающих сил для удовлетворения прочности пластин производится с учетом этих формул:

$$(M_{x,ult} - M_x) \cdot (M_{y,ult} - M_y) - M_{xy}^2 \geq 0;$$

$$M_{x,ult} \geq M_x;$$

$$M_{y,ult} \geq M_y;$$

$$M_{xy,ult} \geq M_{xy};$$

$$(N_{x,ult} - N_x) \cdot (N_{y,ult} - N_y) - N_{xy}^2 \geq 0;$$

$$N_{x,ult} \geq N_x;$$

$$N_{y,ult} \geq N_y;$$

$$N_{xy,ult} \geq N_{xy};$$

где  $M_x$ ,  $M_y$  — изгибающие моменты вдоль направлений армирования X и Y;

$M_{xy}$  — крутящий момент;

$N_x$ ,  $N_y$  — продольные усилия вдоль направлений армирования X и Y соответственно;

$N_{xy}$  — касательное усилие в осях выравнивания напряжений;

$M_{x,ult}$ ,  $M_{y,ult}$ ,  $M_{xy,ult}$ ,  $N_{x,ult}$ ,  $N_{y,ult}$ ,  $N_{xy,ult}$  — предельные виды усилий по указанным направлениям.

$M_{x,ult}$ ,  $M_{y,ult}$ ,  $N_{x,ult}$ ,  $N_{y,ult}$  получаем при этом по нелинейно-деформационной модели.

$$M_{xy,ult} = 0.1 \cdot R_b \cdot b^2 \cdot h + 0.5 \cdot R_s \cdot (A_{sx} + A_{sy}) \cdot h_0;$$

$$N_{xy,ult} = 0.3 \cdot R_b \cdot A_b + 0.5 \cdot R_s \cdot (A_{sx} + A_{sy})$$

где  $R_b$  — предел прочности бетона на сжатие;

$R_s$  — предел прочности арматуры;

$A_b$  — рабочая площадь элемента;

$b$  и  $h$  — соответственно меньший и больший размеры выделенного элемента;

$h_0$  — рабочая толщина пластины;

$A_{sx}, A_{sy}$  — площади продольной арматуры в направлениях выравнивания X и Y.

### **Подбор поперечной арматуры в пластинах**

Подбор поперечной арматуры осуществляется исходя из условий прочности по перерезывающей силе как для одноосного напряженного состояния при раздельном учете каждого из направлений усилий ( $Q_x$  соответствует  $A_{swX}$ ,  $Q_y$  соответствует  $A_{swY}$ ,  $Q_{xy} = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}$  соответствует  $A_{swXY}$ ).

### **Проверка заданного армирования в Пластинах**

**Проверка** на заданное армирование в пластинчатых элементах происходит аналогично **Проверке** на заданное армирование в **Стержнях**.

## **8.2.9 Результаты расчета**


### **Таблицы результатов расчета**

Работа пользователя с результатами расчета производится в двух режимах программы: **Таблицы результатов** и **Результаты по железобетонным конструкциям**.

Основные сведения о работе с режимом **Таблицы результатов** изложены в п. 3.10.2. В данном разделе будет рассказано лишь об особенностях таблиц результатов для железобетонных элементов.

Таблицы результатов по железобетону состоят из таблиц проверки и подбора. Последние, в свою очередь, делятся на обычные и подробные. Все таблицы включают как непосредственно результаты расчета на подбор или проверку, так и некоторые исходные данные (номер элемента, номер сечения, номер конструирования и т.д.). Кроме этого, в подробных таблицах подбора число строк утроено по сравнению с обычными — появляется возможность отдельного отображения результатов подбора арматуры для кручения, для первого предельного состояния, для второго предельного состояния. При этом в строке для первого предельного состояния отображается суммарная площадь арматуры от кручения, изгиба и расчета по наклонным сечениям. А в строке для второго предельного состояния — сумма площади арматуры после первого предельного состояния и дополнительной арматуры от второго предельного состояния.

Каждая таблица имеет свой тип, который зависит от того, какой силовой фактор был выбран перед запуском на расчет, и от типа расчета (рис. 8.32). При этом для стержней и пластин создаются отдельные таблицы. Например, если мы произвели расчет схемы, в которой есть только стержни, установив флажки **Подбор** и **РСН**, то мы получим две таблицы: **Железобетонные стержни, подбор по РСН** и **Железобетонные стержни, подробная таблица по РСН**.

 *Исключением является расчет на **Монтаж+**, после которого создаются четыре таблицы для одного типа элемента: обычная общая, подробная общая, обычная по стадиям и подробная по стадиям.*

Столбцы исходных данных:

- **Номер** — номер конечного элемента в схеме;
- **УНГ** — номер группы унификации элемента;
- **НС** — номер расчетного сечения стержня;
- **Сечение** — номер сечения в конструкторе сечений;
- **Параметры конструирования** — номер параметров конструирования в редакторе параметров конструирования;
  - **Симметрия** — тип армирования стержня: **Н** — несимметричное или пользовательское армирование, **С** — симметричное армирование;
  - **Ly** — расчетная длина стержня относительно локальной оси Y1 стержня;
  - **Lz** — расчетная длина стержня относительно локальной оси Z1 стержня.

Столбцы результатов подбора продольной арматуры в стержнях и пластинах:

- **Столбцы продольной арматуры** — площадь соответствующих арматурных включений. Количество этих столбцов зависит от количества арматурных включений с уникальными именами во всех параметрах сечений, которые назначены элементам, что были посчитаны. Соответственно, заголовки столбцов совпадают с именами этих включений.
  - **%** — процент армирования стержня в соответствующем расчетном сечении.
  - **% вдоль X** — процент армирования пластины вдоль локальной оси X1.
  - **% вдоль Y** — процент армирования пластины вдоль локальной оси Y1.

Столбцы результатов подбора поперечной арматуры в стержнях и пластинах:

- **ASW\_Y (стержни)** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Y1 стержня;
- **ASW\_Z (стержни)** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Z1 стержня;
- **ASW\_Y (пластины)** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Z1 вдоль локальной оси Y1 пластины;
- **ASW\_X (пластины)** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Z1 вдоль локальной оси X1 пластины;
- **ASW\_XY (пластины)** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Z1;
- **Sw\_y** — шаг стержней поперечной арматуры, параллельной локальной оси Y1 стержня;
- **Sw\_z** — шаг стержней поперечной арматуры, параллельной локальной оси Z1 стержня;
- **ASW\_Y 15 cm, ASW\_Y 20 cm, ASW\_Y 30 cm** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Y1 стержня с шагом 15 см, 20 см и 30 см;
- **ASW\_Z 15 cm, ASW\_Z 20 cm, ASW\_Z 30 cm** — площадь поперечной арматуры, параллельной локальной оси Z1 стержня с шагом 15 см, 20 см и 30 см.

Столбцы ширины раскрытия трещин в стержнях и пластинах:

- **Ширина прод. раскр. трещин** — ширина раскрытия трещин от постоянных и длительных нагрузок.


• **Ширина непрод. раскр. трещин** — ширина раскрытия трещин от совместного действия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок.

Столбцы проверок в стержнях и пластинах:

- **N** — процент использования несущей способности по продольной силе;
- **M** — процент использования несущей способности по изгибающему моменту;
- **N** — процент использования несущей способности по продольной силе;
- **Qz** (стержни) — процент использования несущей способности по поперечной силе, параллельной локальной оси Z1 стержня;
- **Qu** (стержни) — процент использования несущей способности по поперечной силе, параллельной локальной оси Y1 стержня;
- **Qu** (пластины) — процент использования несущей способности на действие поперечной силы Qu;
- **Qx** (пластины) — процент использования несущей способности на действие поперечной силы Qx;
- **Mx** — процент использования несущей способности по крутящему моменту;
- **Продолж. трещины** — процент использования по ширине раскрытия трещин от постоянных и длительных нагрузок;
- **Кратк. трещины** — процент использования по ширине раскрытия трещин от совместного действия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок.

Если в процессе расчета возникают ошибки или предупреждения (см. п. 8.2.8), то они заносятся в столбец **Комментарий**.

### Графические результаты

Переход в режим графических результатов по железобетонным конструкциям осуществляется с помощью команды меню **Спец. результаты** ⇒ **Железобетонные конструкции** (кнопка  на панели инструментов).

Панель **Железобетонные конструкции** (рис. 8.32) предлагает следующие параметры для управления отображаемыми результатами:

- **Тип элементов** — для каких типов элементов будут отображены результаты (**Стержневые** или **Пластинчатые**).
- **Тип расчета** — выбор результатов по типу расчета (**Подбор** или **Проверка**).
- Панель категорий результатов — выбор нужной категории результатов. Детальнее работа с этой панелью описана ниже.

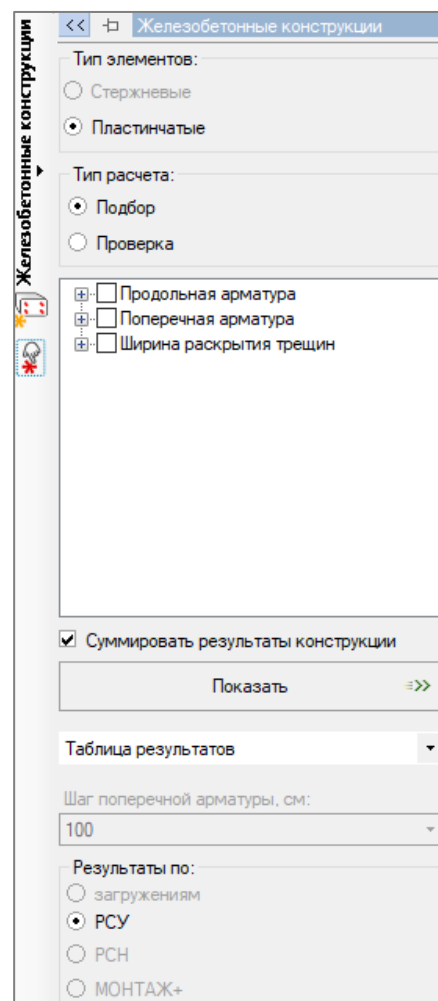


Рис. 8.32. Панель режима **Железобетонные конструкции**

- Режим щелчка по элементу:
  - **Локальные результаты** — флажок включения режима локальных результатов. Детальнее об этом режиме см. далее.
  - **Таблица результатов** — при щелчке по элементу будет показана общая информация в цифрах по подбору/проверке и предупреждения (рис. 8.34).
  - **Локальный расчет** — вызов утилиты для выбранного элемента. Упрощает исследование расчета армирования в элементе, если нужно вручную подкорректировать усилия, параметры армирования и конструирования. Не требует перерасчета всей схемы.
- **Шаг поперечной арматуры** — раскрывающийся список с вариантами величины шага поперечной арматуры. Используется только для графического отображения результатов по поперечной арматуре.
- **Результаты по** — выбор результатов на основании силового фактора, по которому производился расчет: загрузки, РСУ, РСН, МОНТАЖ+. Неактивные пункты указывают на отсутствие результатов по этим силовым факторам.

### *Панель категорий результатов*

В зависимости от выбранного типа расчета на панели категорий результатов устанавливаются соответствующие флажки.

Для результатов подбора будут доступны такие категории: **Продольная арматура**, **Процент армирования**, **Поперечная арматура**, **Ширина раскрытия трещин** (рис. 8.33, а). Каждая из категорий является составной (кроме категории **Процент армирования**) и может быть раскрыта щелчком по значку «плюс». Результаты отображаются только для одного выбранного флажка или для первого, если отмечены несколько.

Список флажков в категории **Продольная арматура** соответствует списку колонок по продольной арматуре в таблицах результатов для соответствующих типов железобетонных элементов (см. выше описание таблиц результатов для железобетонных элементов). Поэтому, если выбраны несколько флажков продольной арматуры, то отображены будут просуммированные результаты площади продольной арматуры для этих флажков. Для наглядности имена этих флажков будут отображены в названии отображаемой шкалы площади продольной арматуры.

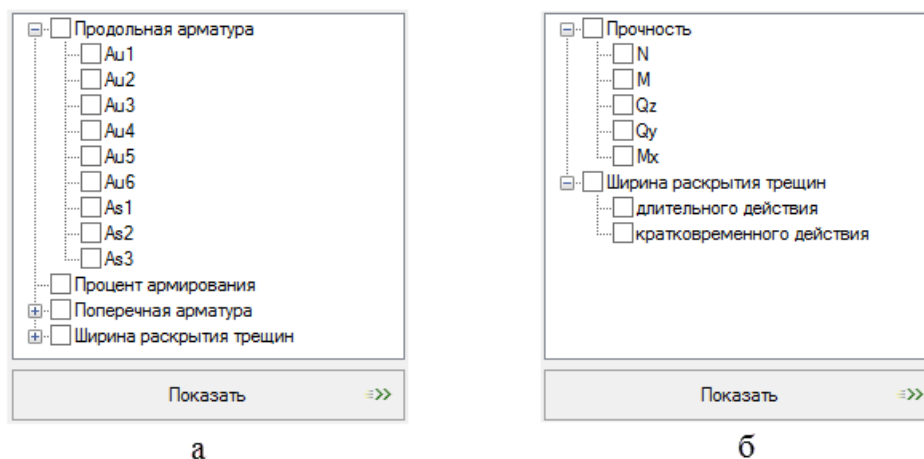


Рис. 8.33. Категории результатов стержневых элементов для Подбора (а) и Проверки (б)




Для типа расчета **Проверка** список флажков состоит из двух категорий: **Прочность** и **Ширина раскрытия трещин** (рис. 8.33, б). Эти категории также составные и могут быть раскрыты.

Категория **Прочность** включает флажки для проверки по продольной силе (**N**), поперечным силам (**Qz, Qy**), изгибающему моменту (**M**). Для стержней добавляется еще и проверка по крутящему моменту (**Mx**). То есть список флажков совпадает со списком столбцов из таблиц результатов проверки железобетонных конструкций.

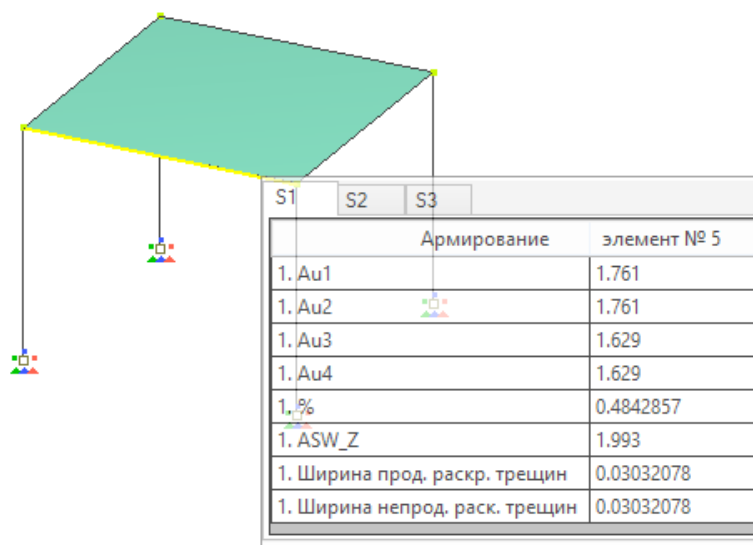
Для результатов проверки поведение флажков отличается от изложенного для подбора: при выборе нескольких флажков для элемента будет отображен худший процент использования. Например, если были выбраны флажки **N** и **M** и процент использования **N** больше **M**, то на эпюре элемента будет отображен именно процент по **N**. Список отмеченных флажков также повторяется и в названии шкалы отображения результатов.

### Локальные результаты

Флажок **Локальные результаты** определяет отображение локальных результатов на экране. Если флажок не установлен, то при щелчке по выбранному элементу пользователю будет показано табличное окно результатов для данного элемента (рис. 8.34).

 При выводе локальных результатов учитывается отмеченный **Тип элементов**: например, если выбран переключатель **Пластинчатые**, то программа не будет выводить локальные результаты для стержней.

Окно табличных локальных результатов представляет собой таблицу, в которой выводятся результаты расчета элемента. Набор строк таблицы зависит от выбранного переключателя в области **Тип расчета**. Для стержней над таблицей результатов находятся вкладки, которые указывают, для какого расчетного сечения нужно вывести результаты (рис. 8.34).




S1	S2	S3	
			Армирование элемент № 5
1. Au1			1.761
1. Au2			1.761
1. Au3			1.629
1. Au4			1.629
1. %			0.4842857
1. ASW_Z			1.993
1. Ширина прод. раскр. трещин			0.03032078
1. Ширина непрод. раск. трещин			0.03032078

Рис. 8.34. Окно табличных локальных результатов стержня для подбора

Если флажок **Локальные результаты** установлен, при нажатии на элемент откроется форма **Результаты армирования**. В меню **Вид** (рис. 8.35) можно настроить внешний вид формы.

В меню **Вид** входят следующие пункты:

- **Продольная арматура таб./рис.** — если пункт отмечен, то площадь продольной арматуры будет отображаться в таблице, иначе она будет показана на схеме.
- **Размеры** — если пункт отмечен, на схеме будут отображаться размеры сечения.
- **Сочетания усилий** — отображает сочетания усилий для текущего силового фактора и сечения (если это стержень). Если количество строк превышает 10, они будут разбиты на страницы.
- **Поперечная арматура** — отображает таблицу с именем, площадью и, если это стержень, цветом на схеме поперечной арматуры.
- **Материалы** — отображает таблицу материалов, заданных в редакторе конструирования для данного элемента, если это стержень — отображает тип армирования, заданный в редакторе сечений.
- **Подобранная арматура** — выбор типа арматуры, отображаемой на форме (**Полная, Прочность**, если это стержень — **Кручение**).

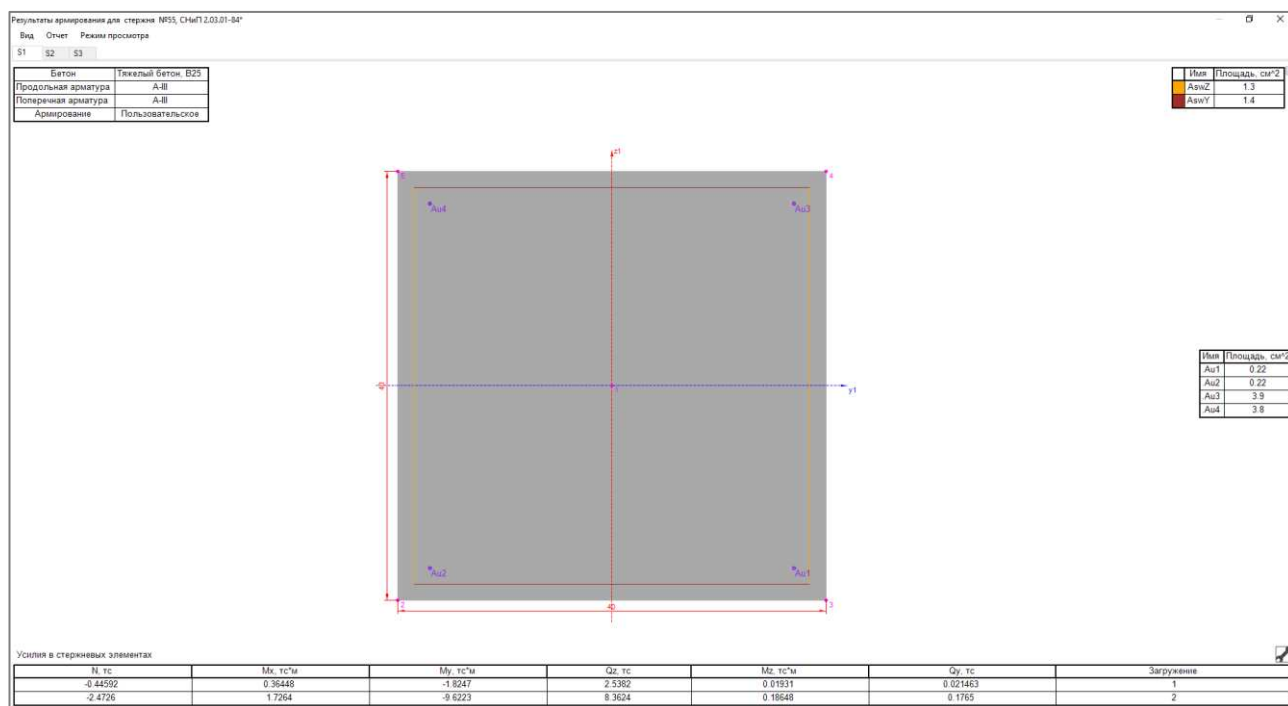



Рис. 8.35. Меню **Режим просмотра** в режиме **Просмотр результатов**

Меню **Отчет** содержит кнопку **Изображение**, которая позволяет добавить текущий вид окна локальных результатов в **Отчет**.

Меню **Режим просмотра** (доступен для стержней) содержит кнопки **Просмотр результатов** (рис. 8.35) и **Нейтральная ось, эпюры** (рис. 8.36).

В режиме просмотра **Нейтральная ось, эпюры** также становятся активными меню **Дополнительная информация**, где доступна информация о высоте сжатой зоны бетона и об угле между нейтральной осью и осью Y, а также меню **Найстройки эпюр**, где предоставлена

возможность настройки отображения эпюр. В данном режиме учитывается ненулевой предел прочности бетона на растяжение.

Кнопка  позволяет управлять таблицей результатов **сочетаний усилий**. При нажатии на данную кнопку в режиме просмотра нейтральной оси и эпюр для стержней есть возможность выбрать таблицу с посчитанными усилиями или добавить пользовательскую таблицу, по данным которой будут построены эпюры для сечения стержня.

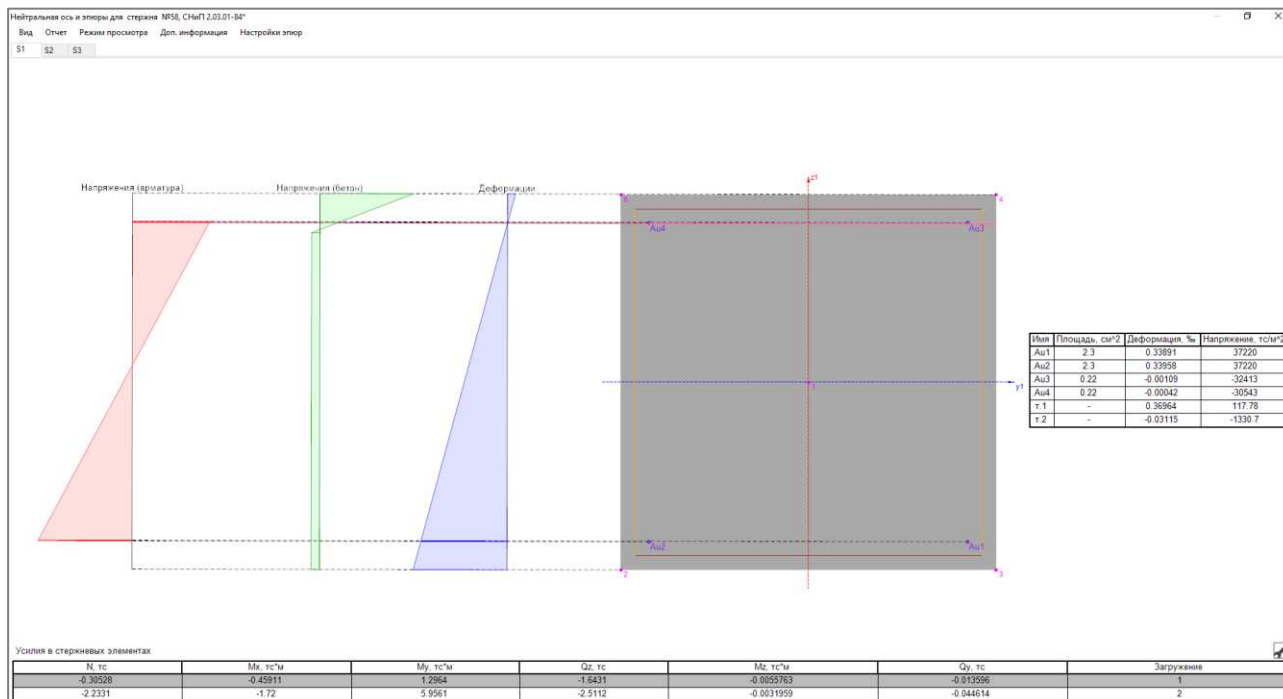




Рис. 8.36. Меню **Режим просмотра** в режиме **Нейтральная ось, эпюры**


### 8.3 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОДОБРАННЫХ СЕЧЕНИЙ

Часто пользователю необходимо перенести результаты по подбору арматуры в сечении в исходные данные. Для этой цели разработана данная функциональная возможность.

 *Обратите внимание на последовательность действий! Преобразовать подобранные сечения вы сможете только после успешного выполнения прочностного и конструктивного расчета.*

Функция преобразования находится в режиме **Результаты в исходные данные**, вкладка **Преобразование подобранных сечений**. Для вызова данного режима воспользуйтесь командой меню **Спец. результаты** ⇨ **Преобразовать результаты в исходные данные** (кнопка  на панели инструментов).

Для преобразования выбранного армирования в исходные данные нужно задать следующие параметры: силовой фактор, цель преобразования.

 *Обратите внимание! Если по каким-то причинам конструктивный расчет не прошел успешно, то поля выбора силового фактора, а также кнопка преобразования будут недоступны.*

После успешного выполнения конструктивного расчета железобетонных элементов панель режима примет следующий вид (рис. 8.37).

В раскрывающемся списке выберите требуемый силовой фактор из доступных для преобразования (рис. 8.38).

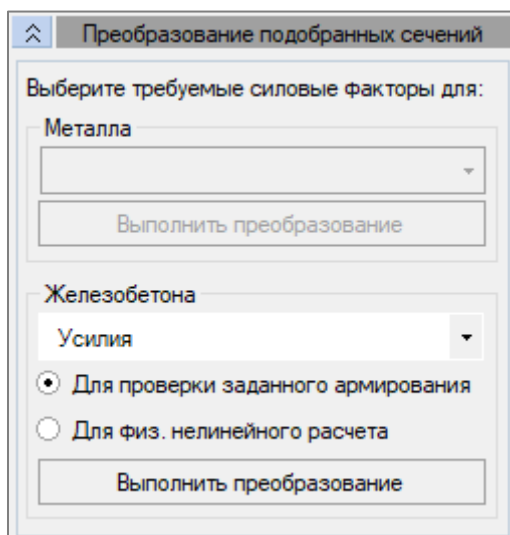


Рис. 8.37. Вкладка **Преобразование подобранных сечений**

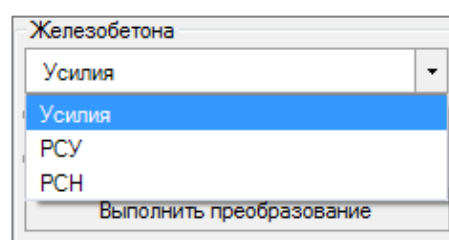


Рис. 8.38. Выбор силового фактора преобразования железобетона


Затем выберите одну из целей преобразования:

- **Для проверки заданного армирования** — преобразование сечения в новое **Пользовательское сечение** с подобранной арматурой;
- **Для физ. нелинейного расчета** — подготовка сечения для дальнейшего выполнения физически нелинейного расчета.

Для подтверждения операции нажмите на кнопку **Выполнить преобразование**. Результат выполнения операции отобразится во всплывающем окне.


## 8.4 ПРОДАВЛИВАНИЕ БЕЗБАЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

### 8.4.1 Подготовка исходных данных

Перейти в режим **Редактировать группы продавливания** можно с помощью команды меню **Конструирование** ⇒ **Продавливание** или кнопки  на панели инструментов.

Панель активного режима **Редактировать группы продавливания** состоит из нескольких раскрывающихся вкладок:

- **Список групп;**
- **Капитель;**
- **Редактирование контура продавливания;**
- **Расчет и результаты.**

Первые служат для ввода исходных данных и доступны всегда, а последняя, **Расчет и результаты**, активна только после перехода в режим **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).

Вкладка **Список групп** (рис. 8.39) служит для управления и просмотра текущих групп продавливания. Все имеющиеся группы можно посмотреть в таблице вверху вкладки. Каждая группа продавливания имеет свое **Описание**, свой **Цвет** и номер узла из расчетной схемы, который отображается в поле под таблицей.

Ниже находится зона для работы с группами и списком в целом:

- Флажок **Индикация текущей группы** — отображение текущей группы продавливания (выделена синим цветом в таблице) на расчетной схеме.
- Кнопка **Добавить группу продавливания** — добавление новых групп в список. На каждый выделенный узел расчетной схемы, который удовлетворяет нужным условиям, создается новая группа. Если группа с таким узлом уже есть в списке, то она добавлена не будет.
- Кнопка **Изменить текущую группу** — замена текущего узла группы на новый, выделенный на схеме.
- Кнопка **Выделить на схеме** — выделение узла группы на расчетной схеме.
- Кнопка **Удалить текущую группу** — удаление текущей группы из списка.
- Кнопка **Удалить пустые группы** — удаление из списка групп, которые не имеют номера узла.

**Разгружающие усилия** при необходимости указываются в соответствующих полях ввода.

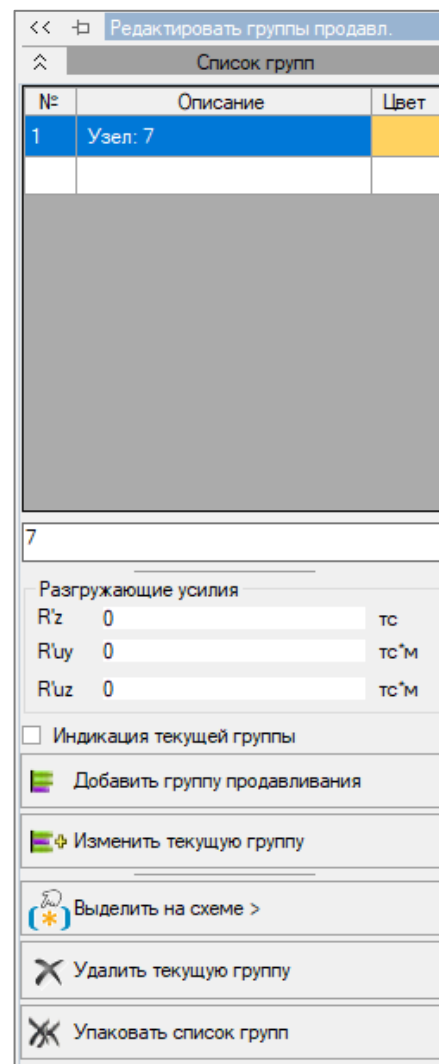


Рис. 8.39. Вкладка **Список групп**

Вкладка **Капитель** (рис. 8.40) служит для задания данных о капители (банкетке) для текущей группы из списка:

- форма капители (круглая или прямоугольная);
- высота капители;
- расстояние от грани колонны до грани капители.

Также можно указать, в каких осях капитель будет позиционироваться. По умолчанию позиционирование происходит в локальных осях колонны.

Вкладка **Редактирование контура продавливания** (рис. 8.41) предназначена для создания и изменения контура продавливания в выбранных группах.

Активизация возможности редактирования происходит установкой флажка **Изменить контур**. При этом для всех групп, в которых контур отсутствует, он будет создан автоматически. Редактирование контура происходит непосредственно на расчетной схеме и осуществляется с помощью полигона, который строится с использованием узлов расчетной схемы и/или сети построения. В процессе редактирования можно управлять тем, какую часть контура нужно вырезать, — большую или меньшую. Помимо этого, на вкладке присутствует флажок **Использовать только плоскость** секущего полигона. Если этот флажок не установлен, то обрезаны будут все контуры, на которые попадет проекция секущего полигона вдоль глобальной оси Z. Если же флажок установлен, то будет обрезан только контур, находящийся в одной плоскости с секущим полигоном.

В случае если базовый узел находится у края плиты и необходимо сгенерировать полный контур продавливания, необходимо установить соответствующий флажок.

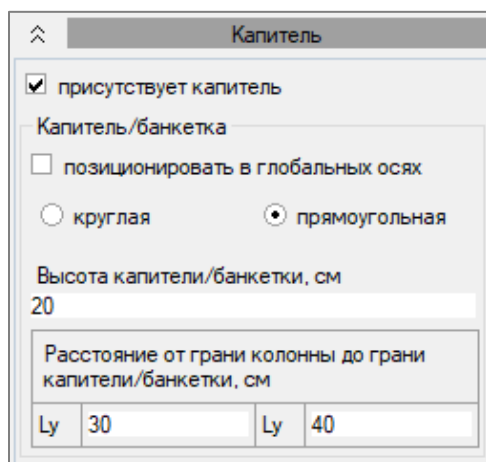


Рис. 8.40. Вкладка **Капитель**

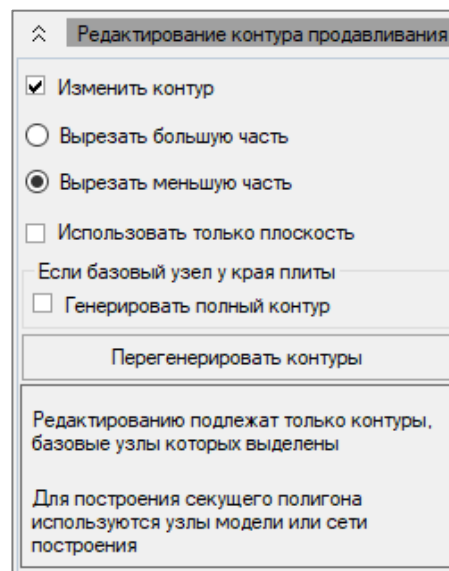


Рис. 8.41. Вкладка **Редактирование контура продавливания**


### Требования к исходным данным

В момент создания контура для группы продавливания и перед расчетом программа производит проверку этой группы на валидность — подходит ли эта группа для расчета. И

если возникают какие-то ошибки, то пользователь будет о них оповещен с помощью информационного окна.

В настоящий момент для того, чтобы группа была посчитана, должны выполняться следующие условия:

- к базовому узлу группы должен примыкать хотя бы один пластинчатый элемент;
- все пластинчатые элементы, примыкающие к базовому узлу группы, должны лежать в одной плоскости;
- все пластинчатые элементы, примыкающие к базовому узлу группы, должны иметь одинаковые параметры сечения и конструирования;
- к базовому узлу группы должен примыкать хотя бы один стержень (кроме тех, что лежат в плоскости примыкающих пластин) с заданным допустимым типом сечения или на узел должна быть приложена сосредоточенная сила.

 К допустимым типам сечений стержня относятся все параметрические и стальные сечения, а также пользовательское сечение.

## 8.4.2 Расчет

### Расчетные ситуации

Расчет на **Продавливание** выполняется на расчетные ситуации, соответствующие нормативным документам, а именно:

1. В выбранном для расчета на продавливание узле должны быть определены реакции:
  - $R_{z1}$  — сосредоточенная сила вдоль оси  $Z1$  (не допускается равенство нулю);
  - $M_{uy}$  — сосредоточенный момент относительно оси  $Y1$  (допускается равенство нулю);
  - $M_{uz}$  — сосредоточенный момент относительно оси  $Z1$  (допускается равенство нулю).

Проверка несущей способности бетона и арматуры в зоне продавливания осуществляется по абсолютным значениям силы и моментов, приложенных в центре тяжести контура.

2. Расчет может быть выполнен для колонн, расположенных внутри площади плиты (замкнутый контур продавливания), а также при других расположениях колонны: у края плиты, у ее угла, вблизи отверстия (незамкнутый контур продавливания).

3. Построение контура продавливания возможно для вертикально стоящих колонн либо для узлов с нагрузкой по оси  $Z$ .

4. Допускаются следующие сечения колонн:
  - **Параметрические сечения;**
  - **Пользовательские сечения стержня;**
  - **Стальные сечения.**

5. Расчет производится для плитных элементов, расположенных в горизонтальной плоскости.

### Расчет замкнутого контура

Расчет замкнутого контура производится в строгом соответствии с нормативными документами.

Ход расчета для отдельно взятого контура можно отобразить на экране с помощью команды: **Результаты расчета** ⇨ **Продавливание безбалочных ж/б плит** ⇨ **Расчет и результаты**. Таблица с результатами формируется после проведения **Расчета на Продавливание**. Ход расчета отобразится при нажатии на кнопку, расположенную в правом углу ячеек таблицы (рис. 8.42).

№ группы	№№ узлов	№№ элементов	Предупр.	Ошибки	Asw, см <sup>2</sup>	Asw*(u/Sw), см <sup>2</sup>	Sw, м	u, м	Козф. запаса по бетону
13	1801	2365; 2367; 2533; 2536	1		16	15,6	1	0,99	0,439
17	1847	2417; 2419; 2587; 2589	2		6,5	211	0,1275	4,1336	0,6245
19	1870	2443; 2445; 2614; 2616	2		6,4	207	0,1275	4,1336	0,6315
5	335	371; 373; 541; 543	2		6,3	217	0,1275	4,3582	0,6506
7	358	397; 399; 568; 570	2		6,3	214	0,1275	4,3582	0,655
11	404	449; 451; 622; 625	2		6,2	212	0,1275	4,3582	0,659
9	381	423; 425; 595; 598	2		5,9	200	0,1275	4,3582	0,699

Рис. 8.42. Таблица результатов по группам продавливания

### Расчет незамкнутого контура

Построение замкнутого контура продавливания происходит внутрипрограммно. Для учета фактического положения колонн (вблизи края плиты, угла или отверстия) необходимо отредактировать замкнутый контур самостоятельно. Затем следует произвести расчет незамкнутого контура и сравнить результаты, как требуют положения нормативных документов.

#### 8.4.3 Результаты расчета

Вкладка **Расчет и результаты** (рис. 8.43) позволяет произвести расчет и отображение полученных результатов. При открытии этой вкладки внизу окна программы появляется панель результатов. В этой панели может отображаться таблица результатов по всем группам продавливания или протокол расчета для одной выбранной группы.

Перед расчетом нужно выбрать доступный **Силовой фактор** для учета в продавливании (рис. 8.43). Затем нажать кнопку **Расчет**. После этого на панели результатов появится таблица результатов по группам продавливания (рис. 8.44).

Таблица результатов по группам продавливания состоит из следующих столбцов:

- **№ группы** — номер группы продавливания;
- **№№ узлов** — номер базового узла группы;
- **№№ элементов** — номера пластинчатых элементов,

которые примыкают к базовому узлу группы продавливания;

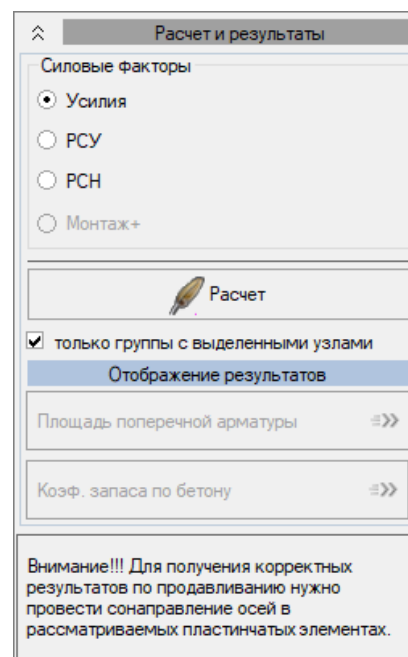


Рис. 8.43. Вкладка **Расчет и результаты**



- **Предупр.** — количество предупреждений, возникших в ходе расчета;
- **Ошибки** — количество ошибок, возникших в ходе расчета;
- **Asw** — площадь сечения поперечной арматуры с шагом **Sw**, расположенная в пределах пирамиды продавливания;
- **Asw\*(u/Sw)** — общая площадь поперечной арматуры в пределах пирамиды продавливания;
- **Sw** — шаг стержней поперечной арматуры;
- **u** — периметр контура расчетного поперечного сечения;
- **Козф. запаса по бетону.**

Если в ячейках столбцов **Предупр.**, **Ошибки**, **Asw**, **Asw\*(u/Sw)** или **Козф. запаса по бетону** появляются значения, то в ячейке будет отображен значок перехода к протоколу расчета текущей группы продавливания.

Кроме этого, доступные таблицы результатов по группам появятся в режиме **Таблицы результатов** (рис. 8.44).


№ группы	№№ узлов	№№ элементов	Asw (см <sup>2</sup> )	Asw*(u/Sw) (см <sup>2</sup> )	Sw (м)	u (м)	Козф. запаса по бетону
1	1	40	0	0	1	1.7903	1.51539
2	3	38	0	0	1	1.7903	1.69228
3	7	36; 39	3.435	6.1502	1	1.7903	0.773261
4	9	34; 37	1.782	3.1908	1	1.7903	0.867959
5	13	32; 35	3.435	6.1502	1	1.7903	0.773261
6	15	30; 33	1.782	3.1908	1	1.7903	0.867959
7	19	31	0	0	1	1.7903	1.51539

Рис. 8.44. Пример таблицы результатов из режима **Таблицы результатов**


Протокол расчета группы продавливания (рис. 8.45) представляет собой набор раскрывающихся вкладок-разделов. Первыми идут разделы исходных данных, за ними разделы проверок, которые проводились во время расчета в соответствии с выбранными нормами конструирования пластинчатых элементов. Для всех норм набор разделов исходных данных одинаков, но при этом имеются отличия в параметрах конструирования и материалах.

Расчет на продавливание: группа №3 ACI 318-11	
Усилия	
V <sub>u</sub> • продавливающее усилие, тс	48.066
R <sub>n</sub> • узловая реакция вдоль оси X1 стержня, тс	38.801
M <sub>u,y</sub> • узловая реакция (изгибающий момент) относительно оси Y1 стержня, тс*м	18.767
M <sub>u,z</sub> • узловая реакция (изгибающий момент) относительно оси Z1 стержня, тс*м	1.890
Кольцо (0.4x0.1) Параметры сечения площадки приложения нагрузки	

Рис. 8.45. Пример протокола расчета группы продавливания

 Для получения корректных результатов следует провести согласование осей в рассчитываемых пластинчатых элементах.

## 8.5 ПОВЕРХНОСТЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Перейти в режим **Поверхность несущей способности** можно с помощью команды меню **Конструирование** ⇒ **Поверхность несущей способности** или кнопки  на панели инструментов.

Панель **Поверхность несущей способности** (рис. 8.46) предназначена для оценки прочности железобетонных сечений при действии изгибающих/крутящих моментов, а также продольной и поперечных сил. Соответствие нормативным документам приводится на панели **Конструирование**.

Начальными параметрами для построения **Поверхности несущей способности** элемента являются: **Сечение** и параметры **Конструирования**. При выборе переключателя **Сечение** построение поверхности несущей способности производится согласно следующим начальным параметрам:

- 1-е предельное состояние — по параметрам 1-го предельного состояния строится поверхность общего вида  $M_y M_z N$ , а также проекции  $M_y M_z$ ,  $M_y N$ ,  $M_z N$ .
- 2-е предельное состояние — по параметрам 2-го предельного состояния строится поверхность общего вида  $M_y M_z N$ , а также проекции  $M_y M_z$ ,  $M_y N$ ,  $M_z N$ .
- Поперечные силы и кручение — по параметрам 1-го предельного состояния строится поверхность общего вида  $Q_y Q_z M_x$ , а также проекции  $Q_y Q_z$ ,  $Q_y M_x$ ,  $Q_z M_x$ ;
- Все — доступны все виды поверхностей.

В режиме **Исходных данных** не доступно построение **Поверхности несущей способности** по **Результатам армирования**.

В режиме **Исходных данных** тип поверхности **Поперечные силы и кручение** доступен при условии задания поперечного армирования в **Сечении** элемента.

В режиме **Результаты расчета** тип поверхности **2-е предельное состояние**, с учетом **Арматуры**, подобранной на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элемента, доступен при установке в **Конструировании** флажка **Произвести расчет по 2-му предельному состоянию**.

В режиме **Результаты** на панели **Поверхность несущей способности** дополнительно указываются такие параметры:

1. Данные об армировании, соответствующие результатам расчета по силовым факторам:
  - **Усилия**;
  - **PCY**;
  - **PCN**;
  - **Монтаж+**.

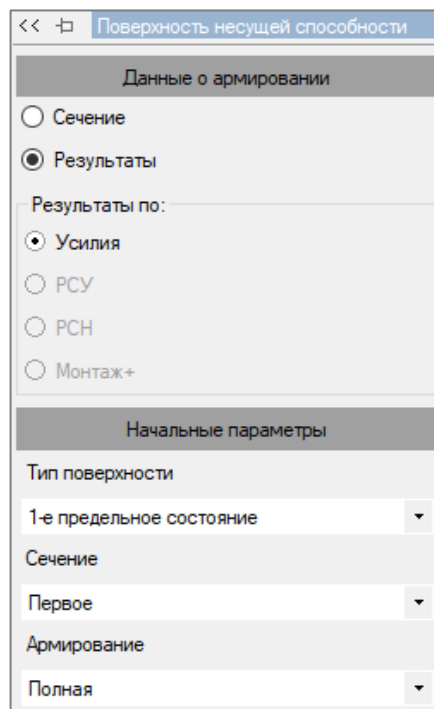


Рис. 8.46 Панель **Поверхность несущей способности**

2. В области **Начальные параметры** добавлены следующие параметры:

- Раскрывающийся список **Сечение** — расчетное сечение, для которого строится поверхность несущей способности (**Первое, Все**).
- Раскрывающийся список **Армирование** — указывается, по каким результатам армирования строится поверхность несущей способности:
  - **Полная** — арматура подобрана по первой и второй группам предельных состояний;
  - **Прочность** — арматура подобрана по первой группе предельных состояний;
  - **Кручение** — арматура, обусловленная кручением;
  - **Все** — доступны все результаты.

По заданным параметрам для выбранного элемента рассчитывается **Поверхность несущей способности** (рис. 8.47).

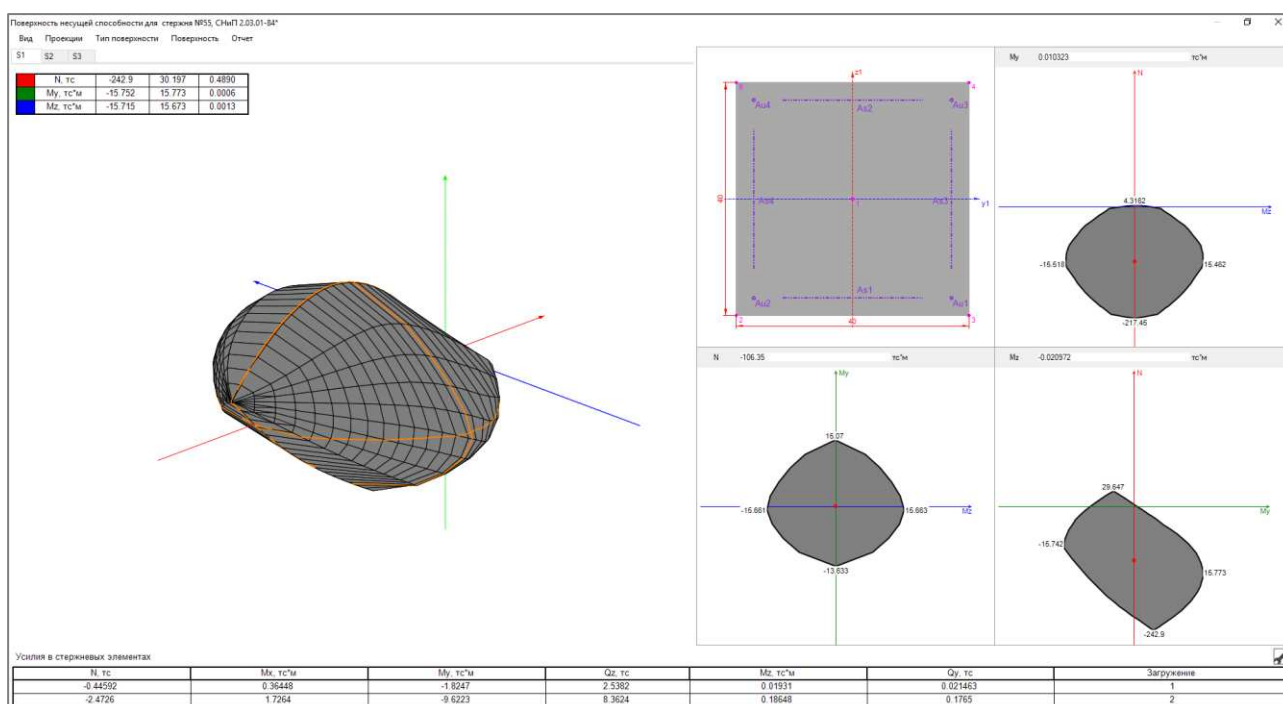


Рис. 8.47. Окно **Поверхность несущей способности**

Закладка **Вид** содержит следующие параметры:

- **Армирование** — осуществляется выбор критерия подбора арматуры. Переключение по результатам подбора арматуры (**Полная/Прочность/Кручение**) возможно, если в **Начальных параметрах** указано **Все**.
- **Информация о поверхности** — таблицы несущей способности сечения и **Коэффициента использования**. **Коэффициент использования** — это отношение усилий к несущей способности сечения. Этот коэффициент показывает долю реальных усилий от усилий исчерпания несущей способности сечения.
- **Сечение** — визуализация поперечного сечения элемента с указанием основных размеров.
- **Прозрачность, Каркас** — визуализация прозрачного и каркасного представления общего вида **Поверхности несущей способности**.

- **Сочетание усилий** — визуализация таблицы **Усилий/PCY/PCN/Монтаж+** внизу диалогового окна.

Закладка **Проекция** предоставляет параметры для отображения на экране одной или одновременно всех проекций **Поверхности несущей способности**. Общий (3D) вид поверхности отображается всегда.

Закладка **Тип поверхности** позволяет выбрать, какой тип поверхности будет построен:

- **1-е предельное состояние** — данный тип поверхности доступен в режимах **Сечение, Результаты**.

- **2-е предельное состояние** — данный тип поверхности доступен в режимах **Сечение, Результаты** (если установлен флажок **Произвести расчет по 2-му предельному состоянию**).

- **Поперечные силы и кручение** — данный тип поверхности доступен в режимах **Сечение** (если задана поперечная арматура), **Результаты**.

Закладка **Поверхность** содержит команду **Начальный вид**, при активизации которой поверхность общего вида примет первоначальное положение.

Закладка **Отчет** содержит команду **Изображение**, которая копирует изображение из окна в список для **Формирования отчета**.

После построения **Поверхности несущей способности** можно произвести проверку несущей способности сечения для заданных усилий. Задание проверяемой точки на поверхности несущей способности (необходимые значения усилий) производится в соответствующих окнах редактирования. Рисование проекций происходит в автоматическом режиме, при этом формируются три ортогональные проекции, проходящие через заданную точку.

## ГЛАВА 9. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ


### 9.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Подбор и проверка элементов стальных конструкций производится на основании следующих норм:

- СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции»;
- СП 16.13330.2011, СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»;
- ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування»;
- При необходимости используется СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования», а также «Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*)»;
- EN 1993-1-1-2009 Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings и EN 1993-1-5-2009 Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-5: Plated structural elements для сечений симметричного двутавра, швеллера, прямоугольной коробки, круглой трубы и уголка.

Общая концепция расчета стальных сечений по Еврокоду существенно отличается от расчета по остальным нормам. Поэтому расчет согласно евронормам приведен в отдельном пункте 9.12. Пункты 9.2, 9.3, 9.4, 9.7 данной главы относятся ко всем нормам, кроме EN.

В ПК ЛИРА 10.12 предусмотрены стали, включенные в указанные нормы проектирования. Сечения элементов стальных конструкций, доступные для проверки или подбора в данной версии, указаны в п. 9.5.

В режиме **Результаты по металлическим конструкциям**  предоставлено подробное описание расчета и подбора сечений стальных конструкций по усилиям, РСУ или РСН. Это упрощает контроль правильности расчета и подбора сечений.

Следует отметить, что из-за различного обозначения главных осей сечения в нормативных документах и в ПК ЛИРА 10, формулы, приведенные в отчете, могут отличаться индексами (рис. 9.1).

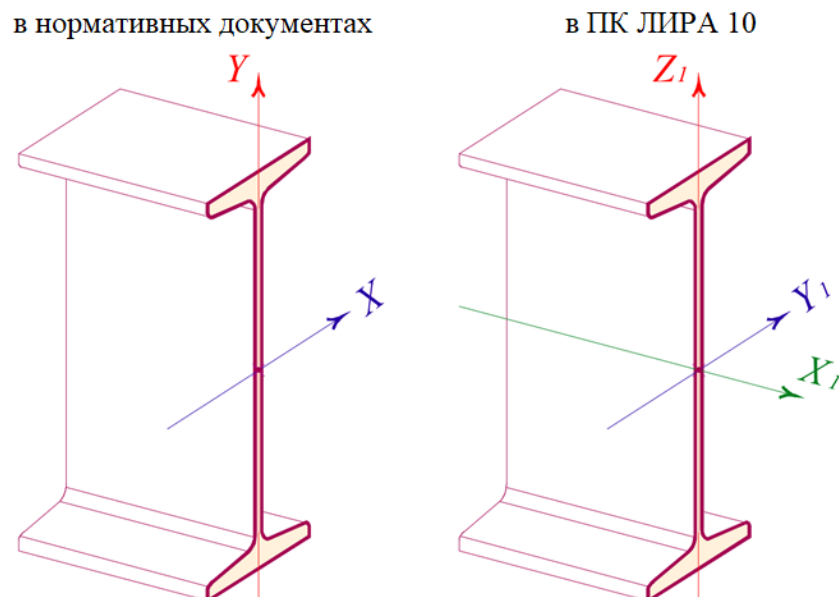


Рис. 9.1. Наименование местных осей в нормативных документах и в ПК ЛИРА 10

В процессе расчета производится внутрипрограммный выбор характера работы элементов стальных конструкций (центральное растяжение-сжатие, сжатие-растяжение с изгибом вокруг одной или двух главных осей, изгиб в одном или в двух главных направлениях). Данная функция программы освобождает пользователя от анализа работы элемента и таким образом снижает вероятность ошибки, поскольку один и тот же элемент при различных комбинациях загрузений может работать по-разному.

По всем нормам, кроме Еврокода, выбор производится в зависимости от соотношения действующих в рассматриваемом сечении усилий, которое определяется величиной относительного или приведенного относительного эксцентриситета (табл. 9.1).

Таблица 9.1

N < 0 (присутствует сжатие)		N > 0 (присутствует растяжение)	
Приведенный относительный эксцентриситет для сжатой грани $m_{efy(z)}$	Характер работы относительно рассматриваемой оси	Относительный эксцентриситет для растянутой грани $m_{y(z)}$	Характер работы относительно рассматриваемой оси
$m_{efy(z)} < 0.1$	Сжатие	$m_{y(z)} < 0.1$	Растяжение
$0.1 \leq m_{efy(z)} \leq 20$	Сжатие с изгибом	$0.1 \leq m_{y(z)} \leq 20$	Растяжение с изгибом
$m_{efy(z)} > 20$	Изгиб	$m_{y(z)} > 20$	Изгиб

В настоящей версии программы по всем нормам, кроме Еврокода, выполняются следующие проверки стальных конструкций.

### Первое предельное состояние

#### Прочность

Таблица 9.2

Проверки прочности	Обозначение	Формулы проверок		
		СНиП П-23-81*	СП 16.13330.2011 СП 16.13330.2017	ДБН В.2.6-198:2014
Прочность по нормальным напряжениям (учёт стеснённого кручения для открытых сечений типа КЭ 7 производится для всех указанных норм по формулам, приведенным в СП): – без учета развития пластических деформаций – с учетом развития пластических деформаций	$\sigma_x$	(50)	(106)	(10.3)
	$\sigma_x$	(49)	(53), (105)	(10.1), (10.2)
Прочность несимметричных сечений из высокопрочной стали по нормальным напряжениям растяжения	$\sigma_x$	(54)	(107)	(10.4)
Прочность по касательным напряжениям	$\tau_{yz}$	(29)	(42)	(9.2)
Прочность по приведенным напряжениям (совместное действие нормальных и касательных напряжений)	$\sigma_{equ}$	(33)	(44)	(9.4)

• **Прочность по нормальным напряжениям** может проверяться с учетом или без учета развития пластических деформаций. Возможность учета развития пластических деформаций задает пользователь в параметрах конструирования (см. п. 9.7.2). При этом можно руководствоваться п. 5.19\*, п. 5.25 [9.10], разд. 8.1, п. 9.1.1 [9.11] или разд. 9.1, п. 10.1.1 [9.6]. Следует отметить, что в настоящей версии, при расчете по нормам [9.11] и [9.6], конструкции 3 класса по виду напряженного состояния (полный пластический шарнир) считаются так же, как и конструкции 2 класса (ограниченное развитие пластики) в связи с отсутствием в нормах коэффициентов учета пластики для полного пластического шарнира.

В случае допустимости расчета с учетом развития пластических деформаций программой выполняется проверка фактического наличия пластики. Для этого выполняются две проверки:

- проверка 1 — с учетом развития пластических деформаций;
- проверка 2 — без учета развития пластических деформаций.

Если прочность по проверке 1 обеспечивается, а по проверке 2 — нет, то элемент в данном сечении действительно работает с учетом развития пластических деформаций. И только в этом случае производится учет пластики в дальнейших проверках устойчивости и местной устойчивости.

Для несимметричных двутавров общего вида с произвольным соотношением размеров поясов, а также для сплошных круглых сечений в нормах отсутствуют значения коэффициента учета развития пластических деформаций. Для указанных сечений в программе этот коэффициент определяется по указаниям п. 5.26 [9.8]. Для несимметричных двутавров его значения приведены в таблице 9.3, для круга  $c = 1.645$ .

Таблица 9.3

Коэффициент $c_y$ для несимметричных двутавров												
$\alpha_f = \frac{A_{f1}}{A_w}$	$\psi_f = \frac{A_{f2}}{A_{f1}}$											
	0 (тавр)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	1.46875	<i>1.46875</i>
0.05	1.47748	1.46412	1.45119	1.43866	1.42651	1.41472	1.40327	1.39215	1.38134	1.37082	1.36058	
0.1	1.49759	1.47167	1.44730	1.42432	1.40260	1.38202	1.36248	1.34388	1.32614	1.30919	1.29297	
0.15	1.52337	1.48526	1.45037	1.41827	1.38857	1.36097	1.33522	1.31109	1.28839	1.26698	1.24671	
0.2	1.55167	1.50158	1.45689	1.41666	1.38014	1.34675	1.31602	1.28757	1.26109	1.23633	1.21307	
0.25	1.58057	1.51874	1.46489	1.41738	1.37496	1.33670	1.30190	1.26998	1.24050	1.21310	<i>1.18750</i>	
0.3	1.60886	1.53558	1.47322	1.41919	1.37166	1.32930	1.29112	1.25636	1.22445	1.19492	1.16741	
0.4	1.66067	1.56573	1.48835	1.42346	1.36776	1.31904	1.27572	1.23668	1.20109	1.16831	1.13787	
0.5	1.70313	1.58888	1.49938	1.42635	1.36488	<i>1.31179*</i>	1.26500	1.22305	1.18491	1.14981	<i>1.11719</i>	
0.6	1.73412	1.60380	1.50529	1.42675	1.36156	1.30574	1.25676	1.21290	1.17300	1.13621	1.10190	
0.7	1.71397	1.59912	1.50587	1.42429	1.35722	1.30004	1.24988	1.20488	1.16381	1.12577	1.09014	
0.8	1.69644	1.57182	1.48940	1.41898	1.35167	1.29427	1.24376	1.19824	1.15645	1.11752	1.08082	
0.9	1.68109	1.54740	1.46240	1.40346	1.34486	1.28824	1.23807	1.19252	1.15037	1.11080	1.07324	

Коэффициент $c_y$ для несимметричных двутавров (продолжение)											
$\alpha_f = \frac{A_{f1}}{A_w}$	$\psi_f = \frac{A_{f2}}{A_{f1}}$										
	0 (тавр)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
<b>1</b>	1.66758	1.52541	1.43837	1.37946	1.33684	1.28185	1.23262	1.18744	1.14522	1.10524	1.0669 6
<b>1.1</b>	1.65561	1.50548	1.41683	1.35818	1.31641	1.27508	1.22728	1.18281	1.14077	1.10053	1.0616 8
<b>1.2</b>	1.64496	1.48730	1.39742	1.33920	1.29831	1.26793	1.22198	1.17852	1.13684	1.09650	1.0571 6
<b>1.3</b>	1.63541	1.47064	1.37983	1.32215	1.28217	1.25274	1.21668	1.17446	1.13333	1.09299	1.0532 7
<b>1.4</b>	1.62682	1.45529	1.36380	1.30676	1.26768	1.23917	1.21134	1.17059	1.13014	1.08992	1.0498 7
<b>1.5</b>	1.61905	1.44109	1.34913	1.29278	1.25462	1.22697	1.20597	1.16685	1.12721	1.08718	1.0468 8
<b>1.6</b>	1.61199	1.42791	1.33564	1.28005	1.24277	1.21596	1.19569	1.16322	1.12449	1.08474	1.0442 2
<b>1.7</b>	1.60555	1.41562	1.32321	1.26838	1.23198	1.20596	1.18639	1.15968	1.12195	1.08254	1.0418 5
<b>1.8</b>	1.59966	1.40412	1.31170	1.25766	1.22210	1.19685	1.17793	1.15620	1.11956	1.08053	1.0397 2
<b>1.9</b>	1.59424	1.39335	1.30101	1.24778	1.21304	1.18851	1.17020	1.15277	1.11729	1.07870	1.0378 0
<b>2</b>	1.58925	1.38321	1.29105	1.23863	1.20469	1.18084	1.16311	1.14938	1.11513	1.07702	1.0360 6
<b>2.2</b>	1.58036	1.36463	1.27306	1.22224	1.18981	1.16724	1.15057	1.13772	1.11105	1.07402	1.0330 1
<b>2.4</b>	1.57268	1.34798	1.25723	1.20798	1.17695	1.15554	1.13981	1.12774	1.10724	1.07141	1.0304 4
<b>2.6</b>	1.56597	1.33294	1.24318	1.19545	1.16573	1.14537	1.13049	1.11911	1.10364	1.06910	1.0282 4
<b>2.8</b>	1.56008	1.31928	1.23062	1.18436	1.15585	1.13644	1.12233	1.11157	1.10020	1.06704	1.0263 3
<b>3</b>	1.55485	1.30679	1.21932	1.17447	1.14708	1.12855	1.11513	1.10493	1.09688	1.06517	1.0246 7
<b>3.2</b>	1.55019	1.29533	1.20911	1.16559	1.13925	1.12152	1.10873	1.09903	1.09139	1.06346	1.0232 1
<b>3.4</b>	1.54600	1.28475	1.19981	1.15758	1.13221	1.11522	1.10300	1.09376	1.08649	1.06188	1.0219 0
<b>3.6</b>	1.54222	1.27496	1.19133	1.15031	1.12585	1.10954	1.09785	1.08902	1.08209	1.06041	1.0207 4
<b>3.8</b>	1.53879	1.26586	1.18354	1.14368	1.12007	1.10439	1.09318	1.08473	1.07812	1.05903	1.0197 0
<b>4</b>	1.53567	1.25738	1.17638	1.13762	1.11480	1.09971	1.08894	1.08084	1.07451	1.05773	1.0187 5

Обозначения в таблице:



$\alpha_f = A_{f1} / A_w$  — отношение площади большей полки к площади стенки.  
 $\psi_f = A_{f2} / A_{f1}$  — отношение площади меньшей полки к площади большей полки.  
 Курсивом отмечены данные, приведенные в нормах. Данные в таблице совпадают с данными, приведенными в нормах, за исключением несимметричного двутавра с  $\alpha_f = A_{f1} / A_w = 0.5$  и  $\psi_f = A_{f2} / A_{f1} = 0.5$ .

Формулы для проверки прочности по нормальным напряжениям, указанные в табл. 9.2 и используемые в программе, учитывают все составляющие усилий в рассматриваемом сечении. Например, формула общего вида (50) [9.10] при  $N = 0$  (для изгибаемых элементов) превращается в формулу (38) [9.10], а при нулевых изгибающих моментах (центральное растяжение-сжатие) приводит к формуле (5) [9.10]. Аналогично, формула (40) [9.10] является частным случаем формулы (49) [9.10].

Для сечений из круглой трубы или сплошного круглого сечения при проверке прочности по нормальным напряжениям используется результирующий момент, равный геометрической сумме моментов в двух взаимно перпендикулярных направлениях:  $M_{res} = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$ . Это соответствует формуле (10.2) [9.6].

В программе не реализован учет пластических деформаций для центрально растянутых элементов по формуле (6) [9.10].

- **Прочность по касательным напряжениям** проверяется по формулам (29) [9.10], (42) [9.11], (9.2) [9.6], в основе которых лежит формула Журавского. В программе не реализован учет пластических деформаций для касательных напряжений по формуле (41) [9.10].

- **Прочность по приведенным напряжениям (совместное действие нормальных и касательных напряжений)** проверяется по формулам теории прочности (33) [9.10], (44) [9.11], (9.4) [9.6].

### Общая устойчивость

Таблица 9.4

Проверки общей устойчивости	Обозначение	Формулы проверок			
		СНиП и «Пособие»		СП 16.13330.2011 СП 16.13330.2017	ДБН В.2.6-198:2014
		СНиП П-23-81*	«Пособие» [9.8]		
Устойчивость плоской формы изгиба	$\phi_b$	(34)	(40)	(70)	(9.29)
Устойчивость по изгибной форме	$\phi_{(e)y}, \phi_{(e)z}$	(51)	(48)	(109), (120)*, (121)*	(10.6), (10.15), (10.16)
Устойчивость по изгибно-крутильной форме	$c\phi_z$	(56)	—	(111)	(10.8)
Устойчивость стержней, подверженных сжатию и изгибу в двух главных плоскостях	$\phi_{eyz}$	(62)	—	(116)	(10.13)

\* При проверке устойчивости коробчатых сечений по СП 16.13330.2017 вместо формул (120), (121) указанных норм использованы формулы (33) СП 294.1325800.2017.

- **Устойчивость плоской формы изгиба**

Проверка устойчивости плоской формы изгиба (по  $\varphi_b$ ) производится для открытых профилей следующих типов: двутавр симметричный, двутавр несимметричный, тавр, швеллер, а также для полосы. При определении коэффициента устойчивости при изгибе  $\varphi_b$  используется расчетная длина  $l_{efb}$ , которая задается пользователем по указаниям пунктов 5.15 [9.10], 8.4.2 [9.11], 9.4.2 [9.6] и часто равна расчетной длине элемента в плоскости минимальной жесткости. Коэффициент  $\varphi_b$  определяется в соответствии с указаниями приложения 7\* [9.10], приложения Ж [9.11] или приложения Н [9.6]. Все задаваемые исходные данные соответствуют таблицам указанных приложений. Если заранее известно, что для рассматриваемого конструктивного элемента такая проверка не понадобится или вид нагрузки и загруженный пояс определить невозможно (например, колонна каркаса здания), рекомендуется для симметричных двутавров и швеллеров задать балочную схему работы, два и более боковых закреплений, а для несимметричных двутавров и тавров задать вид нагрузки, вызывающий чистый изгиб.

Для сечений из несимметричных двутавров или тавров в программе отсутствует проверка устойчивости плоской формы изгиба для консолей по причине отсутствия указаний для такой проверки консолей в действующих нормах.

Поскольку для сечений из полосы в нормах отсутствуют указания для проверки устойчивости плоской формы изгиба, в программе определение коэффициента устойчивости при изгибе  $\varphi_b$  производится по формулам последнего абзаца п. 1\* приложения 7\* [9.10], а также по формулам (Ж.1), (Ж.2) [9.11] или (Н.1), (Н.2) [9.6]. Параметр  $\varphi_1$ , входящий в эти формулы, определяется по указаниям литературы [9.3], [9.4], [9.2].

- **Устойчивость по изгибной форме**

Важным вопросом при выполнении этой проверки является определение расчетных длин элементов. Расчетные длины задаются пользователем. При этом можно руководствоваться разделом 6 [9.10], разделом 10 [9.11], разделом 13 [9.6], а также разделом 6 [9.8] или специальной литературой (например, [9.19]).

В случае отсутствия в нормативной или справочной литературе указаний по определению расчетных длин для рассматриваемой схемы рекомендуем воспользоваться подсистемой **Устойчивость** ПК ЛИРА 10. В некоторых случаях может оказаться полезной вкладка **Колонны с неполной связью** в утилите **Расчётная длина колонны** (см. п. 9.10).

Для сечений из одиночного уголка пользователь должен задать радиус инерции, используемый для данной проверки. При этом следует руководствоваться п. 6.4, 6.5\* и 6.6 [9.10], п. 10.1.4, 10.2.2 и 10.2.3 [9.11], п. 13.1.4, 13.1.5, 13.2.2 [9.6].

Следует отметить, что в соответствии со всеми рассматриваемыми нормами коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии  $\varphi_e$  не может быть больше коэффициента продольного изгиба при центральном сжатии  $\varphi$  (см. примечание п. 2 к таблице коэффициентов  $\varphi_e$  в рассматриваемых нормах). Поэтому проверка устойчивости центрально сжатых элементов рассматривается как частный случай проверки устойчивости по изгибной форме сжато-изогнутых элементов.

Для коробчатых сечений и для сечений из сплошного прямоугольника (полосы) обозначение  $\varphi_{(e)y}$  соответствует проверке по формулам (121) [9.11], (10.16) [9.6] и по второй формуле (48) [9.8], соответственно обозначение  $\varphi_{(e)z}$  — по формулам (120) [9.11], (10.15) [9.6] и по первой формуле (48) [9.8].

Для сечения из одиночного швеллера при наличии изгиба в плоскости большей жесткости значения коэффициента формы сечения  $\eta$  принимаются как для симметричного двутавра, о чем выводится соответствующее предупреждение.

Для несимметричных двутавров общего вида с произвольным соотношением площадей большей и меньшей полки в нормах отсутствуют значения коэффициента формы сечения  $\eta$ . В программе коэффициент  $\eta$  определяется с помощью кубической интерполяции между приведенными в нормах типами сечений. Параметром для интерполяции служит коэффициент  $a_k = \frac{A_{fc}}{A_{fc} + A_{ft}}$  (осевой коэффициент асимметрии несимметричного двутавра), где  $A_{fc}$  и  $A_{ft}$ , соответственно, площадь сжатой и растянутой полки.

Для сечений, приведенных в нормах, этот коэффициент равен:

- $a_k = 0$  (тавр с растянутой полкой) — для типа сечения 9 по табл. 73 [9.10] и по табл. Д.2 [9.11] или типа сечения 10б по табл. Ж.2 [9.6];
- $a_k = 0.5$  — для типа сечения 5 по указанным таблицам [9.10], [9.11], [9.6];
- $a_k = 0.6667$  — для типа сечения 10 [9.10] и [9.11], типа сечения 8 [9.6];
- $a_k = 1.0$  (тавр со сжатой полкой) — для типа сечения 11 [9.10] и [9.11], типа сечения 10а [9.6].

В программе определяется значение коэффициента  $\eta$  для каждого из перечисленных типов сечений, после чего между этими данными производится кубическая интерполяция по фактическому значению  $a_k$  рассматриваемого профиля. Об этом выводится соответствующее предупреждение.

Для сечений из круглой трубы или сплошного круглого сечения при проверке устойчивости по изгибной форме:

- если расчетные длины элемента в обеих плоскостях равны, т.е. если  $l_{efy} = l_{efz}$ , используется результирующий момент, равный геометрической сумме моментов в двух взаимно перпендикулярных направлениях:  $M_{res} = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$ ;
- если  $l_{efy} \neq l_{efz}$ , выполняются две независимые проверки: относительно оси  $Y_1$  с использованием момента  $M_y$  и расчетной длины  $l_{efy}$ , и относительно оси  $Z_1$  с использованием момента  $M_z$  и расчетной длины  $l_{efz}$ .

#### • Устойчивость по изгибно-крутильной форме

Проверка производится по формулам (56) [9.10], (111) [9.11] и (10.8) [9.6].

Для сечения из одиночного швеллера при наличии изгиба в плоскости большей жесткости значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  по таблице 10 [9.10] принимаются как для симметричного двутавра, о чем выводится соответствующее предупреждение (в нормах [9.11] и [9.6] это сделано именно так).

При относительных эксцентриситетах в плоскости большей жесткости  $10 < m_y < 20$  параметр  $c$  определяется по формуле (58) [9.10], (43) [9.11], (10.10) [9.6], полученной из условия  $\frac{N}{\phi_{zA}} + \frac{M_y}{\phi_b W_{y_{сж}}} = \frac{N}{c \phi_{zA}}$  (имеется в виду, что плоскость большей жесткости  $X_1 O Z_1$ ). При этом, в соответствии с указаниями п. 5.31 [9.10], п. 9.2.4 [9.11], п. 10.2.5 [9.6], коэффициент  $\phi_b$ , входящий в эту формулу, определяется как для балки с двумя и более боковыми креплениями, независимо от заданных пользователем. Здесь, как и в указанных пунктах норм, сжатие принимается со знаком плюс.

Программой предусмотрена проверка устойчивости также и для растянуто-изогнутых элементов. Проверка производится на основании формулы:

$$\frac{\gamma_n}{R_y \gamma_c} \left( -\frac{N}{A} + \frac{M_y}{\phi_b W_{y_{сж}}} + \frac{M_z}{W_z} \right) \leq 1 \quad (9.1)$$

Сила растяжения в этом случае оказывает разгружающее действие, но это не гарантирует устойчивость сжатого пояса элемента.

Для сечения из полосы ( $I_y > I_z$ ) в нормах нет указаний для проверки устойчивости по изгибно-крутильной форме. Коэффициент  $c$  к формулам (56) [9.10], (111) [9.11] и (10.8) [9.6] определяется по формуле (9.2), полученной из условия (9.3). При наличии сжатия:

$$c = \frac{1}{1 + m_y \frac{\phi_z}{\phi_b} + m_z \phi_z} \quad (9.2)$$

$$\frac{|N|}{\phi_z A} + \frac{|M_y|}{\phi_b W_y} + \frac{|M_z|}{W_z} = \frac{|N|}{c \phi_z A} \quad (9.3)$$

При растяжении проверка производится на основании условия (9.1).

### Местная устойчивость

Таблица 9.5

Проверки местной устойчивости	Обозначение	Формулы проверок			
		СНиП и «Пособие»		СП 16.13330.2011 СП 16.13330.2017	ДБН В.2.6-198:2014
		СНиП II-23-81*	«Пособие»		
Местная устойчивость стенок (без учета локальных напряжений):	$h_{ef}$				
Стенки изгибаемых элементов без ребер жесткости		п. 7.10 ( $\bar{\lambda}_w \leq 3.2$ )		п. 8.5.9 ( $\bar{\lambda}_w \leq 3.2$ )	п. 9.5.9 ( $\bar{\lambda}_w \leq 3.2$ )
Стенки изгибаемых элементов, подкрепленные поперечными ребрами жесткости при фактическом отсутствии пластики		(74), (90)		(80), (85)	(9.39), (9.44)
Стенки изгибаемых элементов, подкрепленные поперечными ребрами жесткости при наличии пластики		(78)	(42)	(86), (87)	п. 9.5.8
Стенки центрально сжатых элементов		п. 7.14*, п. 7.27*, п. 7.18*		п. 7.3.2, п. 7.3.11	п. 8.3.2
Стенки внецентренно сжатых элементов		п. 7.14*, п. 7.18*, п. 7.16*		п. 9.4.3, п. 9.4.2, п. 9.4.9	п. 10.4.2, п. 10.4.5
Местная устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек (стенок круглых труб)		п. 8.5, п. 8.6	п. 11.2.1, п. 11.2.2	п. 14.2.1, п. 14.2.2	
Местная устойчивость поясов:	$b_{ef}$				
Пояса изгибаемых элементов		п. 7.24, п. 7.26*, п. 7.27		п. 8.5.18, п. 8.5.19	п. 9.5.14, п. 9.5.15
Пояса центрально и внецентренно сжатых элементов		п. 7.23, п. 7.26*,		п. 7.3.8, п. 7.3.9,	п. 8.3.7, п. 8.3.8,

		п. 7.27		п. 7.3.11, п. 9.4.7, п. 9.4.9	п. 10.4.6, п. 10.4.7
--	--	---------	--	-------------------------------------	-------------------------

При проверке местной устойчивости стенок учет локальных напряжений не предусмотрен. Предполагается также отсутствие продольных ребер жесткости. Наличие и шаг поперечных ребер жесткости задает пользователь, руководствуясь п. 7.10, п. 7.21\* [9.10], п. 8.5.9, п. 9.4.4 [9.11], п.1.5.5.9, п. 10.4.3 [9.6]. Для изгибаемых элементов отсутствие поперечных ребер жесткости приводит к увеличению толщины стенки, которая в этом случае проверяется из условия  $\bar{\lambda}_w \leq 3.2$  по требованию п. 7.10 [9.10], п. 8.5.9 [9.11], п. 9.5.9 [9.6]. При этом программа пишет предупреждение с рекомендацией поставить такие ребра.

В то же время, для сжатых и сжато-изогнутых элементов, программа не контролирует необходимость постановки поперечных ребер жесткости по п. 7.21\* [9.10], п. 9.4.4 [9.11], п. 10.4.3 [9.6], поскольку эти требования являются конструктивными и не влияют на расчет.

При проверке местной устойчивости коробчатых сечений, в общем случае, при наличии изгибающих моментов в обоих главных направлениях ( $M_y \neq 0$ ,  $M_z \neq 0$ ), необходимо определить, какие из граней коробки считать стенками, а какие полками. В данной версии этот вопрос решается в соответствии с правилами, указанными в табл. 9.5. При этом пункт 10.4.8 [9.6] не учитывается.

Таблица 9.6


$m_{efz} \backslash m_{efy}$	$m_{efy} < 0,1$	$0,1 \leq m_{efy} \leq 20$	$m_{efy} > 20$
$m_{efz} < 0,1$	Центральное сжатие. Стенками считаются все 4 стороны	Внецентренное сжатие вокруг оси $Y_I$ . Стенками считаются стороны, параллельные $Z_I$	Изгиб вокруг оси $Y_I$ . Стенками считаются стороны, параллельные оси $Z_I$
$0,1 \leq m_{efz} \leq 20$	Внецентренное сжатие вокруг оси $Z_I$ . Стенками считаются стороны, параллельные оси $Y_I$	Внецентренное сжатие в двух направлениях. Стенками считаются стороны, имеющие большую гибкость. При равной гибкости стенками считаются грани в плоскости большего изгибающего момента.	Стенками считаются стороны, параллельные оси $Z_I$
$m_{efz} > 20$	Изгиб вокруг оси $Z_I$ . Стенками считаются стороны, параллельные оси $Y_I$	Стенками считаются стороны, параллельные оси $Y_I$	Изгиб в двух направлениях. Стенками считаются стороны, имеющие большую гибкость. При равной гибкости стенками считаются грани в плоскости большего изгибающего момента

В данной версии реализован расчёт местной устойчивости стенок сжатых и сжато-изогнутых элементов коробчатого и несимметричного двутаврового сечения с учётом редуцированной (уменьшенной) площади. Расчёт выполняется по п. 7.20\* [9.10], п. 7.3.6 [9.11] или прил. Л [9.6].

## Второе предельное состояние

### Прогибы

Прогибы элементов или конструктивных элементов проверяются в направлении их локальных осей  $Y_l$  и  $Z_l$ . Необходимость такой проверки при подборе или проверке стальных конструкций задается пользователем на основании раздела 10 [9.9], стандарта [9.7], приложения Е [9.12] или других нормативных документов. При этом используются нормативные (эксплуатационные) значения постоянных нагрузок и длительные нагрузки или длительно действующая часть кратковременных нагрузок со своими коэффициентами сочетаний. Такой подход справедлив для конструкций, нагруженных постоянными, полезными, снеговыми и другими нагрузками, имеющими длительно действующую часть. К таким конструкциям относятся, например, стропильные балки, ригели покрытия, прогоны покрытия, балки и ригели перекрытий, балки рабочих и обслуживающих площадок, лестничные косоуры и марши, балки балконов и лоджий. Опоры конструктивных элементов (места, где прогибы принимаются равными нулю) задаются с помощью раскреплений (см. п. 9.5). Если заданы раскрепления конструктивного элемента, то его прогиб считается относительно прямой линии, соединяющей эти раскрепления. При отсутствии раскреплений принимается полное перемещение сечений конструктивного элемента в составе расчетной схемы. Необходимость задания раскреплений определяет пользователь.

 *В режиме подбора сечения конструктивного элемента принято, что величина его прогиба изменяется обратно пропорционально изгибной жесткости  $EI$  рассматриваемого конструктивного элемента и не учитывает перемещение других элементов расчетной схемы. Если при наличии раскреплений это предположение справедливо, то при их отсутствии такой подход может привести к неправильному результату. Поэтому в случае обоснованного отсутствия раскреплений окончательный расчет сечений должен быть выполнен в режиме проверки.*

Предельно допустимые прогибы задаются пользователем. При этом в каждом из направлений он может задать как величину прогиба в миллиметрах или в долях пролета, так и автоматический выбор предельного прогиба по п. 2 таблицы 19 [9.9], таблицы Е.1 [9.12] или таблицы 1 [9.7].

Для конструкций, у которых ограничены горизонтальные прогибы и перемещения от ветра по пп. 10.12, 10.16, 10.17 [9.9], пп. Е.2.4.1, Е.2.4.3, Е.2.4.4 [9.12], пп. 7.1, 7.4, 7.5 [9.12], следует выполнить дополнительную проверку таких прогибов по локальным эпюрам перемещений либо проверку горизонтальных перемещений соответствующих узлов от нормативных (эксплуатационных) значений ветровых нагрузок. К таким конструкциям относятся, например, колонны каркаса, стойки фахверка, ригели фахверка, опоры конвейерных галерей.

Проверку прогибов сложных стержневых систем, например, стропильных ферм или структурных блоков покрытия, следует выполнять по перемещениям характерных узлов в различных комбинациях загрузений (с помощью РСН).

### Гибкость

Необходимость такой проверки задается пользователем. Проверка гибкости конструктивных элементов производится на основании пп. 6.15\*, 6.19\* [9.10], пп. 10.4.1, 10.4.2 [9.11], пп. 13.4.1, 13.4.2 [9.6]. Величину предельно допустимой гибкости указывает пользователь. При этом можно задать требуемую величину самостоятельно либо воспользоваться подсказкой программы, выбрав нужную строку из предлагаемых таблиц действующих норм.

## 9.2 ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА УНИВЕРСАЛЬНОГО ДВУХВЕТВЕВОГО СЕЧЕНИЯ

В настоящей версии ПК ЛИРА 10 реализовано универсальное двухветвевое сечение, состоящее из двух параллельных ветвей и соединительных элементов между ними.

В качестве ветвей могут задаваться прокатные двутавры, прокатные или гнутые швеллеры (полками внутрь или наружу), а также квадратные или прямоугольные гнутосварные замкнутые коробки. Соединительные элементы реализованы в виде геометрически неизменяемой решетки или в виде планок. При этом:

а) Ветви могут быть как одинакового, так и разного вида профиля.

б) Ветви могут быть как одинакового, так и разного размера. Если размеры ветвей значительно отличаются друг от друга по высоте, то программа выдает предупреждение об этом. Кроме того, в программе заложено условие,

ограничивающее разницу между ветвями:  $\left\{ \begin{array}{l} 0.0625 \leq \frac{l_{y1}}{l_{y2}} \leq 16 \\ 0.0625 \leq \frac{l_{z1}}{l_{z2}} \leq 16 \end{array} \right\}$ . Приблизительный

смысл этого условия заключается в том, что одна из ветвей по всем линейным размерам не может превышать другую более, чем в два раза.

Двухветвевые сечения

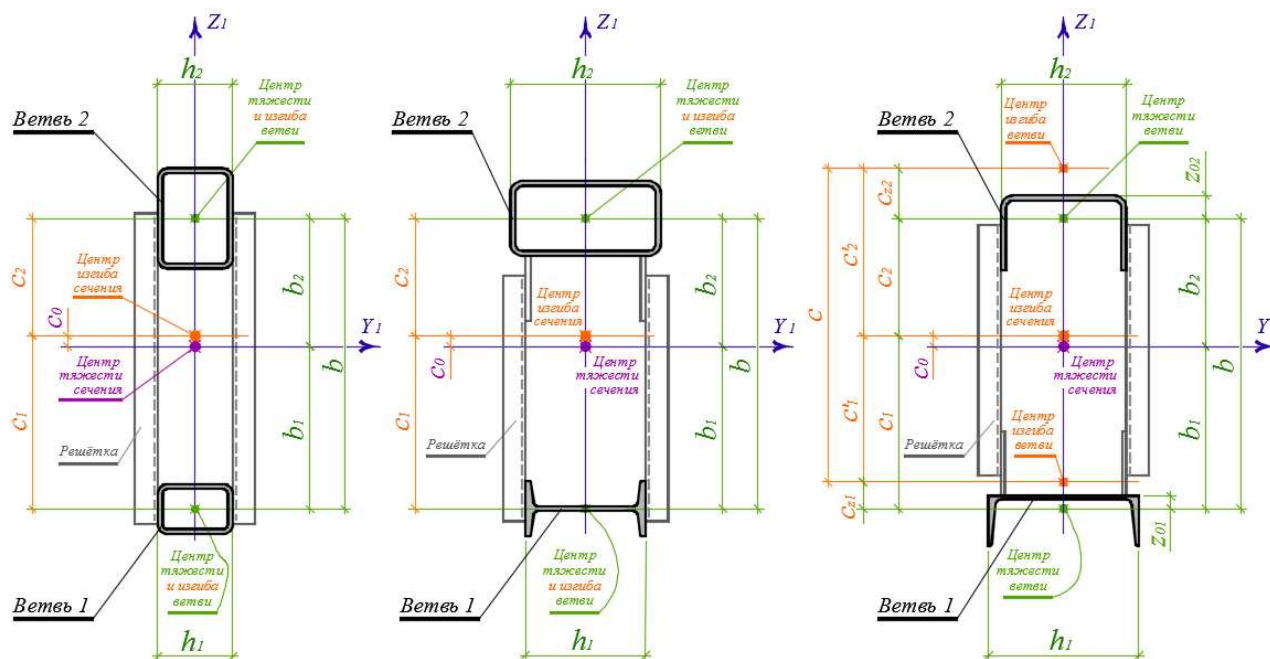


Рис. 9.2. Различные варианты универсального двухветвевое сечения

в) Для соединительных элементов в виде решетки может быть принято различное расположение раскосов и стоек в соответствии с таблицей 8 [9.13] или таблицей 13 [9.8].

г) Для соединительных элементов в виде решетки может быть принята одна или две плоскости соединительных элементов. Частным случаем двухплоскостной решетки является смешанная решетка, в которой раскосы расположены в двух плоскостях, а распорки (стойки) располагаются по оси сечения. При этом они достаточно жесткие из плоскости решетки. Для распорок (стоек) решетки смешанного типа доступны



сечения швеллера (плашмя) или двутавра (плашмя). Остальные элементы всех типов решетки могут задаваться из одиночного равнополочного уголка, тавра, кругляка, сплошного квадрата. Планки могут быть из полосы или швеллера. Для задания соединительных планок из полосы рекомендуется использовать специальный сортament **Планки сквозных сечений**. Для соединительных элементов из планок одноплоскостное расположение не предусмотрено.

- д) Ветви и соединительные элементы могут быть заданы из разных сталей, например, ветви из стали С355, решетка из стали С245. В то же время обе ветви задаются из одной марки стали.

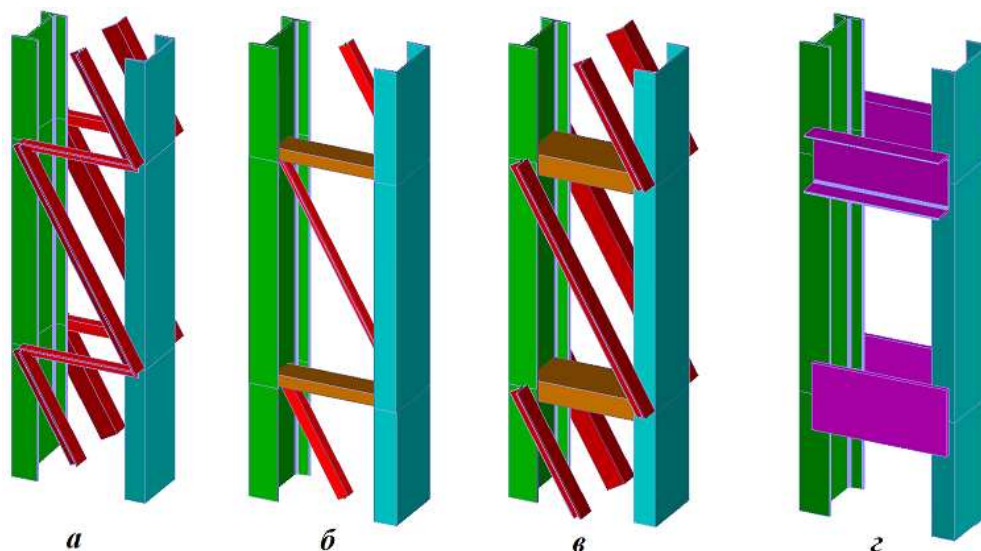


Рис. 9.3. Различные типы решетки универсального двухветвевое сечения:  
*a* — двухплоскостная решетка; *б* — одноплоскостная решетка;  
*в* — смешанная решетка; *г* — планки из полосы или из швеллера

По характеру работы элементы двухветвевое сечения с соединительными элементами из решётки приняты шарнирно-стержневыми в плоскости решётки. При действии усилий в плоскости решётки во всех элементах возникают только продольные силы  $N$ .

В случае соединительных элементов из планок в ветвях и планках возникают поперечные силы и изгибающие моменты.

В ПК ЛИРА 10 реализована возможность приближенно, но с достаточной степенью точности оценить работу элемента двухветвевое сечения на кручение. Следует отметить, что в нормах [9.6], [9.10], [9.11] кручение элементов не рассматривается, за исключением стесненного кручения при проверке прочности по нормальным напряжениям в нормах [9.11]. Работа на кручение не характерна для элементов двухветвевое сечения, и при проектировании стараются его избегать. Однако на практике такие случаи встречаются (например, опоры рекламных щитов), и мы старались, чтобы программа адекватно реагировала на подобные ситуации. Именно с этим связана возможность задания одно- или двухплоскостной решетки соединительных элементов. Они по-разному работают на кручение (рис. 9.4). Кручение может вызвать изгиб каждой из ветвей из плоскости соединительных элементов в двух противоположных направлениях. Если рассматривать всё двухветвевое сечение в целом, то в нем возникает депланация, характерная для стесненного кручения. Особенно это проявляется для одноплоскостной решетки, которая при кручении вообще не

включается в работу. Поэтому, если при работе элемента двухветвевое сечение может возникнуть его кручение, этот элемент следует задавать конечным элементом типа КЭ 7.

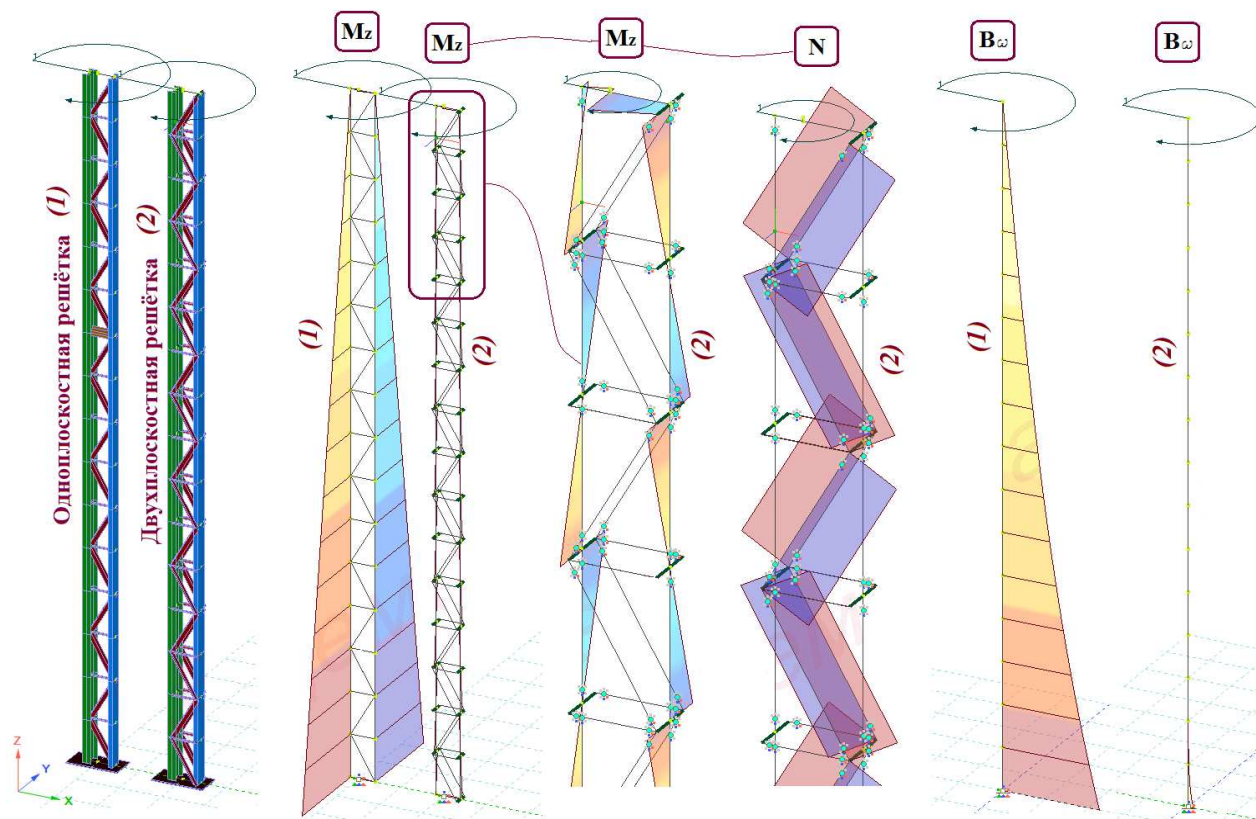


Рис. 9.4. Работа на кручение сечений с одноплоскостной (1) и двухплоскостной (2) решёткой

Изгибающие моменты от кручения  
двухветвевое сечение с планками

Определение усилий  
ветвях и планках

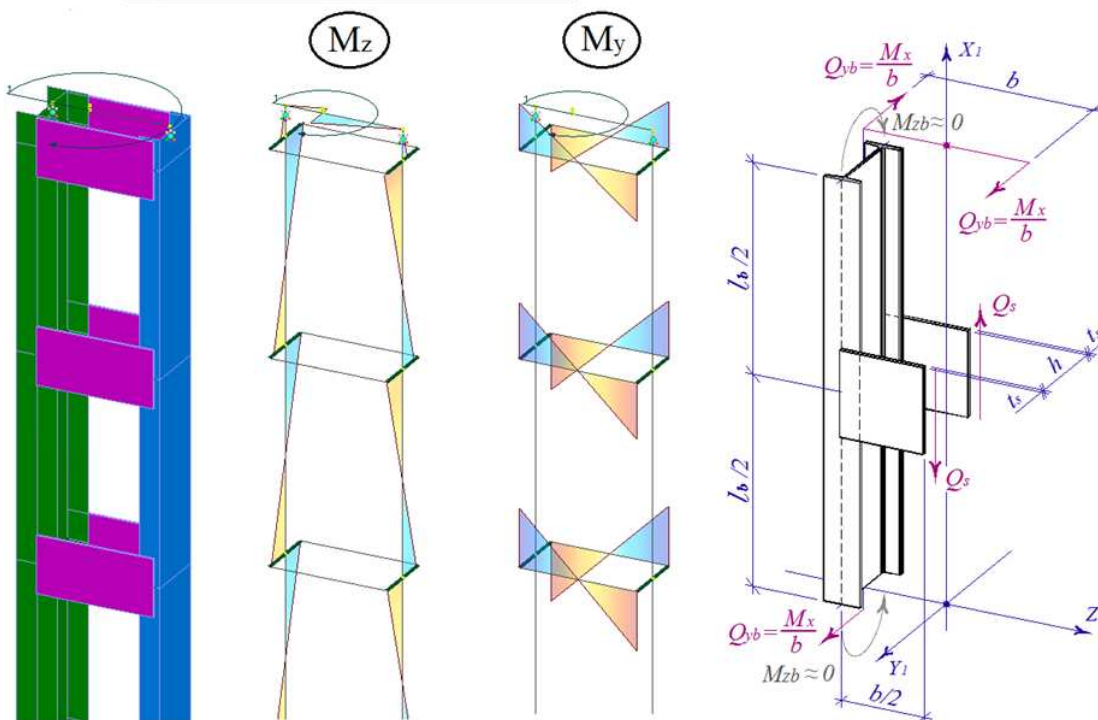



Рис. 9.5. Работа на кручение двухветвевых сечений с планками

Для универсальных двухветвевых сечений принято, что его локальная ось  $Y_1$  — это ось, параллельная ветвям (свободная ось), а локальная ось  $Z_1$  — ось, пересекающая ветви (материальная ось). Поворот сечения относительно локальных осей в данной версии не предусмотрен. Для установки элемента в проектное положение на схеме нужно поворачивать его вместе с локальными осями (с помощью режима **Назначить оси стержням**, кнопка  на панели инструментов). Также в программе принято, что ветвь 1 расположена в зоне отрицательной полуоси  $Z_1$ .

В дальнейшем, при задании конструирования стержней двухветвевое сечение, встречаются понятия местных осей отдельных элементов, составляющих двухветвевое сечение. Эти оси в программе не отображаются.

Принимается, что:

- Местные оси ветвей совпадают с местными осями всего сечения.
- Местная ось  $Z_1$  раскосов и распорок (стоек) соединительной решетки перпендикулярна оси стержня и направлена в верхнее полупространство. Соответственно, ось  $Y_1$  перпендикулярна оси стержня и оси  $Z_1$ . Ее положительное направление не определяется и не играет никакой роли.
- Местная ось  $Y_1$  соединительных планок лежит в плоскости их наибольшей жесткости ( $I_{y1} > I_{z1}$ ).

В заключение следует отметить, что моделирование элемента двухветвевое сечение как единого стержня допустимо при количестве панелей не менее шести, в соответствии с указаниями п. 5.11 [9.8], п. 7.2.2 [9.11], п. 8.2.2 [9.6].

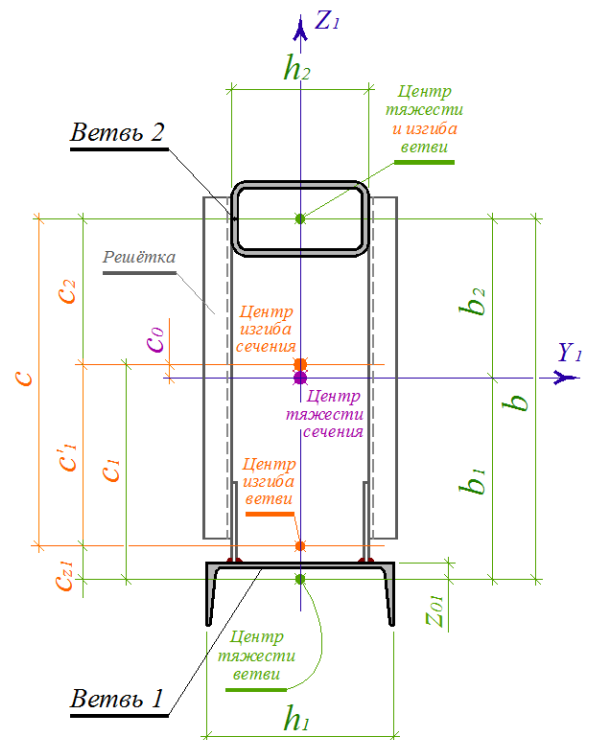


Рис. 9.6. Вариант двухветвевое сечения

### 9.3 ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРЁХВЕТВЕВОГО СЕЧЕНИЯ

В программном комплексе ЛИРА 10.12 появилась возможность рассчитывать единым стержневым элементом сквозные трёхветвевые сечения. Расчёты выполняются как в режиме подбора, так и в режиме проверки по 1-му и 2-му предельным состояниям в соответствии с действующими строительными нормами [9.11] (Россия), [9.6] (Украина), а также нормами [9.10], которые ещё действуют в некоторых странах бывшего Советского Союза.

В отличие от двухветвевых, все три ветви трёхветвевое сечения принимаются из одного профиля, образуют правильный треугольник и ориентированы главными осями симметрично относительно центра сечения. Принимается, что местная ось каждой ветви  $Y_v$  направлена по касательной к окружности, проходящей через центры тяжести ветвей (кольцевое направление). Местная ось  $Z_v$  каждой ветви направлена от центра сечения наружу (радиальное направление).

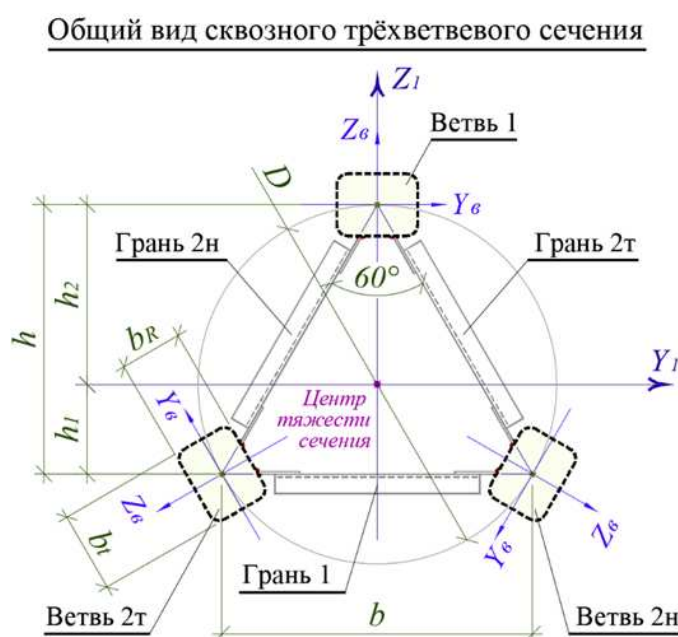
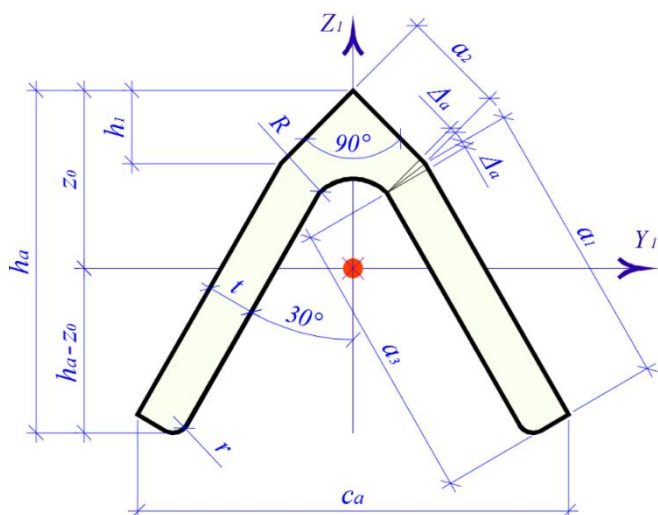


Рис. 9.7. Общий вид трёхветвевое сечения

В качестве соединительных элементов может быть геометрически неизменяемая решётка или планки. Все три плоскости соединительных элементов принимаются одинаковыми как по виду соединительных элементов, так и по очертанию решётки и их сечениям. Решётка принимается согласованной, т.е. элементы решётки с двух смежных граней приходят в одну точку ветви. Рисунок решётки, если смотреть снаружи, один и тот же для всех трёх граней.

Следует отметить, что в действующих нормах СП, ДБН, СНиП, а также и в EN 1993-3-1:2006, разд. 1.7 приводятся трёхветвевые сечения из смалкованных уголков (schifflerized angle). Однако в справочной литературе не удалось найти технические нормали, определяющие размеры и геометрические характеристики уголков после малкования. Поэтому размеры таких уголков приняты нами приближённо, исходя из предполагаемой формы сечения и равенства площадей с исходным уголком, и по этим размерам посчитаны геометрические характеристики (рис. 9.8).



$$\begin{cases} a_1 = b - t - R \\ a_2 = t + R + \Delta_a \approx 1.1316525 t + R \\ a_3 = b - a_2 \approx b - 1.1316525 t - R \end{cases} \quad (9.4)$$

где  $\begin{cases} b - \text{сторона исходного уголка} \\ \Delta_a = t \operatorname{tg} \frac{\pi}{24} \approx 0.1316525 t \end{cases}$

$$\begin{cases} h_1 = \frac{a_2}{\sqrt{2}} \\ h_a = \frac{\sqrt{3}a_1 + \sqrt{2}a_2 + t - (\sqrt{3}-1)r}{2} \end{cases} \quad (9.5)$$

$$c_a = a_1 + \sqrt{2}a_2 \quad (9.6)$$

Рис. 9.8. Смакованный уголок

Программа предлагает широкий выбор трёхветвевых сечений с различными профилями ветвей, видами решётки и планок. Многие из таких сечений не нашли широкого освещения в литературе, но хорошо зарекомендовали себя в проектировании и строительстве. Они достаточно жёсткие, экономичные за счёт снижения количества ветвей и граней решётки по сравнению с четырёхветвевыми, не нуждаются в дополнительных диафрагмах жёсткости. Трёхветвевые сечения хорошо работают на кручение, и ЛИРА 10 может выполнять такие расчёты.

Не допускается применение ветвей из уголков в сочетании с соединительными элементами в виде планок.

Очертания соединительной решётки трёхветвевых сечений приняты такими же, как и в двухветвевых сечениях, за исключением треугольной раскосной решётки без горизонтальных распорок (типа P3), которая является несогласованной по граням.

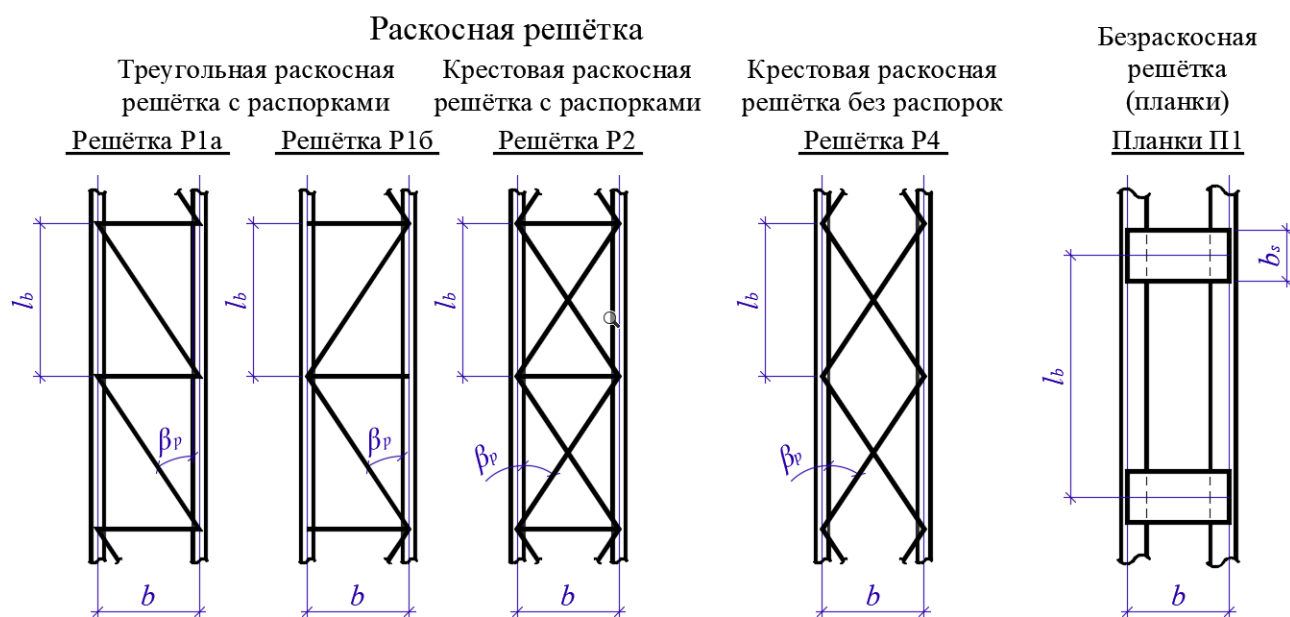


Рис. 9.9. Виды соединительных элементов

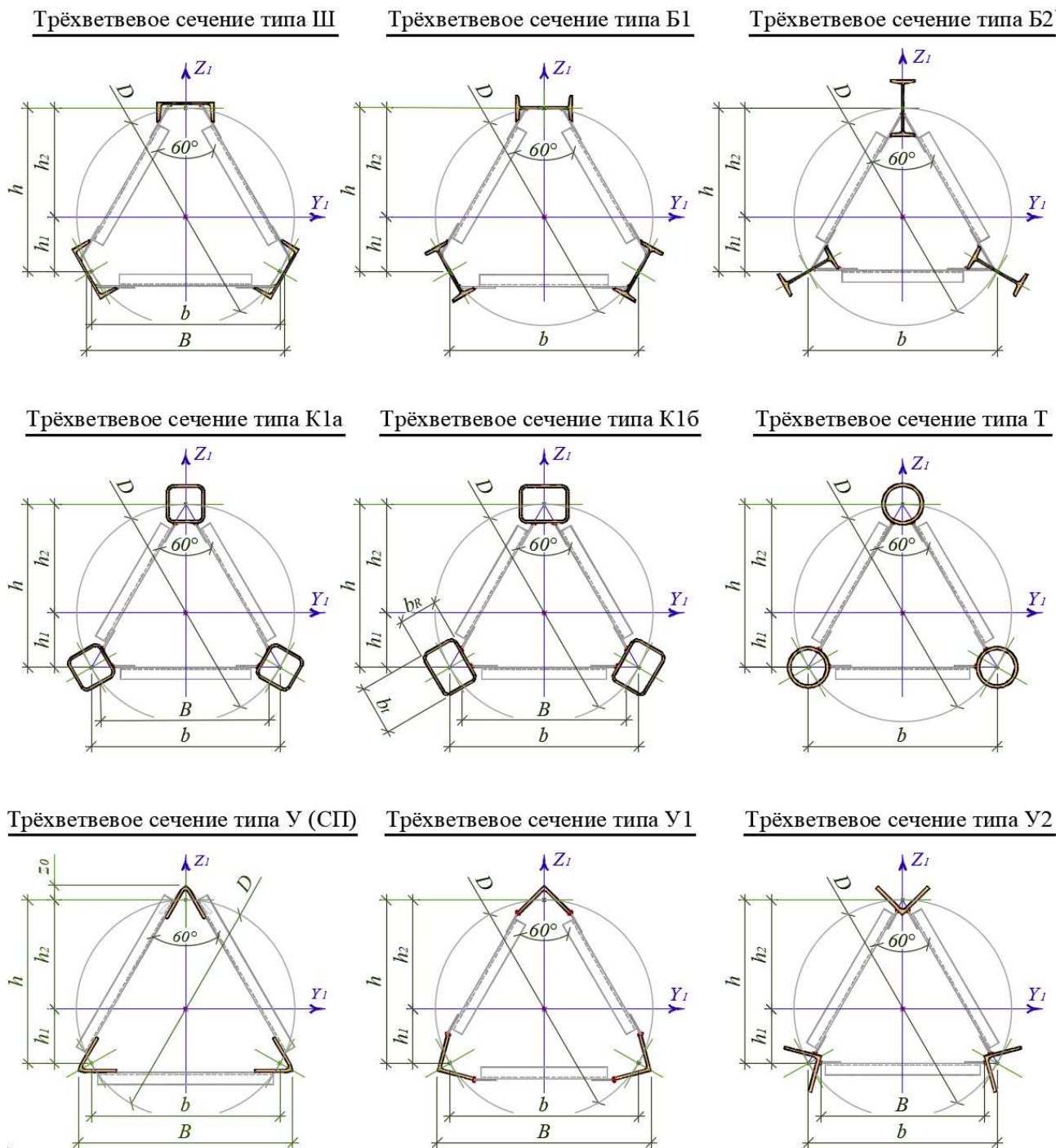


Рис. 9.10. Типы трёхветвевых сечений

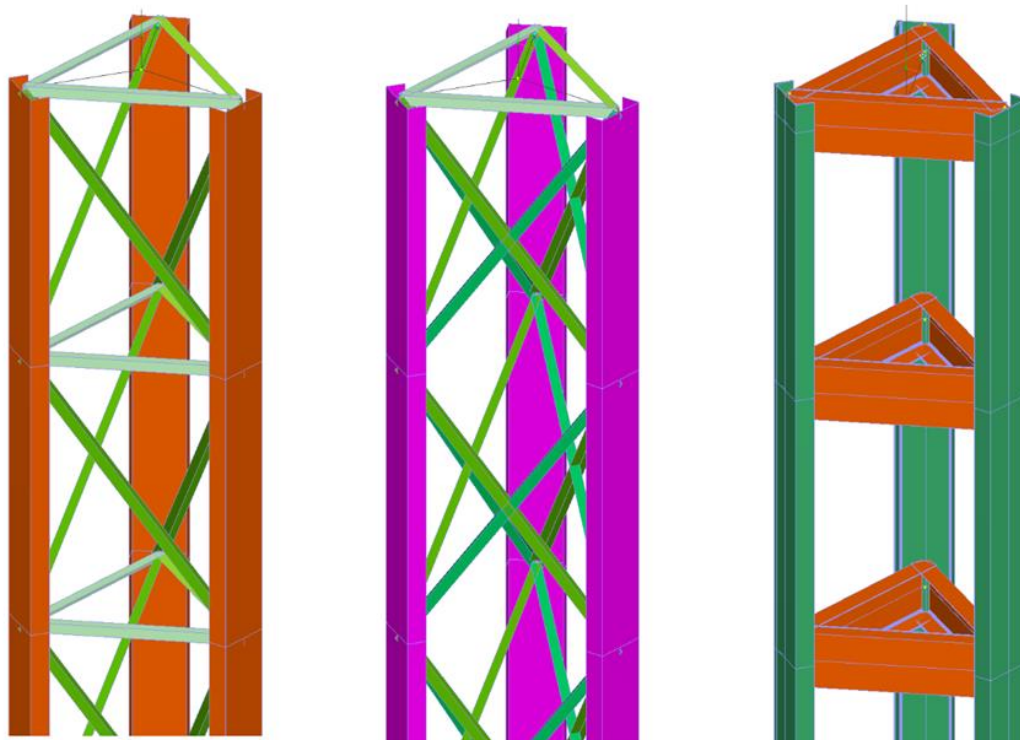


Рис. 9.11. Пример трёхветвевых сечений с ветвями из швеллеров и соединительными элементами в виде решётки из уголков и в виде планок из швеллеров

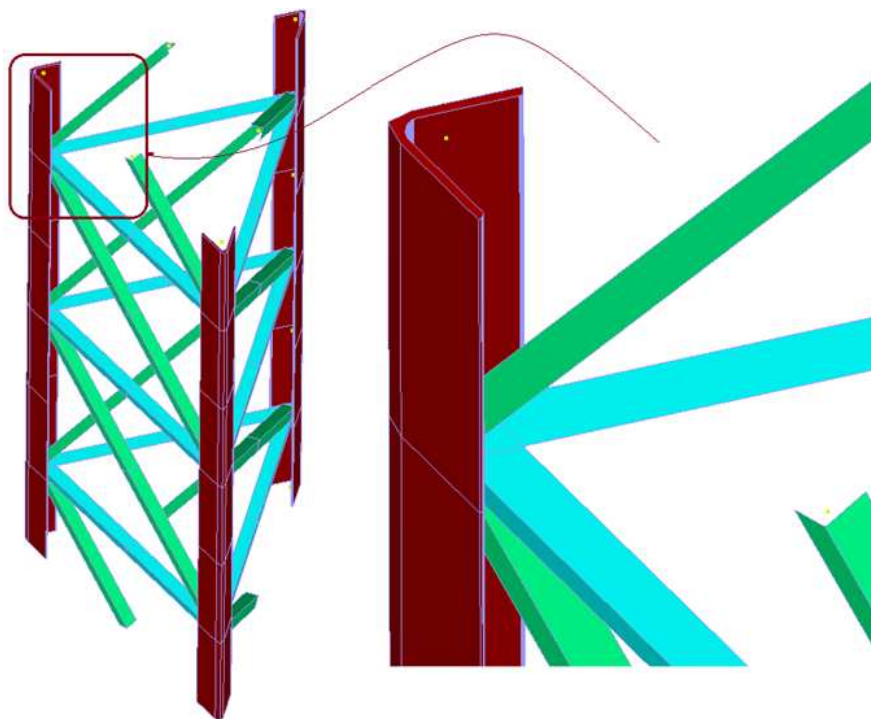



Рис. 9.12. Пример трёхветвевых сечений с ветвями из смалкованных уголков

В трёхветвевых сечениях, так же, как и в двухветвевых, не предусматривается поворот сечения относительно его локальных осей. Ось  $Y1$  всегда параллельна грани 1, а ось  $Z1$  пересекает ветвь 1. Для установки элемента в проектное положение на схеме нужно поворачивать его вместе с локальными осями (с помощью режима **Назначить оси стержням**, кнопка  на панели инструментов).

По характеру работы элементы трёхветвевое сечения с соединительными элементами из геометрически неизменяемой решётки приняты шарнирно-стержневыми конструкциями, все элементы которых работают на центральное растяжение-сжатие. Изгибающие моменты при этом воспринимаются ветвями, а крутящий момент и поперечные силы решёткой.

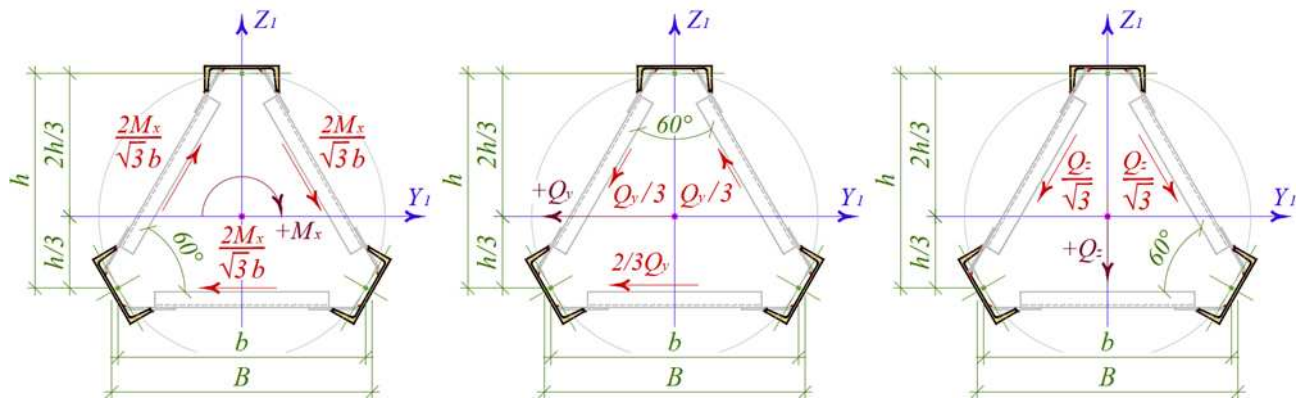


Рис. 9.13. Распределение поперечных сил и крутящего момента по граням решётки

В случае соединительных элементов в виде планок, в ветвях трёхветвевых сечений возникают поперечные силы и изгибающие моменты в обоих главных направлениях от каждой из примыкающих граней.

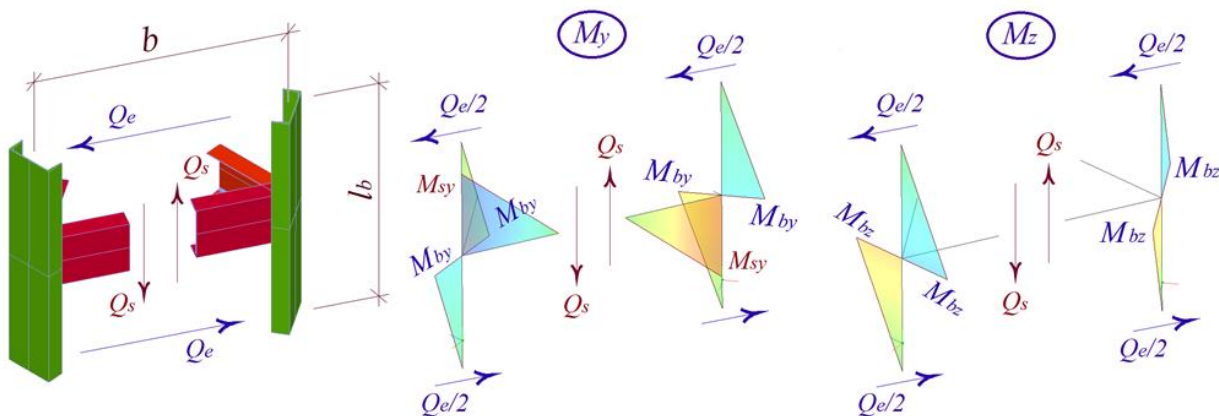


Рис. 9.14. Изгибающие моменты в ветвях трёхветвевых сечений с планками



## 9.4 ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

В программном комплексе ЛИРА 10.12 есть возможность расчёта стальных элементов переменного сечения по нормам СНИП, СП, ДБН. Доступны для расчёта сварные двутавровые сечения (симметричные или несимметричные) и сварные коробки. При этом принято, что высота стенки и ширина полок меняются только по линейному закону, причём в одном сечении меняться могут и стенки, и полки.

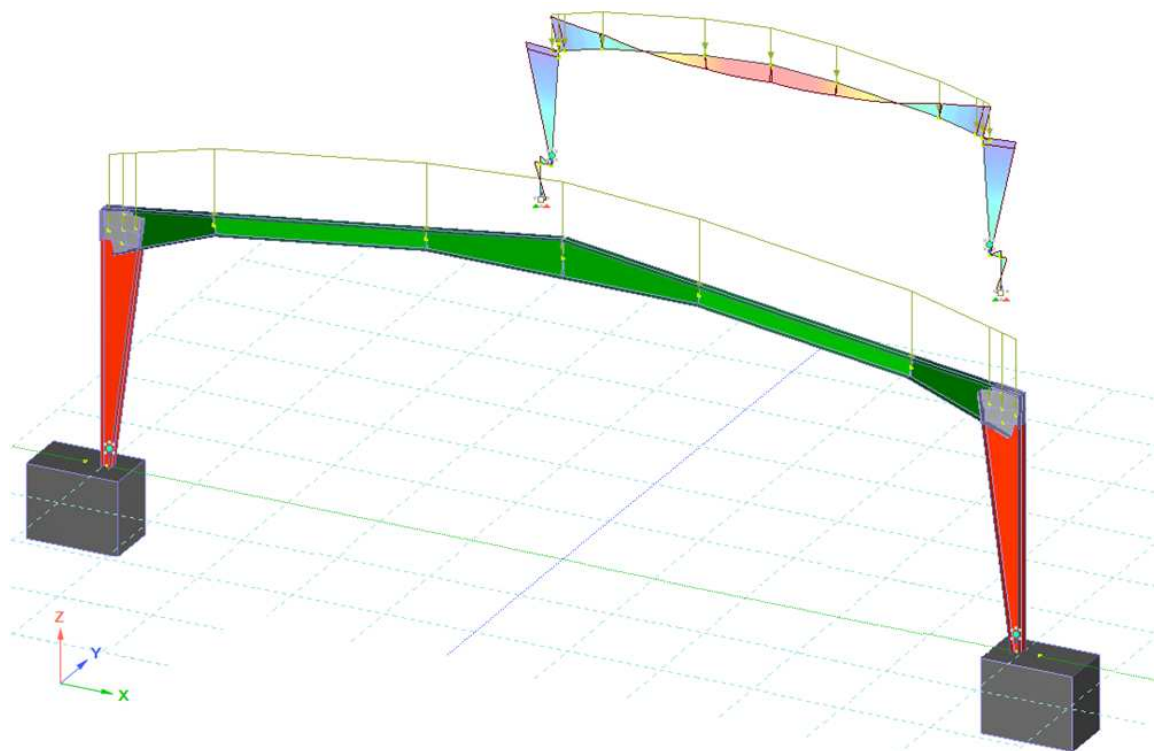


Рис. 9.15. Однопролётная традиционная рама с элементами переменного сечения.  
Высота стенки меняется по линейному закону, пояса постоянного сечения

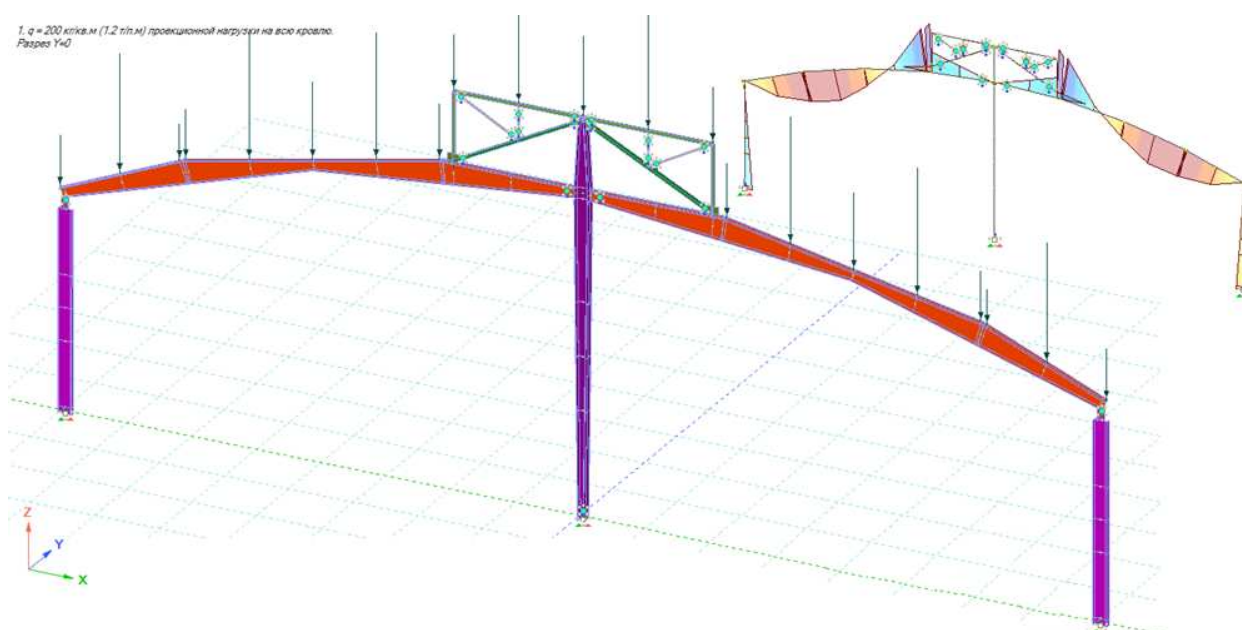


Рис. 9.16. Двухпролётная рама с элементами переменного сечения.  
Высота стенки меняется по линейному закону, пояса постоянного сечения

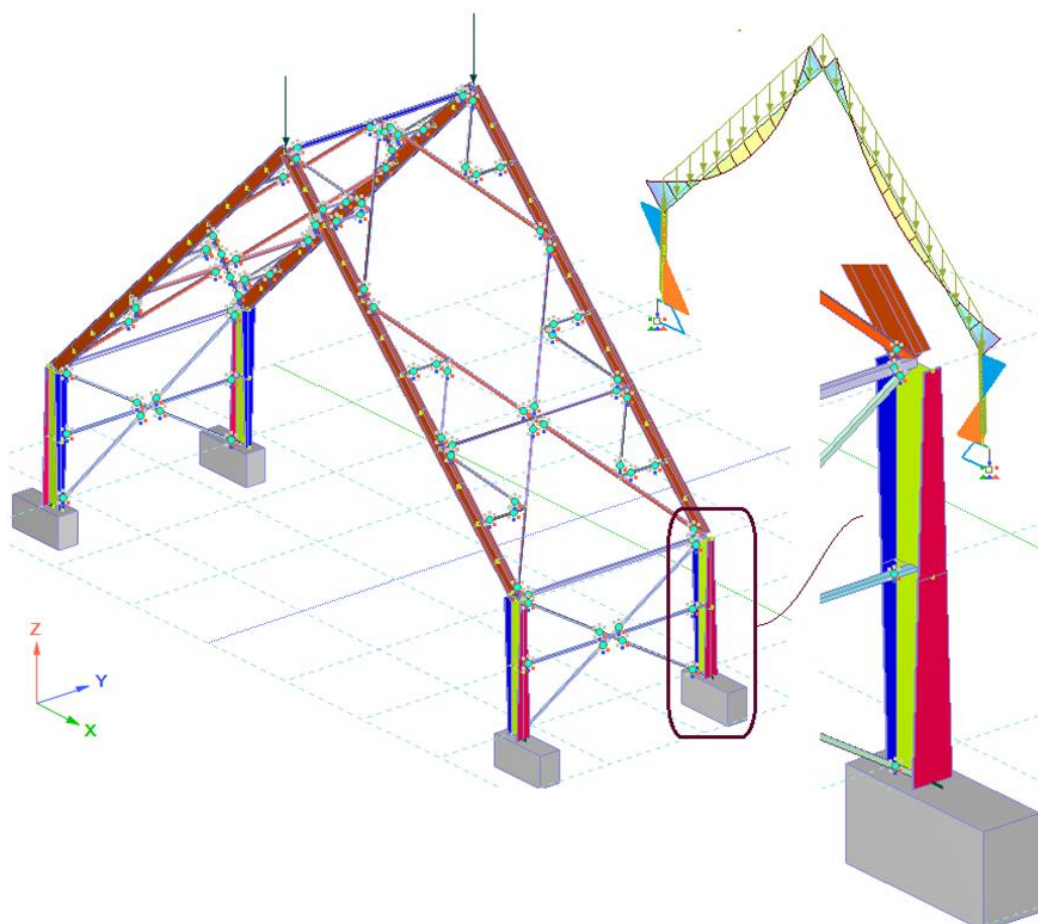


Рис. 9.17. Однопролётная двускатная рама с элементами переменного сечения. Стенка постоянного сечения, ширина поясов меняется по линейному закону

При моделировании стержня симметричного двутаврового или коробчатого сечения с высотой стенки, меняющейся по линейному закону, его ось следует задавать по биссектрисе угла, образованного гранями стенки, а размеры сечения определять по нормали к этой оси. Например, колонна переменного сечения с вертикальной наружной гранью в расчётной схеме моделируется наклонным стержнем.

При моделировании несимметричных двутавров с разными размерами полок и линейно изменяющейся высотой стенки следует иметь в виду, что его ось не является прямой линией, а имеет небольшую выпуклость в сторону большей полки. Программа при расчёте это учитывает.

Ранее традиционный подход к решению таких задач заключался в аппроксимации элементов переменного сечения стержневыми элементами постоянного сечения. Каждый элемент переменной жёсткости разбивался на малые участки, в пределах которых сечение принималось постоянным и равным сечению в середине рассматриваемого участка. Понятно, что уменьшение длины таких участков и увеличение их количества повышало точность расчёта.

Особенностью проектирования рамных конструкций переменного сечения является стремление максимально приблизить несущую способность элемента в каждом его сечении к усилиям, которые могут в нём возникнуть. При этом определяющим по максимальному коэффициенту использования несущей способности может оказаться любое сечение элемента, не обязательно совпадающее с максимальным по размеру или с местом максимальных усилий. Напряжения на различных участках элемента могут быть близки к предельным. Поэтому

развитие пластических деформаций для таких элементов не допускается, они всегда относятся к 1 классу по напряжённно-деформированному состоянию.

Основной проблемой при расчёте таких элементов в соответствии с нормами СНиП, СП, ДБН является определение расчётной длины при проверке общей устойчивости сжато-изогнутых элементов по изгибной и по изгибно-крутильной форме.

В ПК ЛИРА 10 реализован расчёт общей устойчивости элементов переменного сечения, исходя из предположения их переменной расчётной длины.

Критическая сила, вызывающая потерю устойчивости, по формуле Эйлера:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2}, \quad \text{откуда } l_{ef} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$$

Из данной формулы видно, что при переменной жёсткости  $EI$  рассматриваемого элемента его расчётная длина также является величиной переменной.

Соотношение расчётных длин в различных сечениях этого элемента выражается условием:

$$\frac{l_{efn}}{l_{efm}} = \sqrt{\frac{I_n}{I_m}} \quad (9.7)$$

Таким образом, каждое сечение такого элемента в расчётной схеме характеризуется не только своими размерами и усилиями, но и своей расчётной длиной.

Если известно значение расчётной длины элемента  $l_{efbas}$  (базовое) при определённом значении момента инерции  $I_{bas}$ , то расчётная длина элемента в любом другом месте с текущей координатой  $x$  (в местных осях стержня) может быть определена:

– при постоянной продольной силе  $N$  в пределах рассматриваемого элемента переменного сечения из формулы:

$$l_{efx} = l_{efbas} \sqrt{\frac{I_x}{I_{bas}}} \quad (9.8)$$

– для элементов, у которых сжимающая сила  $N$  изменяется по длине, отношение расчётных длин в различных сечениях элемента будет:

$$l_{efx} = l_{efbas} \sqrt{\frac{I_x N_{bas}}{I_{bas} N_x}} \quad (9.9)$$

Таким элементом, например, является наклонный ригель или балка, в которых скатная составляющая распределённых вертикальных нагрузок даёт непрерывное изменение продольной сжимающей силы  $N$  по длине элемента.

Анализ результатов расчётов, выполненных ранее традиционным способом с определением расчётных длин с помощью подсистемы **Устойчивость**, показал, что условие (9.9) выполняется практически с абсолютной точностью для всех элементов, участвующих в рассматриваемой форме потери устойчивости.

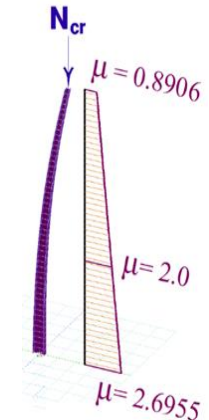


Рис. 9.18

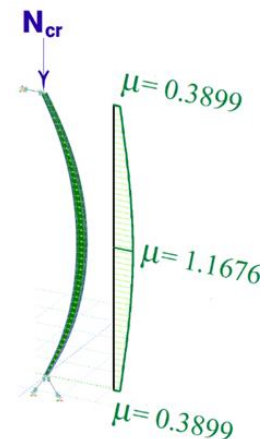




Рис. 9.19

## 9.5 СЕЧЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ, ДОСТУПНЫЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ИЛИ ПОДБОРА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В ПК ЛИРА 10 предусмотрены стали, включенные в указанные выше нормы проектирования. Сортамент сталей находится в редакторе материалов (вызывается с помощью команды **Редакторы** ⇒ **Редактор материалов** либо одноименной командой на вкладке ленты **Редакторы и конструирование**, либо щелчком на кнопке  на панели инструментов). Для выбора нужной стали необходимо в данном редакторе щелкнуть на кнопке **Материал из базы данных**, а затем в раскрывающемся списке выбрать элемент **Стальной прокат из базы данных**. После этого с помощью соответствующих раскрывающихся списков уточняются: нормативный документ, тип проката (листовой или фасонный) и марка (класс) стали.

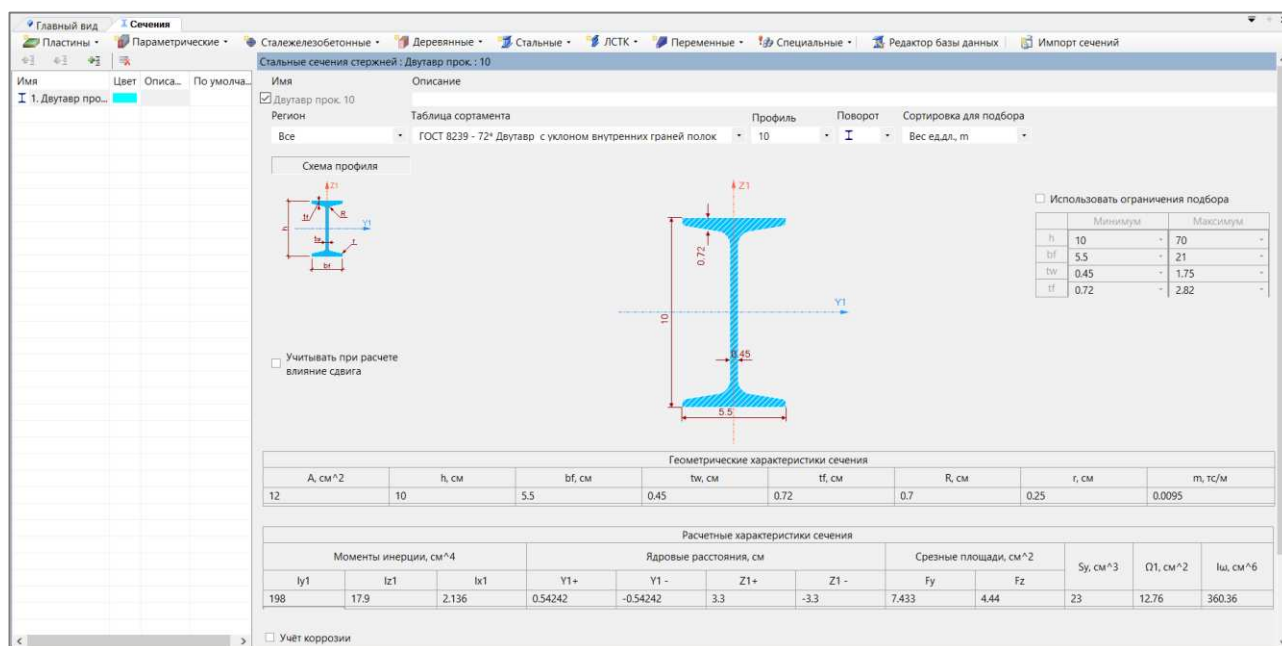
Для проверки или подбора стальных конструкций доступны: одиночные прокатные сечения различных сортов, сварные сечения из листовой стали, а также сплошные составные сечения из двух или четырех прокатных профилей.

Чтобы вызвать **Редактор сечений/жесткостей**, воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇒ **Редактор сечений/жесткостей** либо одноименной командой на вкладке ленты **Редакторы и конструирование**, либо кнопкой  на панели инструментов. В результате в окне главного вида отобразится вкладка **Сечения** (рис. 9.20).

Для доступа к списку стальных сечений нужно в редакторе сечений/жесткостей щелкнуть на кнопке **Стальные**.

В списке **Стальные** приведены раскрывающиеся списки одиночных прокатных, сварных, составных и спаренных сечений.

В правой части редактора сечений/жесткостей расположено окно **Параметров сечения**, в котором в соответствующих доступных полях ввода можно задавать и корректировать требуемый профиль и его ориентацию в расчетной схеме.



Скриншот редактора сечений/жесткостей. В центре экрана отображены параметры сечения двутавра прокат 10. Включены: схема профиля, таблица сортамента (ГОСТ 8239 - 72\*), геометрия сечения и таблица расчетных характеристик.

Геометрические характеристики сечения											
A, см <sup>2</sup>	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	r, см	m, т/м				
12	10	5.5	0.45	0.72	0.7	0.25	0.0095				

Расчетные характеристики сечения											
Моменты инерции, см <sup>4</sup>			Ядерные расстояния, см				Средние площади, см <sup>2</sup>		Sy, см <sup>3</sup>	Q1, см <sup>2</sup>	Ixx, см <sup>6</sup>
Iy1	Iz1	Ix1	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-	Fy	Fz			
198	17.9	2.136	0.54242	-0.54242	3.3	-3.3	7.433	4.44	23	12.76	360.36

Рис. 9.20. Редактор сечений/жесткостей

В окне **Параметров сечения** приведены таблицы с геометрическими и расчетными характеристиками сечения (заполняются программно и не подлежат корректировке). После выбора пользователем требуемого профиля и его ориентации в расчетной схеме выводится схематический эскиз сечения с указанием заданных размеров и расчетных характеристик сечения (рис. 9.20).

### 9.5.1 Одиночные прокатные сечения различных сортовентов

Одиночные прокатные сечения представлены стандартными типами сечений: двутавр, швеллер, коробка, уголок, тавр, труба, круг, квадрат, прямоугольник. Доступ к необходимому типу прокатного сечения осуществляется через раскрывающийся список кнопки **Стальные** (рис. 9.21).

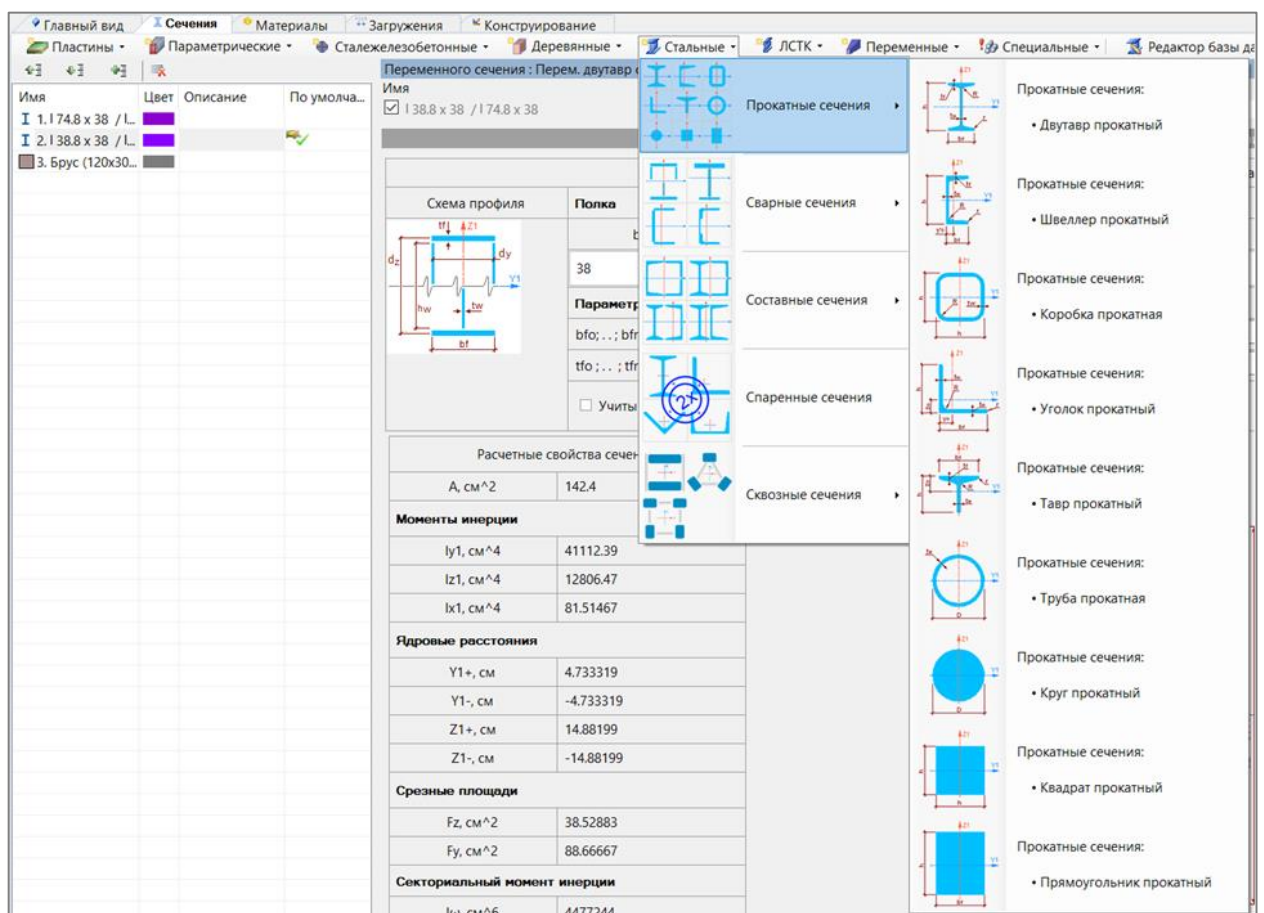


Рис. 9.21. Одиночные прокатные сечения

При щелчке мыши по выбранному типу прокатного сечения в левой части редактора сечений/жесткостей в **Таблице жесткостей** элементов появится новая запись, содержащая схематическое изображение, стандартное наименование, цвет и описание добавленного сечения. В правой части редактора сечений/жесткостей в окне **Параметров сечения** отобразятся стандартные параметры геометрии сечения, таблица с геометрическими и расчетными характеристиками, а также схематический эскиз сечения.

Для создания нового сечения из одиночного проката необходимо:

1. Выбрать нужный тип проката из раскрывающегося меню **Стальные**, например, прокатный двутавр (рис. 9.22).
2. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортаментов**.
3. Указать нужный **Профиль**.
4. Выбрать требуемую ориентацию профиля с помощью **Поворота** сечения.
5. Из раскрывающегося списка **Сортировка для подбора** выбрать параметры очередности подбора сечения.
6. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.
7. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора** и задать соответствующие параметры.
8. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
9. При необходимости скорректировать поля **Имя** и **Описание**, поместив туда нужную информацию.

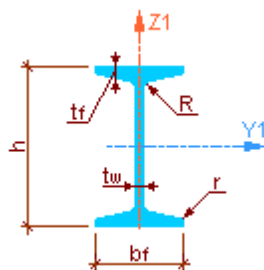


Рис. 9.22. Схема профиля Двутавр прокатный

После внесения указанных данных выводится схематический эскиз и таблицы с геометрическими и расчетными характеристиками выбранного сечения (рис. 9.23).

Стальные сечения стержней : Двутавр прок. : 10

Имя: Двутавр прок. 10 сог 0%  
 Описание: Таблица сортамента  
 Регион: Все  
 Профиль: ГОСТ 8239 - 72\* Двутавр с уклоном внутренних граней полок  
 Поворот: I  
 Сортировка для подбора: Вес едл. м

Схема профиля

Учитывать при расчете влияние сдвига

Использовать ограничения подбора

	Минимум	Максимум
h	10	70
bf	5.5	21
tw	0.45	1.75
tf	0.72	2.82

Геометрические характеристики сечения

A, см <sup>2</sup>	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	r, см	m, тс/м
12.048	10	5.5	0.45	0.72	0.7	0.25	0.0094578

Расчетные характеристики сечения

Моменты инерции, см <sup>4</sup>			Ядерные расстояния, см				Срезные площади, см <sup>2</sup>		S <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	Ω1, см <sup>2</sup>	I <sub>ω</sub> , см <sup>6</sup>
I <sub>y1</sub>	I <sub>z1</sub>	I <sub>x1</sub>	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>			
198.33	17.865	2.2072	0.53919	-0.53919	3.2923	-3.2923	5.9795	4.3933	23.021	12.519	380.42

Учет коррозии

Равномерная  
 в миллиметрах  
 в процентах от площади сечения

Неравномерная в миллиметрах  
 полка: 0 мм  
 стенка: 0 мм

Рис. 9.23. Окно параметров сечения Двутавр прокатный

Для типа сечения **Тавр прокатный** (рис. 9.24) предусмотрена возможность задания как стандартного таврового сечения, используя сортамент тавров, так и тавра любой допустимой высоты, получаемого путем разрезки исходного двутаврового профиля (рис. 9.25). Во втором случае высота тавра задается в процентном отношении к высоте исходного двутавра.

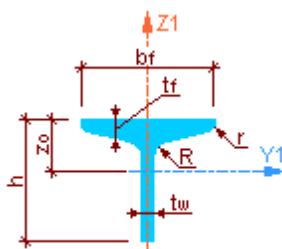


Рис. 9.24. Схема профиля **Тавр прокатный**

Стальные сечения стержней: Тавр прок.: 1/2 от двут. 10

Имя: Описание

1/2 от двут. 10

Регион: Таблица сортамента

Профиль: 1/2 от двут. 1

Поворот: T

Сортировка для подбора: Вес еддл. т

Схема профиля:  Использовать сортамент тавров  Использовать сортамент двутавров

Учитывать при расчете влияние сдвига

Использовать ограничения подбора

	Минимум	Максимум
h	5	27.5
bf	5.5	18
tw	0.45	1.1
tf	0.72	1.65

Геометрические характеристики сечения									
A, см <sup>2</sup>	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	r, см	m, тс/м	z <sub>0</sub> , см	
6.0441	5	5.5	0.45	0.72	0.7	0.025	0.0047446	1.1764	

Расчетные характеристики сечения													
Моменты инерции, см <sup>4</sup>			Ядровые расстояния, см				Средние площади, см <sup>2</sup>		Средние моменты инерции, см <sup>6</sup>				
I <sub>y1</sub>	I <sub>z1</sub>	I <sub>x1</sub>	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	S <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> верх, см <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> низ, см <sup>3</sup>	W <sub>z</sub> , см <sup>3</sup>	
11.2	9.0783	0.97715	0.54619	-0.54619	0.48463	-1.5752	6.6	0	3.267	9.5207	2.9291	3.3012	

Учет коррозии

Равномерная

в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерная в миллиметрах

полка 0 мм

стенка 0 мм

Рис. 9.25. Окно параметров сечения **Тавр прокатный**

Для типа сечения **Уголок прокатный** предусмотрена возможность ориентации профиля как в осях, параллельных полкам, так и в главных осях (только для равнополочных уголков), см. рис. 9.26.

## 9.5.2 Сварные сечения из листовой стали

Сварные сечения из листовой стали представлены такими типами сечений: двутавр сварной симметричный, коробка сварная симметричная, двутавр сварной несимметричный, швеллер сварной, швеллер сварной из листа и уголков, тавр сварной.

Для доступа к списку сварных сечений из листовой стали нужно в редакторе сечений/жесткостей щелкнуть на кнопке **Стальные**, а затем в раскрывающемся меню **Сварные сечения** выбрать требуемый элемент (рис. 9.27).

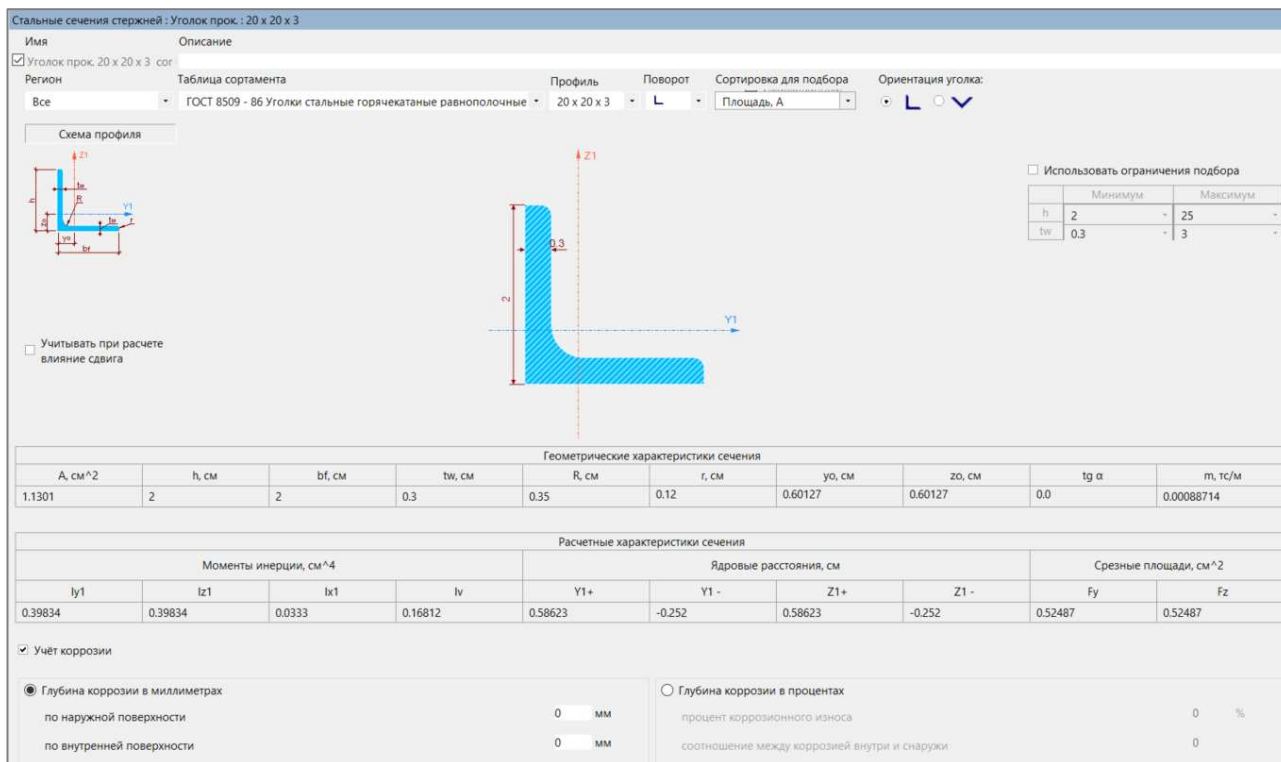


Рис. 9.26. Окно параметров сечения **Уголок прокатный**. Ориентация в осях, параллельных полке

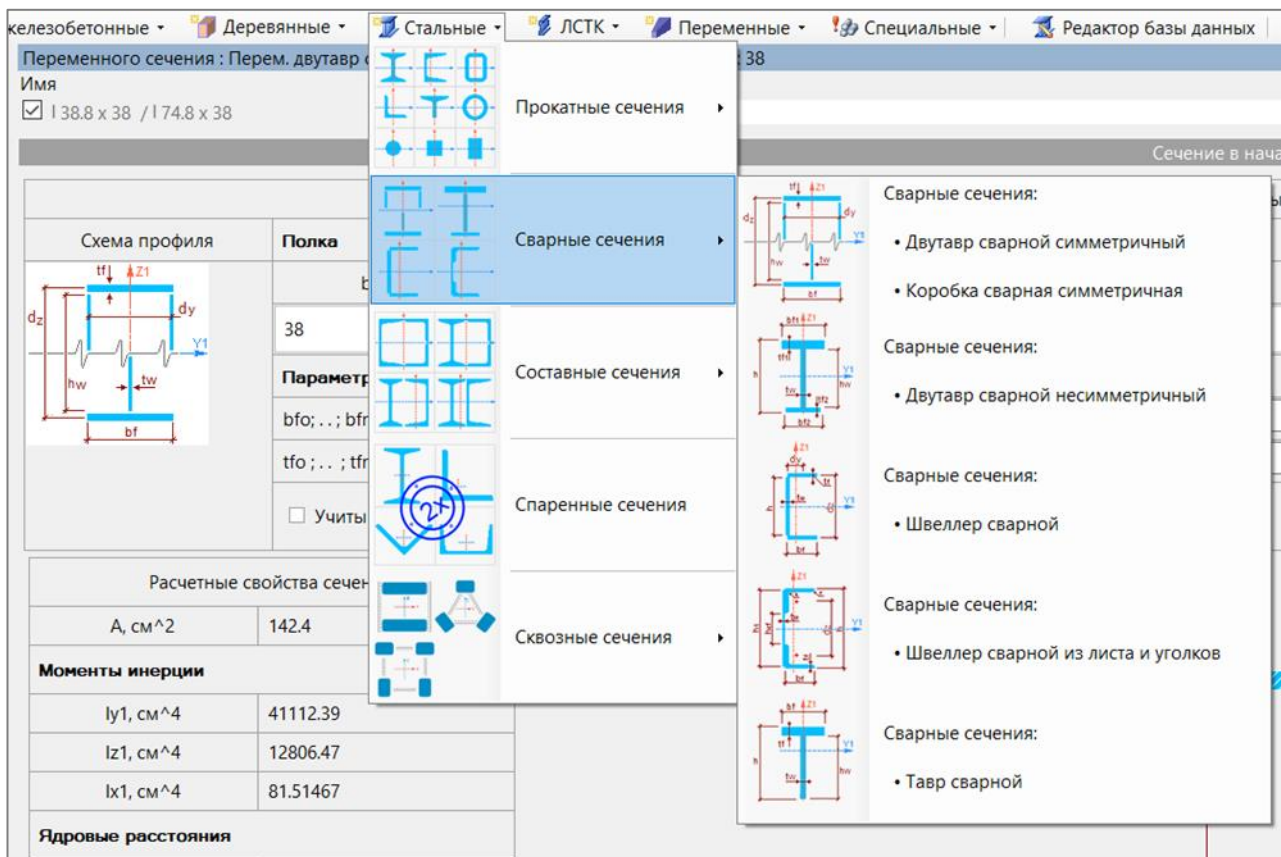


Рис. 9.27. Список сварных сечений из листовой стали



## Двутавр сварной симметричный

Для создания нового сечения **Двутавр сварной симметричный** (рис. 9.28) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Сварные сечения**, а затем щелчком мыши выберите элемент **Сварные сечения: Двутавр сварной симметричный / Коробка сварная симметричная**.

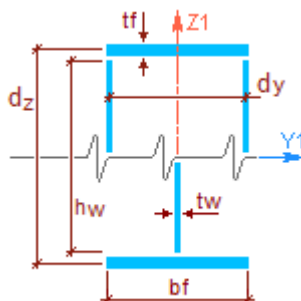



Рис. 9.28. Схема профиля **Двутавр сварной симметричный / Коробка сварная симметричная**

В окне параметров сечения **Двутавр сварной симметричный** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Задать геометрические параметры полки:
  - **bf** (см) — ширина полки;
  - **tf** (см) — толщина полки;
  - **dz** (см) — расстояние между осями симметрии полок (значение можно задавать как в численном виде, так и формулой).
2. Задать геометрические параметры стенки:
  - **hw** (см) — высота стенки;
  - **tw** (см) — толщина стенки;
  - **dy** — расстояние между осями симметрии стенок. Для двутавра, стенка которого идет вдоль местной оси  $Z_1$ , эта величина задается равной нулю.
3. Выбрать ориентацию сечения — реализуется с помощью изменения значений **dy** и **dz** (если задать **dz** = 0, а **dy** ≠ 0, двутавр будет ориентирован вдоль оси  $Y_1$ ).
4. Задать **Параметры подбора** сечения — ряд значений, которые может принимать рассматриваемый размер **bfo;...; tfo;...; hwo;...; two;...**. Программа проанализирует все возможные комбинации заданных размеров и выполнит подбор минимального допустимого сечения.
5. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.
6. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**, поместив туда необходимую информацию.

 Редактировать значение **dz** и **dy** можно нажатием сочетания клавиш **CTRL + пробел**, после чего открывается список параметров сечения (рис. 9.29).

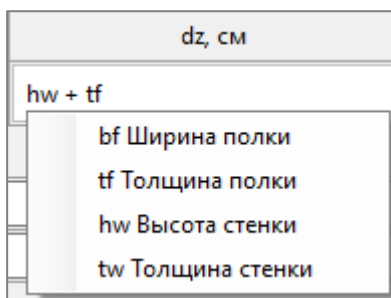



Рис. 9.29. Список параметров сечения

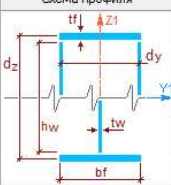
После задания всех указанных параметров сечения выводится его схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными характеристиками сварного симметричного двутавра (рис. 9.30).

 В случае ввода некорректных исходных данных или геометрических характеристик сечения (существование разрывов между листами стали, нарушение ограничений и т.п.) система выполнит проверку и выведет предупреждение о недопустимых геометрических параметрах и ограничениях.

Стальные сечения стержней : I 33 x 20

Имя Описание

I 33 x 20

Схема профиля	Полка			Стенка		
	bf, см	tf, см	dz, см	hw, см	tw, см	dy, см
	20	1.5	hw + tf	30	1	0

**Параметры подбора**

bfo : ... : bfn	hwo : ... : hwn
tfo : ... : tfn	two : ... : twn

Учитывать при расчете влияние сдвига

Учёт коррозии

Равномерный

в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерный в миллиметрах

полка 0 мм

стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	90
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	17145
Iz1, см <sup>4</sup>	2002.5
k1, см <sup>4</sup>	55
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	2.225
Y1-, см	2.225
Z1+, см	11.545
Z1-, см	11.545
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	32.566
Fy, см <sup>2</sup>	50
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	4.9613E+05
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	157.5

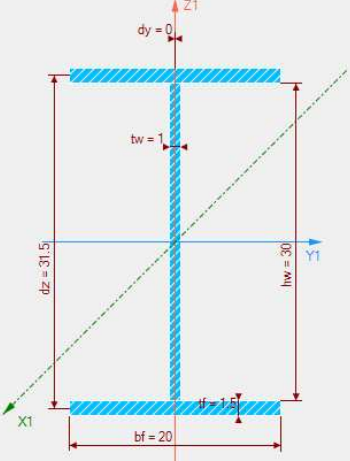



Рис. 9.30. Окно параметров сечения Двутавр сварной симметричный

## Коробка сварная симметричная

Для создания нового сечения **Коробка сварная симметричная** (рис. 9.31) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Сварные сечения**, а затем щелчком мыши выберите элемент **Сварные сечения: Двутавр сварной симметричный / Коробка сварная симметричная** (рис. 9.27) аналогично указаниям, изложенным выше (для двутавра сварного симметричного).

Для коробки сварной симметричной необходимо указать как значение **dz**, так и **dy** — расстояние между осями симметрии стенок коробки (значение можно задавать как в численном виде, так и формулой).

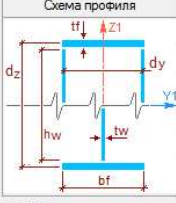
 В случае ввода некорректных исходных данных или геометрических характеристик сечения (существование разрывов между листами стали, нарушение ограничений и т.п.) система выполнит проверку и выведет предупреждение о недопустимых геометрических параметрах и ограничениях.

Стальные сечения стержней : : 133 x 20

Имя Описание

133 x 20

Параметры сечения

Схема профиля	Полка			Стенка		
	bf, см	tf, см	dz, см	hw, см	tw, см	dy, см
	20	1.5	hw + tf	30	1	15

Параметры подбора

bfo; ...; bfn	hwo; ...; hwn
tfo; ...; tfn	two; ...; twn

Учитывать при расчете влияние сдвига

Учет коррозии

Равномерный

в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерный в миллиметрах

полка 0 мм

стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения

A, см <sup>2</sup>	120
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	19395
Iz1, см <sup>4</sup>	5380
Ix1, см <sup>4</sup>	10759
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	4.4833
Y1-, см	4.4833
Z1+, см	9.7955
Z1-, см	9.7955
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	55
Fy, см <sup>2</sup>	50
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iw, см <sup>6</sup>	1.3542E+05
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	0

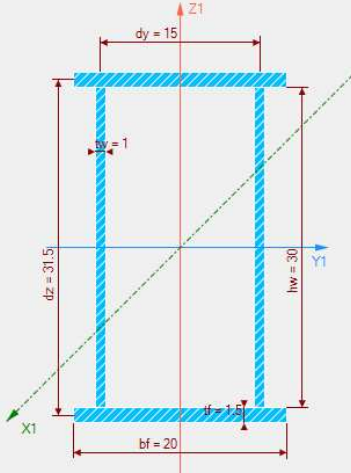


Рис. 9.31. Окно параметров сечения **Коробка сварная симметричная**

### Двутавр сварной несимметричный

Для создания нового сечения **Двутавр сварной несимметричный** (рис. 9.32) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇨ **Сварные сечения**, а затем щелчком мыши выберите элемент **Сварные сечения: Двутавр сварной несимметричный** (рис. 9.27).

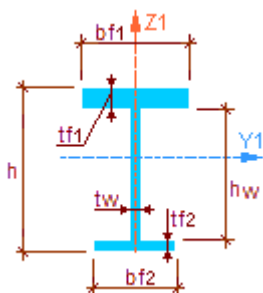


Рис. 9.32. Схема профиля **Двутавр сварной несимметричный**

В окне параметров сечения **Двутавр сварной несимметричный** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Задать геометрические параметры полок:
  - **bf1** (см) — ширина верхней полки;
  - **tf1** (см) — толщина верхней полки;
  - **bf2** (см) — ширина нижней полки;
  - **tf2** (см) — толщина нижней полки.
2. Задать геометрические параметры стенки:
  - **hw** (см) — высота стенки;
  - **tw** (см) — толщина стенки.
3. Выбрать ориентацию с помощью **Поворота** сечения.
4. При необходимости задать **Параметры подбора** для дальнейшего конструирования сечения (расчета конструкций) — задается ряд значений **bf1o;...; tf1o;...; bf2o;...; tf2o;...; hwo;...; two;...;** из которого программа выполнит подбор.
5. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.
6. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После задания всех указанных параметров выводится схематический эскиз заданного сечения и обновляется таблица с расчетными характеристиками сварного несимметричного двутавра (рис. 9.33).

Схема профиля		Полка				Стенка	
		bf1, см	tf1, см	bf2, см	tf2, см	hw, см	tw, см
		20	2.5	15	1.5	25	1
<b>Параметры подбора</b>							
bf1o ; ... ; bf1n		bf2o ; ... ; bf2n		hwo ; ... ; hwn			
tf1o ; ... ; tf1n		tf2o ; ... ; tf2n		tvo ; ... ; twn			
<input type="checkbox"/> Учитывать при расчете влияние сдвига						Поворот	I
<input type="checkbox"/> Учёт коррозии							
Равномерный <input checked="" type="radio"/> в миллиметрах      0 мм <input type="radio"/> в процентах от площади сечения      0 %				Неравномерный в миллиметрах полка      0 мм стенка      0 мм			
<b>Расчетные свойства сечения</b>							
A, см <sup>2</sup>		97.5					
<b>Моменты инерции</b>							
Iy1, см <sup>4</sup>		13181					
Iz1, см <sup>4</sup>		2090.6					
Iy1, см <sup>4</sup>		161.72					
<b>Ядровые расстояния</b>							
Y1+, см		2.1442					
Y1-, см		2.1442					
Z1+, см		12.282					
Z1-, см		7.513					
<b>Срезные площади</b>							
Fz, см <sup>2</sup>		26.168					
Fy, см <sup>2</sup>		60.417					
<b>Секториальный момент инерции</b>							
Iw, см <sup>6</sup>		2.4518E+05					
<b>Статический момент полусечения</b>							
Sy, см <sup>3</sup>		524					
<b>Секториальная площадь</b>							
Ω1, см <sup>2</sup>		54.539					
Ω2, см <sup>2</sup>		161.6					

Рис. 9.33. Окно параметров сечения Двутавр сварной несимметричный

## Швеллер сварной

Для создания нового сечения **Швеллер сварной** (рис. 9.34) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇨ **Сварные сечения**, а затем щелчком мыши выберите элемент **Сварные сечения: Швеллер сварной** (рис. 9.27).

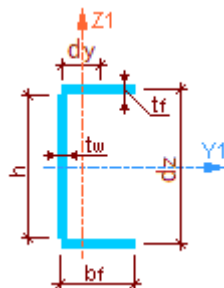


Рис. 9.34. Схема профиля Швеллер сварной

В окне параметров сечения **Швеллер сварной** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Задать геометрические параметры полок:

- **bf** (см) — ширина полок;
- **tf** (см) — толщина полок;
- **dy** (см) — расстояние от середины полки до оси симметрии стенки.

2. Задать геометрические параметры стенки:

- **h** (см) — высота стенки;
- **tw** (см) — толщина стенки;
- **dz** (см) — расстояние между осями симметрии полок.

3. Выбрать требуемую ориентацию профиля с помощью **Поворота сечения**.

4. При необходимости задать **Параметры подбора** для дальнейшего конструирования сечения (расчета конструкций) — задается ряд значений **bf10;...; tf10;...; ho;...; two;...;** из которого программа выполнит подбор.

5. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.

6. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).

7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После задания всех указанных параметров выводится схематический эскиз заданного сечения и обновляется таблица с расчетными характеристиками сварного швеллера (рис. 9.35).


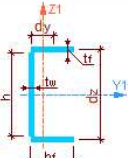
 В случае ввода некорректных исходных данных или геометрических характеристик сечения (существование разрывов между листами стали, нарушение ограничений и т.п.) система выполнит проверку и выведет предупреждение о недопустимых геометрических параметрах и ограничениях.

Схема профиля	Полка			Стенка		
	bf, см	tf, см	dy, см	h, см	tw, см	dz, см
	10	0.8	5	20	0.6	20.8
<b>Параметры подбора</b>						
bfo : : : bfn			ho : : : hn			
tfo : : : tfn			two : : : twn			
<input type="checkbox"/> Учитывать при расчете влияние сдвига						Поворот: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</span>

<input type="checkbox"/> Учёт коррозии	
Равномерный <input checked="" type="radio"/> в миллиметрах <input type="radio"/> в процентах от площади сечения	0 мм 0 %
<input type="radio"/> Неравномерный в миллиметрах	полка: 0 мм стенка: 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	28
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	2131.4
Iz1, см <sup>4</sup>	305.12
Ix1, см <sup>4</sup>	5.4357
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1.5256
Y1-, см	3.4516
Z1+, см	7.0483
Z1-, см	7.0483
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	12
Fy, см <sup>2</sup>	16
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iw, см <sup>6</sup>	22545
<b>Статический момент полусечения</b>	
Sy, см <sup>3</sup>	113.2
Sz, см <sup>3</sup>	87.464
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	42.241
Ω2, см <sup>2</sup>	61.759

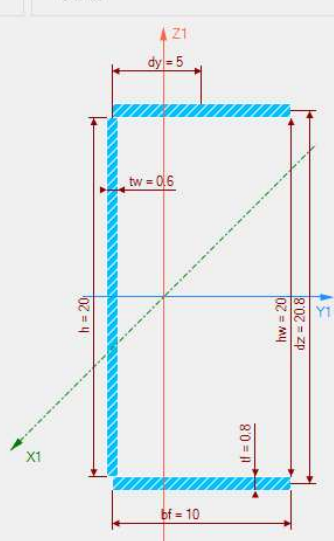
  


Рис. 9.35. Окно параметров сечения Швеллер сварной

## Швеллер сварной из листа и уголков

Для создания нового сечения **Швеллер сварной из листа и уголков** (рис. 9.36) и доступа к его параметрам в **Редакторе сечений/жесткостей** перейдите в **Стальные** ⇒ **Сварные сечения**, а затем щелчком мыши выберите элемент **Сварные сечения: Швеллер сварной из листа и уголков** (рис. 9.27).

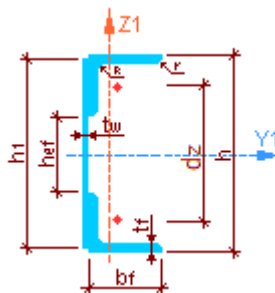


Рис. 9.36. Схема профиля **Швеллер сварной из листа и уголков**

В окне параметров сечения **Швеллер сварной из листа и уголков** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament уголков (равнополочные / неравнополочные) из **Таблицы сортamentов**.

2. Указать нужный **Профиль**.

3. Выбрать требуемую ориентацию профиля с помощью **Поворота сечения**.

4. Задать геометрические параметры стенки:

- **h** (см) — высота стенки;
- **tw** (см) — толщина стенки.

5. При необходимости задать **Параметры подбора** для дальнейшего конструирования сечения (расчета конструкций) — задается ряд значений **ho;...;**, **two;...;**, из которого программа выполнит подбор.

6. При использовании сортамента неравнополочных уголков необходимо указать **Ориентацию уголка** относительно стенки швеллера.

7. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.

8. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, указав при этом значения максимальной высоты и ширины сечения.

9. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).

10. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами сварного швеллера из листа и уголков (рис. 9.37).

Стальные сечения стержней : Швеллер из угол. 2.2 x 6.4

Имя Описание

Швеллер из угол. 2.2 x 6.4

Параметры сечения

Схема профиля	Пояс	Стенка
	Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные
	Профиль	20 x 20 x 3
	Поворот	C
<input type="checkbox"/> Учитывать при расчете влияние сдвига		Параметры подбора ho ; ... ; hn two ; ... ; twn

Использовать ограничения подбора Максимальная высота сечения 0 см Максимальная ширина сечения 0 см

Учет коррозии

Равномерная  
 в миллиметрах 0 мм  
 в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерная в миллиметрах  
 полка 0 мм  
 стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	3.46
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	19.661
Iz1, см <sup>4</sup>	1.1862
Ix1, см <sup>4</sup>	0.20615
<b>Ядерные расстояния</b>	
Y1+, см	0.61441
Y1-, см	-0.20878
Z1+, см	1.7757
Z1-, см	-1.7757
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	1.8238
Fy, см <sup>2</sup>	1.6362
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iw, см <sup>6</sup>	8.081
<b>Статический момент полусечения</b>	
Sy, см <sup>3</sup>	3.838
Sz, см <sup>3</sup>	0.77321
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	1.6131
Ω2, см <sup>2</sup>	4.3011

Рис. 9.37. Окно параметров сечения Швеллер сварной из листа и уголков

### Тавр сварной

Для создания нового сечения **Тавр сварной** (рис. 9.38) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Сварные сечения**, затем щелчком мыши выберите элемент **Сварные сечения: Тавр сварной** (рис. 9.27).

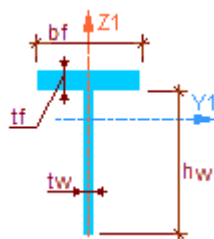


Рис. 9.38. Схема профиля Тавр сварной



В окне параметров сечения **Тавр сварной** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Задать геометрические параметры полки:
  - **bf** (см) — ширина полки;
  - **tf** (см) — толщина полки;
2. Задать геометрические параметры стенки:
  - **hw** (см) — высота стенки;
  - **tw** (см) — толщина стенки;
3. Выбрать ориентацию с помощью **Поворота** сечения.
4. При необходимости задать **Параметры подбора** для дальнейшего конструирования сечения (расчета конструкций) — задается ряд значений **bfo;...; tfo;...; hwo;...; two;...;** из которого программа выполнит подбор.
5. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.
6. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После задания всех указанных параметров выводится схематический эскиз заданного сечения и обновляется таблица с расчетными характеристиками сварного несимметричного тавра (рис. 9.39).

Стальные сечения стержней : | 27.5 x 20

Имя Описание

| 27.5 x 20

Параметры сечения				
Схема профиля	Полка		Стенка	
	bf, см	tf, см	hw, см	tw, см
	20	2.5	25	1
<b>Параметры подбора</b>				
	bfo ; ... ; bfn		hwo ; ... ; hwn	
	tfo ; ... ; tfn		two ; ... ; twn	
<input type="checkbox"/> Учитывать при расчете влияние сдвига			Поворот	T

Учет коррозии

Равномерный

в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерный в миллиметрах

полка 0 мм

стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	75
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	4479.2
Iz1, см <sup>4</sup>	1668.8
Ix1, см <sup>4</sup>	135
<b>Линейные расстояния</b>	
Y1+, см	2.225
Y1-, см	-2.225
Z1+, см	2.7564
Z1-, см	-10.238
<b>Средние площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	24.698
Fy, см <sup>2</sup>	45.643
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iw, см <sup>6</sup>	1370.5
<b>Статический момент полусечения</b>	
Sy, см <sup>3</sup>	234.72
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	0
Ω2, см <sup>2</sup>	0

Рис. 9.39. Окно параметров сечения **Тавр сварной**

### 9.5.3 Спаренные сечения

Сплошные составные сечения из двух или четырех прокатных профилей представлены такими типами сечений: тавр из двух уголков, крест из двух уголков, коробка из двух двутавров, коробка из двух швеллеров, коробка из двух или четырех уголков, швеллер из двух уголков.

Для доступа к списку сплошных составных сечений из двух или четырех прокатных профилей нужно в редакторе сечений/жесткостей щелкнуть на кнопке **Стальные**, в раскрывающемся меню выбрать элемент **Спаренные сечения** (рис. 9.27).

По умолчанию создается новое сечение **Коробка из двутавров**, а при щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню со списком базовых профилей, из которых можно создавать сечение из двух или четырех прокатных профилей (рис. 9.40).

При наведении курсора на один из профилей раскрывается подменю, позволяющее выбрать ориентацию базового профиля относительно главных осей  $Z_1OY_1$  (рис. 9.40).

Переход непосредственно к необходимому типу сечения осуществляется щелчком мыши по выбранному элементу списка.

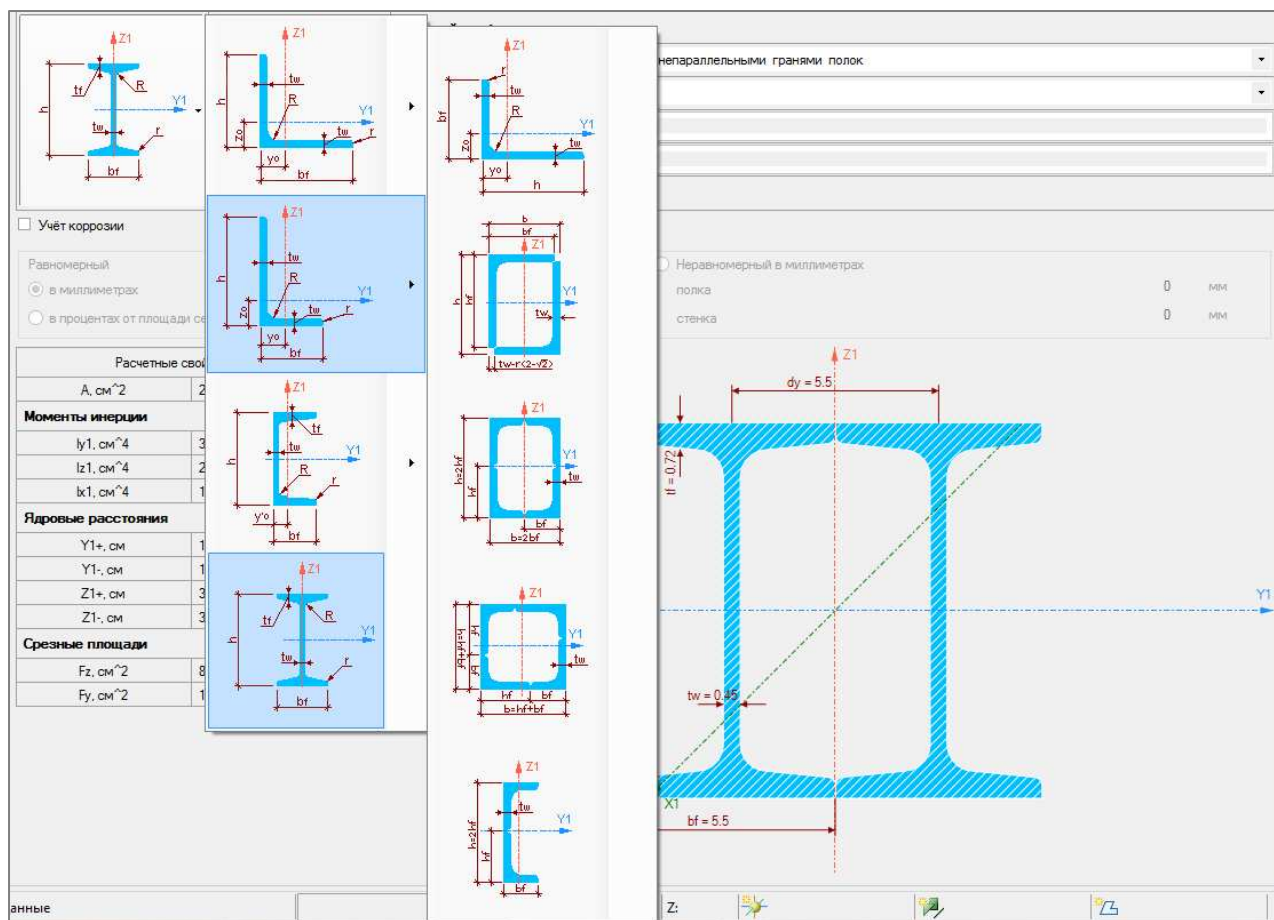


Рис. 9.40. Список спаренных сечений

## Спаренные сечения из двутавра

### Коробка из двутавров

Для создания нового сечения Коробка из двутавров и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню — выберите в нем щелчком мыши элемент **Спаренные сечения из двутавра** (рис. 9.41).

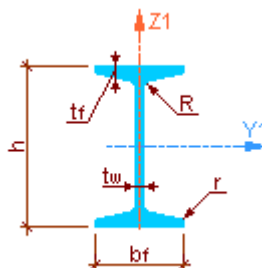


Рис. 9.41. Схема базового профиля **Спаренные сечения из двутавра**

В окне параметров сечения **Коробка из двутавров** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** (рис. 9.43).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Установить в необходимое положение переключатель расположения базовых двутавров относительно главных осей спаренного сечения (рис. 9.42).
4. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
5. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

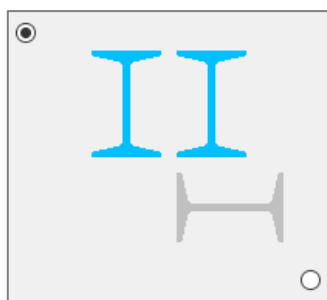


Рис. 9.42. Переключатель расположения базовых двутавров относительно главных осей

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двух прокатных двутавров (рис. 9.44).

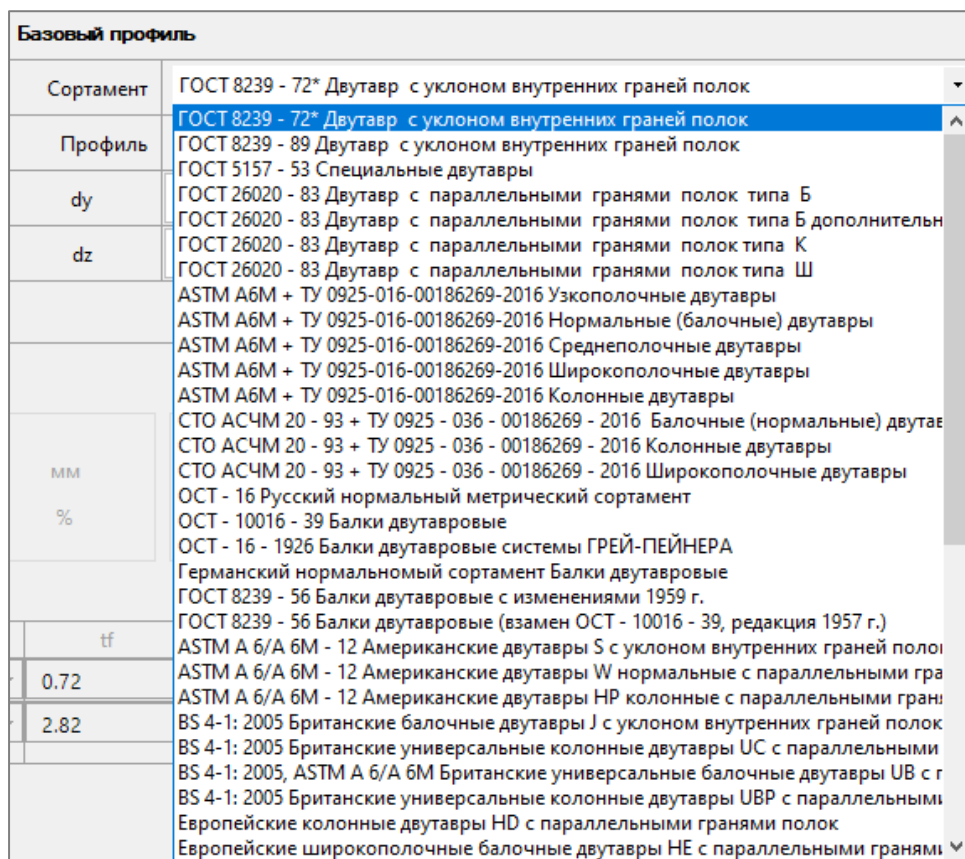


Рис. 9.43. Сортамент двутавров

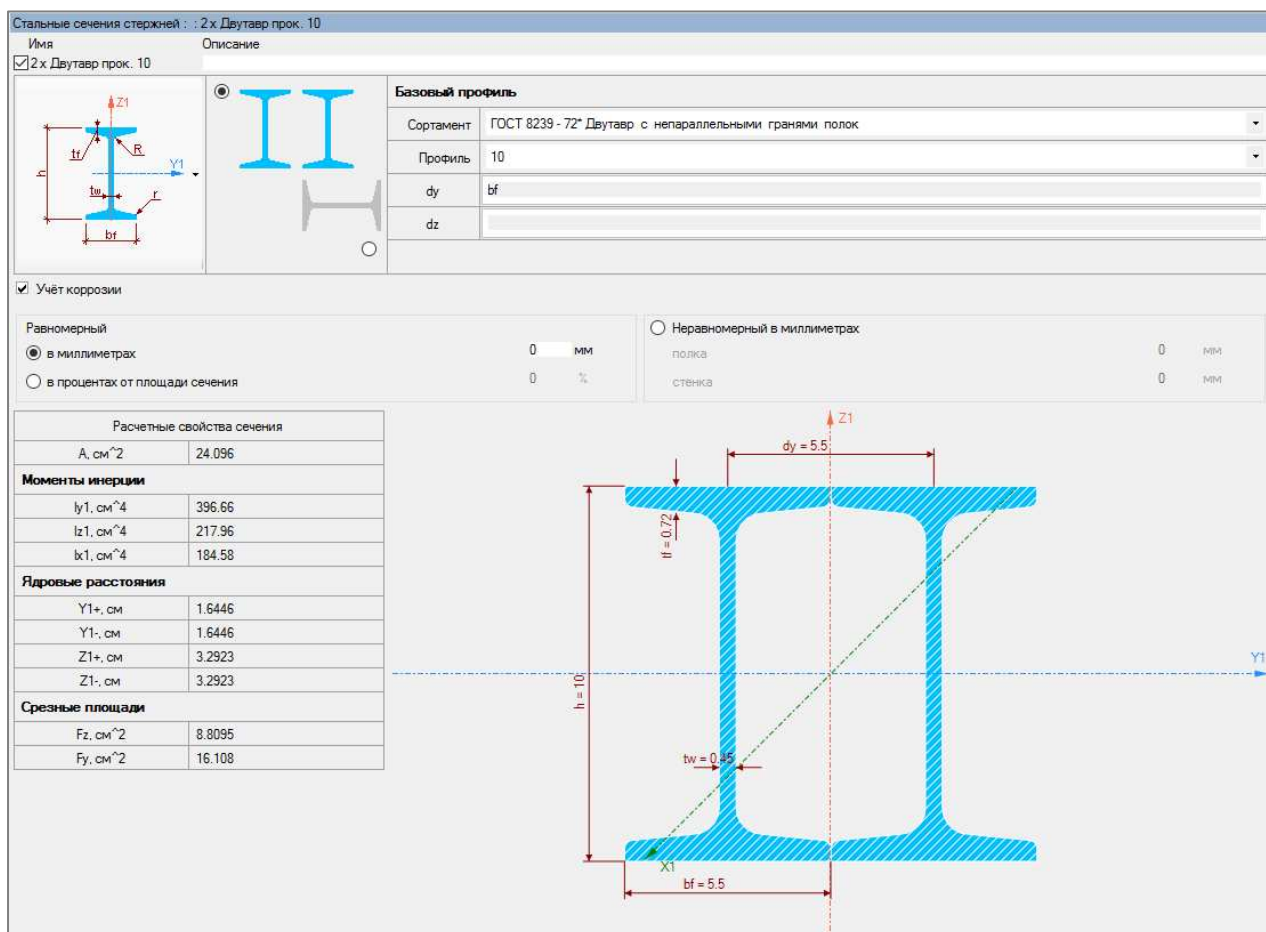


Рис. 9.44. Окно параметров сечения Коробка из двутавров

### Спаренные сечения из равнополочного уголка

Спаренные сечения из базового профиля равнополочного прокатного уголка представлены такими типами сечений: тавр из двух уголков, крест из двух уголков, коробка из двух уголков, коробка из четырех уголков, швеллер из двух уголков (рис. 9.45).

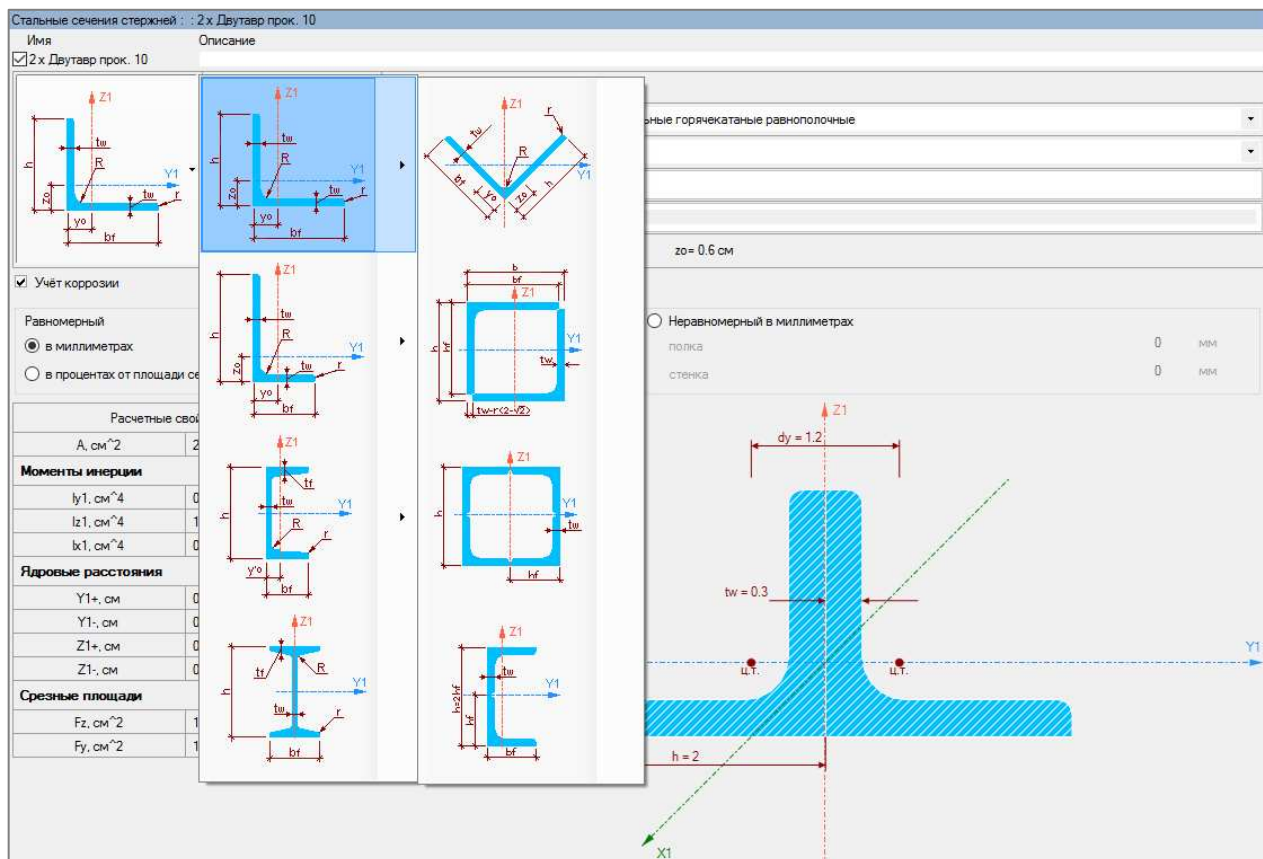


Рис. 9.45. Список спаренных сечений из базового профиля **Равнополочный уголок**

### Тавр из равнополочных уголков или крест из равнополочных уголков, ориентированных параллельно полкам

Для создания нового сечения **Тавр из двух равнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню — выберите в нем щелчком мыши элемент **Спаренные сечения из равнополочного уголка** (рис. 9.46).

В окне параметров сечения **Тавр из равнополочных уголков** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов**.
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Установить в необходимое положение переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения (рис. 9.47).
4. Скорректировать параметры базового профиля:
  - **dy** — расстояние между главными осями Z базовых уголков;
  - **dz** — расстояние между главными осями Y базовых уголков.

5. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).

6. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.

7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

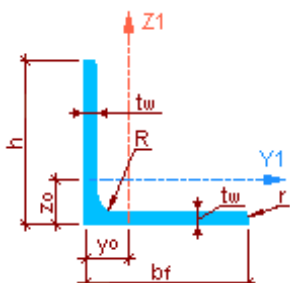


Рис. 9.46. Схема базового профиля  
Спаренные сечения из равнополочного  
уголка

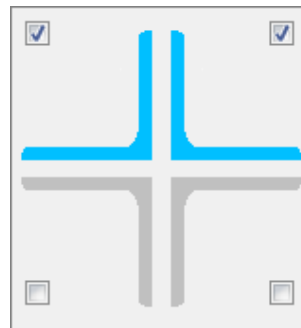




Рис. 9.47. Переключатель расположения  
базовых уголков относительно главных осей  
спаренного сечения

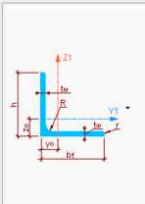
 Редактировать значение  $dz$  и  $dy$  можно нажатием сочетания клавиш **CTRL + пробел**, после чего откроется список параметров сечения (рис. 9.48).

dy	2 * zo
dz	zo Привязка центра тяжести относительно внешней грани полки
	h Длина полки
	r Радиус
y	R Радиус сопряжения стенки с полкой
	tw Толщина стенки
	yo Привязка центра тяжести относительно внешней грани полки

Рис. 9.48. Список параметров сечения

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составного тавра из двух равнополочных прокатных уголков (рис. 9.49).

 Для создания сечения **Крест из равнополочных уголков, ориентированных параллельно полкам** (рис. 9.50), необходимо установить переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения в положение 1-я и 3-я четверть или 2-я и 4-я четверть (рис. 9.47).



**Базовый профиль**

Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные	
Профиль	45 x 45 x 3	
dy	2 * zo	
dz		
yo = 1.21 см		zo = 1.21 см

Учёт коррозии

Равномерная

в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерная в миллиметрах

полка 0 мм

стенка 0 мм

Использовать ограничения подбора

	h	tw
Минимум	2.5	0.3
Максимум	20	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	5.3025
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	10.26
Iz1, см <sup>4</sup>	18.023
Ix1, см <sup>4</sup>	0.1566
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	0.75606
Y1-, см	-0.75606
Z1+, см	1.6052
Z1-, см	-0.58731
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	2.2927
Fy, см <sup>2</sup>	2.5653

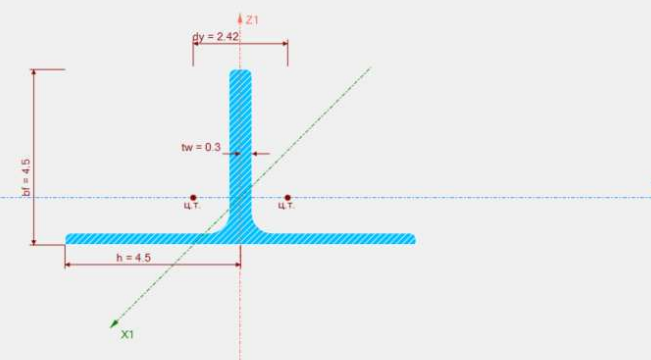
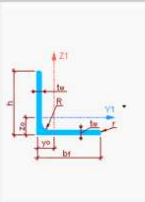


Рис. 9.49. Окно параметров сечения **Тавр** из равнополочных уголков



**Базовый профиль**

Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные	
Профиль	45 x 45 x 3	
dy	2 * zo	
dz	2 * zo	
yo = 1.21 см		zo = 1.21 см

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности 0 мм

по внутренней поверхности 0 мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа 0 %

соотношение между коррозией внутри и снаружи 0

Использовать ограничения подбора

	h	tw
Минимум	2.5	0.3
Максимум	20	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	5.3025
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	18.072
Iz1, см <sup>4</sup>	18.072
Ix1, см <sup>4</sup>	0.1566
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	0.75738
Y1-, см	-0.75738
Z1+, см	0.75738
Z1-, см	-0.75738
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	2.61
Fy, см <sup>2</sup>	2.61

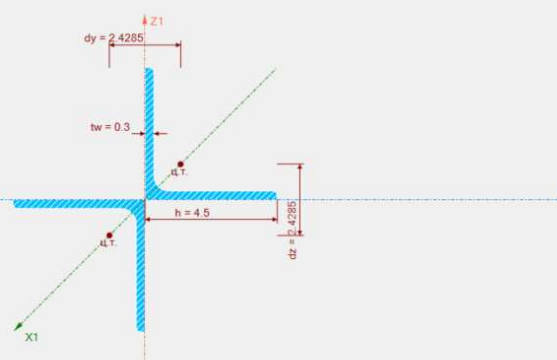


Рис. 9.50. Окно параметров сечения **Крест** из равнополочных уголков, ориентированных параллельно полкам

### Крест из равнополочных уголков, ориентированных по главным осям

Для создания нового сечения **Крест из двух равнополочных уголков, ориентированных по главным осям** (рис. 9.51) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные ⇒ Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.45), где нужно выбрать элемент **Спаренные сечения из равнополочного уголка** и необходимую ориентацию базового профиля относительно главных осей  $ZoY$ .

В окне параметров сечения **Крест из равнополочных уголков, ориентированных по главным осям** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортаментов**.
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Установить в необходимое положение переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения (рис. 9.52).
4. Скорректировать параметры базового профиля:
  - **dy** — расстояние между главными осями  $Z$  базовых уголков;
  - **dz** — расстояние между главными осями  $Y$  базовых уголков.
5. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
6. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

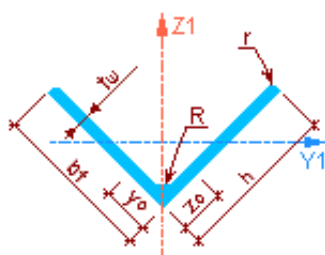


Рис. 9.51.1 Схема базового профиля **Спаренные сечения из равнополочного уголка**

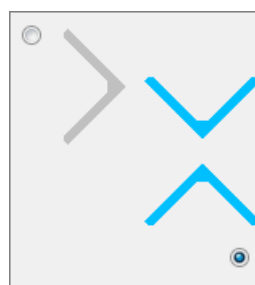
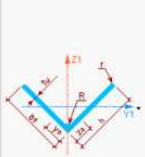


Рис. 9.52 Переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составного креста из двух равнополочных прокатных уголков (рис. 9.53).





Базовый профиль	
Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные
Профиль	20 x 20 x 3
dy	
dz	2.82843 * zo
yo = 0.6 см	zo = 0.6 см

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности: 0 мм

по внутренней поверхности: 0 мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа: -0.0099 %

соотношение между коррозией внутри и снаружи: 0

Использовать ограничения подбора

	h	tw
Минимум	2	0.3
Максимум	25	3

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	2.2602
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	1.9705
Iz1, см <sup>4</sup>	0.33624
Ix1, см <sup>4</sup>	0.0666
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	0.10519
Y1-, см	-0.10519
Z1+, см	0.55348
Z1-, см	-0.55348
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	1.11
Fy, см <sup>2</sup>	1.11

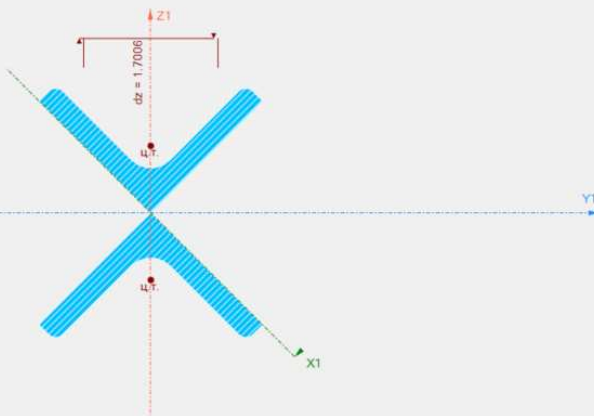
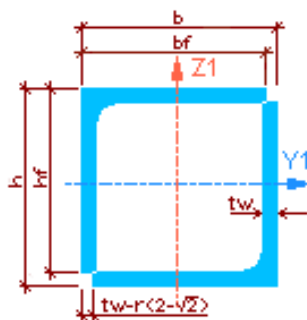
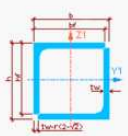


Рис. 9.53. Окно параметров сечения **Крест из равнополочных уголков**

### Коробка из двух равнополочных уголков

Для создания нового сечения **Коробка из двух равнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇨ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.45). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из равнополочного уголка** и щелчком мыши перейдите на элемент **Коробка из двух равнополочных уголков** (рис. 9.54).

Рис. 9.54. Схема профиля **Коробка из двух равнополочных уголков**



**Базовый профиль**

Сортамент	ГОСТ 8509 - 93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные
Профиль	20 x 20 x 4
dy	
dz	

Учет коррозии
 

Глубина коррозии в миллиметрах  
 по наружной поверхности  мм  
 по внутренней поверхности  мм

Глубина коррозии в процентах  
 процент коррозионного износа  %  
 соотношение между коррозией внутри и снаружи

Использовать ограничения подбора
 

	h	tw
Минимум	2	0.3
Максимум	25	3.5

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	2.9202
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	1.8026
Iz1, см <sup>4</sup>	1.8026
Ix1, см <sup>4</sup>	2.8743
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	0.52992
Y1-, см	-0.52992
Z1+, см	0.52992
Z1-, см	-0.52992
<b>Средние площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	1.7221
Fy, см <sup>2</sup>	1.7221

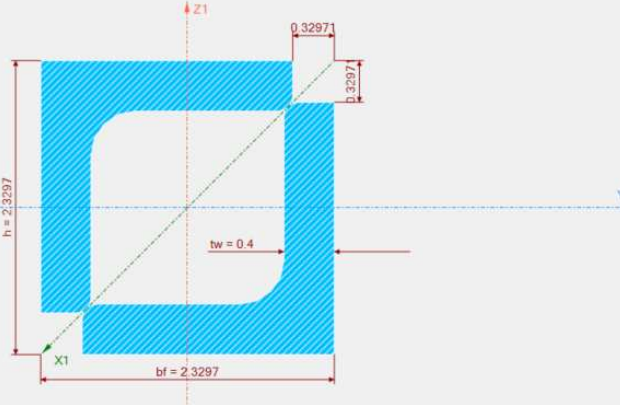


Рис. 9.55. Окно параметров сечения **Коробка из двух равнополочных уголков**

В окне параметров сечения **Коробка из двух равнополочных уголков** (рис. 9.55) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортаментов**.
2. Указать нужный **Профиль**.
3. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
4. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
5. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двух равнополочных прокатных уголков (рис. 9.55).

### Коробка из четырех равнополочных уголков

Для создания нового сечения **Коробка из четырех равнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.45). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из равнополочного уголка** и щелчком мыши перейдите на элемент **Коробка из четырех равнополочных уголков** (рис. 9.56).

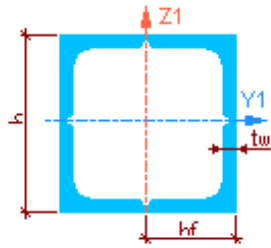


Рис. 9.56. Схема профиля Коробка из четырех равнополочных уголков

В окне параметров сечения **Коробка из четырех равнополочных уголков** (рис. 9.57) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортимент из **Таблицы сортиментов**.
2. Указать нужный **Профиль**.
3. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
4. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
5. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из четырех равнополочных прокатных уголков (рис. 9.57).

Базовый профиль	
Сортимент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные
Профиль	20 x 20 x 4
dy	
dz	

Учет коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности: 0 мм

по внутренней поверхности: 0 мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа: 0 %

соотношение между коррозией внутри и снаружи: 0

Использовать ограничения подбора

	h	tw
Минимум	2	0.3
Максимум	25	3

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	5.8404
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	12.806
Iz1, см <sup>4</sup>	12.806
Ix1, см <sup>4</sup>	18.662
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1.0964
Y1-, см	-1.0964
Z1+, см	1.0964
Z1-, см	-1.0964
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	3.052
Fy, см <sup>2</sup>	3.052

Рис. 9.57. Окно параметров сечения Коробка из четырех равнополочных уголков

### Швеллер из двух равнополочных уголков

Для создания нового сечения **Швеллер из двух равнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇨ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.45). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из равнополочных уголков** и щелчком мыши перейдите на элемент **Швеллер из двух равнополочных уголков** (рис. 9.58).

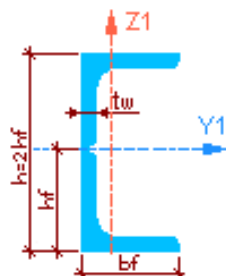


Рис. 9.58. Схема профиля Швеллер из двух равнополочных уголков

**Базовый профиль**

Сортамент: ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные

Профиль: 20 x 20 x 4

Поворот:

Учёт коррозии

Равномерная

в миллиметрах  мм

в процентах от площади сечения  %

Неравномерная в миллиметрах

полка  мм

стенка  мм

Использовать ограничения подбора

	h	tw
Минимум	2	0.3
Максимум	25	3

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	2.9202
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	0.99574
Iz1, см <sup>4</sup>	6.4032
Ix1, см <sup>4</sup>	0.17203
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1.0964
Y1-, см	-1.0964
Z1+, см	0.53365
Z1-, см	-0.25053
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	1.4603
Fy, см <sup>2</sup>	1.526

Рис. 9.59.2 Окно параметров сечения Швеллер из двух равнополочных уголков

В окне параметров сечения **Швеллер из двух равнополочных уголков** (рис. 9.59) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортаментов**.

2. Указать нужный **Профиль**.
3. Выбрать ориентацию **Поворота** сечения.
4. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
5. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
6. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составного швеллера из двух равнополочных прокатных уголков (рис. 9.59).

### Спаренные сечения из неравнополочного уголка

Спаренные сечения из базового профиля неравнополочного прокатного уголка представлены такими типами сечений: тавр из двух уголков, крест из двух уголков, коробка из двух уголков, коробка из четырех уголков, швеллер из двух уголков (рис. 9.60).

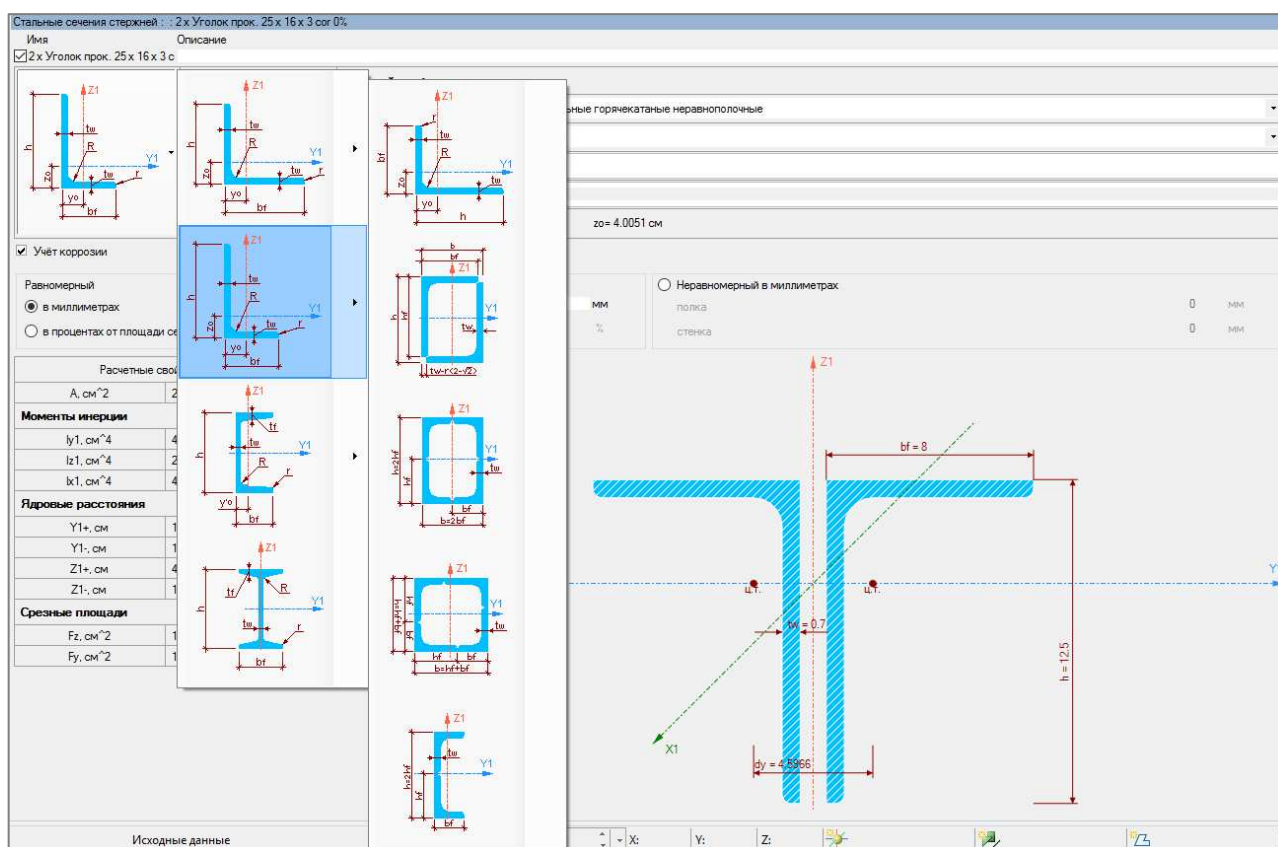


Рис. 9.60. Список спаренных сечений из базового профиля **Неравнополочный уголок**

### Тавр / крест из двух неравнополочных прокатных уголков

Для создания нового сечения **Тавр из двух неравнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.60).

Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из неравнополочных уголков** и необходимую **Ориентацию базового профиля** относительно главных осей  $ZoY$  (рис. 9.61).

В окне параметров сечения **Тавр из неравнополочных уголков** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** (доступный ГОСТ 8510-72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Установить переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения в необходимое положение (рис. 9.62).
4. Скорректировать параметры базового профиля:
  - **dy** — расстояние между главными осями  $Z$  базовых уголков;
  - **dz** — расстояние между главными осями  $Y$  базовых уголков.
5. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
6. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

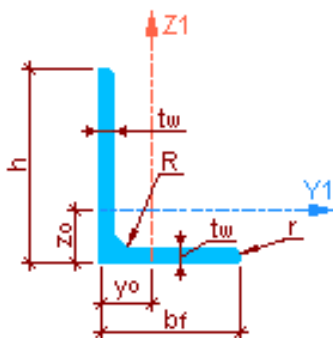


Рис. 9.61. Схема базового профиля  
**Спаренные сечения из неравнополочных уголков**

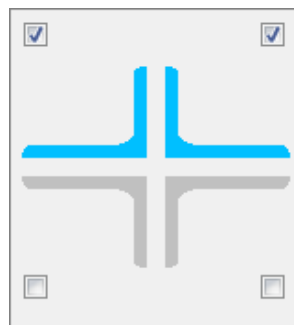




Рис. 9.62. Переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения

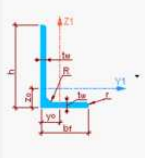
 Редактировать значения **dz** и **dy** можно нажатием сочетания клавиш **CTRL + пробел**, после чего откроется список параметров сечения (рис. 9.63).


dy	$2 * y_0$
dz	b Длина короткой полки yo Привязка центра тяжести относительно внешней грани полки zo Привязка центра тяжести относительно внешней грани стенки
y	h Длина длинной полки (стенки) r Радиус R Радиус сопряжения стенки с полкой tw Толщина стенки

Рис. 9.63. Список параметров сечения

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составного тавра / креста из двух неравнополочных прокатных уголков (рис. 9.64).

 Для создания сечения **Крест из неравнополочных уголков** (рис. 9.66) необходимо установить переключатель расположения базовых уголков относительно главных осей спаренного сечения в положение 1-я и 3-я четверть или 2-я и 4-я четверть (рис. 9.62).





**Базовый профиль**

Сортамент	ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные
Профиль	125 x 80 x 7
dy	2 * yo + 1
dz	
yo = 1.7983 см      zo = 4.0051 см	

Учёт коррозии

Равномерная

в миллиметрах      0 мм

в процентах от площади сечения      0 %

Неравномерная в миллиметрах

полка      0 мм

стенка      0 мм

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	28.122
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	453.06
Iz1, см <sup>4</sup>	296.01
Ix1, см <sup>4</sup>	4.5276
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1.2384
Y1-, см	-1.2384
Z1+, см	1.896
Z1-, см	-4.0247
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	14.965
Fy, см <sup>2</sup>	11.262

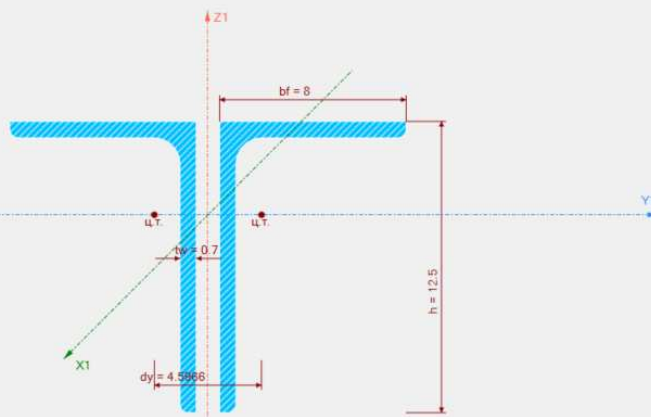



Рис. 9.64. Окно параметров сечения **Тавр из неравнополочных уголков, ориентированных большей стороной вдоль  $Z_1$**

 Выбор **Ориентации базового профиля** относительно главных осей  $Z_1OY_1$  осуществляется через раскрывающееся меню (рис. 9.60). В результате изменения ориентации базового профиля получаем тавр из двух неравнополочных прокатных уголков (рис. 9.65).

Базовый профиль	
Сортамент	ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные
Профиль	125 x 80 x 7
dy	2 * y0 + 1
dz	
y0 = 4.0051 см      z0 = 1.7983 см	

Учёт коррозии

Равномерная  
 в миллиметрах      0 мм  
 в процентах от площади сечения      0 %

Неравномерная в миллиметрах  
 полка      0 мм  
 стенка      0 мм

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	28.122
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	147.47
Iz1, см <sup>4</sup>	1023.8
Ix1, см <sup>4</sup>	4.5276
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	2.8009
Y1-, см	-2.8009
Z1+, см	0.84538
Z1-, см	-2.9183
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	9.5547
Fy, см <sup>2</sup>	16.177

Рис. 9.65. Окно параметров сечения Тавр из неравнополочных уголков, ориентированных меньшей стороной вдоль Z<sub>1</sub>

Базовый профиль	
Сортамент	ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные
Профиль	125 x 80 x 7
dy	2 * y0 + 1
dz	2 * z0 + 1
y0 = 4.0051 см      z0 = 1.7983 см	

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах  
 по наружной поверхности      0 мм  
 по внутренней поверхности      0 мм

Глубина коррозии в процентах  
 процент коррозионного износа      0 %  
 соотношение между коррозией внутри и снаружи      0

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	28.122
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	601.82
Iz1, см <sup>4</sup>	718.23
Ix1, см <sup>4</sup>	4.5276
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1.9649
Y1-, см	-1.9649
Z1+, см	2.5172
Z1-, см	-2.5172
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	17.01
Fy, см <sup>2</sup>	10.71

Рис. 9.66. Окно параметров сечения Крест из неравнополочных уголков



## Коробка из двух неравнополочных уголков

Для создания нового сечения **Коробка из двух неравнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.60). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из неравнополочных уголков** и щелчком мыши перейдите на элемент **Коробка из двух неравнополочных уголков** (рис. 9.67).

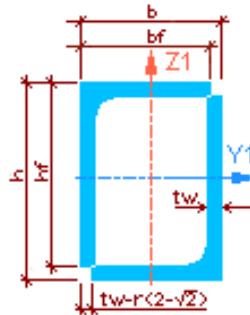


Рис. 9.67. Схема профиля **Коробка из двух неравнополочных уголков**

**Базовый профиль**

Сортамент: ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные

Профиль: 125 x 80 x 7

dy: \_\_\_\_\_

dz: \_\_\_\_\_

Поворот:

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности: 0 мм

по внутренней поверхности: 0 мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа: 0 %

соотношение между коррозией внутри и снаружи: 0

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения

A, см <sup>2</sup>	28.122
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	315.35
Iz1, см <sup>4</sup>	626.7
Ix1, см <sup>4</sup>	637.69
<b>Лдровые расстояния</b>	
Y1+, см	3.4329
Y1-, см	-3.4329
Z1+, см	2.6437
Z1-, см	-2.6437
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	11.526
Fy, см <sup>2</sup>	17.164

Рис. 9.68. Окно параметров сечения **Коробка из двух неравнополочных уголков**

В окне параметров сечения **Коробка из двух неравнополочных уголков** (рис. 9.68) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** (доступный ГОСТ 8510-72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Выбрать ориентацию **Поворота** сечения.
4. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
5. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
6. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двух неравнополочных прокатных уголков (рис. 9.68).

### Коробка из четырех неравнополочных уголков

Для создания нового сечения **Коробка из четырех неравнополочных уголков** и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.60). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из неравнополочных уголков** и щелчком мыши перейдите на элемент **Коробка из четырех неравнополочных уголков** (рис. 9.69).

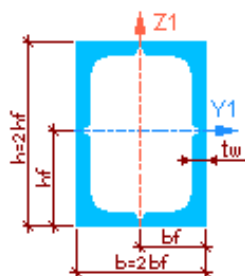
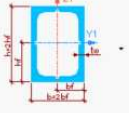


Рис. 9.69.3 Схема профиля  
**Коробка из четырех неравнополочных уголков**

В окне параметров сечения **Коробка из четырех неравнополочных уголков** (рис. 9.70) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** (доступный ГОСТ 8510-72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Выбрать ориентацию **Поворота** сечения.
4. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
5. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
6. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из четырех неравнополочных прокатных уголков (рис. 9.70).



**Базовый профиль**

Сортамент	ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные
Профиль	100 x 63 x 8
dy	
dz	

Поворот 0

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности 0 мм

по внутренней поверхности 0 мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа 0 %

соотношение между коррозией внутри и снаружи 0

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения

A, см <sup>2</sup>	50.271
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	2750.8
Iz1, см <sup>4</sup>	1314.1
Ix1, см <sup>4</sup>	2649.3
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	4.1493
Y1-, см	-4.1493
Z1+, см	5.4719
Z1-, см	-5.4719
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	30.565
Fy, см <sup>2</sup>	19.754

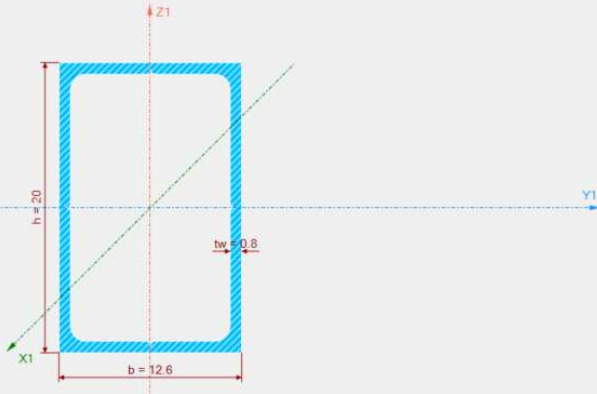

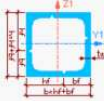


Рис. 9.70. Окно параметров сечения **Коробка из четырех неравнополочных уголков**

 Выбор **Ориентации базового профиля** относительно главных осей  $Z_1OY_1$  осуществляется через раскрывающееся меню (рис. 9.60). В результате изменения ориентации базового профиля получаем коробку из четырех неравнополочных прокатных уголков (рис. 9.71).



Базовый профиль	
Сортамент	ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные
Профиль	100 x 65 x 7
dy	
dz	

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности: 0 мм

по внутренней поверхности: 0 мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа: 0 %

соотношение между коррозией внутри и снаружи: 0

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	44.911
Моменты инерции	
Iy1, см <sup>4</sup>	1884.7
Iz1, см <sup>4</sup>	1884.7
Ix1, см <sup>4</sup>	2761
Ядровые расстояния	
Y1+, см	5.0866
Y1-, см	-5.0866
Z1+, см	5.0866
Z1-, см	-5.0866
Срезные площади	
Fz, см <sup>2</sup>	22.442
Fy, см <sup>2</sup>	22.442

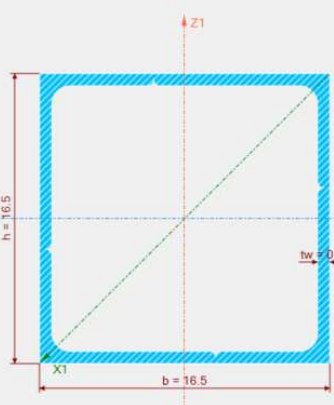


Рис. 9.71. Окно параметров сечения **Коробка из четырех неравнополочных уголков**

### Швеллер из двух неравнополочных уголков

Для создания нового сечения **Швеллер из двух неравнополочных уголков** и доступа к его параметрам в **Редакторе сечений/жесткостей** перейдите в **Стальные** ⇨ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.60). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из неравнополочных уголков** и щелчком мыши перейдите на элемент **Швеллер из двух неравнополочных уголков** (рис. 9.72).

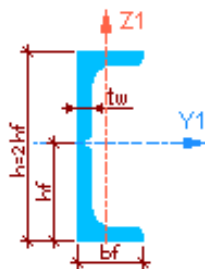
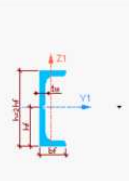


Рис. 9.72. Схема профиля **Швеллер из двух неравнополочных уголков**

В окне параметров сечения **Швеллер из двух неравнополочных уголков** (рис. 9.73) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** (доступный ГОСТ 8510-72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Указать **Ориентацию уголка**.
4. Выбрать ориентацию **Поворота** сечения.
5. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
6. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составного швеллера из двух неравнополочных прокатных уголков (рис. 9.73).



**Базовый профиль**

Сортament: ГОСТ 8510 - 72 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные

Профиль: 56 x 36 x 4

Ориентация уголка:  [  ]  Поворот: [  ]

Учет коррозии

Равномерная

в миллиметрах  мм

в процентах от площади сечения  %

Неравномерная в миллиметрах

полка  мм

стенка  мм

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw
Минимум	2.5	1.6	0.3
Максимум	20	12.5	1.6

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	7.1602
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	61.86
Iz1, см <sup>4</sup>	22.744
Ix1, см <sup>4</sup>	0.42052
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1.7464
Y1-, см	-0.84009
Z1+, см	2.3999
Z1-, см	-2.3999
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	2.8135
Fy, см <sup>2</sup>	3.8205

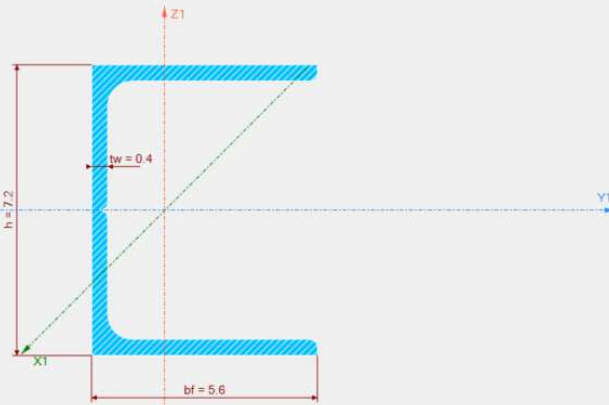


Рис. 9.73. Окно параметров сечения **Швеллер из двух неравнополочных уголков**

### *Спаренные сечения из швеллера*

Спаренные сечения из базового профиля прокатного швеллера представлены такими типами сечений: двутавр из двух швеллеров, коробка из двух швеллеров (рис. 9.74).

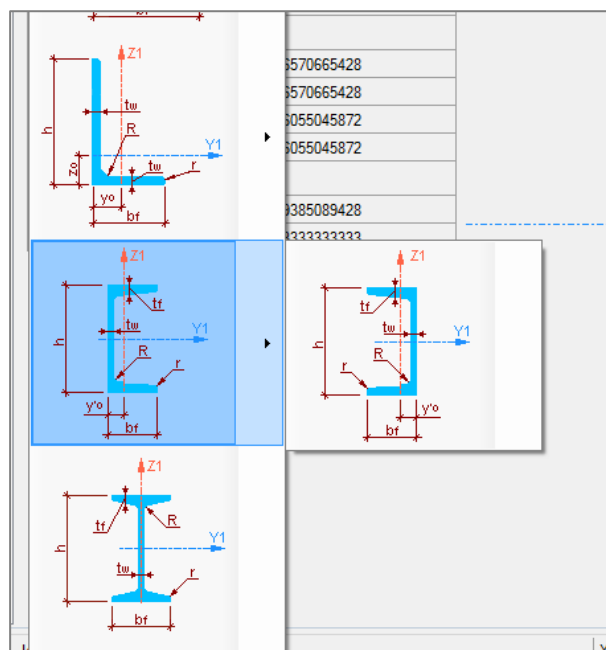


Рис. 9.74. Список спаренных сечений из базового профиля **Прокатный швеллер**

### Двутавр из двух швеллеров

Для создания нового сечения **Двутавр из двух прокатных швеллеров** и доступа к его параметрам в **Редакторе сечений/жесткостей** перейдите в **Стальные** ⇨ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.74), щелчком мыши выберите **Спаренные сечения из швеллеров** (рис. 9.75).

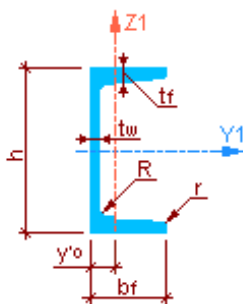


Рис. 9.75. Схема базового профиля **Спаренные сечения из швеллеров**

В окне параметров сечения **Двутавр из двух швеллеров** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортаментов** (рис. 9.76).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Установить в необходимое положение переключатель расположения базовых швеллеров относительно главных осей спаренного сечения (рис. 9.77).
4. Скорректировать параметры базового профиля:
  - **dy** — расстояние между главными осями Z базовых швеллеров;
  - **dz** — расстояние между главными осями Y базовых швеллеров.
5. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).

6. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.

7. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

Сортамент	ГОСТ 8240 - 72 Швеллеры с уклоном внутренних граней полок
Профиль	ГОСТ 8240 - 72* Швеллеры с параллельными гранями полок
dy	ГОСТ 8240 - 97 Швеллеры с уклоном внутренних граней полок
dz	ГОСТ 8240 - 97 Швеллеры с параллельными гранями полок
	ГОСТ 8240 - 97 Швеллеры экономичные с параллельными гранями полок
	ГОСТ 8240 - 97 Швеллеры лёгкой серии с параллельными гранями полок
	ГОСТ 8240 - 97 Швеллеры специальные
	ГОСТ 5267.1 - 90 Швеллеры (В) с уклоном внутренних граней полок
	BS 4-1: 1993 Британские швеллеры СН с уклоном внутренних граней полок
	BS 4-1: 2005 Британские швеллеры PFC с параллельными гранями полок
	Европейские швеллеры U с уклоном внутренних граней полок
	DIN 1026-2: 2002-10 Европейские швеллеры UPE с параллельными гранями полок
	DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202: 1986 Европейские швеллеры UPN с уклоном внутренних граней полок
MM	ASTM A 6/A 6M - 12 Американские швеллеры С с уклоном внутренних граней полок
	ASTM A 6/A 6M -12 Американские швеллеры МС с уклоном внутренних граней полок

Рис. 9.76. Сортамент швеллеров

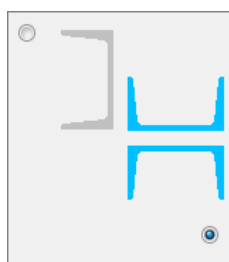



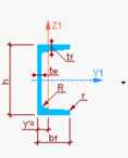
Рис. 9.77. Переключатель расположения базовых швеллеров относительно главных осей


 Редактировать значения  $dz$  и  $dy$  можно нажатием сочетания клавиш **CTRL + пробел**, после чего откроется список параметров сечения (рис. 9.78).

bf	Ширина пояса
y <sub>0</sub>	Привязка центра тяжести к внешней грани стенки
h	Высота сечения
r	Радиус
R	Радиус сопряжения стенки и пояса
tf	Толщина пояса
tw	Толщина стенки

Рис. 9.78. Список параметров сечения

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составного двутавра из двух прокатных швеллеров (рис. 9.79).





Базовый профиль	
Сортамент	ГОСТ 8240 - 72 Швеллеры с уклоном внутренних граней полок
Профиль	10
dy	2 * y <sub>0</sub> +1
dz	
y <sub>0</sub> = 1.44 см	

Учет коррозии

Равномерная в миллиметрах: 0 мм  
 в процентах от площади сечения: 0 %

Неравномерная в миллиметрах: полка 0 мм, стенка 0 мм

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw	tf
Минимум	5	3.2	0.44	0.7
Максимум	20	11.5	0.8	1.35

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	21.887
<b>Моменты инерции</b>	
I <sub>y1</sub> , см <sup>4</sup>	347.72
I <sub>z1</sub> , см <sup>4</sup>	122.87
I <sub>x1</sub> , см <sup>4</sup>	3.837
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y <sub>1+</sub> , см	1.1019
Y <sub>1-</sub> , см	-1.0996
Z <sub>1+</sub> , см	3.1774
Z <sub>1-</sub> , см	-3.1774
<b>Срезные площади</b>	
F <sub>z</sub> , см <sup>2</sup>	8.7752
F <sub>y</sub> , см <sup>2</sup>	13.48

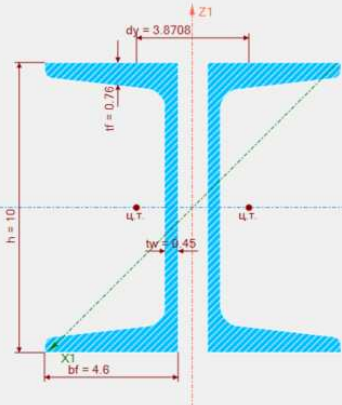


Рис. 9.794. Окно параметров сечения Двутавр из двух швеллеров

### Коробка из двух швеллеров

Для создания нового сечения **Коробка из двух прокатных швеллеров** и доступа к его параметрам в **Редакторе сечений/жесткостей** перейдите в **Стальные** ⇒ **Спаренные сечения**. При щелчке мышью на схеме профиля отображается раскрывающееся меню (рис. 9.74). Выберите в нем элемент **Спаренные сечения из швеллеров** и необходимую ориентацию базового профиля относительно главных осей  $Z_0Y_0$ .

В окне параметров сечения **Коробка из двух швеллеров** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортаментов** (рис. 9.76).
2. Указать нужный **Профиль**.
3. Установить переключатель расположения базовых швеллеров относительно главных осей спаренного сечения в необходимое положение (рис. 9.80).
4. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
5. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора**, выбрав при этом минимальные и максимальные значения из таблицы.
6. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.



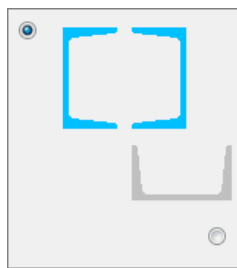


Рис. 9.80. Переключатель расположения базовых швеллеров относительно главных осей

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двух прокатных швеллеров (рис. 9.81).

**Базовый профиль**

Сортамент	ГОСТ 8240 - 72 Швеллеры с уклоном внутренних граней полок
Профиль	10
dy	$2 \cdot (bf - y_0)$
dz	
y <sub>0</sub> = 1.44 см	

Учёт коррозии

Глубина коррозии в миллиметрах

по наружной поверхности  мм

по внутренней поверхности  мм

Глубина коррозии в процентах

процент коррозионного износа  %

соотношение между коррозией внутри и снаружи

Использовать ограничения подбора

	h	bf	tw	tf
Минимум	5	3.2	0.44	0.7
Максимум	20	11.5	0.8	1.35

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	21.887
Моменты инерции	
I <sub>y1</sub> , см <sup>4</sup>	347.72
I <sub>z1</sub> , см <sup>4</sup>	260.08
I <sub>x1</sub> , см <sup>4</sup>	411.3
Ядровые расстояния	
Y1+, см	2.5832
Y1-, см	-2.5832
Z1+, см	3.1774
Z1-, см	-3.1774
Срезные площади	
F <sub>z</sub> , см <sup>2</sup>	8.7752
F <sub>y</sub> , см <sup>2</sup>	13.761

Рис. 9.81.5 Окно параметров сечения Коробка из двух швеллеров

### 9.5.4 Составные сечения

#### Двутавр / швеллер + два уголка и лист

Для создания нового составного сечения из двутавра / швеллера + два уголка и лист и доступа к его параметрам в редакторе сечений / жесткостей перейдите в **Стальные** ⇨ **Составные сечения** (рис. 9.82).

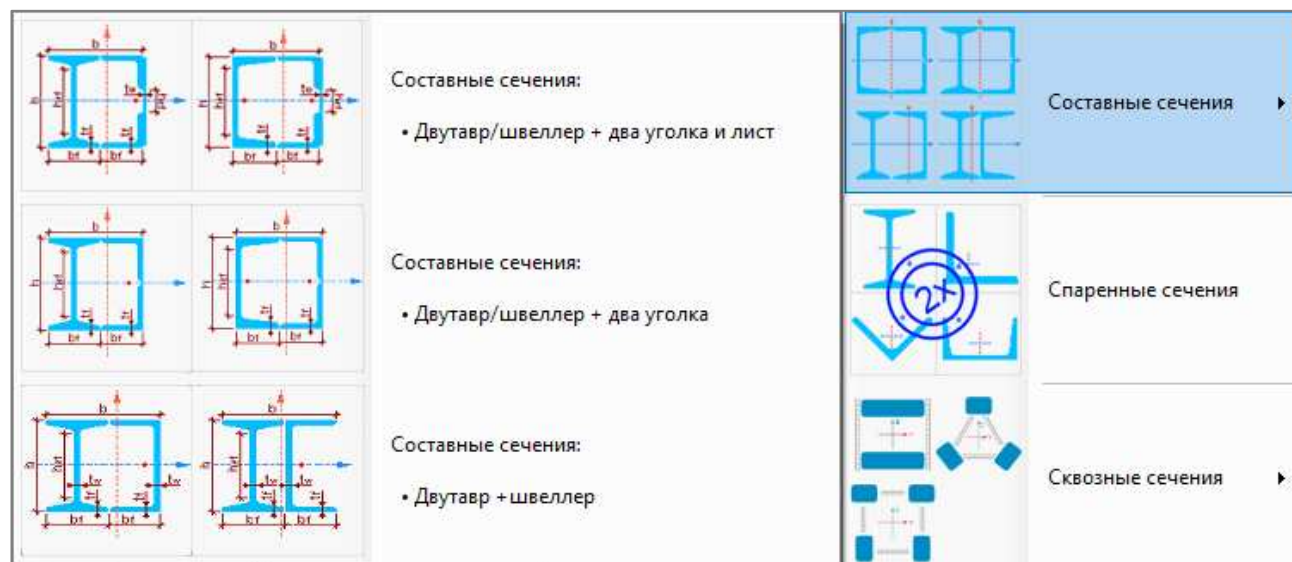


Рис. 9.82. Список составных сечений

В окне параметров сечения **Двутавр / швеллер + два уголка и лист** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

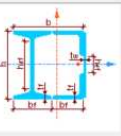
1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** для двутавра/швеллера.
2. Указать нужный **Профиль** двутавра / швеллера.
3. Задать **Толщину** листа.
4. Задать **Поворот** сечения.
5. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** для уголка.
6. Указать нужный **Профиль** уголка.
7. Если уголок неравнополочный, то выбрать его **Ориентацию**.
8. Задать **Параметры подбора** для листа.
9. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора** и задать соответствующие параметры.
10. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.
11. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
12. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двутавра / швеллера + два уголка и лист (рис. 9.83).

Стальные сечения стержней : [5Y + 2L 20 x 20 x 3 + 1]

Имя Описание

[5Y + 2L 20 x 20 x 3 + 1

Схема профиля	Сортамент	ГОСТ 8239 - 72* Двутавр с уклоном внутренних граней полок	
	Профиль	10	
	Лист	tw, см	0,2
	Ориентация уголка	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	Поворот <input type="checkbox"/>
	Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные	
	Профиль	30 x 30 x 5	
	Параметры подбора	two ; ... ; twp	

Использовать ограничения подбора Максимальная высота сечения 0 см Максимальная ширина сечения 0 см

Учитывать при расчете влияние сдвига

Учет коррозии

Равномерная

в миллиметрах 0 мм  Неравномерная в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %  полка 0 мм

стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	19,48
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	309,25
Iz1, см <sup>4</sup>	142,94
Ix1, см <sup>4</sup>	317,66
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	1,5599
Y1-, см	-1,8362
Z1+, см	3,175
Z1-, см	-3,175
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	8,6792
Fy, см <sup>2</sup>	10,588
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	409,15
<b>Статический момент полусечения</b>	
Sy, см <sup>3</sup>	36,619
Sz, см <sup>3</sup>	23,698
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	6,4228
Ω2, см <sup>2</sup>	4,115

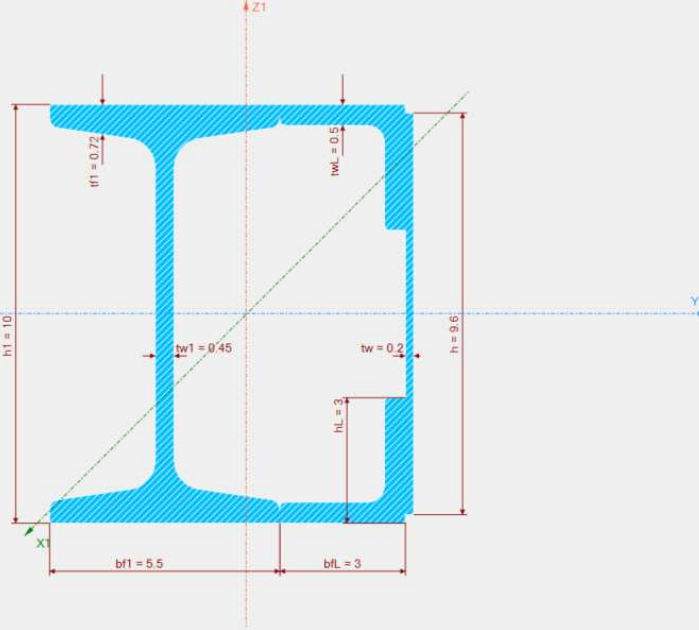


Рис. 9.83. Окно параметров сечения Двутавр / швеллер + два уголка и лист

### Двутавр / швеллер + два уголка

Для создания нового составного сечения из двутавра / швеллера + два уголка и доступа к его параметрам в редакторе сечений / жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Составные сечения** (рис. 9.82).

В окне параметров сечения **Двутавр / швеллер + два уголка** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортовентов** для двутавра / швеллера.
2. Указать нужный **Профиль** двутавра / швеллера.
3. Задать **Поворот** сечения.
4. Выбрать требуемый сортамент из **Таблицы сортовентов** для уголка.
5. Указать нужный **Профиль** уголка.
6. Если уголок неравнополочный, то выбрать его **Ориентацию**.
7. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.

8. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора** и задать соответствующие параметры.

9. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).

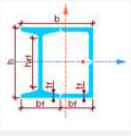
10. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двутавра / швеллера + два уголка (рис. 9.84).

Стальные сечения стержней : : I10 + 2L 50 x 50 x 3



Имя: I10 + 2L 50 x 50 x 3

Описание: I10 + 2L 50 x 50 x 3

Схема профиля: 

Сортамент: ГОСТ 8239 - 72\* Двутавр с уклоном внутренних граней полок

Профиль: 10

Ориентация уголка:  Поворот: 

Сортамент: ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равнополочные

Профиль: 50 x 50 x 3

Учитывать при расчете влияние сдвига

Использовать ограничения подбора Максимальная высота сечения: 0 см Максимальная ширина сечения: 0 см

Учет коррозии

Равномерная

в миллиметрах 0 мм

в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерная в миллиметрах

полка 0 мм

стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	17.97
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	292.09
Iz1, см <sup>4</sup>	195.48
Ix1, см <sup>4</sup>	368.14
<b>Ядерные расстояния</b>	
Y1+, см	2.2325
Y1-, см	-1.933
Z1+, см	3.2509
Z1-, см	-3.2509
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	6.9392
Fy, см <sup>2</sup>	10.648
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	108.81
<b>Статический момент полусечения</b>	
Sy, см <sup>3</sup>	33.869
Sz, см <sup>3</sup>	25.638
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	4.0886
Ω2, см <sup>2</sup>	1.84

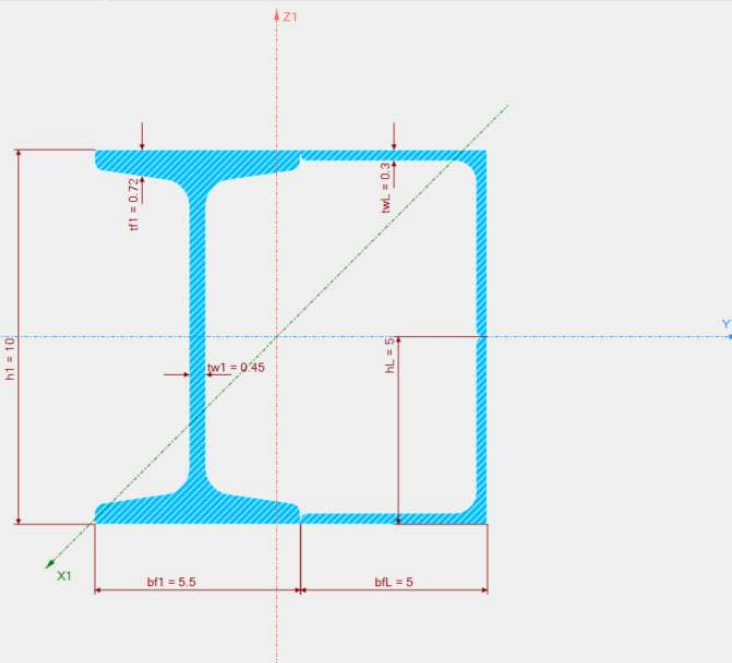


Рис. 9.84. Окно параметров сечения Двутавр/швеллер + два уголка

### Двутавр + швеллер

Для создания нового составного сечения из двутавра и швеллера и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Составные сечения** (рис. 9.82).

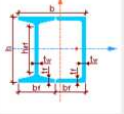
В окне параметров сечения **Двутавр + швеллер** в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** для двутавра.
2. Указать нужный **Профиль** двутавра.
3. Задать **Ориентацию** швеллера.
4. Задать **Поворот** сечения.
5. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов** для швеллера.
6. Указать нужный **Профиль** швеллера.
7. При необходимости установить флажок **Учитывать при расчете влияние сдвига**.
8. При необходимости установить флажок **Использовать ограничения подбора** и задать соответствующие параметры.
9. При необходимости установить флажок **Учет коррозии**, задав дополнительные характеристики (см. п. 9.9).
10. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами составной коробки из двутавра и швеллера (рис. 9.85).

Стальные сечения стержней : :I10 + I10Y

Имя: I10 + I10Y Описание: I10 + I10Y

Схема профиля: 

Сортамент: ГОСТ 8239 - 72\* Двутавр с уклоном внутренних граней полок  
Профиль: 10  
Ориентация швеллер:    Поворот:

Сортамент: ГОСТ 8240 - 97 Швеллеры с уклоном внутренних граней полок  
Профиль: 10Y

Учитывать при расчете влияние сдвига

Использовать ограничения подбора Максимальная высота сечения 0 см Максимальная ширина сечения 0 см

Учет коррозии

Равномерная  
 в миллиметрах 0 мм  
 в процентах от площади сечения 0 %

Неравномерная в миллиметрах  
 полка 0 мм  
 стенка 0 мм

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	22.9
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	372
Iz1, см <sup>4</sup>	522.65
Ix1, см <sup>4</sup>	291.91
<b>Ядерные расстояния</b>	
Y1+, см	4.0962
Y1-, см	-5.0402
Z1+, см	3.2489
Z1-, см	-3.2489
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	8.1527
Fy, см <sup>2</sup>	15.237
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	726.01
<b>Статический момент полусечения</b>	
Sy, см <sup>3</sup>	43.4
Sz, см <sup>3</sup>	33.747
<b>Секториальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	8.6544
Ω2, см <sup>2</sup>	15.378

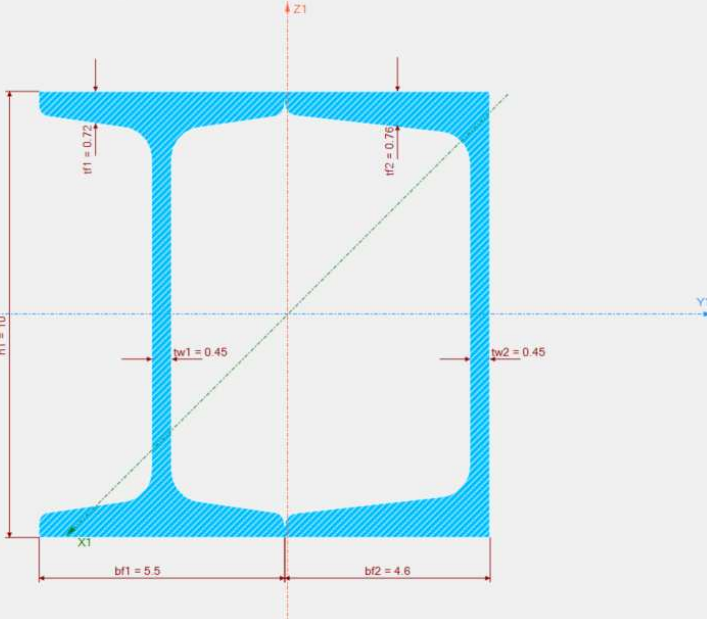


Рис. 9.85. Окно параметров сечения **Двутавр + швеллер**

## 9.5.5 Сквозные сечения

### Двухветвевые сквозные сечения

Для создания нового двухветвевое сквозное сечения и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇨ **Сквозные сечения**, щелчком мыши выберите элемент **Двухветвевые сквозные сечения** (рис. 9.86).

При задании двухветвевое сечения нужно последовательно задать:

- Сечение каждой из ветвей и их разнос (расстояние между ветвями).
- Вид соединительных элементов (решетка или планки). Для решетки выбирается также ее очертание (соответствует таблице 8 [9.11] или таблице 13 [9.8]).
- Для соединительных элементов в виде решетки указать тип решетки — одноплоскостная, двухплоскостная или смешанная.
- Сечение элементов решетки.
- Шаг элементов решетки.
- Сталь для элементов решетки.

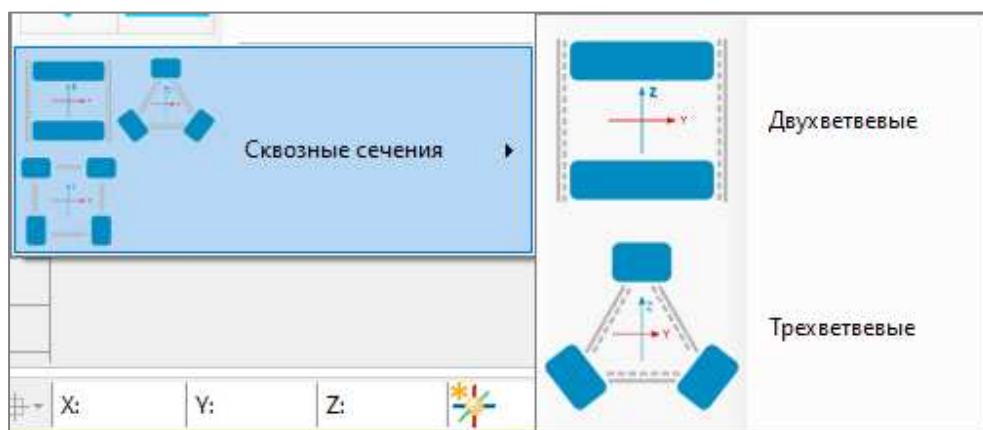


Рис. 9.86.6 Список сквозных сечений

### Задание ветвей

1) Сначала задается **Ветвь 1**. При нажатии на схему профиля появляется меню с возможными вариантами профилей и их ориентацией относительно главных осей всего сечения. После выбора типа и ориентации профиля выбирается требуемый **Сортамент** и нужный **Профиль** из этого сортамента.

2) **Ветвь 2** может быть задана как прямая или зеркальная копия ветви 1. Для этого нужно выбрать соответствующий переключатель. Если ветвь 2 отличается от ветви 1, то она задается аналогично ветви 1.

3) Расстояние между ветвями **Bint, см** в данной версии предусмотрено одним из трех вариантов:

- по внутреннему габариту между ветвями;
- по наружному габариту между ветвями;
- между центрами тяжести ветвей.

В закладке **Точки привязки** выбирается один из этих вариантов, после чего в строке **Bint, см** указывается расстояние между ветвями. Для подбора сечения в строке **B<sub>0</sub>; ... B<sub>n</sub>**;

задаются все варианты значений, которые может принимать расстояние между ветвями. Программа в процессе подбора проанализирует все возможные варианты (включая заданный размер в графе **Bint, см**), и выполнит подбор минимального сечения.

Результат задания ветвей показан на рис. 9.87.

Стальные сечения стержней : Двутавр прок. 24 x Коробка прок. 180 x 180 x 6

Имя	Описание
<input checked="" type="checkbox"/>	Двутавр прок. 24 x Коробка прок. 180 x 180 x 6

**Ветви**

Ветвь 1		Ветвь 2	
Сортамент	ГОСТ 8239 - 72* Двутавр с уклоном	Сортамент	ТУ 36 - 2287 - 80 Гнутый сварной зам
Профиль	24	Профиль	180 x 180 x 6
Точки привязки		<input type="radio"/> Копия ветви 1 <input type="radio"/> Зеркальная копия ветви 1 <input checked="" type="radio"/> Задать ветвь 2	
Bint, см	40		

Vo; Vn

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	76.56
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	59207
Iz1, см <sup>4</sup>	5570
Ix1, см <sup>4</sup>	3812.8
<b>Ядровые расстояния</b>	
Y1+, см	6.0628
Y1-, см	-6.0628
Z1+, см	25.896
Z1-, см	-31.075
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	26.505
Fy, см <sup>2</sup>	1.6463
<b>Секториальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	3.7771E+06
ω1, см <sup>2</sup>	241.62
ω2, см <sup>2</sup>	283.5

Рис. 9.87. Универсальное двухветвевое сечение. Результат задания ветвей

### Задание соединительных элементов

1) Сначала с помощью раскрывающегося меню выбирается вид соединительных элементов (решетка или планки), а также очертание решетки (рис. 9.88).

2) Затем в строке **Тип соединения** выбирается тип решетки соединительных элементов: одноплоскостная, двухплоскостная, или смешанная (рис. 9.89). Для планок возможен только двухплоскостной тип соединения.

3) После этого справа на рисунке отображается образец выбранной решетки. Следует отметить, что это просто картинка, показывающая общий вид выбранной решетки. Она не отражает конкретные параметры рассматриваемого сечения — профиль и размер ветвей, расстояние между ними.

4) Далее задаются сечения соединительных элементов — **Раскос** и **Стойка** соединительной решетки или **Планки**. Производится это аналогично заданию ветвей. При нажатии на соответствующую схему профиля появляется меню с доступными вариантами

профилей. После этого выбирается требуемый **Сортамент** и нужный **Профиль** из этого сортамента. При выборе планок из полосовой стали рекомендуется применять сортамент **Планки сквозных сечений** (рис. 9.90).

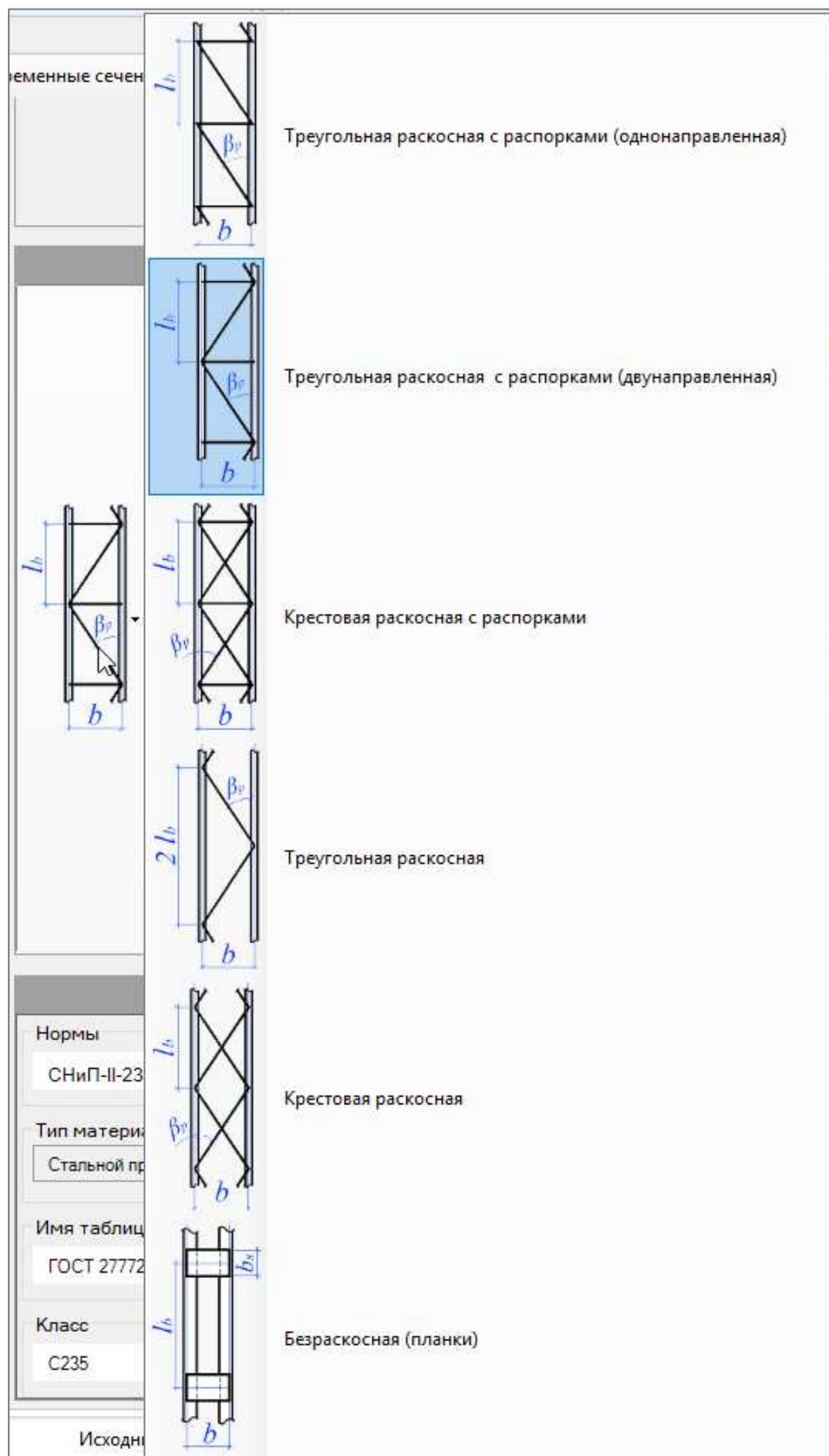


Рис. 9.88. Выбор вида и очертания соединительных элементов



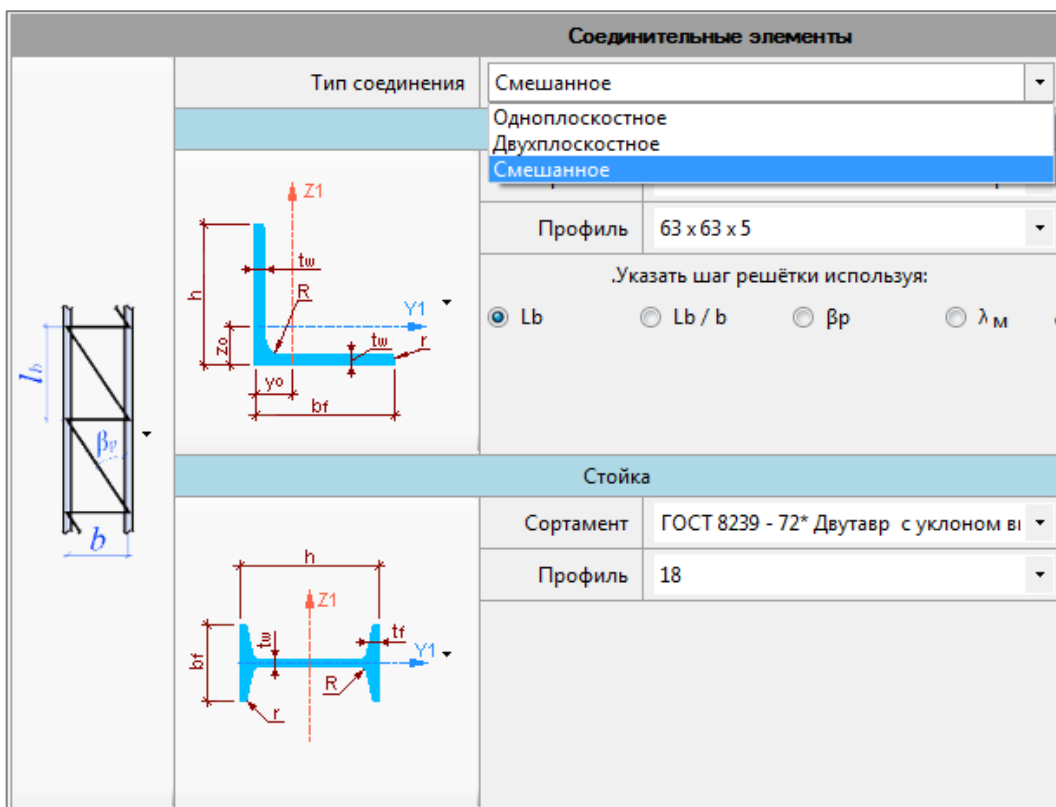


Рис. 9.89. Выбор типа соединения ветвей двухветвевое сечения

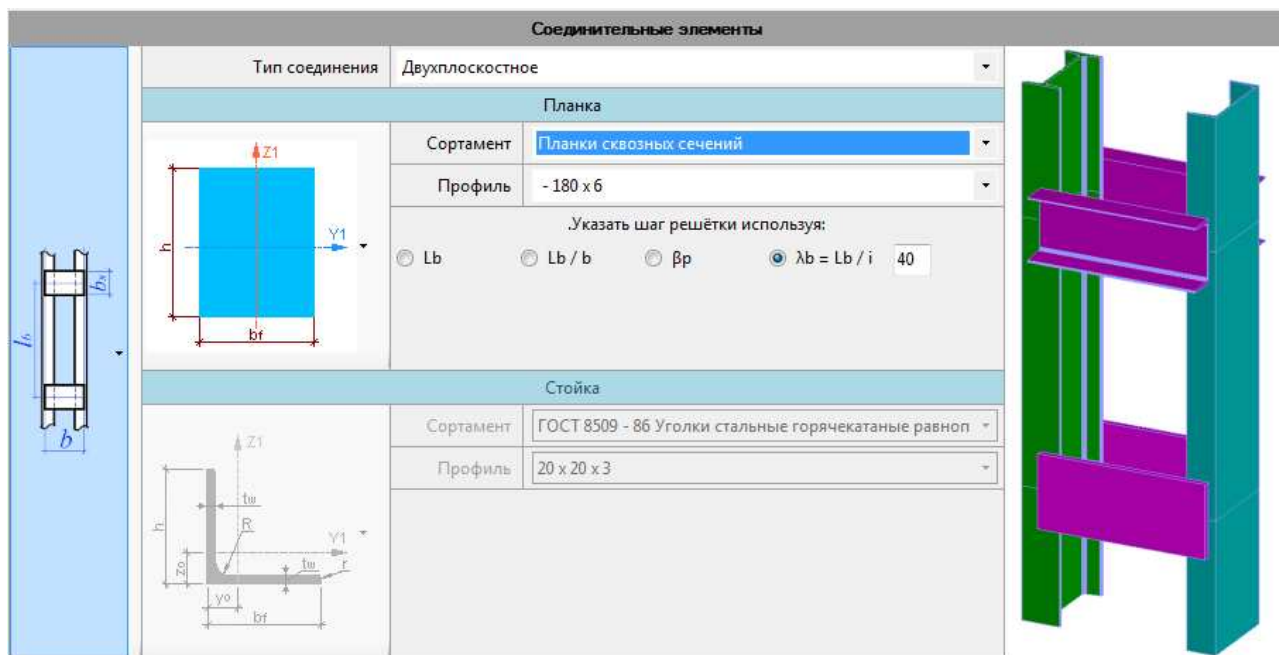


Рис. 9.90.7 Задание планок из полосы

5) Далее следует задать шаг соединительных элементов  $l_b$ . В программе предусмотрена возможность задания шага различными способами:

Для соединительных элементов **в виде решетки** можно:

- Задать непосредственно размер  $l_b$ , используя переключатель **Lb**. В этом случае при подборе элемента данный размер изменяться не будет.


- Задать угол наклона раскоса решетки к ветви  $\beta_p$  (в градусах) с помощью переключателя  $\beta_p$  или задать отношение размера  $l_b$  к расстоянию между осями ветвей  $b$  (тангенс угла  $\beta_p$ ) с помощью переключателя  $Lb / b$ . В этом случае в режиме подбора при изменении расстояния между осями ветвей, соответственно, изменяется и шаг решетки.
- Задать допустимую гибкость ветви  $\lambda_b$  с помощью переключателя  $\lambda_b = Lb / i$ . Здесь можно руководствоваться указаниями п. 5.6 СНиП II-23-81\*, п. 7.2.4 СП 16.13330-2017 или п. 8.2.4 ДБН В.2.6-198:2014. В этом случае при подборе шаг решетки будет меняться только при изменении профиля ветви.

Во всех случаях наклон решетки ограничивается условием  $20^\circ \leq \beta_p \leq 70^\circ$ .

Для соединительных элементов **в виде планок** можно:

- Задать непосредственно размер  $l_b$ , используя переключатель  $Lb$ . В этом случае при подборе элемента этот размер изменяться не будет.
- Задать допустимую гибкость ветви  $\lambda_b$  с помощью переключателя  $\lambda_b = Lb / i$ . Здесь можно руководствоваться указаниями п. 5.7 СНиП II-23-81\*, п. 7.2.3 СП 16.13330-2017 или п. 8.2.3 ДБН В.2.6-198:2014. В этом случае при подборе шаг планок будет меняться при изменении профиля ветви.

б) При задании универсального двухветвевое сечения в редакторе сечений задается сталь для соединительных элементов.

 При этом сталь для ветвей задается традиционным способом: **Редакторы и конструирование**  $\Leftrightarrow$  **Редактор материалов** и назначается через **Редакторы и конструирование**  $\Leftrightarrow$  **Назначить сечение, материал, конструирование**. Сделано это для того, чтобы стали для ветвей и для соединительных элементов могли быть различными.

Для задания стали для соединительных элементов нужно в списке **Нормы** выбрать соответствующий нормативный документ по расчету стальных конструкций, в списке **Имя таблицы** выбрать нормативный документ на сталь и в списке **Марка стали** выбрать конкретный класс или марку стали (рис. 9.91). Программа не анализирует допустимость применения выбранной стали для конкретной рассчитываемой конструкции по табл. 50\* СНиП II-23-81\*, табл. В.1 СП 16.13330-2017 или табл. Г.1 ДБН В.2.6-198:2014. Если в нормах указаны прочностные характеристики стали, то расчет будет выполняться.

После ввода всех необходимых данных программа производит окончательный расчет геометрических характеристик созданного сечения, включая крутильные и секториальные характеристики.

Соединительные элементы		
Тип соединения	Смешанное	
Раскос		
	Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячекатаные равноп
	Профиль	63 х 63 х 5
	Указать шаг решётки используя: <input type="radio"/> Lb <input type="radio"/> Lb / b <input type="radio"/> βp <input checked="" type="radio"/> λb = Lb / i    80	
Стойка		
	Сортамент	ГОСТ 8239 - 72* Двутавр с уклоном внутренних граней
	Профиль	18
Материал		
Нормы		
СП 16.13330.2011		
Тип материала		
Стальной прокат		
Имя таблицы		
ГОСТ 27772-88		
Марка стали		
С245		

Рис. 9.91.8 Результат задания соединительных элементов

### Трёхветвевые сквозные сечения

Для создания нового трёхветвевого сквозного сечения и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей перейдите в **Стальные** ⇒ **Сквозные сечения**, щелчком мыши выберите элемент **Трёхветвевые сквозные сечения** (рис. 9.86).

При задании трёхветвевое сечения следует задать:

- Сечение ветвей и расстояние между ними.
- Вид соединительных элементов (решетка или планки). Для решетки выбирается также ее очертание (соответствует таблице 8 [9.11] или таблице 13 [9.8]).
- Сечение элементов решетки.
- Шаг элементов решетки.
- Сталь для элементов решетки.
- Геометрические размеры и профили, входящие в состав трёхветвевое сечения.

### Задание сечения

1) Выбирается требуемый тип (решётка или планки) и очертание решётки трёхветвевое сечения (рис. 9.92). Если расстояние между ветвями  $b > 600$  мм, следует отдавать предпочтение соединительным элементам в виде геометрически неизменяемой решётки.

2) Далее задаются ветви. Для этого выбирается требуемый вид сечения ветви. Затем выбирается сортament и профиль из этого сортамента. Для ветвей из двутавров или уголков выбирается поворот, указывающий ориентацию профиля ветви в составе трёхветвевое сечения. Затем выбирается расстояние между ветвями одним из предлагаемых программой способов.

Профили

Ветви		Раскос		Распорка	
Сечение	I Двутавр с параллельными гранями г	Сечение	L Уголок равнополочный	Сечение	● Круг
Сортамент	ГОСТ Р 57837-2017 Балочные нормальны	Сортамент	ГОСТ 8509 - 86 Уголки стальные горячека	Сортамент	ГОСТ 2590-88, ТУ 14-136-347-2001 Круг - п
Профиль	10Б1	Профиль	45 x 45 x 5	Профиль	16


Геометрические характеристики

	b, см	h, см	B, см	H, см	D, см	b1, см	h1, см	h2, см	c1, см	
	32	27.71281	41.76314	36.16794	36.95042	22.23686	9.237604	18.47521	27	
	Lb, см		Lb/b		βp, °		λb = Lb / i			
	50		1.563		32.6192		40.94			
	Моменты инерции			Ядровые расстояния			Срезные площади			
	A, см <sup>2</sup>	Iy1, см <sup>4</sup>	Iz1, см <sup>4</sup>	Ix1, см <sup>4</sup>	Y1+, см	Y1-, см	Z1+, см	Z1-, см	Fy, см <sup>2</sup>	Fz, см <sup>2</sup>
	30.96	5564.235	5564.235	632.244	11.23271	-11.23271	19.45562	-9.727812	21942.86	21954.48

Схема профиля

Рис. 9.92. Окно параметров трёхветвевое сечения

3) Соединительные элементы задаются аналогично поясам. В зависимости от принятого типа решётки задаётся сортамент, сечение и профиль элементов решётки (раскосов и распорок или планок). При выборе планок из полосовой стали рекомендуется применять сортамент **Планки сквозных сечений**. Здесь же задаётся материал для соединительных элементов.

 При этом сталь для ветвей задается традиционным способом: **Редакторы и конструирование** ⇨ **Редактор материалов** и назначается через **Редакторы и**

*конструирование* ⇔ *Назначить сечение, материал, конструирование*. Сделано это для того, чтобы стали для ветвей и для соединительных элементов могли быть различными.

4) Далее задаётся расстояние между узлами решётки или шаг планок одним из предлагаемых программой способов.

### 9.5.6 Стальные переменные сечения

Задание переменного сечения производится через меню редактора сечений/жёсткостей, закладка **Переменные**. Доступны для расчёта сварные двутавровые сечения (симметричные или несимметричные) и сварные коробки (рис. 9.93).

Для задания переменного сечения необходимо указать размеры сечения в начале и в конце элемента (аналогично элементам постоянного сечения). Промежуточные значения определяются линейной интерполяцией. При этом допускается и даже рекомендуется для повышения точности расчёта выполнять дробление таких элементов на несколько частей. Размеры и жёсткости промежуточных элементов, возникающих в результате дробления, вычисляются внутрипрограммно. Такие элементы можно объединять в конструктивные элементы.

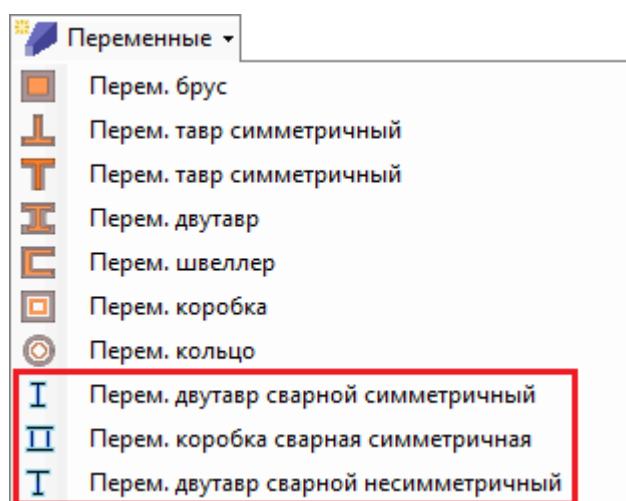


Рис. 9.93. Доступные сечения для элементов переменной жёсткости

Стальные - ЛСТК - Переменные - Специальные - Редактор базы данных - Импорт сечений

Переменного сечения: Перем. двутавр сварной симметричный: 133 x 20 / 133 x 20

Имя: 133 x 20 / 133 x 20

Описание:

Сечение в начале стержня

Схема профиля	Параметры сечения					
	Полка			Стенка		
	bf, см	tf, см	dz, см	hw, см	tw, см	dy, см
	32	1,4	hw + tf	98,3	1	0

Параметры подбора

bfo; ...; bfn	hwo; ...; hwn
tfo; ...; tfn	two; ...; twn

Учитывать при расчете влияние сдвига

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	187,9
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	3,0183E+05
Iz1, см <sup>4</sup>	7654,1
Ix1, см <sup>4</sup>	91,305
<b>Ядерые расстояния</b>	
Y1+, см	2,5459
Y1-, см	-2,5459
Z1+, см	31,777
Z1-, см	-31,777
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	98,988
Fy, см <sup>2</sup>	74,667
<b>Секторальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	1,9E+07
<b>Секторальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	797,6

Сечение в конце стержня

Схема профиля	Параметры сечения					
	Полка			Стенка		
	bf, см	tf, см	dz, см	hw, см	tw, см	dy, см
	32	1,4	hw + tf	37,956	1	0

Параметры подбора

bfo; ...; bfn	hwo; ...; hwn
tfo; ...; tfn	two; ...; twn

Учитывать при расчете влияние сдвига

Расчетные свойства сечения	
A, см <sup>2</sup>	127,56
<b>Моменты инерции</b>	
Iy1, см <sup>4</sup>	39267
Iz1, см <sup>4</sup>	7649
Ix1, см <sup>4</sup>	71,191
<b>Ядерые расстояния</b>	
Y1+, см	3,7479
Y1-, см	-3,7479
Z1+, см	15,106
Z1-, см	-15,106
<b>Срезные площади</b>	
Fz, см <sup>2</sup>	40,375
Fy, см <sup>2</sup>	74,667
<b>Секторальный момент инерции</b>	
Iω, см <sup>6</sup>	2,9607E+06
<b>Секторальная площадь</b>	
Ω1, см <sup>2</sup>	314,85

Рис. 9.94. Окно параметров сечения **Переменный двутавр сварной симметричный**

## 9.5.7 Специальные сечения

### Плетеный канат

Для создания нового сечения **Плетеный канат** (рис. 9.95) и доступа к его параметрам в редакторе сечений/жесткостей щелкните на кнопке **Специальные** и выберите из раскрывающегося списка (рис. 9.96) элемент **Плетеный канат**.

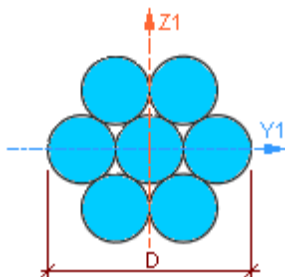


Рис. 9.95. Схема профиля **Плетеный канат**

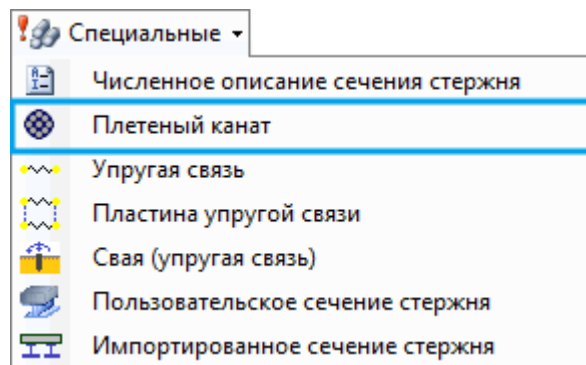


Рис. 9.96. Список специальных сечений

В окне параметров сечения **Плетеный канат** (рис. 9.97) в соответствующих доступных полях ввода необходимо:

1. Выбрать требуемый сортament из **Таблицы сортamentов**.
2. Выбрать необходимую **Маркировочную группу**.
3. Указать нужный **Профиль**.
4. Задать **Коэффициент температурного расширения**.
5. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**.

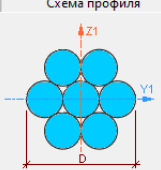
После внесения изменений в характеристики сечения выводится схематический эскиз и обновляется таблица с расчетными свойствами плетеного каната (рис. 9.97).

Специальные сечения : Плетеный канат : 2.2

Имя: Плетеный канат 2.2  
Описание: Плетеный канат 2.2

Регион: RUS  
Таблица сортamentов: Канат одинарной свивки типа ЛК-О конструкции 1x7 (1+6) по ГОСТ 3062  
Маркировочная группа: 1370  
Профиль: 2.2

Схема профиля



Расчетные характеристики сечения										
A, см <sup>2</sup>	m, тс/м	Моменты инерции, см <sup>4</sup>		Ядровые расстояния, см				Модуль упругости, тс/м <sup>2</sup>	Разрывное усилие, тс	Коэффициент температурного расширения
		Iy1	Iz1	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-			
0.02750	0	0.00001	0.00001	0.00285	0.00285	0.00285	0.00285	1.7029E+07	0.35330	1.2E-05

Геометрические характеристики сечения															
D, см	Проволоки сердечника				Проволоки в прядях										
	Центральная		В слое		Центральная		Первого слоя		Второго слоя		Третьего слоя		Заполнение		
	Количество	D, см	Количество	D, см	Количество	D, см	Количество	D, см	Количество	D, см	Количество	D, см	Количество	D, см	
0.22000	1	0.075	6	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 9.97. Окно параметров сечения **Плетеный канат**

## 9.6 РЕДАКТОР БАЗЫ ДАННЫХ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

В ПК ЛИРА 10 предусмотрена возможность создания пользовательских сортаментов на основе существующих или созданных ранее сортаментов. Редактор базы данных стального проката предназначен для создания и редактирования пользовательских сортаментов.

Для доступа к Редактору базы данных стального проката (рис. 9.99) щелкните на кнопке Редактор базы данных в окне Редактора сечений/жесткостей (рис. 9.98).

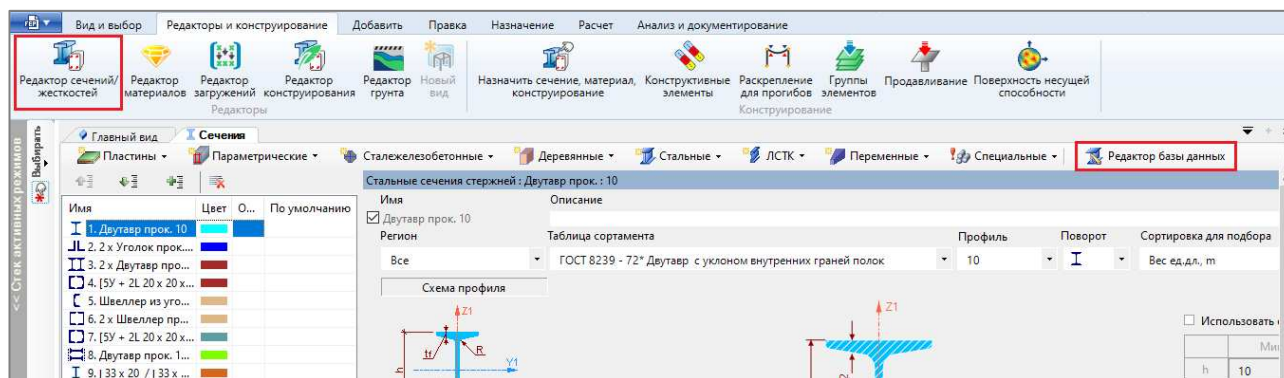


Рис. 9.98. Вызов редактора базы данных стального проката

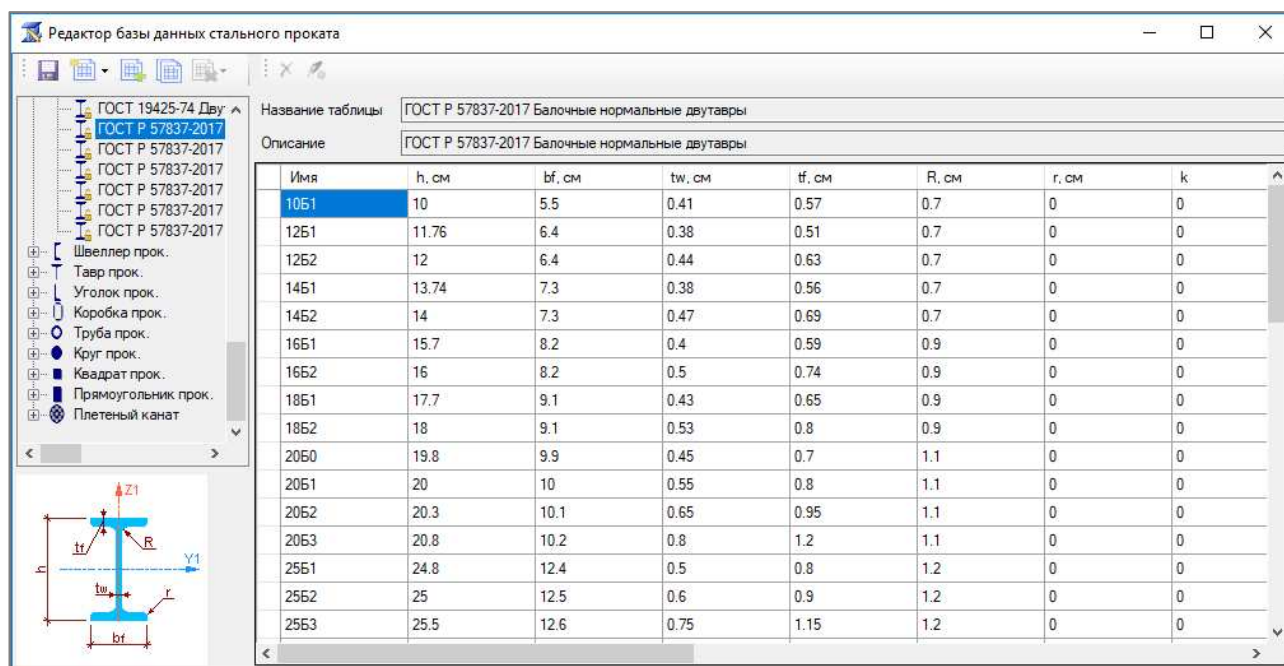









Рис. 9.99. Редактор базы данных стального проката


В верхней части Редактора базы данных стального проката расположены поля Название таблицы и Описание, а также Панель управления, включающая в себя такой функционал:

- Сохранить таблицу (кнопка ).
- Создать таблицу (кнопка ).
- Добавить таблицу (кнопка ).



- **Копировать таблицу** (кнопка ).
- **Исключить или удалить таблицу** (кнопка ).
- **Удалить строки** (кнопка ).
- **Расчет выделенных строк** (кнопка ).

В левом нижнем углу редактора базы данных стального проката расположено схематическое изображение выбранного профиля. В правой части отображается таблица с геометрическими и расчетными характеристиками выбранного сечения (рис. 9.99).

Для создания новой таблицы пользовательского сортамента необходимо воспользоваться кнопкой  (**Создать таблицу**), далее из раскрывающегося списка (рис. 9.100) выбрать необходимый тип сортамента.

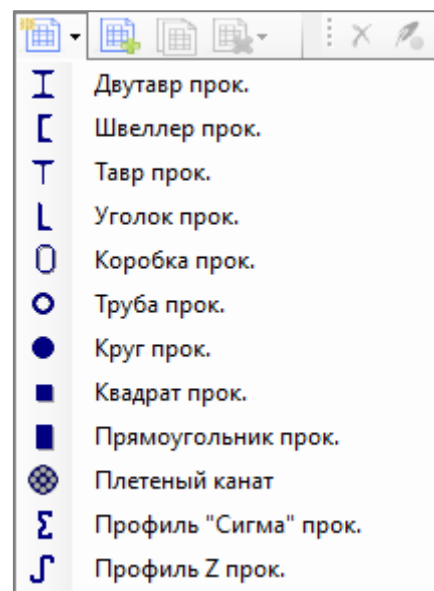




Рис. 9.100. Список типов сортаментов **Создать таблицу**

В диалоговом окне **Создать таблицу** (рис. 9.101) необходимо:

- выбрать **Тип таблицы**;
- указать **Имя файла**;
- заполнить поля **Название таблицы** и **Описание**;
- выбрать **Регион**.

Для сохранения новых данных, занесенных в пользовательскую таблицу сортаментов, необходимо воспользоваться кнопкой  (**Сохранить таблицу**), после чего система выдаст сообщение об успешной операции сохранения данных.

В ПК ЛИРА 10 предусмотрена возможность добавления внешних таблиц сортаментов в формате \*.xml. Для добавления новой таблицы сортаментов необходимо воспользоваться кнопкой  (**Добавить таблицу**), после чего будет выведено диалоговое окно, в котором необходимо указать путь к нужному файлу сортамента.

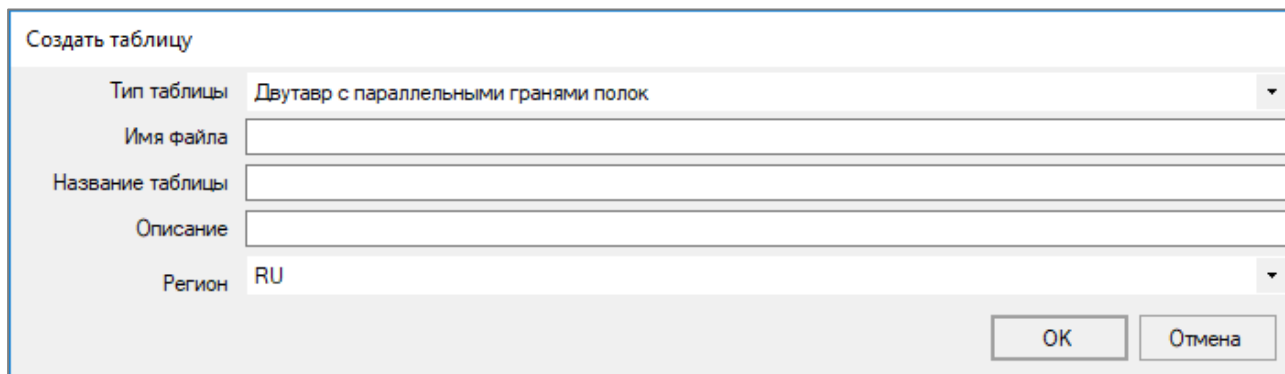




Рис. 9.101. Диалоговое окно **Создать таблицу**

 В ПК ЛИРА 10 предусмотрен стандартный список сортаментов, редактирование которых запрещено, они помечены пиктограммой с изображением замка. Для редактирования или создания пользовательского сортамента, подобного стандартному, необходимо создать копию нужной таблицы.

Для создания копии таблицы сортамента нужно сначала выбрать необходимую таблицу сортамента, а затем воспользоваться кнопкой  (**Копировать таблицу**). В раскрывшемся диалоговом окне **Копировать таблицу** (рис. 9.102) отредактируйте поля **Имя файла**, **Название таблицы** и **Описание**, а также укажите необходимый **Регион**.

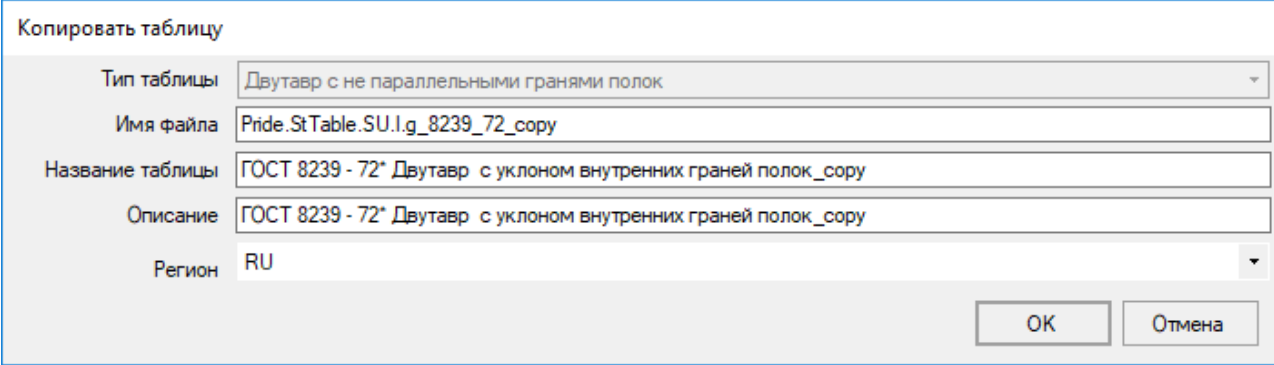



Рис. 9.102.9 Диалоговое окно **Копировать таблицу**

Если необходимо исключить выбранную таблицу из списков сортаментов ПК ЛИРА 10 или полностью удалить таблицу пользовательского сортамента с жесткого диска, воспользуйтесь кнопкой  (**Исключить или удалить таблицу**), а затем в раскрывающемся списке (рис. 9.103) выберите требуемое действие.

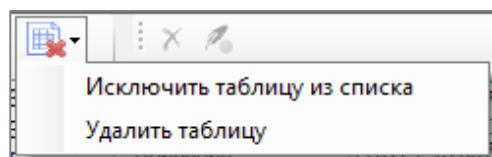




Рис. 9.103. Раскрывающееся меню **Исключить или удалить таблицу**

Для удаления записей из таблицы пользовательского сортамента выделите необходимую строку и нажмите кнопку  (**Удалить строки**).

В таблицах пользовательского сортамента (рис. 9.99) ячейки с геометрическими характеристиками сечения (задаются пользователем) имеют белый фон, а с расчетными (заполняются внутрипрограммно и не подлежат корректировке) — темно-серый.

Для выполнения расчета характеристик заданного сечения выделите необходимые строки в таблице и воспользуйтесь кнопкой  (**Расчет выделенных строк**). В случае некорректно заданных геометрических параметров система выдаст сообщение об ошибке и предложит пользователю возможные варианты решения возникшей проблемы (рис. 9.104).

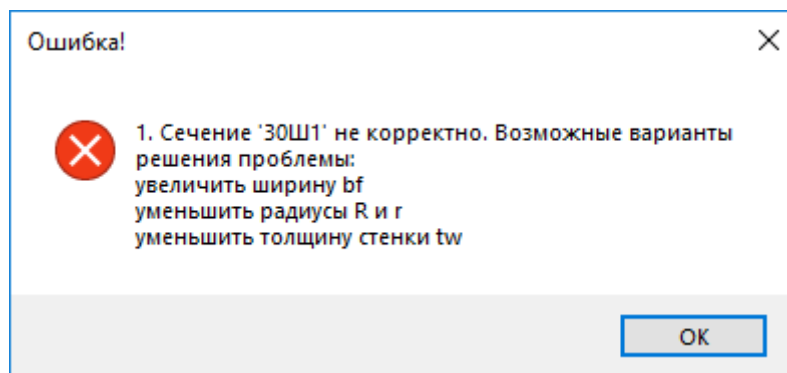


Рис. 9.104. Сообщение об ошибке

**Внимание!** При наличии уклона внутренних граней полк  $k$  прокатных двутавров и швеллеров нужно обращать внимание на правильность задания толщины полк (рис. 9.105).

Для прокатных двутавров толщина полки  $t_f$  должна задаваться на расстоянии  $\frac{b+t_w}{4}$  от оси профиля, как это предусмотрено в большинстве стандартов. Если в рассматриваемом сортаменте двутавра толщина полки приведена на расстоянии  $\frac{b}{4}$  от оси, то для получения правильных геометрических характеристик сечения нужно задать уточненную толщину полки  $t_f = t_{b/4} - \frac{k t_w}{4}$ .

То же относится и к прокатным швеллерам. При наличии уклона внутренних граней полк  $k$  прокатных швеллеров толщина полки  $t_f$  должна задаваться на расстоянии  $\frac{b+t_w}{2}$  от наружной грани стенки, как это предусмотрено в большинстве стандартов. Если в рассматриваемом сортаменте швеллера толщина полки приведена на расстоянии  $\frac{b}{2}$  от наружной грани стенки, то для получения правильных геометрических характеристик сечения нужно задать уточненную толщину полки  $t_f = t_{b/2} - \frac{k t_w}{2}$ .

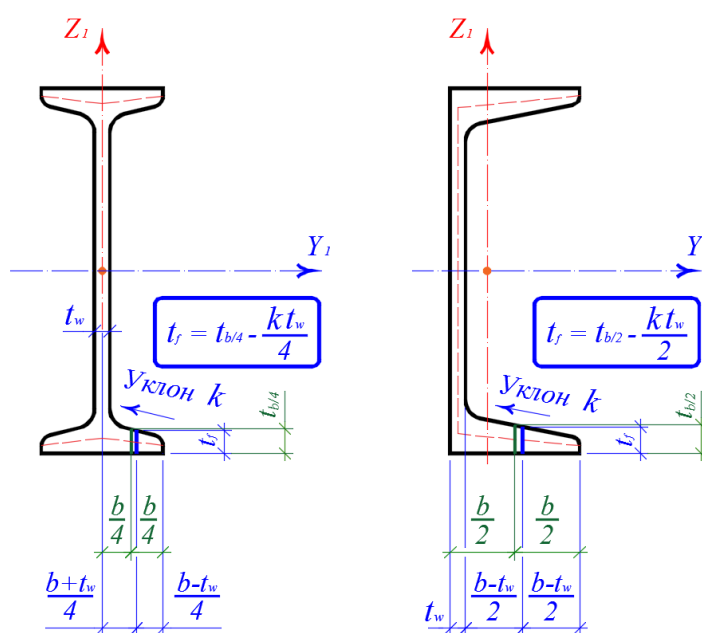



Рис. 9.105. Уточненная толщина полки

## 9.7 ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ

### 9.7.1 Типы сечений по конструированию

Чтобы вызвать Редактор параметров конструирования, воспользуйтесь командой Редакторы ⇒ Редактор конструирования либо одноименной командой на вкладке ленты Редакторы и конструирование, либо кнопкой  на панели инструментов. Затем в окне редактора щелкните на кнопке Стальные конструкции и выберите нужную топологию сечений (рис. 9.106 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

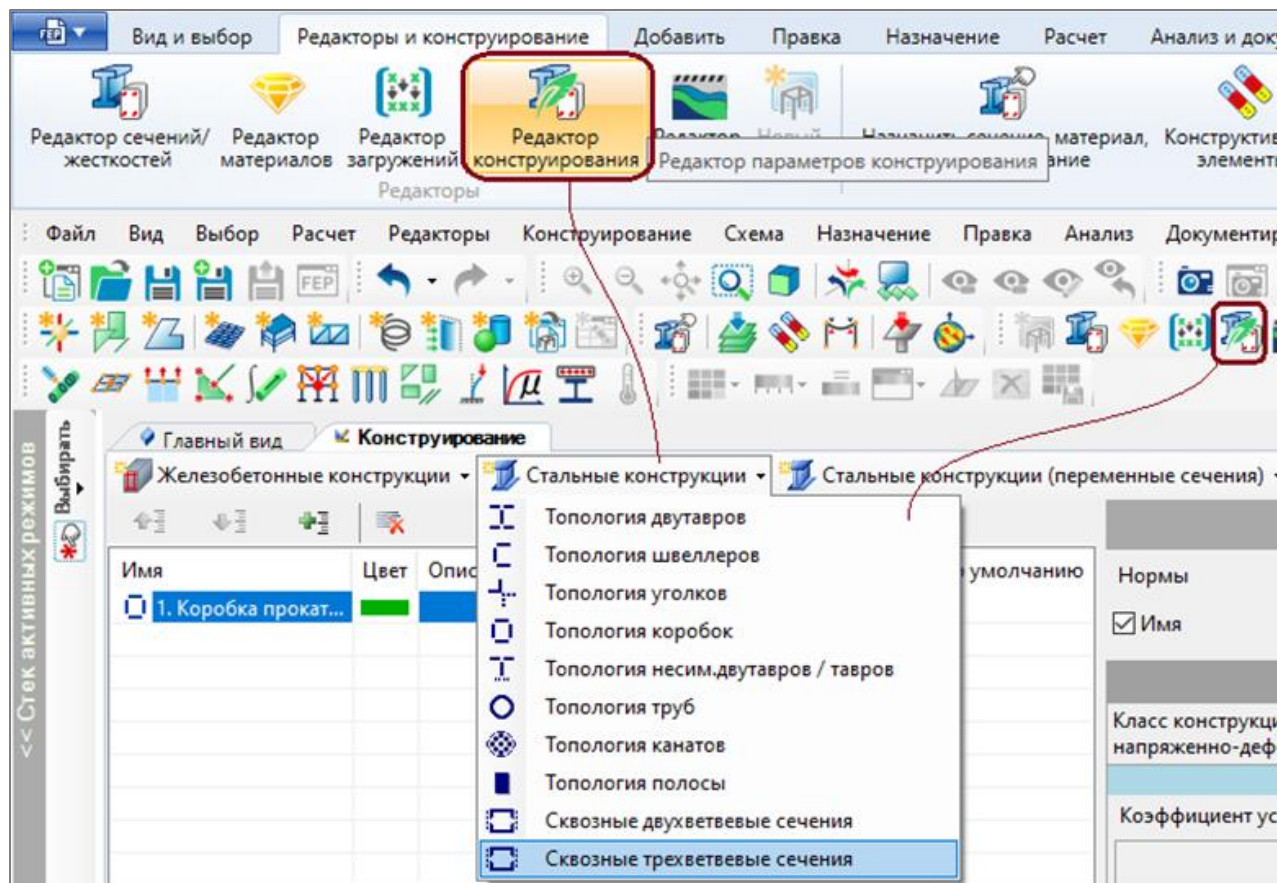




Рис. 9.106. Вызов редактора конструирования стальных конструкций









Все сечения разбиты на типы, каждый из которых имеет свою топологию:

Топология симметричных двутавров . Сюда входят:

- прокатные двутавры различных сортаментов;
- сварные симметричные двутавры из листовой стали;
- двутавры из двух спаренных швеллеров с сухариками.

2. Топология швеллеров . Сюда входят:

- швеллеры прокатные различных сортаментов;
- швеллеры сварные из уголков;
- швеллеры сварные из уголков со стенкой из листа;
- сварные швеллеры из листовой стали.

3. Топология уголков . В программе тип сечения данной топологии работает только на осевые усилия, о чем выдается соответствующее предупреждение. Сюда входят:
- одиночные уголки равнополочные или неравнополочные;
  - крестовые сечения из двух уголков.
4. Топология коробок . Сюда входят:
- гнутосварные квадратные или прямоугольные профили различных сортментов;
  - сварные коробки из двух швеллеров;
  - сварные коробки из двух двутавров;
  - сварные коробки из двух равнополочных или неравнополочных уголков;
  - сварные коробки из четырех уголков.
5. Топология несимметричных двутавров и тавров . Сюда входят:
- несимметричные сварные двутавры с одной осью симметрии;
  - тавры любой допустимой высоты из прокатных двутавров;
  - тавры из парных уголков с сухариками.
6. Топология труб . Сюда входят:
- круглые трубы бесшовные или прямошовные;
  - сплошной круглый профиль.
7. Топология полосы . Сюда входят:
- сплошной квадратный профиль;
  - прямоугольный профиль (полоса) с любым соотношением сторон.
8. Топология канатов . Эти сечения относятся к специальным и могут быть проверены по разрывным усилиям.
9. Сквозные двухветвевые сечения .
10. Сквозные трёхветвевые сечения .
11. Стальные переменные сечения (рис. 9.107).

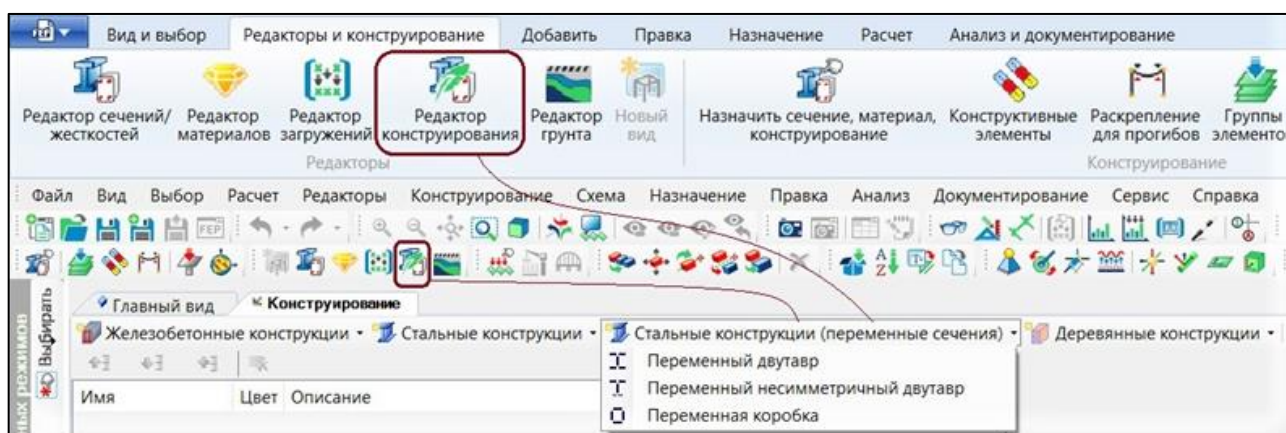


Рис. 9.107. Вызов редактора конструирования стальных конструкций переменного сечения

9.7.2 Исходные данные для конструирования

ст. стержень

Нормы  
СП 16.13330.2017

Имя \_\_\_\_\_ Описание \_\_\_\_\_

Топология двутавров

Первое предельное состояние

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_n$  1

Класс конструкции по виду напряженно-деформированного состояния: 1 НДС

Зона чистого изгиба

Прочность	Устойчивость
Коэффициент условий работы: $\gamma_c$ 1	Коэффициент условий работы: $\gamma_c$ 1
Выбрать $\gamma_c$	Выбрать $\gamma_c$
<input type="checkbox"/> Наличие ослаблений в стенке при проверке по касательным напряжениям	Расчетная длина относительно Y1
Шаг отверстий: S м	<input checked="" type="radio"/> Коэффициент приведения длины: $\mu_y$ 1
Диаметр отверстий: d м	<input type="radio"/> Расчетная длина: $l_{efy}$ 1 м
<input type="checkbox"/> Локальные напряжения: $\sigma_{loc}$ тс/м <sup>2</sup>	Определение расчетной длины колонны относительно Y1
	Расчетная длина относительно Z1
	<input checked="" type="radio"/> Коэффициент приведения длины: $\mu_z$ 1
	<input type="radio"/> Расчетная длина: $l_{efz}$ 1 м
	Определение расчетной длины колонны относительно Z1
	Расчетная длина для вычисления Фб
	<input checked="" type="radio"/> Коэффициент приведения длины: $\mu_b$ 1
	<input type="radio"/> Расчетная длина: $l_{efb}$ 1 м
	Схема работы относительно Фб: <input checked="" type="radio"/> Балочная <input type="radio"/> Консольная
	Количество закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости
	Без закреплений
	Вид нагрузки
	Сосредоточенная
	Нагруженный пояс
	Сжатый

Местная устойчивость

Стенка

Наличие ребер жесткости

Шаг  $\alpha$  1.5 м

$\alpha / h_w$  2.5

Допускается конструкция с гибкой стенкой

Дополнительный коэффициент условий работы при сейсмике

Коэффициент, учитывающий увеличение механических свойств стали при кратковременном сейсмическом воздействии

- при расчётах прочности (по нормальным, касательным, приведенным напряжениям)	$\lambda \leq 20$	1.3	
- при расчётах устойчивости (сжато-изогнутых элементов по изгибной, изгибно-крутильной форме и на совместное действие сжатия и изгиба в двух плоскостях)	$20 < \lambda < 100$	1.25	- 0.0025 * $\lambda$
- при расчётах устойчивости изгибаемых элементов по плоской форме изгиба	$\lambda \geq 100$	1	

Второе предельное состояние

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_n$  1

Проверка по гибкости

Сжатые элементы

Основные колонны, пояса и опорные раскосы стропильных ферм: 180 - 60 $\alpha$

Второстепенные колонны, стойки фахверка, рядовые элементы решетки стропильных ферм: 210 - 60 $\alpha$

Прочие конструкции:

Растянутые элементы

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2017

Проверка по деформациям

Прогибы относительно локальной оси Z1 (в плоскости X1OZ1):			Деформации относительно локальной оси Y1 (в плоскости X1OY1):		
Длина пролета			Длина пролета		
<input checked="" type="radio"/> Автоматически			<input checked="" type="radio"/> Автоматически		
<input type="radio"/> Точно $l_{z1}$ м			<input type="radio"/> Точно $l_{y1}$ м		
Схема работы:			Схема работы:		
<input checked="" type="radio"/> Балочная <input type="radio"/> Консольная			<input checked="" type="radio"/> Балочная <input type="radio"/> Консольная		
Максимально допустимый прогиб:			Максимально допустимые деформации:		
В мм	В долях пролета	Автоматически по п.2в табл.Е1 СП СП 20.13330.2011(СП 20.13330.2016)	В мм	В долях пролета	Автоматически по п.2в табл.Е1 СП СП 20.13330.2011(СП 20.13330.2016)
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> $l_{z1} /$	Высота помещения	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> $l_{y1} /$	Высота помещения
		<input type="radio"/> $\leq 6m$ <input type="radio"/> $> 6m$			<input type="radio"/> $\leq 6m$ <input type="radio"/> $> 6m$

Рис. 9.108. Общий вид окна задания параметров конструирования для стальных стержней

## Данные, задаваемые для всех типов сечений


На рис. 9.108 приведен общий вид окна задания параметров конструирования для стальных стержней топологий двутавра и швеллера. Для остальных топологий (уголков, несимметричных двутавров и тавров, труб, канатов и полосы) оно имеет некоторые отличия.

К общим исходным данным, которые нужно задать в параметрах конструирования, относятся:

1. **Нормы** — из раскрывающегося списка можно выбрать нормы проектирования стальных конструкций:

- СНиП II-23-81\*;
- СП 16.13330.2011;
- СП 16.13330.2017;
- ДБН В.2.6-198:2014.

2. **Коэффициент надежности по ответственности** — задается в соответствии с ГОСТ 27751 (если в качестве нормативного документа был выбран СНиП II-23-81\* или СП 16.13330.2011, СП 16.13330.2017), или в соответствии с ДБН В.1.2-14-2018, табл. 5 (если в качестве нормативного документа был выбран ДБН В.2.6-198:2014).

 Данный коэффициент в параметрах конструирования задается два раза: первый раз для первого предельного состояния, второй раз для второго предельного состояния.

3. Допуск развития пластических деформаций:

- если в качестве нормативного документа был выбран СНиП II-23-81\*, то в диалоговом окне предоставляется возможность установить флажок **Допускается развитие пластических деформаций**;
- если в качестве нормативного документа был выбран СП 16.13330.2011, СП 16.13330.2017 или ДБН В.2.6-198:2014, то в диалоговом окне предоставляется возможность выбрать из раскрывающегося списка **Класс конструкции по виду напряженно-деформированного состояния** один из трех классов НДС (**1 НДС**, **2 НДС** или **3 НДС**).

4. **Зона чистого изгиба** — значение данного параметра необходимо для выполнения проверки сечений с учетом пластических деформаций и также для проверки устойчивости плоской формы изгиба по  $\varphi_b$ .

5. **Коэффициент условий работы** — можно задать вручную, введя значение  $\gamma_c$  в соответствующее поле, а можно с помощью соответствующих таблиц СНиП II-23-81\*, СП 16.13330.2011, СП 16.13330.2017 или ДБН В.1.2-14-2009, нажав на кнопку **Выбрать  $\gamma_c$  по СНиП II-23-81\*** (если в качестве нормативного документа был выбран СНиП II-23-81\*), или **Выбрать  $\gamma_c$  по СП 16.13330.2011, СП 16.13330.2017** (если в качестве нормативного документа была выбрана одна из этих норм), или **Выбрать  $\gamma_c$  по ДБН В.2.6-198:2014** (если в качестве нормативного документа был выбран ДБН В.2.6-198:2014).

6. Расчетные длины элементов стальных конструкций задаются относительно локальных осей  $Y_1$  и  $Z_1$ . В зависимости от того, какой из переключателей (**Коэффициент приведения длины** или **Расчетная длина**) выбран, вводится коэффициент к геометрической длине конструктивного элемента или значение расчетной длины в метрах. Если

рассматриваемый элемент не входит в состав конструктивного элемента, коэффициент приведения длины принимается к геометрической длине самого конечного элемента. При задании расчетной длины нужно руководствоваться (в зависимости от выбранного нормативного документа) разделом 6 [9.10], разделом 10 [9.11] или разделом 13 [9.6]. Если в этих документах нет указаний применительно к рассматриваемой расчётной схеме, рекомендуем воспользоваться подсистемой **Устойчивость**. В некоторых случаях может оказаться полезной вкладка **Колонны с неполной связью** в утилите **Расчётная длина колонны** (см. п. 9.10).

7. **Дополнительный коэффициент условий работы при сейсмике** — задается в соответствии со СНиП II-7-81\* п. 2.14, табл. 7, или СП 14.13330.2014 п. 5.16, табл. 6, или ДБН В.1.1-12:2014 п. 6.5.4, табл. 6.13, или по аналогичной таблице национальных норм.

8. **Проверка гибкости** — для активизации нужно установить соответствующий флажок и с помощью переключателей (в топологиях двутавров, швеллеров, несимметричных двутавров/тавров) или раскрывающегося списка (в топологиях уголков, коробок, труб и полосы) выбрать подходящие параметры проверки гибкости для **Сжатых элементов** и также задать нужное значение предельной гибкости для **Растянутых элементов**.

9. **Проверка по деформациям** — задаются параметры для проверки предельно-допустимых прогибов относительно локальных осей  $Y_1$  и  $Z_1$ . Для активизации проверки по деформациям нужно установить флажок **Проверка по деформациям**. Далее путем установки флажков выбрать, относительно каких осей нужно выполнить проверку (**Прогибы относительно локальной оси Z1** и **Деформации относительно локальной оси Y1**). После этого нужно задать длину пролета, выбрав переключатель **Автоматически** (длина пролета равняется расстоянию между раскреплениями в пределах конструктивного элемента, которому присваиваются данные параметры конструирования, или его геометрической длине, если не заданы раскрепления) или **Точно** (задается длина пролета в метрах). В случае точного задания длины пролета путем выбора переключателя указывается схема работы конструкции: **Балочная** или **Консольная**. Потом нужно выбрать один из трех вариантов задания максимально допустимого прогиба:

- **В мм** — значение задается в миллиметрах.
- **В долях пролета** — указывается знаменатель, т.е. во сколько раз должен быть меньшим максимальный прогиб от длины пролета конструкции.
- **Автоматически по п. 2а табл. 19 СНиП 2.01.07-85\*** (**Автоматически по п. 2а табл. Е1 СП 20.13330.2011** или **Автоматически по п. 2а табл. 1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006**) — с помощью выбора переключателя  $\leq 6\text{м}$  или  $> 6\text{м}$  задается предел высоты конструкции, с помощью которого программа, пользуясь соответствующими нормами, сама определяет максимальный прогиб.

На определение прогибов в конструктивном элементе влияют заданные ему раскрепления, которые позволяют определить прогиб рассматриваемого конструктивного элемента без учета перемещения его опор. Подробное описание расстановки раскреплений приведено в п. 9.7.6.




## Дополнительные данные, задаваемые для некоторых типов сечений

Каждая топология имеет дополнительные исходные данные, присущие только ей:


1. Для топологий двутавров и швеллеров дополнительно задаются параметры для определения коэффициента  $\varphi_b$ :

- **Расчетная длина для вычисления  $\varphi_b$**  — в зависимости от того, какой из переключателей (**Коэффициент приведения длины** или **Расчетная длина**) выбран, вводится или коэффициент к расчетной длине, или значение расчетной длины в метрах.
- **Схема работы относительно  $\varphi_b$**  — путем выбора соответствующего переключателя (**Балочная** или **Консольная**) задается схема работы изгибаемого элемента.
- **Количество закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости** — задается с помощью соответствующего раскрывающегося списка (зависит от выбранной схемы работы относительно  $\varphi_b$ ).
- **Вид нагрузки** — задается с помощью соответствующего раскрывающегося списка (зависит от выбранного количества закреплений).

 Если вид нагрузки отличается от нагрузок, предлагаемых нормами, следует выбрать тот вид нагрузки из норм, который дает эюру  $M_y$  на участке  $l_{ef}$ , в которую можно вписать фактическую эюру изгибаемых моментов.

- **Нагруженный пояс** — задается с помощью соответствующего раскрывающегося списка.


Вышеприведенные параметры задаются согласно строительным нормам [9.10] приложение 7\*, таблицы 77 и 78\*, [9.11] приложение Ж, таблицы Ж1 и Ж2, [9.6] приложение П, таблицы П1 и П2.

 Если очевидно, что проверка изгибаемых элементов на устойчивость плоской формы изгиба по  $\varphi_b$  не понадобится, нужно выбрать **Балочную** схему работы по  $\varphi_b$  и поставить количество закреплений **Два и больше закреплений, делящих пролет на равные части**. Не следует задавать расчетную длину по  $\varphi_b$  равной нулю, если она действительно не равна нулю, т.к. она также используется в проверке устойчивости по изгибно-крутильной форме по  $s\varphi_z$ .

2. Для топологии уголков требуется дополнительно указать применяемый для расчета устойчивости **Радиус инерции**. Задается он с помощью соответствующего раскрывающегося списка. Выбирать радиус инерции нужно в соответствии со строительными нормами [9.10] пп. 6.4, 6.5\* и 6.6, [9.11] пп. 10.1.4, 10.2.1 и 10.2.3, [9.6] пп. 1.9.1.4, 1.9.1.5 и 1.9.9.2.

3. Для топологии несимметричных двутавров и тавров, как и для топологий двутавров и швеллеров, дополнительно задаются параметры для определения коэффициента  $\varphi_b$ :

- **Расчетная длина для вычисления  $\varphi_b$**  — в зависимости от того, какой из переключателей (**Коэффициент приведения длины** или **Расчетная длина**) выбран, вводится или коэффициент к расчетной длине, или значение расчетной длины в метрах.

- **Схема работы относительно  $\varphi_b$**  — возможен только вариант **Балочной** схемы работы, поскольку для несимметричных двутавров и тавров в нормах отсутствуют данные по проверке на устойчивость по  $\varphi_b$  для консолей.
- **Вид нагрузки** — задается с помощью соответствующего раскрывающегося списка.
- **Нагруженный пояс** — задается с помощью переключателя, возле которого схематически изображен нагруженный пояс ().

Вышеприведенные параметры задаются согласно строительным нормам [9.10] приложение 7\*, таблицы 79, 80 и 81, [9.11] приложение Ж, таблицы Ж3, Ж4 и Ж5, [9.6] приложение П, таблицы П3, П4 и П5.

4. Для топологии полосы дополнительно также задаются параметры для определения коэффициента  $\varphi_b$ :

- **Расчетная длина для вычисления  $\varphi_b$**  — в зависимости от того, какой из переключателей (**Коэффициент приведения длины** или **Расчетная длина**) выбран, вводится или коэффициент к расчетной длине, или значение расчетной длины в метрах.
- **Схема работы относительно  $\varphi_b$**  — путем выбора соответствующего переключателя (**Балочная** или **Консольная**) задается схема работы изгибаемого элемента.
- **Вид нагрузки** — задается с помощью соответствующего раскрывающегося списка (зависит от выбранной схемы работы относительно  $\varphi_b$ ).
- **Уровень приложения нагрузки** — задается с помощью соответствующего раскрывающегося списка.

### 9.7.3 Конструирование универсального двухветвевое сечения

Особенностью задания конструирования для такого элемента является то, что для универсального двухветвевое сечения выполняются проверки как для единого стержня, так и для отдельных ветвей и соединительных элементов, составляющих это сечение. Соответственно, следует задать необходимые для этого параметры (рис. 9.109 и 9.110).

Моделирование элемента двухветвевое сечения как единого стержня допустимо при количестве панелей не менее шести, в соответствии с указаниями нормативных документов п. 5.11 [9.8], п. 7.2.2 [9.11], п. 8.2.2 [9.6].

Сквозные стержни с числом панелей менее шести рекомендуется выполнять по указаниям пп. 7.2.2, 7.2.5 [9.11], пп. 8.2.2, 8.2.5 [9.6] как расчет рамных систем. Расчет общей устойчивости по деформированной схеме по указаниям п. 7.2.5 [9.11], п. 8.2.5 [9.6] в настоящей версии не реализован.

Параметры, необходимые для расчета элемента, как **единого стержня**, задаются аналогично параметрам для других типов сечений. Так же, как и для других типов сечений, задаются нормы, по которым будут выполняться проверки, коэффициенты надежности по ответственности (при расчете по ДБН В.2.6-198:2014 они могут быть разные для первого и второго предельных состояний). По **первому предельному состоянию** задаются класс напряженно-деформированного состояния, коэффициенты условий работы по прочности и по

устойчивости, коэффициенты по сейсмике, расчетные длины единого стержня в двух главных направлениях. При указании расчетных длин также можно воспользоваться вспомогательной утилитой по их определению.

ст. стержень

Нормы  
СП 16.13330.2011

Имя  
 Сквозные двуветвевые сечения

Описание  
Крайняя опора.

Первое предельное состояние

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_n$  0.95

Класс конструкции по виду напряженно-деформированного состояния: 2 НДС

Дополнительный коэффициент условий работы при сейсмике

Коэффициент, учитывающий увеличение механических свойств стали при кратковременном сейсмическом воздействии  $m_{tr}$

- при расчётах прочности (по нормальным, касательным, приведенным напряжениям)		1.3	
	$\lambda \leq 20$	1.2	
- при расчётах устойчивости (сжато-изогнутых элементов по изгибной, изгибно-крутильной форме и на совместное действие сжатия и изгиба в двух плоскостях)	$20 < \lambda < 100$	1.25	- 0.0025 * $\lambda$
	$\lambda \geq 100$	1	
- при расчётах устойчивости изгибаемых элементов по плоской форме изгиба		1	

Прочность (всё сечение)		Прочность (ветви)	
Коэффициент условий работы: $\gamma_c$ 1	<input type="text"/>	Коэффициент условий работы: $\gamma_c$ 1	<input type="text"/>
<input type="button" value="Выбрать &lt;math&gt;\gamma_c&lt;/math&gt;"/>		<input type="button" value="Выбрать &lt;math&gt;\gamma_c&lt;/math&gt;"/>	

Устойчивость (всё сечение)		Устойчивость (ветви)	
Коэффициент условий работы: $\gamma_c$ 0.95	<input type="text"/>	Коэффициент условий работы: $\gamma_c$ 0.95	<input type="text"/>
<input type="button" value="Выбрать &lt;math&gt;\gamma_c&lt;/math&gt;"/>		<input type="button" value="Выбрать &lt;math&gt;\gamma_c&lt;/math&gt;"/>	
Расчетная длина относительно Y1		Расчетная длина относительно Y1	
<input type="radio"/> Коэффициент приведения длины: $\mu_y$ 1	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Коэффициент к длине конструктивного элемента $\mu_y$ 1	<input type="text"/>
<input checked="" type="radio"/> Расчетная длина: $L_{efy}$ 28.8 м	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Коэффициент к расстоянию между узлами $\mu_{yb}$ 1	<input type="text"/>
<input type="radio"/> Расчетная длина: $L_{efy}$ 1 м	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Расчетная длина: $L_{efy}$ 1 м	<input type="text"/>
<input type="button" value="Определение расчетной длины колонн относительно Y1"/>		<input type="button" value="Определение расчетной длины колонн относительно Y1"/>	
Расчетная длина относительно Z1		Расчетная длина относительно Z1	
<input type="radio"/> Коэффициент приведения длины: $\mu_z$ 1	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Коэффициент к длине конструктивного элемента $\mu_z$ 1	<input type="text"/>
<input checked="" type="radio"/> Расчетная длина: $L_{efz}$ 7.2 м	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Коэффициент к расстоянию между узлами $\mu_{zb}$ 1	<input type="text"/>
<input type="radio"/> Расчетная длина: $L_{efz}$ 1 м	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Расчетная длина: $L_{efz}$ 7.2 м	<input type="text"/>
<input type="button" value="Определение расчетной длины колонн относительно Z1"/>		<input type="button" value="Определение расчетной длины колонн относительно Z1"/>	

Прочность (решётка)

Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  0.75

Устойчивость (решётка)

Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  0.75

Расчетная длина относительно Y1 (в плоскости решётки)

Коэффициент приведения длины:  $\mu_{yd}$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  1 м

Радиус инерции:  $i_{min}$

Расчетная длина относительно Z1 (из плоскости решётки)

Коэффициент приведения длины:  $\mu_{zd}$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  1 м

Радиус инерции:  $i_{min}$

Рис. 9.109. Задание параметров для расчета по первому предельному состоянию

Второе предельное состояние

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_p$

Проверка по гибкости (всё сечение)

Сжатые элементы (табл. 32)  
 Второстепенные колонны, стойки фахверка, стойки фонаря, элементы решетки сквозных колонн 210-60 $\alpha$

Растянутые элементы

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2011

Проверка по гибкости (ветви)

Предельно допустимое значение относительно оси Y1 (в плоскости соединительных элементов)

Сжатые элементы

Гибкость  $\lambda_{y1b}$

Условная гибкость  $\frac{\lambda_{y1b}}{\lambda_{y1b}} = 2.7$

Растянутые элементы

Гибкость  $\lambda_{y1b}$

Условная гибкость  $\frac{\lambda_{y1b}}{\lambda_{y1b}} = 4.1$

Предельно допустимое значение относительно оси Z1 (из плоскости соединительных элементов)

Сжатые элементы (табл. 32)  
 Второстепенные колонны, стойки фахверка, стойки фонаря, элементы решетки сквозных колонн 210-60 $\alpha$

Растянутые элементы

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2011

Проверка по гибкости (решётка)

Сжатые элементы (табл. 32)  
 Прочие элементы решетки плоских ферм, пространственных и структурных конструкций 210-60 $\alpha$

Растянутые элементы

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2011

Проверка по деформациям

Прогобы относительно локальной оси Z1 (в плоскости X1OZ1):

Длина пролета  
 Автоматически  Точно  $L_{y1}$

Схема работы:  
 Балочная  Консольная

Максимально допустимое перемещение:  
 Ввести значение   
 В долях пролета  $L_{y1} /$    
 Автоматически по п.2а табл.Е1 Высота омещения   $\leq 6m$    $> 6m$

Деформации относительно локальной оси Y1 (в плоскости X1OY1):

Длина пролета  
 Автоматически  Точно  $L_{z1}$

Схема работы:  
 Балочная  Консольная

Максимально допустимый прогиб:  
 Ввести значение   
 В долях пролета  $L_{z1} /$    
 Автоматически по п.2а табл.Е1 Высота омещения   $\leq 6m$    $> 6m$

Рис. 9.110. Задание параметров для расчета по второму предельному состоянию

По **второму предельному состоянию** при необходимости указываются предельно допустимые значения гибкости единого стержня (здесь, так же, как и для других сечений, можно воспользоваться подсказкой), а также максимальные прогибы (деформации) в различных направлениях.

При задании параметров для расчета **ветвей и соединительной решетки** некоторые характеристики принимаются по умолчанию (табл. 9.7 и 9.8).

Таблица 9.7. Характеристики ветвей, принимаемые по умолчанию

Характеристика	Принимается по умолчанию	Примечание
Нормативный документ	Принимается, как для всего сечения в целом	
Класс конструкций по напряженно-деформированному состоянию		
Коэффициент надежности по назначению		
Схема работы относительно $\varphi_b$	Балочная	Для двутавров и швеллеров
Количество боковых креплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости	Два и более, делящие пролет на равные части	
Вид нагрузки	Не используются при двух раскреплениях	
Нагруженный пояс		

Таблица 9.8. Характеристики решетки или планок, принимаемые по умолчанию

Характеристика	Принимается по умолчанию	Примечание
Нормативный документ	Принимается, как для всего сечения в целом	
Класс конструкций по напряженно-деформированному состоянию		
Коэффициент надежности по назначению		
Коэффициент условий работы (только для планок)		
Расчетная длина для планок (в расчетах не используется)	$l_{efy} = l_{efz} = 0.5b$ $l_{efb} = b$	Для планок
Схема работы относительно $\varphi_b$	Балочная	
Количество боковых креплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости	Два и более, делящие пролет на равные части	Для планок из швеллера
Вид нагрузки	Не используются при двух раскреплениях	
Нагруженный пояс		
Вид нагрузки	Зона чистого изгиба или участок между боковыми раскреплениями	Для планок из полосы
Уровень приложения нагрузки	Не используется	

Отдельно задаются следующие параметры:

- Для ветвей по первому предельному состоянию задаются:

- **Коэффициент условий работы по прочности и по устойчивости.** Они могут отличаться от коэффициентов условий работы, принимаемых для всего элемента как единого стержня. Здесь также предусмотрена возможность воспользоваться подсказкой.

- **Расчетная длина относительно Y1.** Это расчетная длина ветви в плоскости соединительных элементов (плоскость  $X_1OZ_1$ ). Ее можно задать абсолютным значением **расчетной длины** в метрах  $L_{efy}$ , коэффициентом к длине конструктивного элемента  $\mu_y$  или коэффициентом к расстоянию между узлами соединительной решетки или планок  $\mu_{yb}$ . Как правило, расчетная длина ветви в этом направлении принимается равной расстоянию между узлами решетки или между осями планок, т.е.  $\mu_{yb} = 1$ , что соответствует указаниям норм п. 5.35 [9.10], п. 9.3.6 [9.11], п. 10.3.6 [9.6]. Но здесь можно воспользоваться вспомогательной утилитой по определению расчетных длин ветвей двухветвевых колонн, которая реализует указания табл. 26 [9.8], п. 1.1.2 [9.11], табл. Р.1 [9.6] и позволяет получить уточненное значение расчетных длин. Сложность такого задания расчетных длин состоит в том, что при задании исходных данных нужно знать количество участков (панелей) и усилия в них.

- **Расчетная длина относительно Z1.** Это расчетная длина ветви из плоскости соединительных элементов (плоскость  $X_1OY_1$ ). Чаще всего данная расчетная длина совпадает с расчетной длиной  $L_{efz}$  всего элемента, как единого стержня, но в зависимости от конструктивных особенностей рассчитываемых конструкций может и отличаться. Здесь также можно воспользоваться вспомогательной утилитой по определению расчетных длин ветвей двухветвевых колонн, которая позволяет получить уточненное значение расчетных длин.

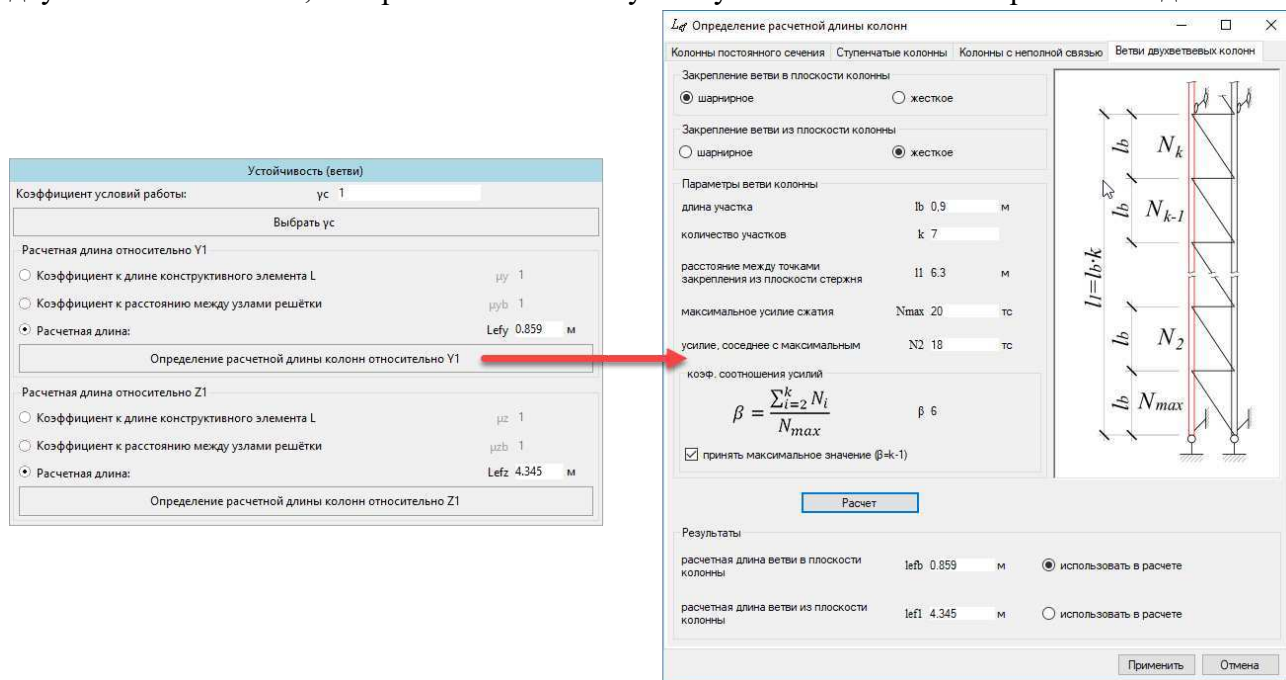


Рис. 9.111. Задание уточненного значения расчетных длин

ст. стержень

Нормы  
СП 16.13330.2011

Имя: Сквиозные двухветвевые сечения  
Описание: Крайняя опора.

**Первое предельное состояние**

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_n$  0.95  
Класс конструкции по виду напряженно-деформированного состояния: 2 НДС

**Дополнительный коэффициент условий работы при сейсмике**

Коэффициент, учитывающий увеличение механических свойств стали при кратковременном сейсмическом воздействии:  $m_{tr}$  1.3

- при расчётах прочности (по нормальным, касательным, приведенным напряжениям)

- при расчётах устойчивости (сжато-изогнутых элементов по изгибной, изгибно-крутильной форме и на совместное действие сжатия и изгиба в двух плоскостях)

$\lambda \leq 20$	1.2	
$20 < \lambda < 100$	1.25	$\cdot 0.0025 \cdot \lambda$
$\lambda \geq 100$	1	

- при расчётах устойчивости изгибаемых элементов по плоской форме изгиба: 1

**Прочность (всё сечение)**  
Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  1  
Выбрать  $\gamma_c$

**Прочность (ветви)**  
Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  1  
Выбрать  $\gamma_c$

**Устойчивость (всё сечение)**  
Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  0.95  
Выбрать  $\gamma_c$

Расчетная длина относительно Y1

Коэффициент приведения длины:  $\mu_y$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  28.8 м

Определение расчетной длины колонн относительно Y1

Расчетная длина относительно Z1

Коэффициент приведения длины:  $\mu_z$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  7.2 м

Определение расчетной длины колонн относительно Z1

**Прочность (решётка)**  
Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  0.75  
Выбрать  $\gamma_c$

**Устойчивость (решётка)**  
Коэффициент условий работы:  $\gamma_c$  0.75  
Выбрать  $\gamma_c$

Расчетная длина относительно Y1 (в плоскости решётки)

Коэффициент приведения длины:  $\mu_{yd}$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  1 м

Определение расчетной длины колонн относительно Y1

Радиус инерции:  $i_{min}$

Расчетная длина относительно Z1 (из плоскости решётки)

Коэффициент приведения длины:  $\mu_{zd}$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  1 м

Определение расчетной длины колонн относительно Z1

Радиус инерции:  $i_{min}$

**Второе предельное состояние**

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_n$  0.95

Проверка по гибкости (всё сечение)  
Сжатые элементы (табл. 32)  
Второстепенные колонны, стойки фахверка, стойки фонаря, элементы решетки сквозных колонн 210-60a  
Растянутые элементы: 400

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2011

Проверка по гибкости (ветви)  
Предельно допустимое значение относительно оси Y1 (в плоскости соединительных элементов)

Сжатые элементы

Гибкость:  $\lambda_{y1b}$  80

Условная гибкость:  $\bar{\lambda}_{y1b}$  2.7

Растянутые элементы

Гибкость:  $\lambda_{y1b}$  120

Условная гибкость:  $\bar{\lambda}_{y1b}$  4.1

Предельно допустимое значение относительно оси Z1 (из плоскости соединительных элементов)

Сжатые элементы (табл. 32)  
Второстепенные колонны, стойки фахверка, стойки фонаря, элементы решетки сквозных колонн 210-60a  
Растянутые элементы: 400

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2011

Проверка по гибкости (решётка)  
Сжатые элементы (табл. 32)  
Прочие элементы решетки плоских ферм, пространственных и структурных конструкций 210-60a  
Растянутые элементы: 400

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2011

Проверка по деформациям

Прогобы относительно локальной оси Z1 (в плоскости X1OZ1): Длина пролета

Деформации относительно локальной оси Y1 (в плоскости X1OY1): Длина пролета

Рис. 9.112. Общий вид конструирования для универсального двухветвевое сечения

- Для соединительных элементов по первому предельному состоянию параметры задаются только для элементов решетки. Для планок здесь ничего задавать не требуется.

- Коэффициенты условий работы по прочности и по устойчивости. Предусмотрена возможность воспользоваться подсказкой.

- Расчетная длина относительно  $Y1$  (в плоскости решетки) и Расчетная длина относительно  $Z1$  (из плоскости решетки). Может задаваться как абсолютным значением  $L_{efy}, L_{efz}$  в метрах, так и коэффициентом к геометрической длине элемента  $\mu_{yd}, \mu_{zd}$ . Как правило, расчетная длина элементов решетки принимается равной их геометрической длине.

- Для решетки из уголков следует еще задать принимаемый в расчете Радиус инерции (минимальный, максимальный или параллельно полкам).

- Для ветвей по второму предельному состоянию задаются:

- Предельно допустимая гибкость ветви относительно оси  $Y1$  (в плоскости соединительных элементов). С помощью переключателя  $\lambda_{uyb}$  задается значение предельной гибкости ветви или с помощью переключателя  $\bar{\lambda}_{uyb}$  задается значение предельной условной гибкости ветви  $\bar{\lambda}_{uyb} = \lambda_{uyb} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ . Предельные значения гибкости задаются как для сжатых, так и для растянутых ветвей. При этом следует руководствоваться указаниями норм п. 5.6 [9.10], пп. 7.2.3, 7.2.4 [9.11], пп. 8.2.3, 8.2.4 [9.6].

- Предельно допустимая гибкость ветви относительно оси  $Z1$  (из плоскости соединительных элементов). Здесь можно воспользоваться встроенной подсказкой. Обычно предельная гибкость ветви относительно оси  $Z1$  принимается равной предельной гибкости всего элемента, как единого стержня относительно оси  $Z1$ .

- Для соединительных элементов по второму предельному состоянию задаются только предельные гибкости элементов решетки. При этом можно воспользоваться подсказкой. Для планок здесь ничего задавать не нужно. При задании планок из полосовой стали рекомендуется выполнять ограничения, указанные в п. 15.3.5 [9.11], п. 17.4.5 [9.6]. При невыполнении этих конструктивных ограничений программа выдает предупреждение.

#### 9.7.4 Конструирование универсального трёхветвевое сечения

Здесь, как и в двухветвевых сечениях, моделирование элемента единым стержнем допустимо при количестве панелей не менее шести, в соответствии с указаниями нормативных документов п. 5.11 [9.8], п. 7.2.2 [9.11], п. 8.2.2 [9.6].

Задание конструирования элементов трёхветвевое сечения имеет много общего с двухветвевым. Здесь также, как и для двухветвевых сечений, выполняются проверки как для единого стержня, так и для отдельных ветвей и соединительных элементов, составляющих это сечение. Соответственно, следует задать необходимые для этого параметры (рис. 9.113).

При задании исходных данных для отдельных элементов, составляющих трёхветвевое сечение, некоторые параметры задаются по умолчанию (табл. 9.9 и 9.10).



Таблица 9.9. Характеристики элементов с геометрически неизменяемой решёткой

Характеристика	Принимается по умолчанию	Примечание
Нормативный документ	Принимается, как для всего сечения в целом	
Класс конструкций по напряженно-деформированному состоянию		
Коэффициент надежности по назначению		
Схема работы относительно $\varphi_b$	Балочная	Для двутавров и швеллеров
Количество боковых закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости	Два и более, делящие пролет на равные части	
Вид нагрузки	Не используются при двух раскреплениях	
Нагруженный пояс		

Таблица 9.10. Характеристики элементов с планками

Характеристика	Принимается по умолчанию	Примечание
Нормативный документ	Принимается, как для всего сечения в целом	
Класс конструкций по напряженно-деформированному состоянию		
Коэффициент надежности по назначению		
Коэффициент условий работы		Для планок из швеллера или полосы
Расчетная длина для планок (не должна использоваться)	$l_{efy} = l_{efz} = 0.5b$	
Схема работы относительно $\varphi_b$	Балочная	Для планок из швеллера
Количество боковых закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости	Два и более, делящие пролет на равные части	
Вид нагрузки	Не используются при двух раскреплениях	
Нагруженный пояс		
Вид нагрузки	Зона чистого изгиба или участок между боковыми раскреплениями	Для планок из полосы
Уровень приложения нагрузки	Не используется	

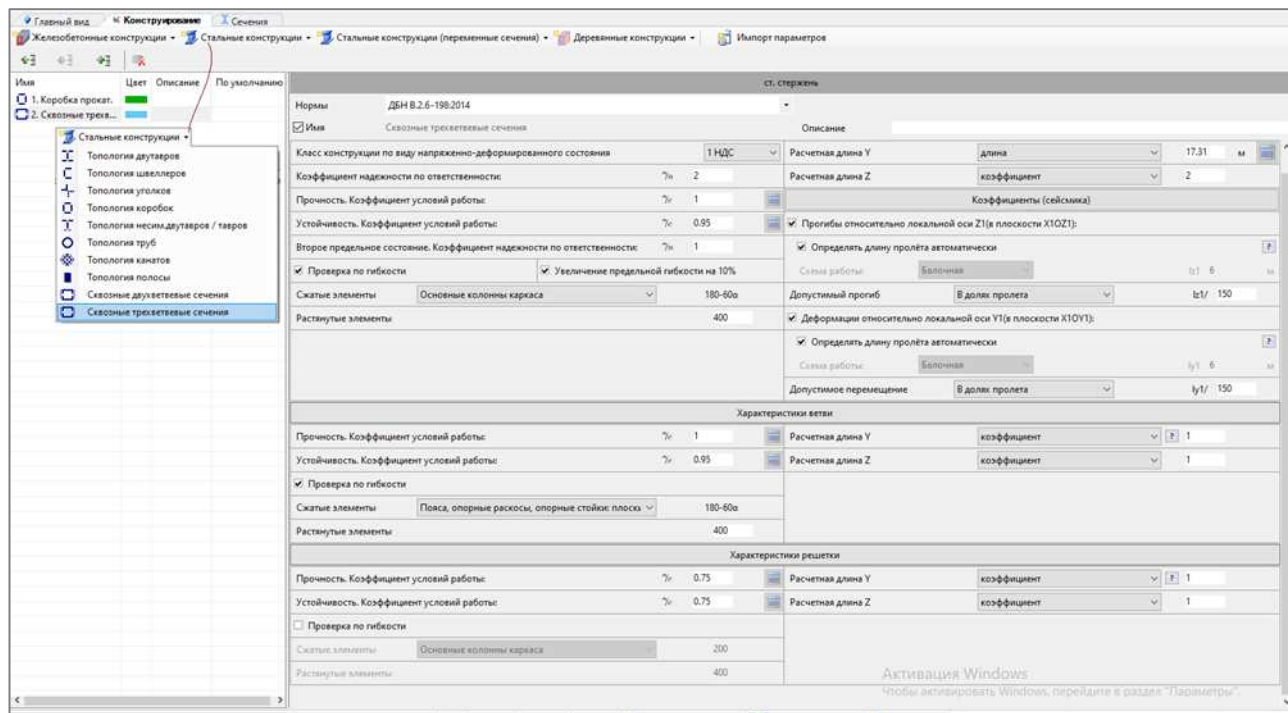


Рис. 9.113. Задание параметров конструирования трёхветвевое сечения

### 9.7.5 Конструирование элементов переменного сечения

Главным принципиальным отличием конструирования элементов переменного сечения от элементов постоянного сечения аналогичного профиля является задание расчётной длины для проверки общей устойчивости.

Как уже было отмечено (см. п. 9.4), для корректного расчёта устойчивости в соответствии с нормами СНиП, СП, ДБН приняты следующие предположения, многократно подтверждённые опытом таких расчётов методом аппроксимации переменных сечений:

- Расчётная длина элементов переменной жёсткости также является величиной переменной.
- Если известно значение расчётной длины элемента  $l_{efbas}$  (базовое значение) в любом месте такого элемента, имеющем момент инерции  $I_{bas}$ , то расчётная длина элемента в любом другом месте стержня может быть определена с помощью формулы (9.9).

В действующих нормах СНиП, СП, ДБН нет указаний по определению расчётных длин для схем с элементами переменного сечения, а в литературе рекомендуется постоянная её величина, соответствующая сечению в месте максимальной жёсткости (например, [9.20] или [9.21]).

При задании конструирования необходимо задать расчётную длину в обеих главных плоскостях. При этом есть выбор: задать постоянную по всей длине элемента расчётную длину либо использовать переменную расчётную длину. В последнем случае следует привести базовую расчётную длину и указать место, где эта величина справедлива (рис. 9.114).

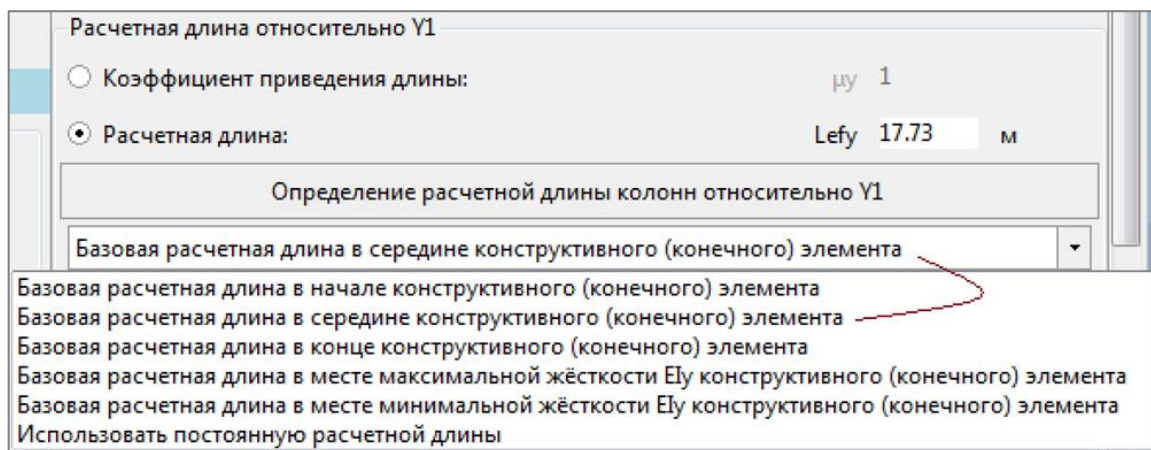


Рис. 9.114. Задание расчётной длины для элементов переменной жёсткости

Для задания базовой расчётной длины проектировщик может воспользоваться различными способами. Например:

а) Для простых конструкций можно воспользоваться указаниями приведенной выше литературы или других источников.

б) Также для простых конструкций, имеющих очертания, указанные в табл. 17а [9.10], табл. 31 [9.11], табл. 13.8 [9.6], можно применить метод эквивалентных постоянных жесткостей, приводящий рассматриваемую схему к указанной в нормах. Например, в качестве правдоподобного критерия для однопролётной П-образной рамы можно принять равенство опорных моментов в ригеле от вертикальных нагрузок или равенство горизонтальных перемещений ригеля от горизонтальных нагрузок. Путём многократных расчётов (по ЛИРА 10) можно подобрать постоянные жёсткости элементов, эквивалентные исходной раме по выбранному критерию. Затем с помощью формулы (9.9) перевести полученную по нормам с помощью эквивалентных жесткостей расчётную длину в одно из тех мест, которые предлагаются на рис. 9.114.

в) Однако рекомендуемый нами способ — воспользоваться подсистемой **Устойчивость** программного комплекса ЛИРА 10. Это универсальный способ, подходящий для любых расчётных схем. Для анализа устойчивости схемы составляется характерное нагружение или характерная комбинация нагружений (РСН), по которой будут определяться расчётные длины элементов. После этого выполняется анализ устойчивости. Подсистема **Устойчивость** определяет расчётные длины элементов переменного сечения в их среднем сечении.

Общий вид диалогового окна для задания параметров конструирования для стальных стержней переменного сечения приведен на рис. 9.115.

Переменный двутавр

Нормы: СП 16.13330.2017

Имя: Переменный двутавр      Описание: \_\_\_\_\_

---

Первое предельное состояние

Кoeffициент надежности по ответственности:  $\gamma_d$  1

Зона чистого изгиба: 1 НДС

**Прочность**

Кoeffициент условий работы:  $\gamma_c$  1

Выбрать  $\gamma_c$

Локальные напряжения:  $\sigma_{loc}$  8.66E-05 тс/м<sup>2</sup>

**Местная устойчивость**

Ребра жесткости: не заданы 1.5

**Устойчивость**

Кoeffициент условий работы: 1  $\gamma_c$

Выбрать  $\gamma_c$

Расчетная длина относительно Y1

Кoeffициент приведения длины:  $\mu_y$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  1 м

Определение расчетной длины колонн относительно Y1

Использовать постоянную расчетной длины

Расчетная длина относительно Z1

Кoeffициент приведения длины:  $\mu_z$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  1 м

Определение расчетной длины колонн относительно Z1

Использовать постоянную расчетной длины

Расчетная длина для вычисления Фб

Кoeffициент приведения длины:  $\mu_b$  1

Схема работы относительно:  Балочная  Консольная

Количество закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости

Без закреплений

Вид нагрузки: Сосредоточенная

Нагруженный пояс: Сжатый

---

Дополнительный коэффициент условий работы при сейсмике

Кoeffициент, учитывающий увеличение механических свойств стали при кратковременном сейсмическом воздействии  $m_{tr}$

- при расчетах прочности (по нормальным, касательным, приведенным напряжениям)	$\lambda \leq 20$	1.3	
	$20 < \lambda < 100$	1.2	
- при расчетах устойчивости (сжато-изогнутых элементов по изгибной, изгибно-крутильной форме и на совместное действие сжатия и изгиба в двух плоскостях)	$\lambda \geq 100$	1.25	- 0.0025 * $\lambda$
- при расчетах устойчивости изгибаемых элементов по плоской форме изгиба		1	

---

Второе предельное состояние

Кoeffициент надежности по ответственности:  $\gamma_d$  1

Проверка по гибкости

Сжатые элементы

Основные колонны, пояса и опорные раскосы стропильных ферм: 180 - 60 $\alpha$

Второстепенные колонны, стойки фахверка, рядовые элементы решетки стропильных ферм: 210 - 60 $\alpha$

Прочие конструкции

Растянутые элементы: 400

Допускается увеличение предельной гибкости на 10% в соответствии с п. 10.4.2 СП 16.13330.2017

Проверка по деформациям

Прогибы относительно локальной оси Z1 (в плоскости X1OZ1):       Деформации относительно локальной оси Y1 (в плоскости X1OY1):

Длина пролета

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом

Точно:  $l_z1$  м

Схема работы:  Балочная  Консольная

Допустимый прогиб

В мм	В долях пролета	Автоматически по п.2а табл.Е1 СП 20.13330.2011(СП 20.13330.2016)
<input checked="" type="radio"/> 30	<input type="radio"/> $l_z1 /$	Высота помещения
		<input type="radio"/> $\leq 6m$ <input type="radio"/> $> 6m$

Длина пролета

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом

Точно:  $l_y1$  м

Схема работы:  Балочная  Консольная

Максимально допустимые деформации:


В мм	В долях пролета	Автоматически по п.2а табл.Е1 СП 20.13330.2011(СП 20.13330.2016)
<input checked="" type="radio"/> 30	<input type="radio"/> $l_y1 /$	Высота помещения
		<input type="radio"/> $\leq 6m$ <input type="radio"/> $> 6m$

Рис. 9.115. Задание конструирования для элементов переменного сечения

### 9.7.6 Задание раскреплений для проверки прогибов балочных конструкций

Раскрепления опор применяются при проверке или подборе конструкций по условию максимально допустимого прогиба. Перечень конструкций, нуждающихся в такой проверке, приведен в разделе 10, п. 10.2 [9.9], в разделе Е.2.1 [9.12], в разделе 5 [9.7].

Раскрепления опор используется для того, чтобы из общего прогиба конструкции в составе расчетной схемы вычесть перемещения ее опор. Прогибы элемента в месте раскрепления в заданном направлении принимаются равными нулю, а прогибы на участке между раскреплениями вычисляются относительно прямой, соединяющей раскрепления. Раскрепления задаются в местных осях стержневого элемента.

Для доступа к режиму **Установить раскрепление для прогибов** выполните команду меню **Конструирование** ⇒ **Раскрепление для прогибов** либо воспользуйтесь одноименной командой на вкладке ленты **Редакторы и конструирование**, или щелкните на кнопке  на панели инструментов.

В верхней части панели активного режима (рис. 9.116) находится область назначения раскрепления, где путем установки соответствующих флажков (**Y1**, **Z1**) можно установить раскрепление для узла №1 и/или узла №2. Предварительно нужно выделить необходимый элемент, в зависимости от выбранной **Политики установки**.

Например, для балок перекрытия, расположенных в горизонтальной плоскости, местная ось  $Z_1$  которых направлена вверх, достаточно дать раскрепление по  $Z_1$ .

Если установить флажок **Визуализация назначенных раскреплений**, на экране предварительно (перед назначением) отображаются установленные раскрепления.

После ввода всех необходимых данных нужно нажать кнопку **Установить**.

Чтобы удалить установленные раскрепления, нужно нажать кнопку **Освободить**.

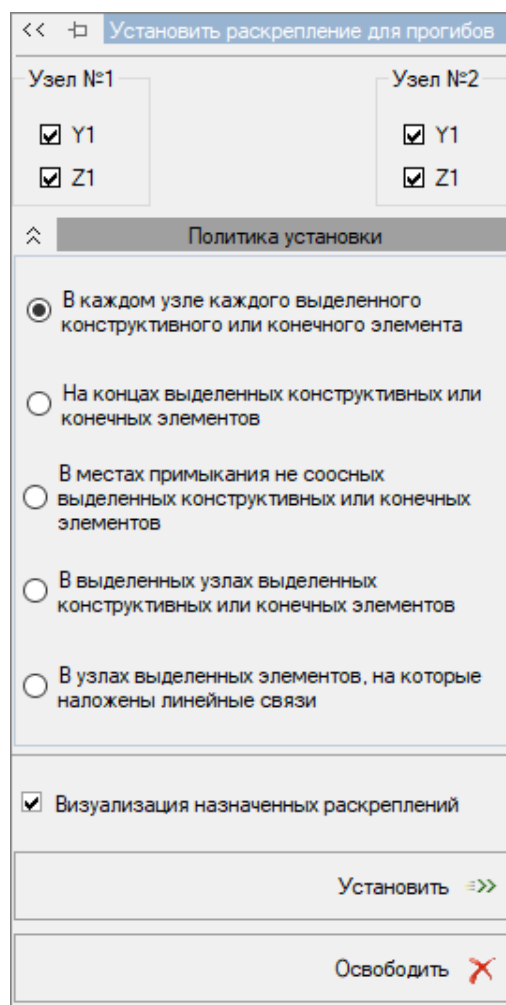





Рис. 9.116. Панель **Установить раскрепление для прогибов**

## 9.8 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

### 9.8.1 Получение результатов расчета

Для получения результатов расчета по стальным конструкциям необходимо:

1. Запустить задачу на расчет (с помощью команды **Расчет** ⇨ **Выполнить расчет** либо кнопки  на панели инструментов).
2. Перейти в режим расчета конструкций (с помощью команды **Расчет** ⇨ **Расчет конструкций** либо кнопки  на панели инструментов).
3. На вкладке **Параметры структурного расчета** панели режима **Расчет конструкций** (рис. 9.117) установить флажки возле необходимых параметров расчета;
4. Щелкнуть на кнопке **Отправить элементы на расчет**.
5. После успешного выполнения расчета перейти в режим результатов расчета по металлическим конструкциям (с помощью команды **Спец. результаты** ⇨ **Стальные конструкции** либо кнопки  на панели инструментов).

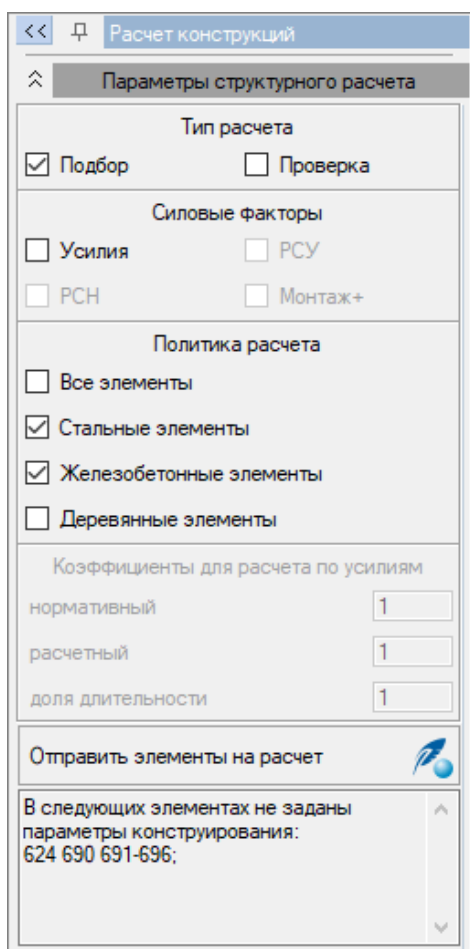


Рис. 9.117. Панель **Расчет конструкций**

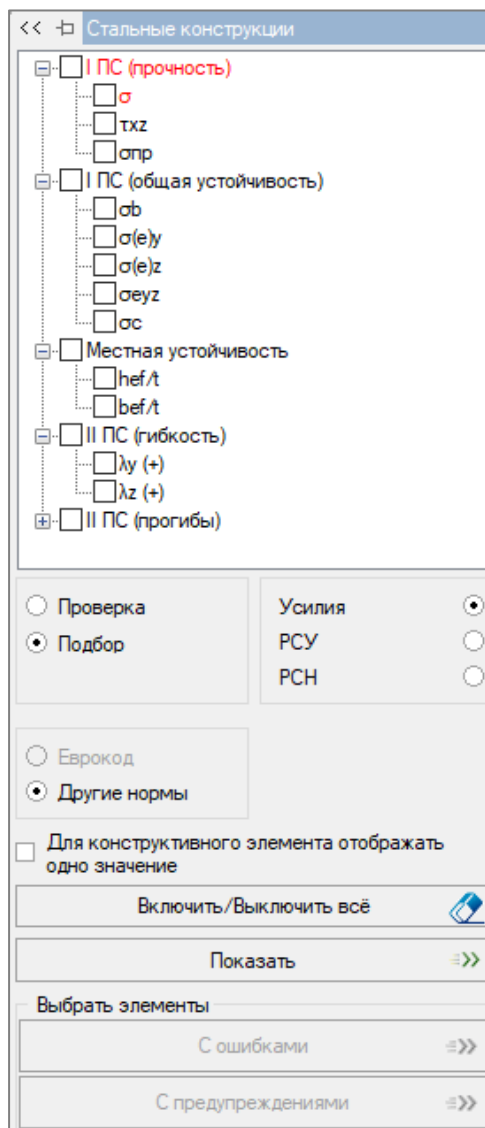


Рис. 9.118. Панель **Стальные конструкции**

## Протокол расчета

Для отображения результатов в виде протокола расчета необходимо использовать соответствующие переключатели на панели активного режима **Стальные конструкции** (рис. 9.118).

После чего станет доступен сам протокол под расчетной моделью (рис. 9.119).

№	Сечение	Ошибки	Предупр.	I ПС (прочность)			I ПС (общая устойчивость)					Местная устойчивость		II ПС (гибкость)		II ПС (прогибы)	
				$\sigma_x$	$\tau_{yz}$	$\sigma_{\text{ср}}$	$\varphi_0$	$\varphi_{\text{вп}}$	$\varphi_{\text{вк}}$	$\varphi_{\text{впк}}$	$\sigma_{\varphi z}$	$h_{\text{ef}}$	$b_{\text{ef}}$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$\delta_z$	$\delta_y$
FE - 73	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 74	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 75	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 76	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 77	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 78	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 79	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 80	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	3	3	3		60		85	85			
FE - 81	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	4	4	4		60		85	85			
FE - 82	Коробка прок. 120 x 120 x 3			1	1	1	4	4	4		60		85	85			

Рис. 9.119. Протокол расчета

Пустые ячейки в протоколе проверок означают, что проверка не выполнялась из-за ненужности или результатом проверки стал нулевой процент использования элемента.

Меню управления протоколом состоит из следующих инструментов:

- — кнопка **Назад** (возврат на предыдущую страницу);
- — кнопка **Вперед** (переход на следующую страницу);
- — кнопка **В начало** (на первую страницу);
- — кнопка **В конец** (на последнюю страницу);
- — кнопка **Назад** (по страницам);
- — кнопка **Вперед** (по страницам);
- — фильтр выбора числа отображаемых строк в таблице (возможен вывод **10**, **20**, **50**, **100** строк на каждой странице);
- — кнопка открытия текущей страницы протокола в браузере Internet Explorer;
- — кнопка отправки текущей страницы протокола на печать;
- — фильтр выбора отображения элементов схемы в протоколе (возможно выбрать элементы **Все**, **Выбранные**, **Не скрытые**).

В каждой ячейке протокола (рис. 9.120) есть возможность отобразить проверку тремя разными способами:

- щелкнуть на процент использования (в данном случае **85**) для отображения исключительно одной конкретной проверки без дополнительных данных;
- нажать на кнопку для отображения протокола проверки с более детальным описанием, куда кроме самой проверки входит дополнительная информация об усилиях и прогибах в сечении элемента, геометрические характеристики поперечного сечения, механические характеристики стали, конструктивные характеристики элемента;



■ нажать на кнопку  для отображения полного протокола проверок в сечении элемента со всей дополнительной информацией.



Рис. 9.120. Варианты отображения проверки в протоколе

 В протоколе проверок используются такие единицы измерения, которые выставлены в настройках ПК ЛИРА 10. Чтобы изменить единицы измерения, сначала внесите требуемые изменения в настройках, а затем в протоколе проверок заново отобразите интересующую проверку.

### Графическая визуализация результатов

На панели активного режима **Стальные конструкции** (рис. 9.118) в древовидном списке нужно отметить флажками необходимые проверки и нажать кнопку **Показать**, после чего на схеме отобразятся проценты использования элементов в виде диаграмм (рис. 9.121).

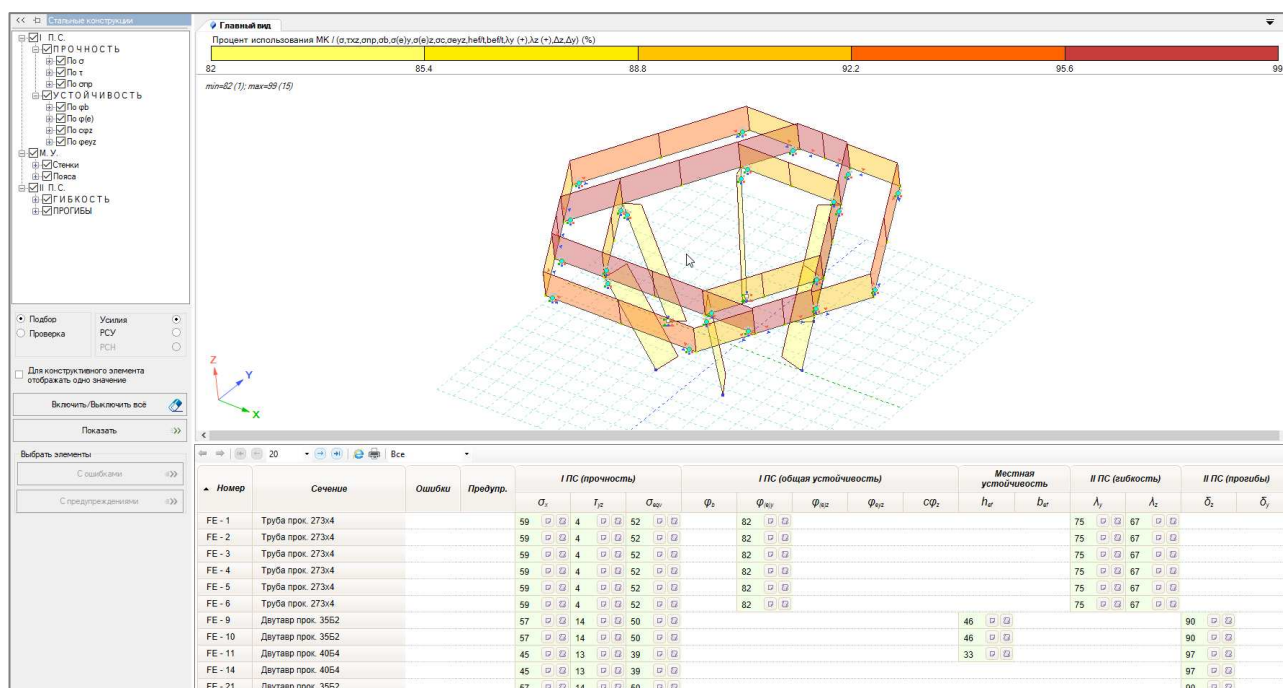






Рис. 9.121. Графическая визуализация результатов расчета

 Красным цветом выделены проверки, процент использования которых составляет больше 100%.



## 9.8.2 Получение результатов в виде таблиц

Для получения результатов расчета по стальным конструкциям в табличном виде необходимо:

1. Запустить задачу на расчет (с помощью команды **Расчет** ⇒ **Выполнить расчета** либо кнопки  на панели инструментов).
2. Перейти в режим расчета конструкции (с помощью команды **Расчет** ⇒ **Расчет конструкций** либо кнопки  на панели инструментов).
3. На вкладке **Параметры структурного расчета** панели режима **Расчет конструкций** (рис. 9.117) установить флажки возле необходимых параметров расчета.
4. Щелкнуть по кнопке **Отправить элементы на расчет**.
5. После успешного выполнения расчета перейти в режим таблиц результатов (с помощью команды **Документирование** ⇒ **Таблицы результатов** либо кнопки  на панели инструментов).
6. На вкладке **Формирование таблиц** (рис. 9.122) выбрать из списка необходимую таблицу (названия таблиц с результатами по металлическим конструкциям начинаются с аббревиатуры **М.К.**) и щелкнуть на кнопке **Сформировать**.

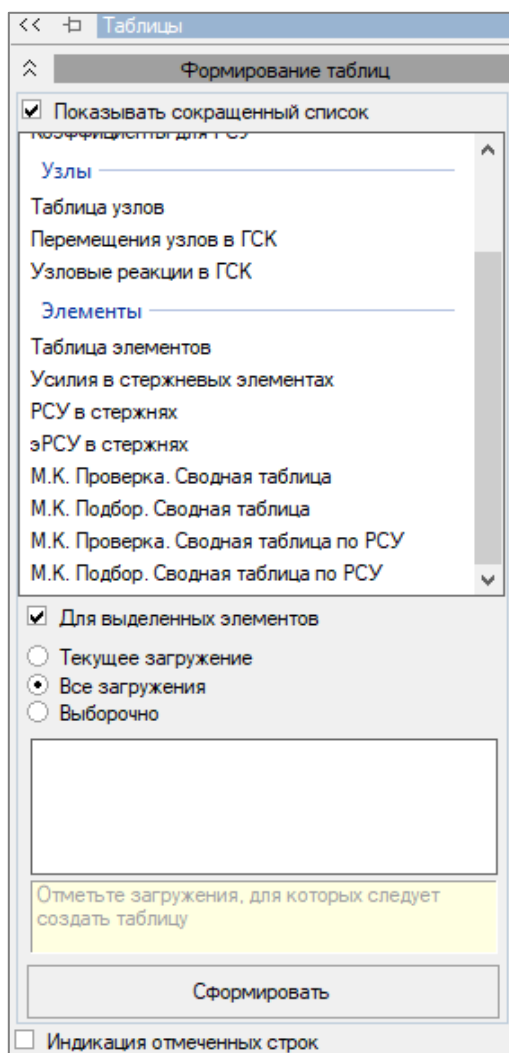


Рис. 9.122. Вкладка **Формирование таблиц**

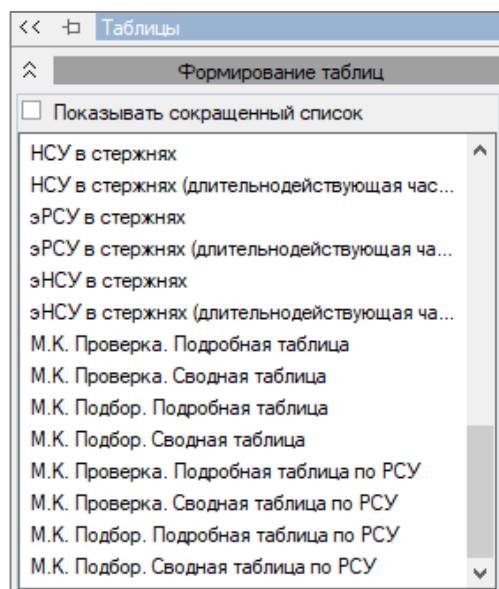



Рис. 9.123. Вкладка **Формирование таблиц**  
(подробный список)

В сводных таблицах результатов по металлоконструкциям отображается общая информация по процентам использования элементов (I предельное состояние: прочность, общая устойчивость; II предельное состояние: гибкость, прогибы; местная устойчивость).

Для отображения не только сводных таблиц, но и подробных, на вкладке **Формирование таблиц** (рис. 9.122) необходимо снять флажок **Показывать сокращенный список** в верхней части панели. При этом в списке таблиц (рис. 9.123) станут доступны для формирования подробные таблицы результатов.

### Описание функциональных возможностей таблиц результатов

Меню управления таблицами результатов можно открыть, щелкнув по кнопке  возле названия таблицы (рис. 9.126). В этом меню доступны следующие функции:

- **Переименовать** — позволяет сменить имя таблицы.
- **Печатать** — позволяет отправить таблицу на печать.
- **Экспорт в Excel** — позволяет экспортировать таблицу в Microsoft Office Excel.
- **Экспорт в Word** — позволяет экспортировать таблицу в Microsoft Office Word.
- **Экспорт в Html** — позволяет экспортировать таблицу в Html-документ.
- **Сохранить изображение** — позволяет сохранить таблицу в виде рисунка в любом из форматов: \*.png, \*.bmp, \*.jpeg, \*.gif, \*.tiff.
- **Столбцы** — позволяет включить/отключить отображение столбцов таблицы.
- **Фильтр** — позволяет подсвечивать цветом те значения в таблице, которые удовлетворяют необходимым условиям.
- **Отметить элементы** — позволяет выделить элементы таблицы на схеме.

Номер	I ПС (прочность) (%)	I ПС (общая устойчивость) (%)	Местная устойчивость (%)	II ПС (гибкость) (%)	II ПС (прогибы) (%)	Сечение
1	53	83		96		Труба прок. 219x7
2	53	83		96		Труба прок. 219x7
3	53	83		96		Труба прок. 219x7
4	53	83		96		Труба прок. 219x7
5	53	83		96		Труба прок. 219x7
6	53	83		96		Труба прок. 219x7
7	64		42		93	Швеллер прок. 30
8	64				93	Швеллер прок. 30
9	57				90	Двутавр прок.
10	57				90	Двутавр прок.

Рис. 9.124. Сводная таблица результатов

Номер	$\sigma$ (%)	$\tau_{xz}$ (%)	$\sigma_{pr}$ (%)	$\sigma(e)y$ (%)	$heft$ (%)	$befit$ (%)	$\lambda y$ (+) (%)	$\lambda z$ (+) (%)	$\Delta z$ (%)	Сечение
1	59	3	51	91			99	85		Труба прок. 219x7
2	58	3	51	91			99	85		Труба прок. 219x7
3	58	3	51	91			99	85		Труба прок. 219x7
4	59	3	51	91			99	85		Труба прок. 219x7
5	59	3	51	91			99	85		Труба прок. 219x7
6	58	3	51	91			99	85		Труба прок. 219x7
7	70	12	8		42	42			93	Швеллер прок. 30
8	70	12	8						93	Швеллер прок. 30
9	63	16	55		46				90	Двутавр прок.
10	63	16	55		46				90	Двутавр прок.

Рис. 9.125. Подробная таблица результатов

Номер	$\sigma$ (%)	$T_{xz}$ (%)	$\sigma_{пр}$ (%)	$\sigma(e)y$ (%)	(+) (%)	$\lambda z$ (%)	$\Delta z$ (%)	Сечение
1	59	3	51	91	85			Труба прок. 219x7
2	58	3	51	91	85			Труба прок. 219x7
3	58	3	51	91	85			Труба прок. 219x7
4	59	3	51	91	85			Труба прок. 219x7
5	59	3	51	91	85			Труба прок. 219x7
6	58	3	51	91	85			Труба прок. 219x7
7	70	12	8				93	Швеллер прок. 30
8	70	12	8				93	Швеллер прок. 30
9	63	16	55				90	Двутавр прок.
10	63	16	55				90	Двутавр прок.

Рис. 9.126. Меню управления таблицами результатов

### 9.8.3 Анализ результатов расчета универсального двухветвевое сечения

Для каждого элемента (или конструктивного элемента) универсального двухветвевое сечения выводится до пяти строк, отображающих результаты различных проверок.

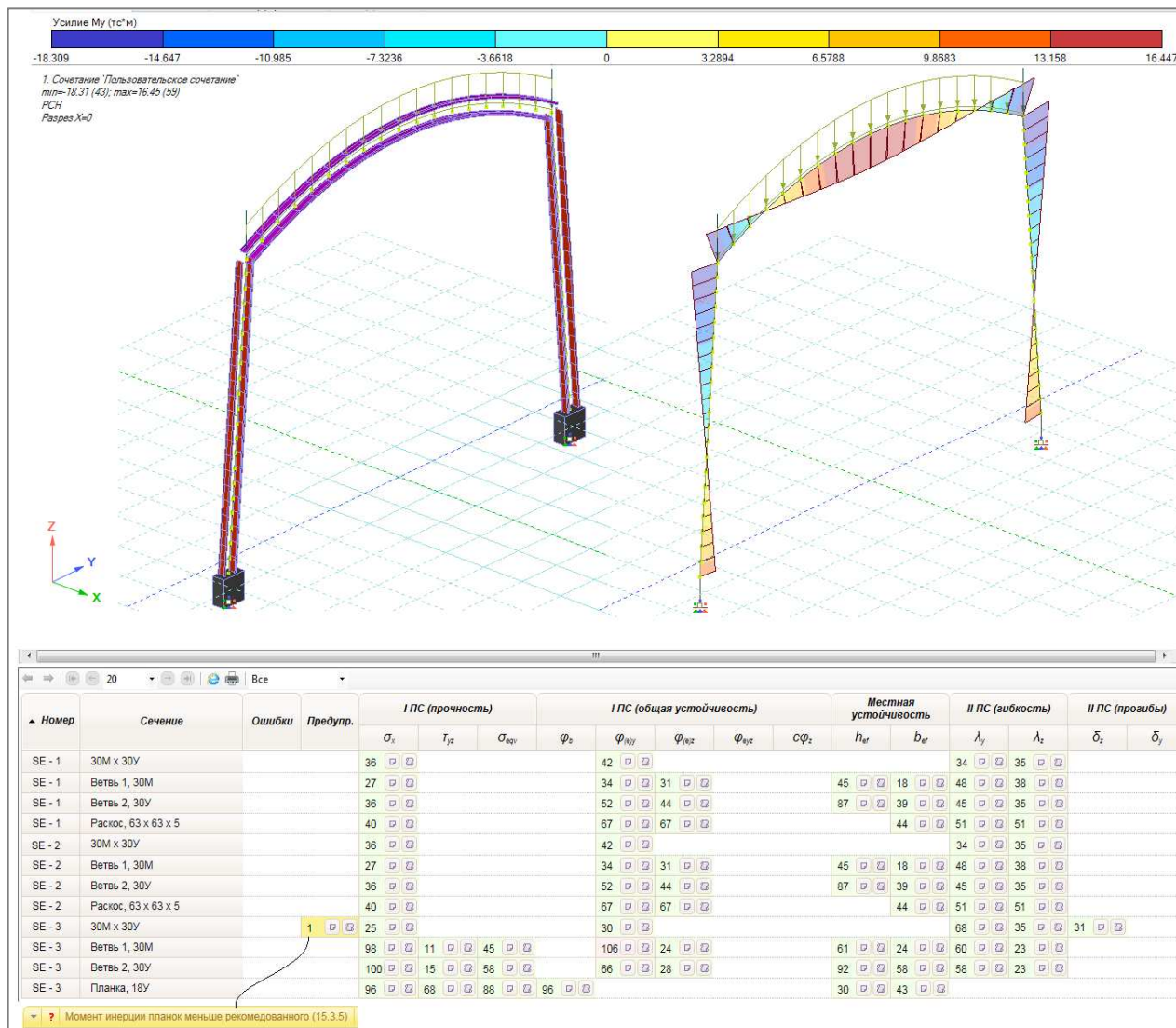


Рис. 9.127. Результаты расчета универсального двухветвевое сечения

Для двухветвевое сечения с решеткой:

- строка 1 — результаты различных проверок элемента, как единого стержня;
- строка 2 — результаты различных проверок ветви 1;
- строка 3 — результаты различных проверок ветви 2;
- строка 4 — результаты различных проверок раскосов решетки;
- строка 5 — результаты различных проверок распорок (стоек) решетки, если выбрана схема решетки с распорками.

Для двухветвевое сечения с планками:

- строка 1 — результаты различных проверок элемента, как единого стержня;
- строка 2 — результаты различных проверок ветви 1;
- строка 3 — результаты различных проверок ветви 2;
- строка 4 — результаты различных проверок планок.

### 9.8.4 Анализ результатов расчета универсального трёхветвевое сечения

Для каждого элемента (или конструктивного элемента) универсального трёхветвевое сечения выводится до четырёх строк, отображающих результаты различных проверок.

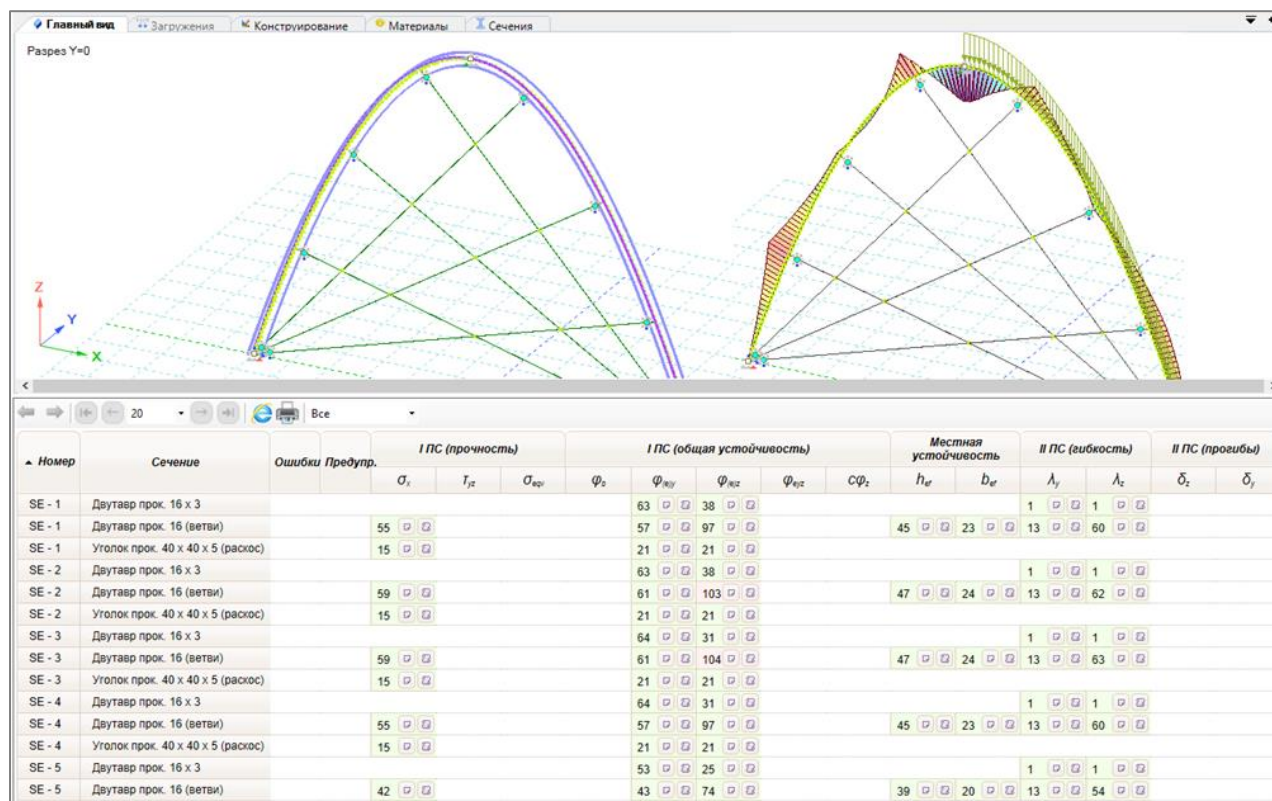


Рис. 9.128. Результаты расчета трёхветвевое сечения

Для трёхветвевое сечения с решеткой:

- строка 1 — результаты различных проверок элемента, как единого стержня;
- строка 2 — результаты различных проверок ветвей;
- строка 3 — результаты различных проверок раскосов решетки;

- строка 4 — результаты различных проверок распорок (стоек) решетки, если выбрана схема решетки с распорками.

Для трёхветвевое сечения с планками:

- строка 1 — результаты различных проверок элемента, как единого стержня;
- строка 2 — результаты различных проверок ветвей;
- строка 3 — результаты различных проверок планок.

## 9.9 УЧЕТ КОРРОЗИИ


Одной из особенностей ПК ЛИРА 10 является учет коррозии профилей, что делает программу полезной при обследовании и усилении конструкций.

Чтобы учесть коррозионный износ, нужно в **Редакторе сечений/жесткостей** выбрать интересующее сечение в раскрывающемся списке кнопки **Стальные** и установить флажок **Учет коррозии** в окне параметров выбранного сечения.

Величину глубины коррозионного износа можно задавать как в миллиметрах, так и в процентах. Для открытых сечений, кроме одиночных уголков и крестовых сечений, можно задавать как равномерную, так и неравномерную (отдельно по стенке и полке) коррозию (рис. 9.128). Для закрытых сечений и сечений из одиночного уголка или креста с уголков задается равномерная коррозия по внешней и по внутренней стороне (рис. 9.129).

Рис. 9.128. Параметры задания коррозионного износа для открытых сечений, кроме одиночных уголков и крестовых сечений

Рис. 9.129. Параметры задания коррозионного износа для закрытых сечений и сечений из одиночных уголков и крестовых сечений

 Величина задания коррозионного износа ограничивается геометрией сечения, т.е. выполняется проверка на существование сечения с учетом заданной коррозии. И если это условие не выполняется, то появится сообщение и нужно будет ввести меньшее значение.

## 9.10 УТИЛИТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ДЛИН КОЛОНН

Данная утилита предоставляет возможность автоматизированного вычисления расчетных длин колонн для разных расчетных случаев, а именно:

- колонн постоянного сечения;
- ступенчатых колонн;
- колонн с неполной связью;
- ветвей двухветвевых колонн.

Чтобы воспользоваться этой утилитой, нужно перейти в **Редактор параметров конструирования**, задать необходимую топологию стальных сечений и в области задания параметров для расчета устойчивости выбрать переключатель **Расчетная длина**. В результате активизируется кнопка **Определение расчетной длины относительно  $Y1/Z1$** , нажатием на которую вызывается данная утилита.

 Для **Топологии канатов** данная утилита недоступна.

Для колонн постоянного сечения реализована таблица 13.8 [9.6] во всех ее вариантах (таблица 31 [9.11]).

Для ступенчатых колонн реализованы формулы, указанные в таблице 28 [9.8].

Для колонн с неполной связью, ввиду отсутствия указаний в нормативной документации, но в то же время частого применения на практике, было реализовано решение по классической теории на основе метода перемещений с использованием функций влияния.

Для ветвей двухветвевых колонн реализованы формулы таблицы Р.1 [9.6] (п. 10.1.2 [9.11], таблица 26 [9.8]).

### 9.10.1 Колонны постоянного сечения

Порядок определения расчетной длины колонны постоянного сечения (рис. 9.130):

1. При помощи области 1 задать расчетный случай.
2. При помощи области 3 (и областей 4 и 5, при их наличии) задать параметры рамы, для расчетного случая, заданного на шаге 1.
3. При помощи области 6 выполнить расчет.
4. При помощи области 7 завершить работу с окном.

#### Область 1. Задание расчетного случая

**Тип рамы** — переключатели, посредством которых задается тип рамы. При выборе несвободной рамы учитывается наличие раскреплений и для средней колонны не нужно задавать количество пролетов.

**Этажность** — переключатели, посредством которых задается этажность рамы. От выбранного параметра зависит доступность области **Рассматриваемый этаж**.

**Рассматриваемый этаж** — группа переключателей, посредством которых задается рассматриваемый этаж. Доступно только для многоэтажной рамы. При выборе среднего или

верхнего этажа запрашиваются дополнительные параметры рамы, а именно момент инерции нижнего ригеля.

**Опирающие колонны на фундамент** — переключатели, посредством которых задается тип опирания на фундамент. Доступно только для одноэтажной рамы и нижнего этажа многоэтажной рамы.

**Рассматриваемая колонна** — переключатели, посредством которых задается тип рассматриваемой колонны. Различают крайнюю и среднюю колонну. При выборе средней колонны запрашиваются дополнительные параметры рамы, а именно параметры рамы справа от рассматриваемой колонны.

## Область 2. Расчетная схема

В этой области отображается расчетная схема с условными обозначениями. Красным цветом отмечена колонна, для которой производится определение расчетной длины.

**Лef** Определение расчетной длины колонн

Колонны постоянного сечения | Ступенчатые колонны | Колонны с неполной связью | Ветви двухветвевых колонн

Тип рамы  
 свободная 1  несвободная

Этажность  
 одноэтажная  многоэтажная

Рассматриваемый этаж  
 нижний  средний  верхний

Опирание колонн на фундамент  
 шарнирное  жесткое

Рассматриваемая колонна  
 крайняя  средняя

Кол-во пролетов  
 k 3 4

Параметры рамы справа от рассматриваемой колонны 5  
 Те же данные, что и слева

Параметры рамы слева от рассматриваемой колонны 3

Высота h 9 м

Пролет l1 24 м

Момент инерции колонны Ic 30000 см<sup>4</sup>

Момент инерции верхнего ригеля Is1 200000 см<sup>4</sup>

Момент инерции нижнего ригеля Ii1 200000 см<sup>4</sup>

Соотношение между жесткостью колонны и ригелей Ic/Is1 0

Ic/Ii1 0

h 9 м

l2 24 м

Ic 30000 см<sup>4</sup>

Is2 200000 см<sup>4</sup>

Ii2 200000 см<sup>4</sup>

Ic/Is2 0

Ic/Ii2 0

**Расчет** 6

Результаты

Коэффициент  $\mu$  1.084

Расчетная длина колонны  $l_{ef}$  9.758 м

7 Применить Отмена

Рис. 9.130. Вкладка для определения расчетной длины колонн постоянного сечения

**Область 3. Задание параметров рамы слева от рассматриваемой колонны** (для средней колонны)

**Высота,  $h$**  — поле ввода высоты колонны.

**Пролет,  $l$  ( $l1$ )** — поле ввода длины пролета.

**Момент инерции колонны,  $I_c$  ( $Ic1$ )** — поле ввода момента инерции колонны.


**Момент инерции верхнего ригеля,  $I_s$  ( $I_s1$ )** — поле ввода момента инерции верхнего ригеля (для средней колонны — справа от рассматриваемой колонны).

**Момент инерции нижнего ригеля,  $I_i$  ( $I_i1$ )** — поле ввода момента инерции нижнего ригеля (для средней колонны — справа от рассматриваемой колонны). Отображается только для колонн средних и верхних этажей многоэтажных рам.

**Соотношение между жесткостью колонны и ригелей:**


- **$I_c/I_s$  ( $I_c/I_s1$ )** — поле ввода величины соотношения момента инерции колонны к моменту инерции верхнего ригеля.

- **$I_c/I_i$  ( $I_c/I_i1$ )** — поле ввода величины соотношения момента инерции колонны к моменту инерции нижнего ригеля. Отображается только для колонн средних и верхних этажей многоэтажных рам.

 *Ввод соотношений жесткостей предусмотрен для случаев, когда нет возможности указать моменты инерции конструкций. Переход в данный режим ввода осуществляется посредством соответствующих переключателей.*

**Область 4. Количество пролетов** (отображается для средней колонны)

**$k$**  — поле ввода количества пролетов.

 *Количество пролетов должно быть больше двух. Для несвободных рам количество пролетов не доступно, так как не влияет на расчетную длину.*

**Область 5. Задание параметров рамы справа от рассматриваемой колонны** (отображается для средней колонны)

**Те же данные, что и слева** — флажок, отвечающий за дублирование значений параметров слева для значений параметров справа.

**$h$**  — поле отображения высоты колонны. Не доступно для редактирования, т.к. высота этажа постоянная.

**$l2$**  — поле ввода длины пролета справа от рассматриваемой колонны. Не доступно для редактирования при установленном флажке **Те же данные, что и слева**.

**$I_c$**  — поле отображения момента инерции колонны. Не доступно для редактирования, т.к. колонна имеет постоянное сечение.

**$I_s2$**  — поле ввода момента инерции (верхнего) ригеля справа от рассматриваемой колонны. Не доступно для редактирования при установленном флажке **Те же данные, что и слева**.

**$I_i2$**  — поле ввода момента инерции нижнего ригеля справа от рассматриваемой колонны. Отображается только для колонн средних и верхних этажей многоэтажных рам. Не доступно для редактирования при установленном флажке **Те же данные, что и слева**.



**Ic/Is2** — поле ввода соотношения момента инерции колонны к моменту инерции верхнего ригеля справа от рассматриваемой колонны.

**Ic/Ii2** — поле ввода соотношения момента инерции колонны к моменту инерции нижнего ригеля справа от рассматриваемой колонны. Отображается только для колонн средних и верхних этажей многоэтажных рам.

### Область 6. Расчет

**Расчет** — кнопка, отвечающая за выполнение расчета.

**Результаты** — область отображения результатов.

**Коэффициент,  $\mu$**  — поле отображения значения коэффициента приведения длины.

**Расчетная длина,  $l_{ef}$**  — поле отображения значения расчетной длины.

### Область 7. Работа с окном

**Применить** — кнопка, отвечающая за перенос результатов расчета в соответствующее поле родительского окна. Изменения параметров в данном окне сохраняются.

**Отмена** — кнопка, отвечающая за закрытие окна. Изменения параметров в данном окне не сохраняются.

## 9.10.2 Ступенчатые колонны

Порядок определения расчетной длины ступенчатых колонн (рис. 9.131):

1. При помощи области 1 задать расчетный случай.
2. При помощи области 4 задать параметры рамы.
3. При помощи области 5 выполнить расчет.
4. При помощи области 6 завершить работу с окном.

### Область 1. Задание расчетного случая

**Количество пролетов** — переключатели, посредством которых задается пролетность рамы.

**Опирающие стропильные конструкции** — переключатели, посредством которых задается тип опирания стропильных конструкций на колонны.

### Область 2. Расчетная схема рамы

В этой области отображается расчетная схема рамы в общем виде с обозначением разделения колонны на ступени.

### Область 3. Расчетная схема колонны

В этой области отображается расчетная схема колонны с условными обозначениями.

### Область 4. Задание параметров колонны

**Параметры верхнего участка:**

**F2** — поле ввода величины силы, действующей на верхний участок колонны.

**$I_2$**  — поле ввода момента инерции сечения верхнего участка колонны.

**$l_2$**  — поле ввода длины верхнего участка колонны.

**Параметры нижнего участка:**

**$F_1$**  — поле ввода величины силы, действующей на нижний участок колонны.

**$I_1$**  — поле ввода момента инерции сечения нижнего участка колонны.

**$l_1$**  — поле ввода длины нижнего участка колонны.

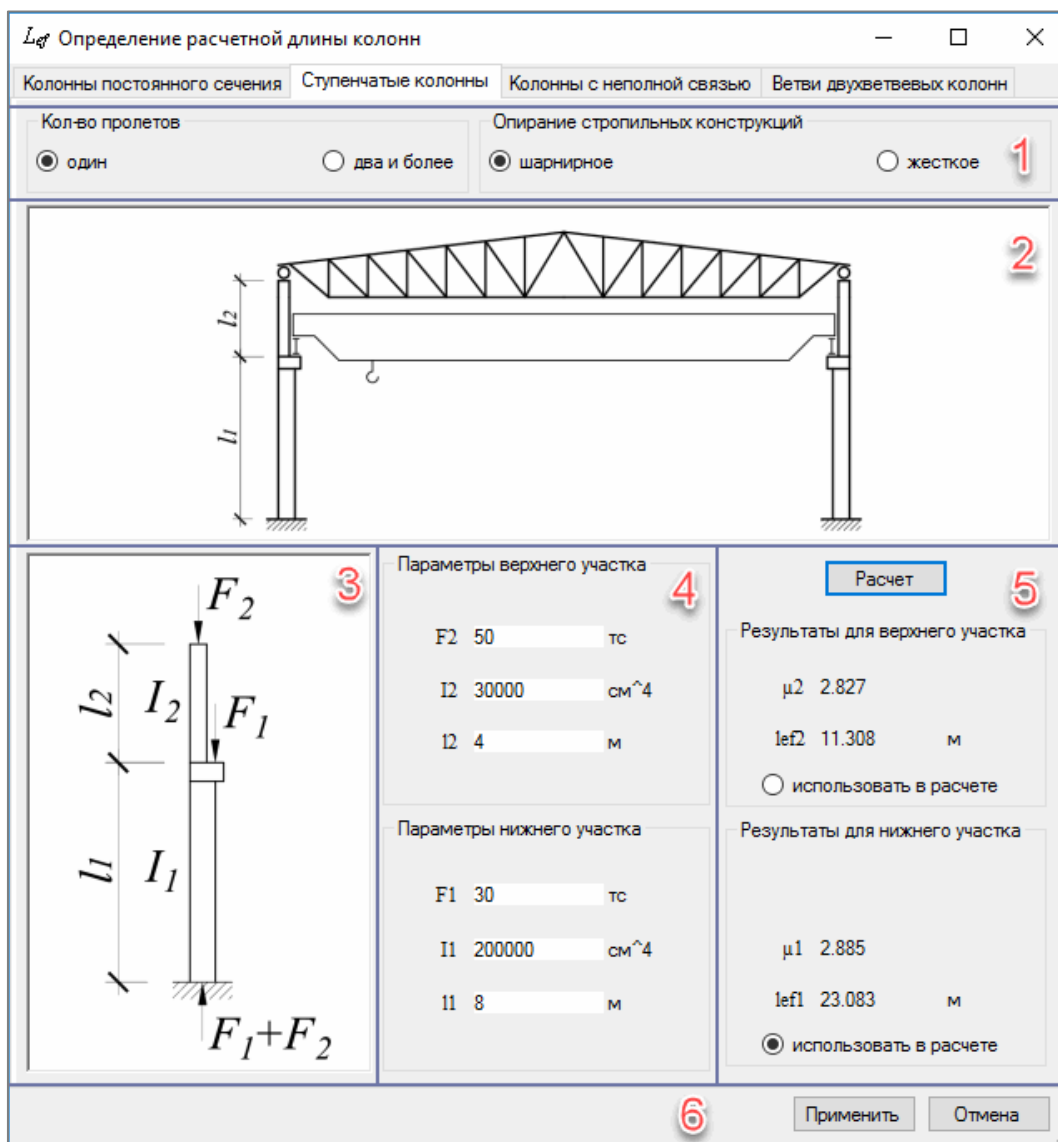


Рис. 9.131. Вкладка для определения расчетной длины ступенчатых колонн

### Область 5. Расчет

**Расчет** — кнопка, отвечающая за выполнение расчета.

**Результаты для верхнего участка:**

**$\mu_2$**  — поле отображения значения коэффициента приведения длины для верхнего участка колонны.

**$lef_2$**  — поле отображения значения расчетной длины верхнего участка колонны.

**Использовать в расчете** — переключатель, отвечающий за выбор результатов расчета для переноса в соответствующее поле родительского окна.

**Результаты для нижнего участка:**

**$\mu 1$**  — поле отображения значения коэффициента приведения длины для нижнего участка колонны.

**lef1** — поле отображения значения расчетной длины нижнего участка колонны.

**Использовать в расчете** — переключатель, отвечающий за выбор результатов расчета для переноса в соответствующее поле родительского окна.

**Область 6. Работа с окном**

**Применить** — кнопка, отвечающая за перенос результатов расчета в соответствующее поле родительского окна. Переносимый результат отмечается соответствующим переключателем. Изменения параметров в окне сохраняются.

**Отмена** — кнопка, отвечающая за закрытие окна. Изменения параметров в окне не сохраняются.

**9.10.3 Колонны с неполной связью**

Порядок определения расчетной длины колонн с неполной связью (рис. 9.132):

1. При помощи области 1 задать расчетный случай.
2. При помощи области 3 задать параметры рамы.
3. При помощи области 4 выполнить расчет.
4. При помощи области 5 завершить работу с окном.

Вид диалогового окна, а именно содержимое областей 3 и 4, отличается в зависимости от выбранного расположения связи. Поэтому эти области будут рассмотрены отдельно для каждого случая.

**Область 1. Задание расчетного случая**

**Тип опирания стойки** — переключатели, посредством которых задается тип опирания стропильных конструкций на колонны.

**Расположение связи** — переключатели, посредством которых задается расположение связи.

**Область 2. Расчетная схема**

В этой области отображается расчетная схема рамы и колонны с условными обозначениями.

**Область 3. Задание параметров колонны**

**Полная высота,  $h$**  — поле ввода высоты колонны.

**Высота свободной части,  $c$**  — поле ввода высоты свободной части колонны.

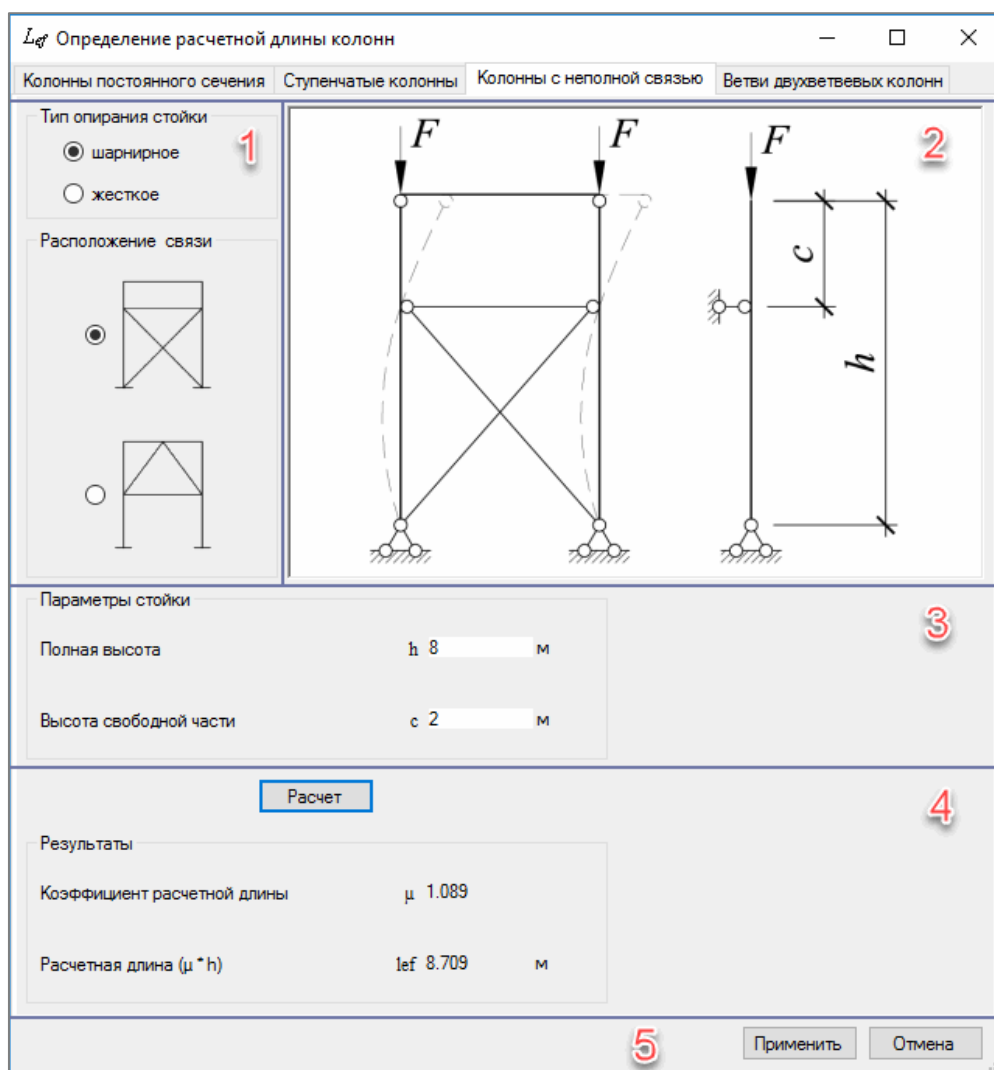


Рис. 9.132. Вкладка для определения расчетной длины колонн с неполной связью (случай для связей, расположенных внизу пролета)

#### Область 4. Расчет

**Расчет** — кнопка, отвечающая за выполнение расчета.

#### Результаты:

**Коэффициент расчетной длины,  $\mu$**  — поле отображения значения коэффициента приведения длины колонны.

**Расчетная длина ( $\mu \cdot h$ ),  $l_{ef}$**  — поле отображения значения расчетной длины колонны.

#### Область 5. Работа с окном

**Применить** — кнопка, отвечающая за перенос результатов расчета в соответствующее поле родительского окна (переносимый результат отмечается соответствующим переключателем). Изменения параметров в окне сохраняются.

**Отмена** — кнопка, отвечающая за закрытие окна. Изменения параметров в окне не сохраняются.

Параметры нижнего участка		Параметры верхнего участка	
Высота	$h1$ 8 м	$h2$ 2 м	
Момент инерции	$I1$ 200000 см <sup>4</sup>	$I2$ 150000 см <sup>4</sup>	
Нагрузка	$F1$ 15 тс	$F2$ 5 тс	

**Расчет**

Результаты для нижнего участка		Результаты для верхнего участка	
Коэффициент расчетной длины	$\mu1$ 2.221	$\mu2$ 15.388	
Расчетная длина	$lef1$ 17.768 м	$lef2$ 30.775 м	
	<input checked="" type="radio"/> использовать в расчете	<input type="radio"/> использовать в расчете	

Рис. 9.133. Области задания необходимых параметров и просмотра результатов колонн с неполной связью (случай для связей, расположенных вверху пролета)

### Область 3. Задание параметров колонны (рис. 9.133)

#### Параметры нижнего участка:

**Высота,  $h1$**  — поле ввода высоты нижнего участка колонны.

**Момент инерции,  $I1$**  — поле ввода момента инерции сечения нижнего участка колонны.

**Нагрузка,  $F1$**  — поле ввода величины силы, действующей на нижний участок колонны.

#### Параметры верхнего участка:

**$h2$**  — поле ввода высоты верхнего участка колонны.

**$I2$**  — поле ввода момента инерции сечения верхнего участка колонны.

**$F2$**  — поле ввода величины силы, действующей на верхний участок колонны.

### Область 4. Расчет (рис. 9.133)

**Расчет** — кнопка, отвечающая за выполнение расчета.

#### Результаты для нижнего участка:

**Коэффициент расчетной длины,  $\mu1$**  — поле отображения значения коэффициента приведения длины для нижнего участка колонны.

**Расчетная длина,  $lef1$**  — поле отображения значения расчетной длины нижнего участка колонны.

**Использовать в расчете** — переключатель, отвечающий за выбор результатов расчета для переноса в соответствующее поле родительского окна.

#### Результаты для верхнего участка:

**$\mu2$**  — поле отображения значения коэффициента приведения длины для верхнего участка колонны.

**$lef2$**  — поле отображения значения расчетной длины верхнего участка колонны.

**Использовать в расчете** — переключатель, отвечающий за выбор результатов расчета для переноса в соответствующее поле родительского окна.

### 9.10.4 Ветви двухветвевых колонн

Порядок определения расчетной длины ветви двухветвевой колонны (рис. 9.134):

1. При помощи области 1 задать расчетный случай.
2. При помощи области 3 задать параметры рамы.
3. При помощи области 4 выполнить расчет.
4. При помощи области 5 завершить работу с окном.

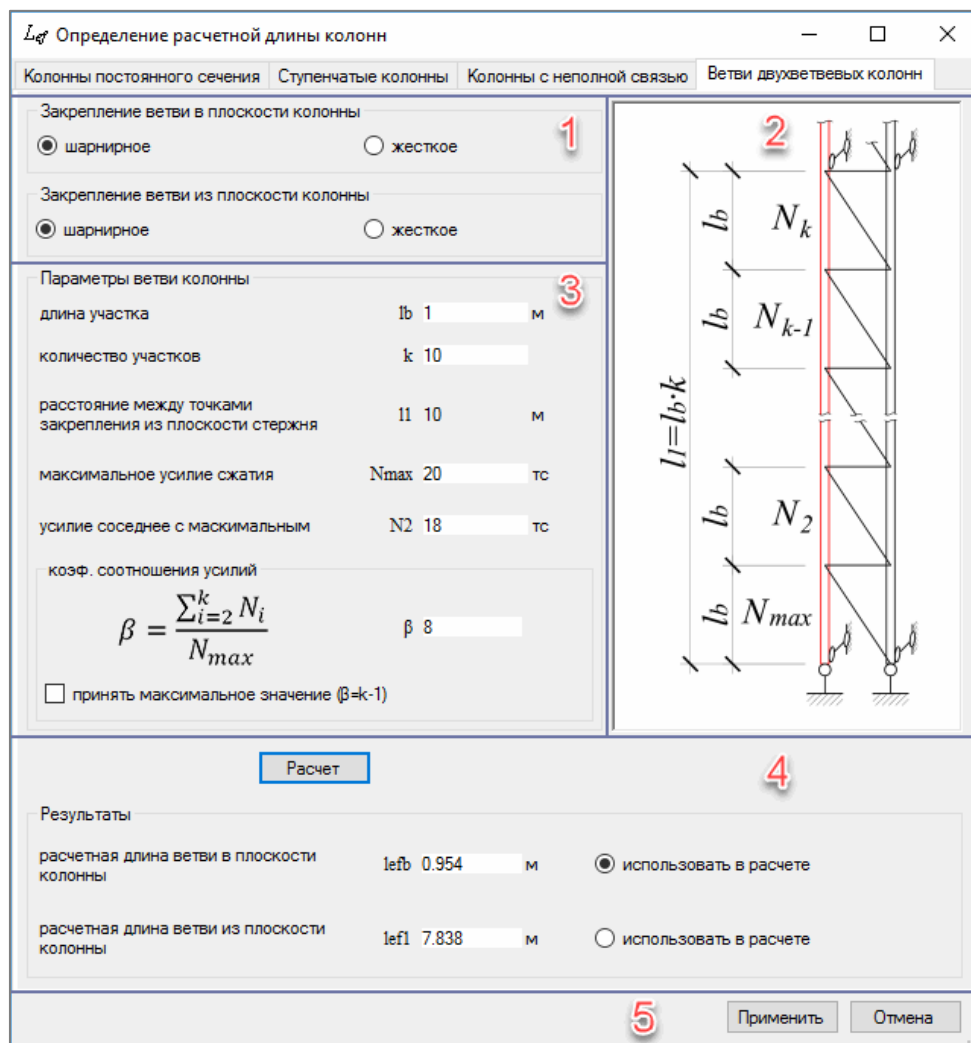


Рис. 9.134. Вкладка для определения расчетной длины ветви двухветвевых колонн

#### Область 1. Задание расчетного случая

**Закрепление ветви в плоскости колонны** — переключатели, посредством которых задается тип закрепления ветви в плоскости колонны.

**Закрепление ветви из плоскости колонны** — переключатели, посредством которых задается тип закрепления ветви из плоскости колонны.

#### Область 2. Расчетная схема

В этой области отображается расчетная схема колонны с условными обозначениями.

### Область 3. Задание параметров ветви колонны

**Длина участка, lb** — поле ввода длины участка ветви колонны, отделенного элементами, соединяющими ветви.

**Количество участков, k** — количество участков, на которые разделена ветвь колонны в пределах раскрепления из плоскости.

**Расстояние между точками закрепления из плоскости стержня, l1** — поле, в котором отображается произведение  $lb \cdot k$ .

**Максимальное усилие сжатия, Nmax** — поле ввода максимального усилия сжатия в рассматриваемой ветви.

**Усилие соседнее с максимальным, N2** — поле ввода усилия, соседнего с максимальным. Может быть как растягивающим, так и сжимающим.

**Коэффициент соотношения усилий:**

$\beta = \frac{\sum_{i=2}^k N_i}{N_{max}}$  — формула определения коэффициента  $\beta$ , здесь  $\sum_{i=2}^k N_i$  — сумма продольных усилий, действующих на всех участках, кроме участка с максимальным усилием сжатия.

$\beta$  — поле ввода посчитанного значения коэффициента соотношения усилий.

**Принять максимальное значение ( $\beta = k - 1$ )** — флажок, упрощающий определение  $\beta$ , путем принятия максимального значения.

### Область 4. Расчет

**Расчет** — кнопка, отвечающая за выполнение расчета.

**Результаты:**

**Расчетная длина ветви в плоскости колонны, lefb** — поле отображения значения расчетной длины ветви в плоскости колонны.

**Расчетная длина ветви из плоскости колонны, lef1** — поле отображения значения расчетной длины ветви из плоскости колонны.

**Использовать в расчете** — переключатели, отвечающие за выбор результатов расчета для переноса в соответствующее поле родительского окна.

### Область 5. Работа с окном

**Применить** — кнопка, отвечающая за перенос результатов расчета в соответствующее поле родительского окна (переносимый результат отмечается соответствующим переключателем). Изменения параметров в окне сохраняются.

**Отмена** — кнопка, отвечающая за закрытие окна. Изменения параметров в окне не сохраняются.

### 9.11 УТИЛИТА ДЛЯ РАСЧЕТА ТОНКИХ СТАЛЬНЫХ НАСТИЛОВ

В данной утилите рассматривается работа тонкой стальной пластины, шарнирно опёртой или жёстко заделанной по двум сторонам. Расчёт даёт достаточно точный результат также и для пластины, опёртой по четырём сторонам при соотношении сторон не менее 3 для свободно опёртой пластины и не менее 2 для пластины с защемлёнными сторонами. Нагрузка принимается равномерно распределённая по площади и вызывает в пластине изгиб от момента и растяжение от распора. Утилита может быть использована для расчёта стального настила ходовых площадок, для расчёта обшивок бункеров с плоскими стенками, обшивок под гидростатическое давление.

Опоры принимаются линейно-неподвижными в обоих направлениях. неподвижность опор может вызывать сомнение, особенно в крайних пролётах настила, но именно такая схема работы предлагается во всей учебной и справочной литературе по строительным стальным конструкциям.

В учебной и справочной литературе приведены приближённые решения этого вопроса, представленные в виде графиков, таблиц, приближённых формул. В ПК ЛИРА 10 реализовано точное решение уравнений (77), стр. 72 и (79), стр. 73 [9.18], предложенное канд. физ.-мат. наук Кукановым Н.И. (Ульяновский Государственный технический университет).



Рис. 9.135. Вызов утилиты расчёта тонкого стального настила



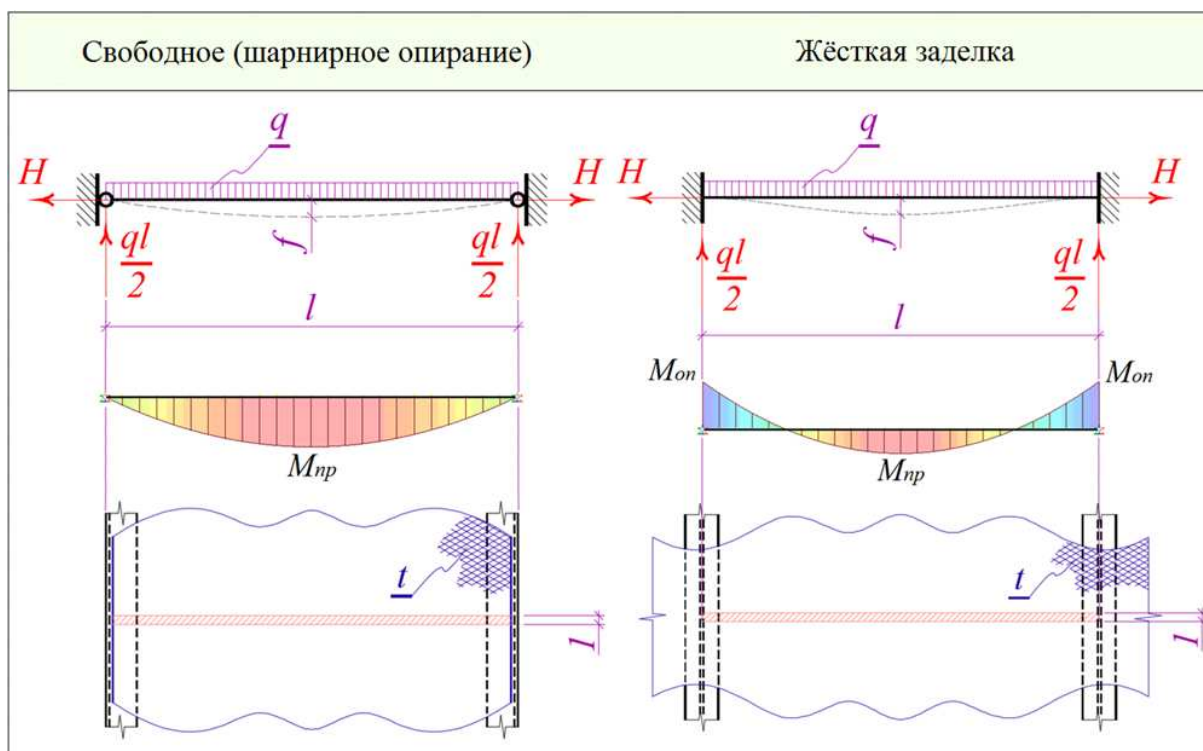


Рис. 9.136. Шарнирная и жёсткая схема работы настила

Для шарнирной схемы параметр  $\alpha$  (отношение продольной силы растяжения к критическому значению осевой силы по Эйлеру  $\frac{H}{N_{cr}}$  без учёта знаков) определяется, как корень кубического уравнения (77):

$$\alpha (1 + \alpha)^2 = \frac{3f_0^2}{t^2}.$$

Точное решение этого уравнения:

$$\alpha = \frac{2}{3} \left[ \operatorname{ch} \left( \frac{\operatorname{arch} (1 + 2\gamma^2)}{3} \right) - 1 \right],$$

где  $\gamma = \frac{9f_0}{2t}$ ,  $f_0 = \frac{5q \cdot l^4}{384D}$ .

Для жёсткой схемы параметр  $\alpha = \frac{H}{N_{cr}}$  определяется как корень кубического уравнения (79):

$$\alpha \left( 1 + \frac{\alpha}{4} \right)^2 = \frac{3f_0^2}{t^2},$$

точным решением которого будет:

$$\alpha = \frac{8}{3} \left[ \operatorname{ch} \left( \frac{\operatorname{arch} \left( 1 + \frac{\gamma^2}{2} \right)}{3} \right) - 1 \right],$$

где  $\gamma = \frac{9f_0}{2t}$ ,  $f_0 = \frac{q \cdot l^4}{384D}$ .

Расчёт может выполняться как в режиме проверки, так и в режиме подбора толщины настила.

Порядок расчёта (рис. 9.137):

1. Выбрать схему работы настила (**Тип опирания**). Для крайнего пролёта настила рекомендуется шарнирная схема, для среднего предпочтительней жёсткая.

2. Указать **Дополнительные коэффициенты**:

- **Коэффициент надёжности по ответственности ( $\gamma_n$ )** — задается в соответствии с ГОСТ 27751 (если расчёт производится по СНиП II-23-81\*, СП 16.13330.2011 или СП 16.13330.2017), либо в соответствии с ДБН В.1.2-14-2018, табл. 5 (если расчёт производится по ДБН В.2.6-198:2014);
- **Коэффициент условий работы ( $\gamma_c$ )** — задаётся в соответствии с выбранными нормами (см. п. 9.7.2).

При расчёте плоских стенок бункеров следует также руководствоваться п. 8.8 [9.17].

3. Выбрать **Класс конструкций по виду напряжённо-деформированного состояния**. Указывает на допустимость развития пластических деформаций.

4. Задать **Характеристики стали**:

- **Модуль упругости ( $E$ )** принимается по умолчанию, поскольку он для всех строительных сталей одинаковый;
- **Коэффициент Пуассона ( $\mu$ )** (при необходимости можно поставить нулевое значение);
- **Расчётное сопротивление стали ( $R_y$ )**.

5. Указать **Параметры пластины** — пролёт настила, его толщину, а также нормативную и расчётную равномерно-распределённую нагрузку. Если расчёт производится по ДБН В.2.6-198:2014, то указывается, соответственно, эксплуатационная и предельная нагрузка. Если нагрузка на пластину не является равномерной, например, гидростатическое давление или давление сыпучего материала на стенки бункера, то задаётся её среднее значение в пределах пролёта.

6. Указать **Максимально допустимый прогиб** настила от нормативных нагрузок. Он может задаваться как в абсолютных значениях (в миллиметрах), так и в долях пролёта. По умолчанию допустимый прогиб принимается по п. 2 таблицы предельных прогибов в нормах по нагрузкам и воздействиям (СНиП, СП, ДСТУ).

7. Выбрать режим расчёта — **Проверка** или **Подбор** толщины.

8. Для расчёта в режиме подбора указать **Минимальную толщину** настила, начиная с которой будет осуществляться подбор.

В результате расчёта программа выдаёт следующие данные (рис. 9.137):

- **Толщина пластины ( $t$ )**. Если расчёт производился в режиме проверки, то она равна заданной.
- **Прогиб от нормативной (эксплуатационной) нагрузки ( $f$ )**.
- **Распор от расчётной (предельной) нагрузки ( $H$ )**.
- **Погонный изгибающий момент на опоре ( $M_{оп}$ )**. При шарнирном опирании пластины он равен нулю.
- **Погонный изгибающий момент в пролёте ( $M_{пр}$ )**.
- **Коэффициент использования по прочности**.
- **Коэффициент использования по прогибу**.
- Вывод о работе пластины — **проходит** или **не проходит**.

Расчет стального настила как тонкой пластины

Равномерно распределенная нагрузка

Тип опирания  
 шарнирное  жесткое

Дополнительные коэффициенты  
 Коэффициент надежности по ответственности ( $\gamma_n$ )   
 Коэффициент условий работы ( $\gamma_c$ )

Класс конструкции по виду напряженно-деформированного состояния

Характеристики стали  
 Модуль упругости (E)  тс/м<sup>2</sup>  
 Коэффициент Пуассона ( $\mu$ )   
 Расчетное сопротивление (Ry)  тс/м<sup>2</sup>

Параметры пластины  
 Пролет (l)  м  
 Толщина (t)  мм

Равномерно распределенная нагрузка  
 Нормативная (q<sub>n</sub>)  тс/м<sup>2</sup>  
 Расчетная (q)  тс/м<sup>2</sup>

Максимально допустимый прогиб  
 В мм\*    
 В долях пролета  1/

Минимальная толщина пластины при подборе  мм

\* Допустимый прогиб по умолчанию принимается по п. 2 таблицы предельных прогибов в нормах по нагрузкам и воздействиям (СНиП, СП, ДБН, ...).

Результаты  
 Проверка  Подбор  
 Толщина пластины (t)  мм  
 Прогиб от нормативной нагрузки (f)  мм  
 Распор от расчетной нагрузки (H)  тс/м  
 Погонный момент на опоре (M<sub>оп</sub>)  тс  
 Погонный момент в пролете (M<sub>пр</sub>)  тс  
 Коэффициент использования по прочности   
 Коэффициент использования по прогибу   
 Сечение проходит

Расчёт

Отмена

Рис. 9.137. Окно утилиты расчёта тонкого стального настила

## 9.12 ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ЕВРОНОРМАМ

В ПК ЛИРА 10.12 реализованы требования Eurocode для стальных конструкций в соответствии с EN 1993-1-1 и EN 1993-1-5. В Eurocode различают четыре класса сечений. В зависимости от геометрии и набора усилий, для каждого класса используется свой алгоритм проверки прочности и устойчивости.

В программе реализован эффект сдвигового запаздывания для всех 4 классов сечений. Этот эффект проявляется в том, что при чистом изгибе поперечной силой реальной балки, имеющей полки и стенку, напряжения в полке не будут равномерными, а будут уменьшаться с удалением от стенки. Это явление реализовано с учетом п. 3.2.1 [9.15] для полок швеллера и двутавра. Суть состоит в том, что вместо фактического сечения используется приведенное сечение с уменьшенными размерами. Процедура редуцирования сечения по сдвиговому запаздыванию производится в первую очередь до того, как будут проведены основные проверки по прочности, а также общей и местной устойчивости.

Определение класса сечения производится в соответствии с таблицей 5.2 [9.14]. При этом распределение напряжений оценивается только от осевой силы и изгибающих моментов. Если набор усилий не создает в сечении пластический шарнир, то усилия пропорционально уменьшаются или увеличиваются до того момента, когда пластический шарнир будет реализован. Поиск состояния пластического шарнира производится в программе автоматически по нелинейно-деформационной модели. В протоколе расчета выводится коэффициент  $\alpha$  (альфа) для каждой полки и стенки сечения, который характеризует соотношение сжатой и растянутой площади рассматриваемой части сечения при пластическом шарнире. Для двутавра, у которого полки принадлежат к 1-2 классу, а стенка к 3 классу, сечению присваивается 2 класс, но в расчетах при этом используется приведенное редуцирование стенки согласно п. 6.2.2.4 [9.14].

### Проверка прочности сечений для 1-2 класса

Прежде всего производится проверка на поперечную силу и кручение по пп. 6.2.6-6.2.7 [9.14]. Для сечений двутавра, швеллера, коробки, уголка на срез отдельно проверяются два направления вдоль локальных осей стержня  $y$  и  $z$ . Для круглой трубы в учет берется одно направление сдвига в направлении геометрической суммы поперечных сил. Если несущая способность на сдвиг меньше 50%, то в дальнейших расчетах прочность явление сдвига игнорируется. В противном случае, если коэффициент использования по сдвигу будет в пределах 0.5...1, производится редуцирование моментов сопротивления сечения согласно п. 6.2.8 [9.14]. После этого для двутавров и коробок производится попытка посчитать финальную прочность по п. 6.2.9.1 [9.14]. Если характеристики сечения не попадают под условия этого пункта, то расчет производится по консервативной зависимости пункта 6.2.1 (7) [9.14]. Для уголка, швеллера и круглой трубы финальная прочность сечений 1-2 класса оценивается только по зависимости из п. 6.2.1 (7) [9.14].

Дополнительно, для сечений двутавра и коробки, которые находятся на опорах, определяется несущая способность на совместное действие поперечной силы, осевой силы и изгибающего момента по п. 7.1 [9.15].

### **Проверка прочности для сечений 3 класса**

Проверка прочности для сечений 3 класса оценивается по п. 6.2.1 (5) [9.14]. Иными словами, в самых опасных точках (точки с максимальным нормальным и максимальным касательным напряжением) ищется эквивалентное напряжение по теории Губера-Мизеса-Генки и сравнивается с приведенным пределом текучести. При этом касательные напряжения от поперечных сил оцениваются по формуле Журавского для всех сечений, а напряжения от кручения учтены для двутавров и швеллеров, как касательные напряжения от стесненного кручения, а для уголка, коробки и круглой трубы, как касательные напряжения от чистого кручения.

### **Проверка прочности сечений для 4 класса**

Для сечений 4 класса предварительно рассчитывается приведенное сечение с учетом редуцирования участков, которые подвержены местной потере устойчивости до появления пластических деформаций согласно таблицам 4.1-4.2 [9.15]. Далее для эквивалентного сечения считаются приведенные напряжения по теории Губера-Мизеса-Генки и сравнивается с приведенным пределом текучести. При этом касательные напряжения от поперечных сил оцениваются по формуле Журавского для всех сечений, а напряжения от кручения учтены для двутавров и швеллеров, как касательные напряжения от стесненного кручения, а для уголка и коробки, как касательные напряжения от чистого кручения. Касательные напряжения при этом считаются как для цельного сечения без учета его редуцированных участков.

В текущей постановке расчет круглой трубы 4 класса не производится по той причине, что в нормах не описан ее расчет. Рекомендуется такую трубу моделировать с использованием МКЭ пластинчатыми или объемными элементами и считать задачу с учетом начальных несовершенств и геометрической нелинейности.

### **Проверка местной устойчивости стенок**

Данная проверка проводится для сечений двутавра, швеллера и коробки. Расчет производится по п. 5.2 (1) [9.15].

### **Проверка общей устойчивости**

Проверка устойчивости от центрального сжатия осуществляется в соответствии с п. 6.3.1 [9.14]. Ввиду отсутствия полного алгоритма в Еврокодах, упругая критическая сила для крутильной формы потери устойчивости определяется по формуле D13.14 [9.16], а упругая критическая сила для крутильно-изгибной формы потери устойчивости вычисляется по формуле D13.15 [9.16]. Проверка устойчивости по изгибной форме считается по пп. 6.3.2.2-6.3.2.3 [9.14]. Ввиду отсутствия в Еврокоде описания для расчета упругого критического момента для изгибно-крутильной формы, он в программе определяется по формуле D6.10 руководства [9.16]. Проверка устойчивости от совместного действия осевой силы и изгибающих моментов производится по п. 6.3.3 [9.14], поиск коэффициентов взаимодействия при этом производится по методу 1.

**Структура окна назначения конструирования (рис. 9.138):**

1 — **Нормы**, по которым происходит конструирование.

2 — **Имя конструирования** — пользователем может быть задано произвольное название.

3 — **Описание** — может быть задано пользователем произвольно.

4 — **Коэффициент надежности по прочности**. В [9.14] он называется «частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений по прочности независимо от класса».

5 — **Коэффициент надежности по устойчивости**. В [9.14] он называется «частный коэффициент безопасности при определении несущей способности элемента по устойчивости».

6 — **Коэффициент надежности с использованием временного сопротивления стали**. В [9.14] он называется «частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений с использованием временного сопротивления стали».

7 — **Расчетная длина относительно оси Y1**. Может быть задана как фактическая длина, так и коэффициент к фактической длине конечного или конструктивного элемента.

8 — **Расчетная длина относительно оси Z1**. Может быть задана как фактическая длина, так и коэффициент к фактической длине конечного или конструктивного элемента.

9 — **Расчетная длина по кручению**, которая используется при проверке по крутильной и изгибно-крутильной форме потери устойчивости. Может быть задана как фактическая длина либо как коэффициент к фактической длине конечного или конструктивного элемента. Или же может быть взята как расчетная длина по оси минимальной жесткости.

10 — Окно с вариантами ввода эпюры распределения изгибающего момента вокруг «сильной» оси сечения. Используется при проверках общей устойчивости от изгибающего момента и совместного действия осевой силы и изгибающего момента и служит для определения коэффициента  $C_1$  по таблицам 6.10-6.11 руководства [9.16]. Если эпюру сложно предсказать, то рекомендуется выбрать консервативный вариант **Нагружение концевыми моментами**.

11 — Выбор схемы работы конечного или конструктивного элемента. Схема используется для получения эффективных сечений от эффектов сдвигового запаздывания согласно п. 3.2.1 [9.15]. Также по этой схеме определяется, стоит ли элемент на опоре. Для трубы и уголка это поле отсутствует.

12 — Поле с вводом поперечных ребер жесткости. Используется только при определении несущей способности поясов на изгиб при потере устойчивости по формуле 5.8 [9.15]. Для трубы и уголка это поле отсутствует.

13 — Вид опирания элемента. Появляется только при выборе элемента на опоре. Доступно три варианта опирания согласно рисунку 5.1 (b, c) и 6.1 (c) [9.15]. Используется при проверке местной устойчивости стенок двутавра, швеллера, коробки. Для трубы и уголка это поле отсутствует.

14 — Фактическая длина/длины пролета между опорами, в зависимости от выбранной схемы опирания пролета. Для трубы и уголка это поле отсутствует.

15 — Размеры опоры согласно рис. 6.1 (c) [9.15], если выбран этот тип опирания. Для трубы и уголка это поле отсутствует.

16, 17 — Поля с назначением предельных прогибов в плоскостях  $X1OZ1$ ,  $X1OY1$ .

Топология двутавров

Нормы EN 1993-1-1 Еврокод 3 **1**

Имя **2** Топология двутавров **3** Описание

Первое предельное состояние

Коэффициент надежности по прочности **4**  $\gamma_{m0}$  1

Коэффициент надежности по устойчивости **5**  $\gamma_{m1}$  1

Коэффициент надежности с использованием временного сопротивления стали **6**  $\gamma_{m2}$  1

Расчетная длина относительно Y1

Коэффициент приведения длины: **7**  $\mu_y$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  1 м

Определение расчетной длины колонн относительно Y1

Расчетная длина относительно Z1 **8**

Коэффициент приведения длины:  $\mu_z$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  1 м

Определение расчетной длины колонн относительно Z1

Расчетная длина для проверки по кручению **9**

Коэффициент приведения длины:  $K_{lt}$  1

---

**10**

Нагружение кольцевыми моментами

Ребра жесткости **12** не заданы 1.5

**13** без элементов жесткости на опоре

Размер опоры **15**  $S_s$  0 м

**14**  $L_1$  1 м

**11**

не использовать коэффициент к длине пролета

Второе предельное состояние

Проверка по деформациям

Прогибы относительно локальной оси Z1(в плоскости X1OZ1): **16**

Длина пролета

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать распределения конструктивных элементов в рассматриваемом направлении)

Точно  $Lz1$  6

Схема работы:

Балочная  Консольная

Допустимый прогиб

Ввести значение 30

В долях пролета  $Lz1 / 200$

Деформации относительно локальной оси Y1(в плоскости X1OY1): **17**

Длина пролета

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать распределения конструктивных элементов в рассматриваемом направлении)

Точно  $Ly1$  6

Схема работы:

Балочная  Консольная

Допустимое перемещение

Ввести значение 30

В долях пролета  $ly1 / 200$

Рис. 9.138. Окно назначения параметров конструирования


## ГЛАВА 9А. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Проверка элементов деревянных конструкций производится на основании следующих норм:

- СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции»;
- СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции»;
- ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення»;
- EN 1995-1-1:2009 Eurocode 5 «Проектирование деревянных конструкций».

### 9А.1 ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

#### 9А.1.1 Задание сечений/жесткостей

Чтобы вызвать **Редактор сечений/жесткостей**, воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇨ **Редактор сечений/жесткостей** либо кнопкой  на панели инструментов. В главном окне программы раскроется вкладка **Сечения** (подробнее см. п. 2.13).

Для доступа к списку деревянных сечений нужно в редакторе сечений/жесткостей щелкнуть на кнопке **Деревянные**. В ПК ЛИРА 10.12 доступны такие деревянные сечения:

- цельный прямоугольный брус;
- цельный круглый брус;
- составной двутавр;
- коробка.

В правой части редактора расположено окно параметров сечения, в котором в доступных полях ввода можно задавать и корректировать требуемые геометрические параметры для цельных сечений (рис. 9А.1) и жесткостные характеристики для составных сечений (рис. 9А.2).

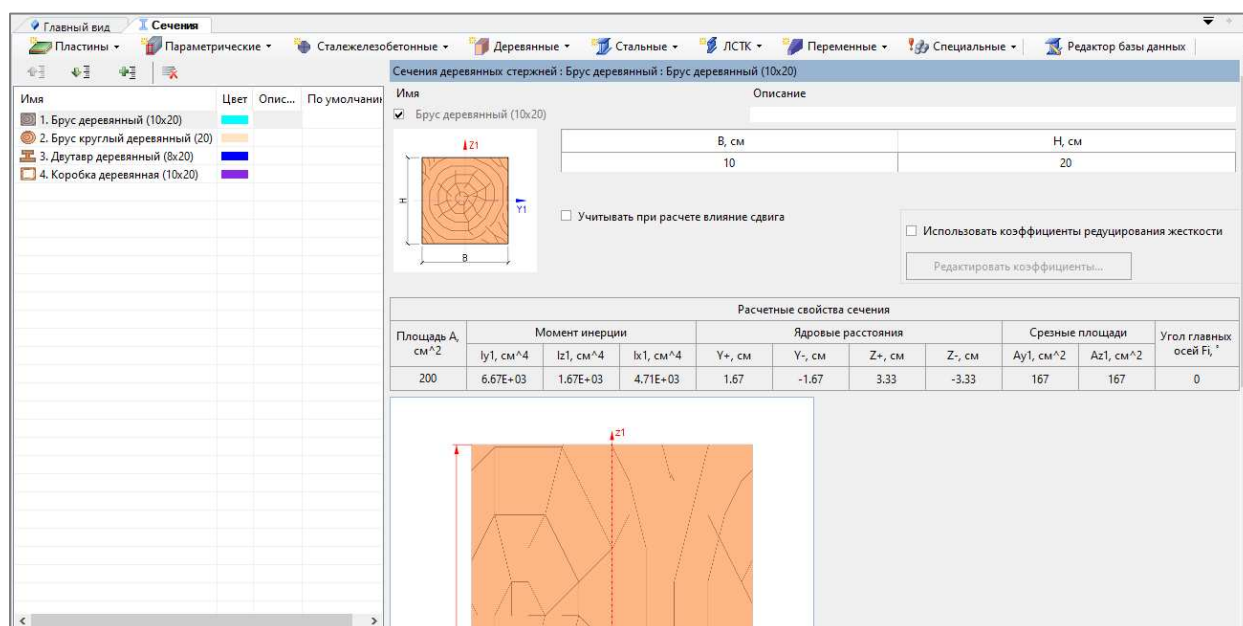


Рис. 9А.1. Вкладка **Сечения** (Брус деревянный)



В окне параметров сечения приведены таблицы с геометрическими и расчетными характеристиками сечения (заполняются программно и не подлежат корректировке). После ввода требуемых параметров динамически отрисовывается эскиз сечения с указанием базовых размеров и отображением направления локальных осей.

Для цельного бруса прямоугольного/круглого сечения необходимо задать только геометрические параметры и установить флажки при необходимости (рис. 9А.1).

Установка/сброс флажка **Учитывать при расчете влияние сдвига** позволяет управлять учетом влияния сдвига при расчете.

Установка флажка **Использовать коэффициенты редуцирования жесткости** позволяет использовать в расчетах коэффициенты редуцирования жесткости, задав их в окне, которое появится после нажатия на кнопку **Редактировать коэффициенты**.

Для создания нового составного деревянного двутаврового/коробчатого сечения необходимо:

1. Выбрать нужный тип сечения **Двутавр/Коробка** из раскрывающегося списка **Деревянные**.
2. Задать необходимые геометрические параметры.
3. Указать требуемый **Материал полок** — из раскрывающихся списков выбрать нормативный документ (**Нормы**) и **Класс** древесины (рис. 9А.3).
4. Указать **Материал стенки** — из раскрывающихся списков выбрать нормативный документ (**Нормы**) и **Класс** древесины (рис. 9А.4).
5. При необходимости установить флажки.
6. Скорректировать поля **Имя** и **Описание**, по желанию, поместив туда необходимую информацию.

После внесения пользователем указанных данных выводится схематический эскиз и таблицы с геометрическими и жесткостными характеристиками выбранного сечения.

Сечения деревянных стержней: Двутавр деревянный: Двутавр деревянный (8x20)			
Имя	Описание		
Двутавр деревянный (8x20)			
В, см	H, см	b, см	h, см
8	20	1	4

Материал полок	Материал стенки
С14	F20/10 Е40/20

Расчетные свойства сечения	
<b>Жесткостные характеристики</b>	
EA, тс	3458,9
EIy1, тс*м^2	20,51
E Iz1, тс*м^2	1,6392
GIx1, тс*м^2	0,57064
GFz, тс	1269
GFy, тс	325,94
EIω, тс*м^4	0,010467
<b>Паровые расстояния</b>	
Y1+, см	1,1847
Y1-, см	-1,1847
Z1+, см	5,9296
Z1-, см	-5,9296

Рис. 9А.2. Вкладка **Сечения** (Двутавр деревянный)

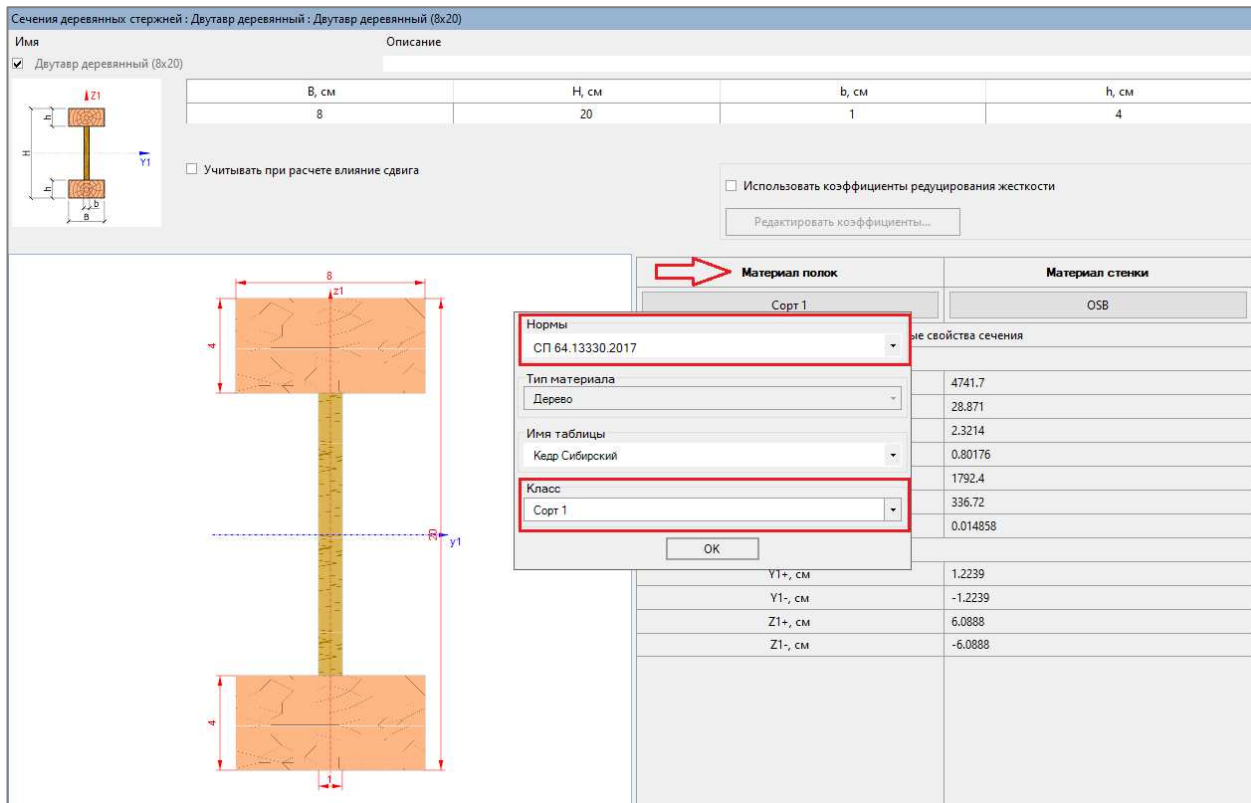


Рис. 9А.3. Окно параметров **Материал полок**

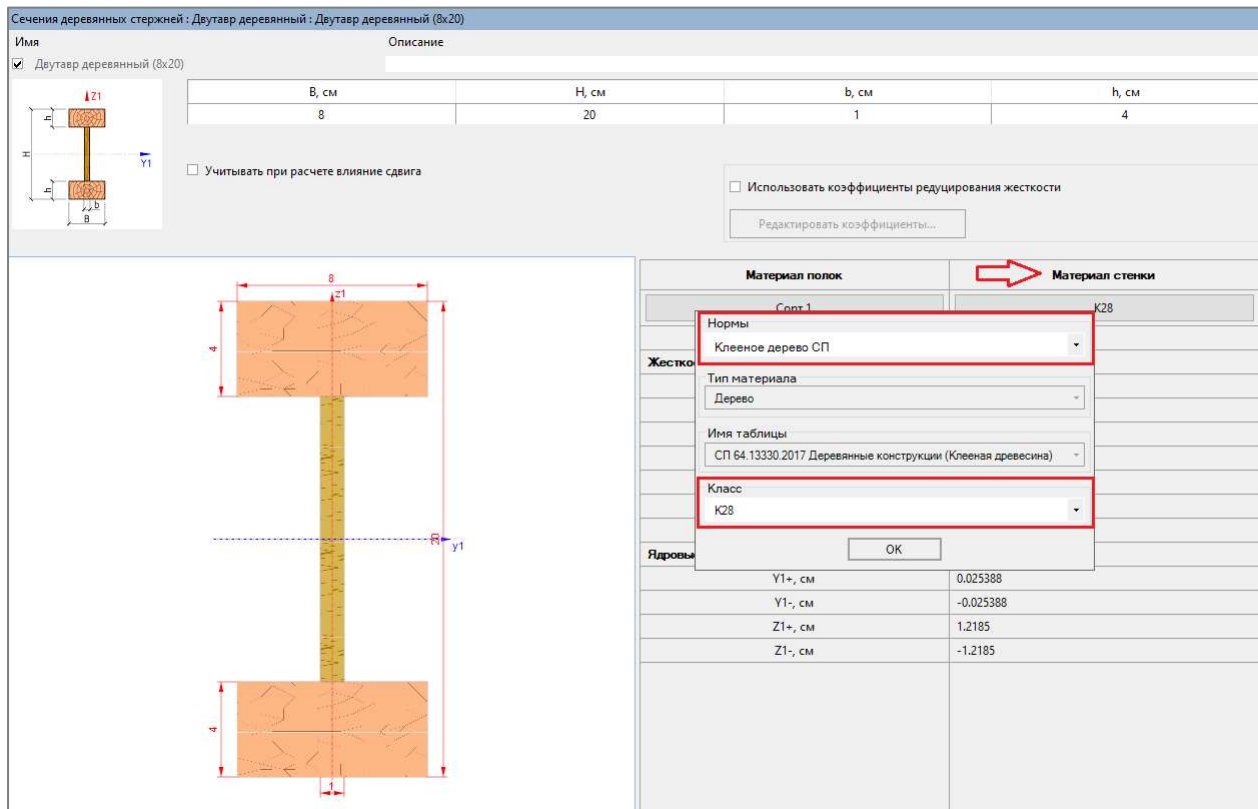



Рис. 9А.4. Окно параметров **Материал стенки**

### 9А.1.2 Задание материалов

Для доступа к редактору материалов воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇨ **Редактор материалов** (кнопка  на панели инструментов). В главном окне программы раскроется вкладка **Материалы** (подробнее см. п. 2.14).

Для задания деревянного материала необходимо во вкладке редактора материалов щелкнуть на кнопке **Материал из базы данных**. В раскрывшемся списке нужно выбрать элемент **Дерево из базы данных**, а затем один из видов пиломатериалов, соответствующий требуемому нормативному документу (рис. 9А.5).

В правой части редактора в окне параметров материала отобразятся стандартные параметры жесткостных характеристик (рис. 9А.6).

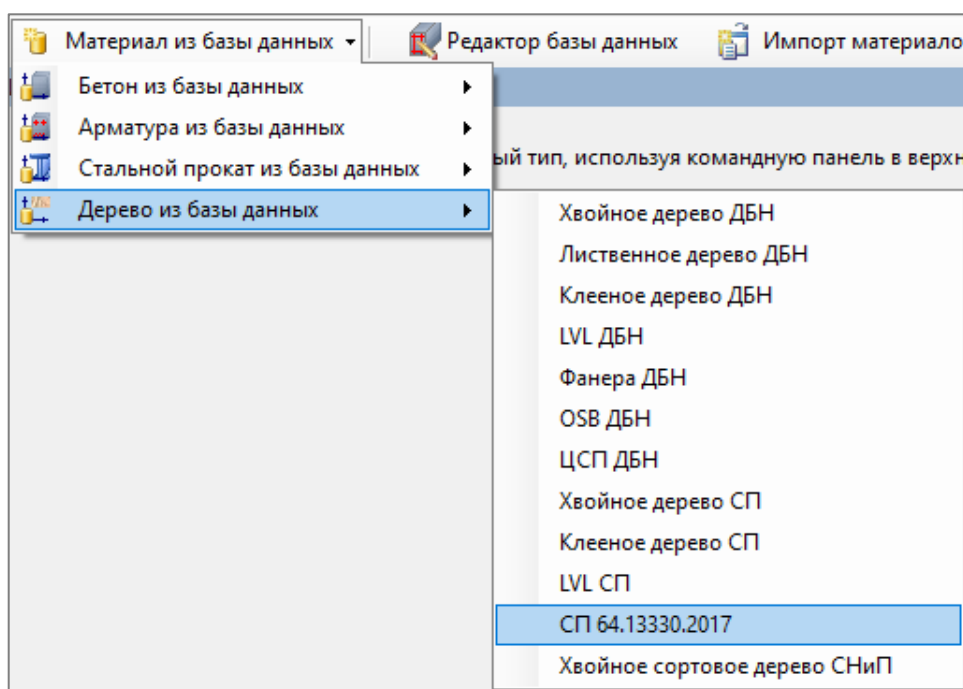



Рис. 9А.5. Список **Дерево из базы данных**

 При выборе необходимого материала все его физико-механические характеристики определяются по **Классам прочности** в соответствии с нормативным документом. И только физико-механические характеристики материала по СП 64.13330.2017 определяются по **Сорту и Породе древесины** в соответствии с табл. 3 и табл. 5 СП 64.13330.2017.

В окне параметров материала необходимо указать:

- **Объемный вес** материала;
- **Класс прочности**, выбрав значение из раскрывающегося списка;
- **Породу древесины** (для СП 64.13330.2017), выбрав элемент из раскрывающегося списка;
- **Сорт древесины** (для СП 64.13330.2017), выбрав элемент из раскрывающегося списка;
- **Коэффициенты демпфирования**, при необходимости.

Также можно изменить используемый **Модуль упругости** для матрицы жесткости.

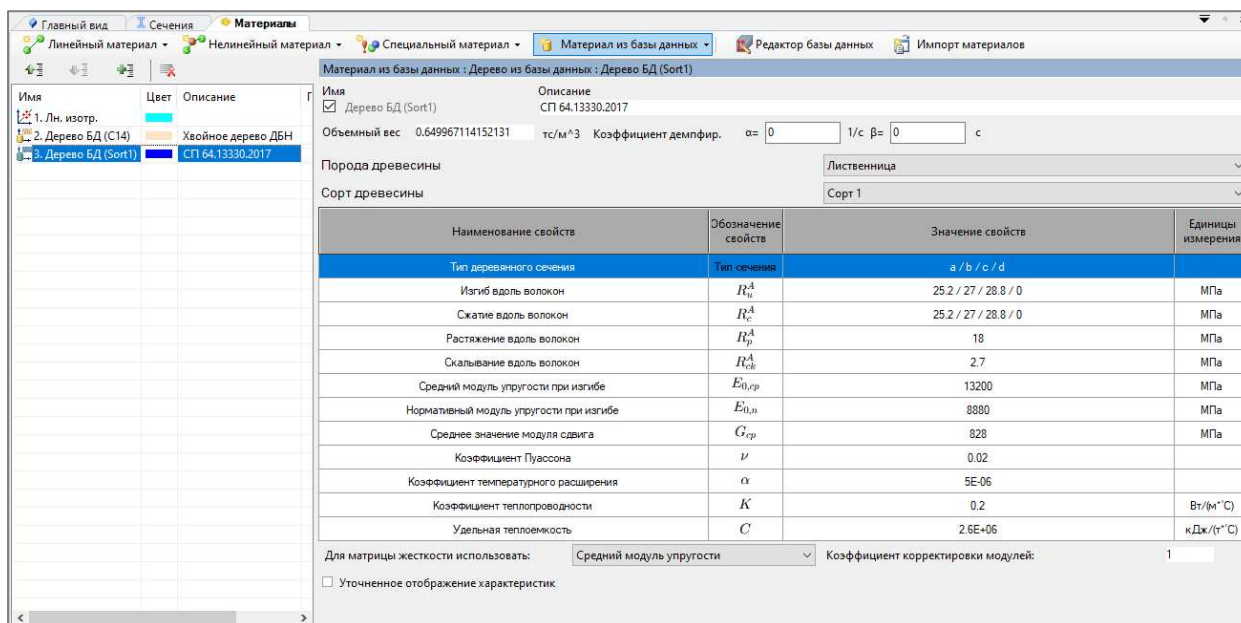




Рис. 9А.6. Вкладка **Материалы** (СП 64.13330.2017)

 В табл. 3 (п.1) СП 64.13330.2017 приведены 4 условия геометрических характеристик элементов, в соответствии с которыми в окне параметров материала указаны 4 типа параметров материала  $a / b / c / d$ . При расчете программа автоматически учитывает геометрические параметры сечения, которому назначен данный тип материала и в соответствии с этим определяет необходимые параметры расчетных сопротивлений материала.



*Исключение:* в табл. 3 (п.1, а) при высоте сечения более 50 см поправочный коэффициент  $t_b$  учтен автоматически и доступен для просмотра в протоколе расчета.

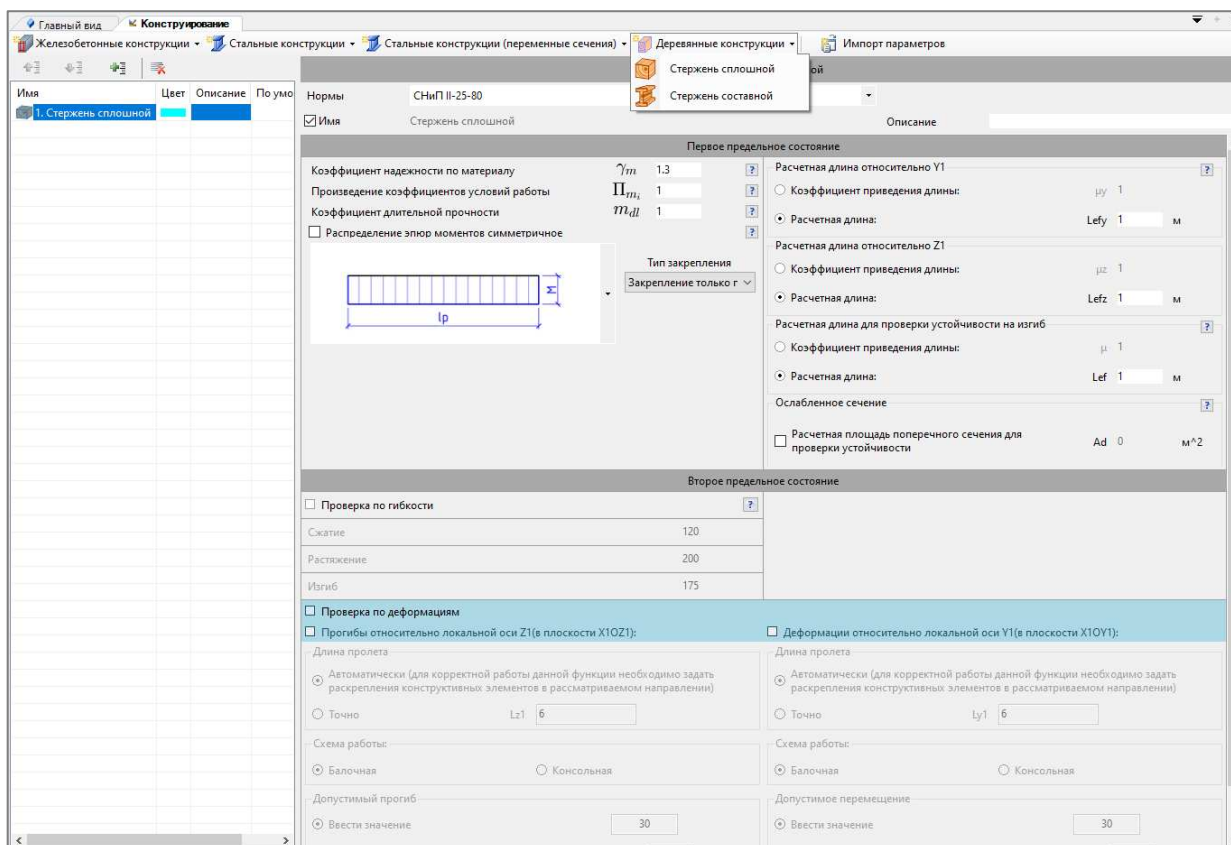
### 9А.1.3 Задание параметров конструирования

Чтобы вызвать редактор параметров конструирования, воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇒ **Редактор конструирования** либо кнопкой  на панели инструментов. В главном окне программы раскроется вкладка **Конструирование** (подробнее см. п. 2.16).

Для работы с деревянными конструкциями нужно в редакторе конструирования щелкнуть на кнопке **Деревянные конструкции**, а затем выбрать нужную топологию сечений (рис. 9А.7).


В ЛИРА 10.12 доступны два типа сечений:

- **Стержень сплошной**  . К нему относятся:
  - прямоугольный деревянный брус;
  - круглый деревянный брус.
- **Стержень составной**  . К нему относятся:
  - двутавр деревянный;
  - коробка деревянная.

Рис. 9А.7. Вкладка **Конструирование (Стержень сплошной)**

Первый параметр, который нужно задать при конструировании, это **Нормы**. Для сплошных деревянных сечений (прямоугольного и круглого) в программе выполняется расчет и конструирование элементов в соответствии со следующими нормами:

- СНиП II-25-80;
- СП 64.13330.2017;
- ДБН В.2.6-161:2017;
- Еврокод 5.

При щелчке на кнопке со знаком вопроса  возле соответствующей опции раскрывается таблица с нормативными параметрами, на которые можно ориентироваться при вводе значений.

### Сплошное деревянное сечение по СП 64.13330.2017 и СНиП II-25-80

К общим исходным данным, которые нужно задать в параметрах конструирования, относятся (рис. 9А.8):

- **Коэффициент надежности по материалу** — задается при определении материала древесины по **Классам прочности** в соответствии с СП 64.13330.2017, п. 6.2, табл. 6.

В случае, если в редакторе материалов выбрано **СП 64.13330.2017**, где физико-механические характеристики определяются по **Сорту и Породе древесины**, коэффициент надежности равен **1** (СП п.6.1).

Стержень сплошной

Нормы: СП 64.13330.2017

Имя: Стержень сплошной

Описание: \_\_\_\_\_

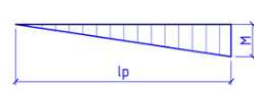
Первое предельное состояние

Коэффициент надежности по материалу:  $\gamma_m$  1.2

Произведение коэффициентов условий работы:  $\prod m_i$  1

Коэффициент длительной прочности:  $m_{dl}$  1

Распределение эпюр моментов симметричное



Тип закрепления:

Расчетная длина относительно Y1:  $\mu_y$  0.5

Расчетная длина:  $L_{efy}$  1 м

Расчетная длина относительно Z1:  $\mu_z$  0.5

Расчетная длина:  $L_{efz}$  1 м

Расчетная длина для проверки устойчивости на изгиб:  $\mu$  0.5

Расчетная длина:  $L_{ef}$  1 м

Ослабленное сечение:  $A_d$  0 м<sup>2</sup>

Расчетная площадь поперечного сечения для проверки устойчивости

Второе предельное состояние

Проверка по гибкости

Сжатие: 120

Растяжение: 150

Изгиб: 175

Проверка по деформациям

Прогобы относительно локальной оси Z1 (в плоскости X1OZ1):

Длина пролета:  $L_{z1}$  6

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом направлении)

Точно

Схема работы:  Балочная  Консольная

Допустимый прогиб:  Вести значение: 0.03

В долях пролета:  $L_{z1} / 250$

Автоматически по п.2а табл.Е1

Высота:  ≤ 6m  > 6m

Деформации относительно локальной оси Y1 (в плоскости X1OY1):

Длина пролета:  $L_{y1}$  6

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом направлении)

Точно

Схема работы:  Балочная  Консольная

Допустимое перемещение:  Вести значение: 0.03

В долях пролета:  $L_{y1} / 250$

Автоматически по п.2а табл.Е1

Высота:  ≤ 6m  > 6m

Рис. 9А.8. Стержень сплошной (СП 64.13330.2017)

- **Произведение коэффициентов условий работы** — задается в соответствии с п. 6.9 СП 64.13330.2017.

- **Коэффициент длительной прочности** — соответствует режиму длительности нагружения.

- **Выбор формы эпюры и типа закрепления** осуществляется щелчком мыши на эпюре или типе закрепления. Раскрывается список с возможными вариантами форм или типов закрепления. Определяется в соответствии с п. 7.14 СП, п. 4.14 СНиП для принятия коэффициента  $k_\phi$  (зависит от формы эпюры изгибающих моментов в соответствии с табл. Е.1 приложения Е СП 64.13330.2017 и табл. 2 приложения 4 СНиП II-25-80).

- **Распределение эпюр моментов симметричное** — учет симметрии формы эпюры моментов осуществляется в соответствии с п. 7.17 СП, п. 4.16 СНиП для определения коэффициента  $\xi$ . При активном флажке программа не учитывает поправочный коэффициент  $k_n$ , определяемый по формуле (39) СП и (31) СНиП.

- **Расчетные длины** элементов деревянных конструкций задаются относительно локальных осей Y1 и Z1. В зависимости от выбранного переключателя (**Коэффициент приведения длины** или **Расчетная длина**) нужно задать коэффициент к геометрической длине конструктивного элемента или значение расчетной длины в метрах. Если рассматриваемый элемент не входит в состав конструктивного элемента, коэффициент приведения длины принимается к геометрической длине самого конечного элемента. При


задании расчетной длины нужно руководствоваться п. 7.23 СП или 4.21 СНиП (в зависимости от выбранного нормативного документа).

- **Ослабленное сечение** — при активизации флажка в данной области можно задать расчетную площадь сечения с учетом ослабления.

- **Проверка по гибкости** — для активизации нужно установить соответствующий флажок и задать нужное значение предельной гибкости на **Сжатие, Растяжение** или **Изгиб** (табл. 16 СП или табл. 14 СНиП).

- **Проверка по деформациям** — задаются параметры для проверки предельно-допустимых прогибов относительно локальных осей Y1 и Z1. Для активизации проверки по деформациям нужно установить одноименный флажок. Далее путем установки флажков (**Прогибы относительно локальной оси Z1** и **Деформации относительно локальной оси Y1**) можно выбрать, относительно каких осей нужно выполнить проверку. После этого нужно задать **Длину пролета**, выбрав переключатель **Автоматически** (длина пролета равняется расстоянию между раскреплениями в пределах конструктивного элемента, которому присваиваются данные параметры конструирования, или его геометрической длине, если не заданы раскрепления) или **Точно** (задается длина пролета в метрах). В случае точного задания длины пролета путем выбора переключателя указывается схема работы конструкции: **Балочная** или **Консольная**. Далее нужно выбрать один из трех вариантов задания максимально допустимого прогиба:

- **Ввести значение** — значение задается в миллиметрах;
- **В долях пролета** — указывается знаменатель, т.е. во сколько раз максимальный прогиб должен быть меньше длины пролета конструкции;
- **Автоматически по п. 2а табл.19 СНиП (по п. 2а табл. E1 СП)** — с помощью выбора переключателя  $\leq 6m$  или  $> 6m$  задается предел высоты конструкции, с помощью которого программа автоматически определяет максимальный прогиб в соответствии с выбранными нормами.

 *На определение прогибов в конструктивном элементе влияют заданные ему раскрепления, которые позволяют определить прогиб рассматриваемого конструктивного элемента без учета перемещения его опор.*

### Сплошное деревянное сечение по ДБН В.2.6-161:2017 и Eurocode 5

К общим исходным данным, которые нужно задать в параметрах конструирования, относятся (рис. 9А.9):

- **Коэффициент надежности по материалу** — задается при определении материала древесины по **Классам прочности** (табл. 6.1 ДБН или табл. 2.3 Eurocode).

- **Коэффициент преобразования** — учитывает продолжительность действия нагрузки и температурно-влажностные условия эксплуатации (табл. А.1 ДБН или табл. 2.3 Eurocode).

**Расчетные длины и Проверка по деформациям** задаются аналогично с описанными выше исходными данными для СП, в соответствии с выбранным нормативным документом.

Стержень сплошной

Нормы	ДБН В.2.6-161:2017		Описание		
<input checked="" type="checkbox"/> Имя	Стержень сплошной				
Первое предельное состояние					
Коэффициент надежности по материалу	$\gamma_m$	1.3	Расчетная длина относительно Y1		
Коэффициент преобразования, который учитывает продолжительность действия нагрузки и температурно-влажностные условия эксплуатации	$k_{mod}$	0.5	<input type="radio"/> Коэффициент приведения длины:	$\mu_y$ 1	
			<input checked="" type="radio"/> Расчетная длина:	Lefy 1 м	
			Расчетная длина относительно Z1		
			<input type="radio"/> Коэффициент приведения длины:	$\mu_z$ 1	
			<input checked="" type="radio"/> Расчетная длина:	Lefz 1 м	
			Расчетная длина для проверки устойчивости на изгиб		
			<input type="radio"/> Коэффициент приведения длины:	$\mu$ 1	
			<input checked="" type="radio"/> Расчетная длина:	Lef 1 м	
			Ослабленное сечение		
			<input type="checkbox"/> Расчетная площадь поперечного сечения для проверки устойчивости	Ad 0 м <sup>2</sup>	
Второе предельное состояние					
<input checked="" type="checkbox"/> Проверка по деформациям					
<input checked="" type="checkbox"/> Прогобы относительно локальной оси Z1(в плоскости X1OZ1):					
<input checked="" type="checkbox"/> Деформации относительно локальной оси Y1(в плоскости X1OY1):					
Длина пролета	<input checked="" type="radio"/> Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом направлении) <input type="radio"/> Точно Lz1 6		Длина пролета	<input checked="" type="radio"/> Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом направлении) <input type="radio"/> Точно Ly1 6	
Схема работы:	<input checked="" type="radio"/> Балочная <input type="radio"/> Консольная		Схема работы:	<input checked="" type="radio"/> Балочная <input type="radio"/> Консольная	
Допустимый прогиб	<input checked="" type="radio"/> Ввести значение 0.03 <input type="radio"/> В долях пролета Lz1 / 200 <input type="radio"/> Автоматически по п.2а табл.1		Допустимое перемещение	<input checked="" type="radio"/> Ввести значение 0.03 <input type="radio"/> В долях пролета Ly1 / 200 <input type="radio"/> Автоматически по п.2а табл.1	
	Высота помещения <input checked="" type="radio"/> ≤ 6m <input type="radio"/> > 6m			Высота помещения <input checked="" type="radio"/> ≤ 6m <input type="radio"/> > 6m	

Рис. 9А.9. Стержень сплошной (ДБН В.2.6-161:2017)

### Составное деревянное сечение по ДБН В.2.6-161:2017 и Eurocode 5

К общим исходным данным, которые нужно задать в параметрах конструирования, относятся (рис. 9А.10):

- **Коэффициент надежности по материалу** — задается при определении материала древесины по **Классам прочности** (табл. 6.1 ДБН или табл. 2.3 Eurocode).
- **Коэффициент преобразования** — учитывает продолжительность действия нагрузки и температурно-влажностные условия эксплуатации (табл. А.1 ДБН или табл. 3.1 Eurocode).
- **Коэффициент для оценки деформаций ползучести** — для деревянных материалов и их соединений при постоянной длительности действия нагрузки (табл. А.2 ДБН или табл. 3.2 Eurocode).
- **Коэффициент для практически постоянного значения переменного действия Q** — определяется в соответствии с табл. А.1.1 норм ДСТУ-Н Б В.1.2-13 и EN 1990:2002.
- **Тип фиксации ламелей и Количество ламелей** — учитываются при расчете коэффициента прочности системы для ламинированных листов настила из клееной древесины.

**Расчетные длины и Проверка по деформациям** задаются аналогично с описанными выше исходными данными для СП, в соответствии с выбранным нормативным документом.



**Стержень составной**

Нормы: ДБН В.2.6-161:2017

Имя: Стержень составной

Описание: \_\_\_\_\_

---

**Первое предельное состояние**

Кoeffициент надежности по материалу  $\gamma_m$  1.3

Кoeffициент преобразования, который учитывает продолжительность действия нагрузки и температурно-влажностные условия эксплуатации (полки)  $k_{mod,f}$  0.5

Кoeffициент преобразования, который учитывает продолжительность действия нагрузки и температурно-влажностные условия эксплуатации (стенка)  $k_{mod,w}$  0.4

Кoeffициент для оценки деформаций ползучести с учетом соответствующего эксплуатационного класса для деревянных строительных материалов и их соединения при постоянной и квазипостоянной продолжительности действия нагрузки (полки)  $k_{def,f}$  0.6

Кoeffициент для оценки деформаций ползучести с учетом соответствующего эксплуатационного класса для деревянных строительных материалов и их соединения при постоянной и квазипостоянной продолжительности действия нагрузки (стенка)  $k_{def,w}$  3

Кoeffициент для практически постоянного значения переменного действия Q  $\psi_2$  0.2

Расчетная длина относительно Y1

Кoeffициент приведения длины:  $\mu_y$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  1 м

Расчетная длина относительно Z1

Кoeffициент приведения длины:  $\mu_z$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  1 м

Расчетная длина для проверки устойчивости на изгиб

Кoeffициент приведения длины:  $\mu$  1

Расчетная длина:  $L_{ef}$  1 м

Тип фиксации lamелей	Количество lamелей, шт.
Склеенные	4

---

**Второе предельное состояние**

Проверка по деформациям

Прогибы относительно локальной оси Z1 (в плоскости X1OZ1):

Длина пролета

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом направлении)

Точно  $Lz1$  6

Схема работы:

Балочная  Консольная

Допустимый прогиб

Вести значение 0.03

В долях пролета  $Lz1 / 200$

Автоматически по п.2а табл.1

Высота помещения  ≤ 6m  > 6m

Деформации относительно локальной оси Y1 (в плоскости X1OY1):

Длина пролета

Автоматически (для корректной работы данной функции необходимо задать раскрепления конструктивных элементов в рассматриваемом направлении)

Точно  $Ly1$  6

Схема работы:

Балочная  Консольная

Допустимое перемещение

Вести значение 0.03

В долях пролета  $Ly1 / 200$

Автоматически по п.2а табл.1

Высота помещения  ≤ 6m  > 6m


Рис. 9А.10. Стержень составной (ДБН В.2.6-161:2017)

### 9А.2 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Для получения протокола расчета по деревянным конструкциям необходимо:


6. Запустить задачу на расчет (с помощью команды

**Расчет** ⇒ **Выполнить расчет** либо кнопки  на панели инструментов).

7. Перейти в режим расчета конструкций (с помощью команды **Расчет** ⇒ **Расчет конструкций** либо кнопки  на панели инструментов).

8. На вкладке **Параметры структурного расчета** панели режима **Расчет конструкций** (рис. 9А.11) установить флажки возле необходимых параметров расчета.

9. Щелкнуть по кнопке **Отправить элементы на расчет**.

10. После успешного выполнения расчета перейти в режим результатов расчета по деревянным конструкциям (с помощью команды меню **Спец. результаты** ⇒ **Деревянные конструкции** либо кнопки  на панели инструментов).

После чего станет доступен протокол расчета (рис. 9А.12).

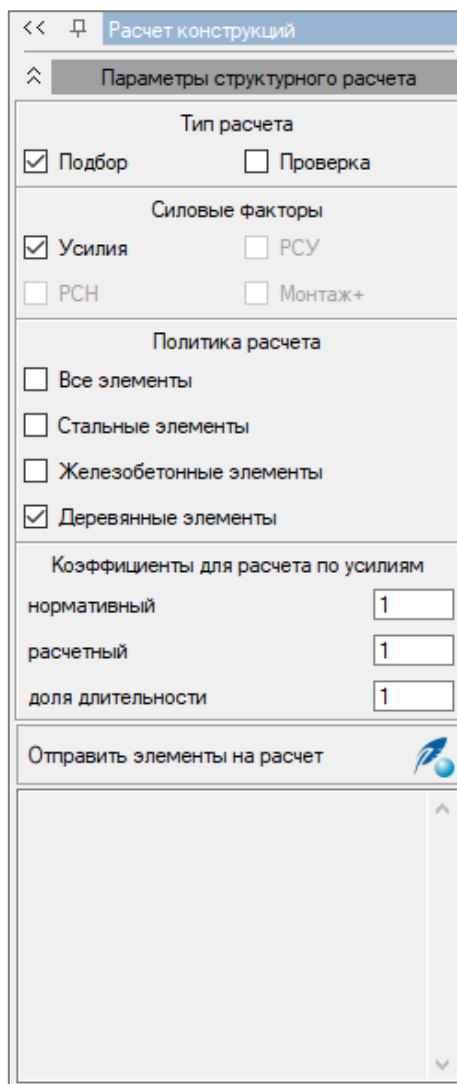


Рис. 9А.11. Режим **Расчет конструкций**

Номер	Сечение	Ошибки	Предупр.	I ПС (прочность)				I ПС (общая устойчивость)				Составное сечение				II ПС (гибкость)		II ПС (прогибы)	
				$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$ $\sigma_{плд}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$ $\sigma_{плд}$	$T_b$	$T_{ср}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$	$\sigma_{сдв}$ $\sigma_{плл}$	$F_{плл}$ $F_{плд}$	$T_{плл}$	$\lambda_z$	$\lambda_y$	$\delta_z$	$\delta_y$
FE - 4312	Брус деревянный (0.1х)			3	66	43	37	1								9	4	35	0
FE - 4311	Брус деревянный (0.1х)			3	66	43	37	1								9	4	35	0
FE - 4206	Брус деревянный (0.1х)			3	66	43	37	1								9	4	35	0
FE - 4206	Брус деревянный (0.1х)			3	66	43	37	1								9	4	35	0
FE - 4161	Брус деревянный (0.1х)			2	58	39	45	1								9	4	28	0
FE - 4166	Брус деревянный (0.1х)			2	58	39	45	1								9	4	28	0
FE - 4361	Брус деревянный (0.1х)			2	58	39	45	1								9	4	28	0
FE - 4366	Брус деревянный (0.1х)			2	58	39	45	1								9	4	28	0
FE - 4181	Брус деревянный (0.1х)			2	44	45	17	0								9	4	94	0
FE - 4186	Брус деревянный (0.1х)			2	44	45	17	0								9	4	94	0
FE - 4336	Брус деревянный (0.1х)			2	44	45	17	0								9	4	94	0
FE - 4331	Брус деревянный (0.1х)			2	44	45	17	0								9	4	94	0
FE - 4416	Брус деревянный (0.1х)			2	43	41	12	0								9	4	96	0
FE - 4411	Брус деревянный (0.1х)			2	43	41	12	0								9	4	96	0
FE - 4441	Брус деревянный (0.1х)			2	43	41	12	0								9	4	96	0
FE - 4436	Брус деревянный (0.1х)			2	43	41	12	0								9	4	96	0
FE - 4421	Брус деревянный (0.1х)			2	41	8	16	0								8	4	291	0
FE - 4406	Брус деревянный (0.1х)			2	41	8	16	0								8	4	291	0

Рис. 9А.12. Протокол расчета

## ГЛАВА 10. ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

При расчете строительных конструкций нет необходимости определять напряжения по всем площадкам, проходящим через данную точку, а достаточно знать минимальные и максимальные значения напряжений. Минимальные и максимальные нормальные напряжения называются главными напряжениями, а площадки, на которых они действуют, называются главными площадками.

### 10.1 ГЛАВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Главные напряжения и единичные векторы нормалей к главным площадкам полностью характеризуют напряженное состояние в точке [10.1], то есть позволяют вычислить все компоненты тензора напряжений.

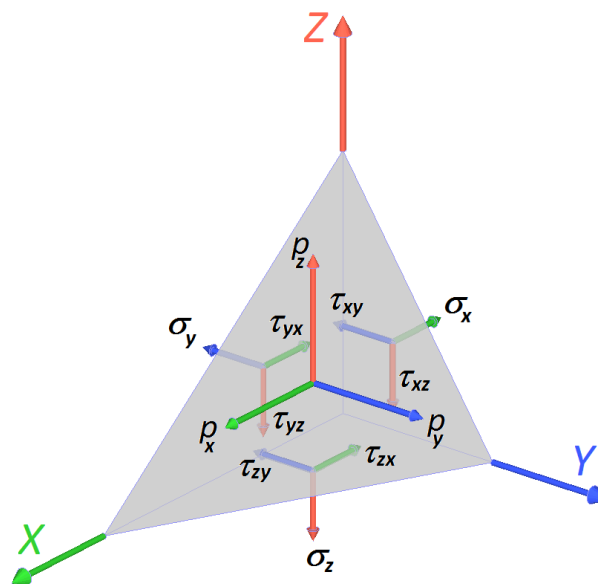



Рис. 10.1. Элементарный четырехгранник с компонентами напряженного состояния

 *Нормальные напряжения обозначают буквой  $\sigma$  с индексом, соответствующим нормали к площадке, на которой они действуют. Касательные напряжения обозначают буквой  $\tau$  с двумя индексами: первый соответствует нормали к площадке, а второй — направлению самого напряжения.*

Считаем, что плоскость, пересекающая координатные оси, имеет единичный вектор нормали  $\vec{n}$  с компонентами  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$ . На гранях полученного таким образом бесконечно малого тетраэдра действуют напряжения, показанные на рис. 10.1. При этом вектор напряжений  $\vec{p}$  на наклонной площадке разложен на составляющие  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  вдоль координатных осей. Площади граней, ортогональных координатным осям и вектору нормали, обозначим соответственно  $dF_x$ ,  $dF_y$ ,  $dF_z$ ,  $dF_p$ .

Эти площади связаны соотношениями:

$$dF_x = dF_p \cdot n_x, \quad dF_y = dF_p \cdot n_y, \quad dF_z = dF_p \cdot n_z, \quad (10.1)$$

вытекающими из того, что грани, ортогональные координатным осям, являются проекциями наклонной площадки на соответствующую координатную плоскость.

Проектируя силы, действующие на гранях элементарного тетраэдра, на координатные оси, получим уравнения равновесия для рассматриваемого объема. Например, проекции всех поверхностных сил на ось  $X$  дают:

$$p_x dF - \sigma_x dF_x - \tau_{yx} dF_y - \tau_{zx} dF_z = 0.$$

С учетом соотношений (10.1) после сокращения на  $dF_p$  получим уравнение, связывающее проекцию  $p_x$  вектора напряжений с соответствующими компонентами тензора напряжений. Объединяя это уравнение с двумя аналогичными уравнениями, полученными проектированием сил на оси  $Y$  и  $Z$ , приходим к формулам Коши:

$$\begin{aligned} p_x &= \sigma_x n_x + \tau_{yx} n_y + \tau_{zx} n_z, \\ p_y &= \tau_{xy} n_x + \sigma_y n_y + \tau_{zy} n_z, \\ p_z &= \tau_{xz} n_x + \tau_{yz} n_y + \sigma_z n_z, \end{aligned} \quad (10.2)$$

Эти формулы определяют вектор напряжений на произвольно выбранной площадке с вектором нормали  $\vec{n}$  через компоненты тензора напряжений  $[\sigma]$ :

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix},$$

из которых, согласно закону парности касательных напряжений:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}, \quad \tau_{xz} = \tau_{zx},$$

независимыми будут только шесть компонент напряжений [10.2].

Формулы (10.2) позволяют вычислить через компоненты тензора напряжений:

- полное напряжение

$$p_n = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}; \quad (10.3)$$

- нормальное напряжение

$$\sigma_n = p_x n_x + p_y n_y + p_z n_z; \quad (10.4)$$

- касательное напряжение

$$\tau_n = \sqrt{p_n^2 - \sigma_n^2}. \quad (10.5)$$

Среди всех возможных направлений вектора нормали  $\vec{n}$  существуют такие, для которых вектор напряжений  $\vec{p}$  параллелен вектору  $\vec{n}$ . На соответствующих площадках действуют только нормальные напряжения, а касательные напряжения отсутствуют — такие площадки называются главными, а нормальные напряжения на этих площадках называются главными напряжениями. Пусть площадка с единичным вектором нормали является главной. Условия параллельности векторов  $\vec{p}$  и  $\vec{n}$  есть условия пропорциональности их компонент:

$$p_x = \sigma \cdot n_x, \quad p_y = \sigma \cdot n_y, \quad p_z = \sigma \cdot n_z.$$

С учетом формул Коши получим систему линейных однородных уравнений относительно неизвестных компонент  $n_x, n_y, n_z$  вектора нормали к главной площадке:

$$\begin{aligned} (\sigma_x - \sigma)n_x + \tau_{yx}n_y + \tau_{zx}n_z &= 0, \\ \tau_{xy}n_x + (\sigma_y - \sigma)n_y + \tau_{zy}n_z &= 0, \\ \tau_{xz}n_x + \tau_{yz}n_y + (\sigma_z - \sigma)n_z &= 0. \end{aligned} \quad (10.6)$$

Эта система уравнений имеет ненулевое решение, если определитель, составленный из коэффициентов уравнений, обращается в нуль:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0. \quad (10.7)$$

Раскрывая определитель, приходим к кубическому уравнению:

$$\sigma^3 - J_1\sigma^2 + J_2\sigma - J_3 = 0. \quad (10.8)$$

Для коэффициентов здесь введены обозначения:

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z, \\ J_2 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xz} \\ \tau_{xz} & \sigma_z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix} = \sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2, \quad (10.9) \\ J_3 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix} = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{xz}\tau_{yz} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2.$$

Уравнение (10.7) называется характеристическим уравнением для тензора напряжений. Кубическое уравнение (10.8) имеет три вещественных корня  $\sigma_i, i = 1, 2, 3$ , которые обычно упорядочиваются  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ . Главные напряжения не зависят от выбора системы координат, инвариантны. Уравнение (10.8) можно записать в виде:

$$(\sigma_1 - \sigma)(\sigma_2 - \sigma)(\sigma_3 - \sigma) = 0.$$

Сравнив с (10.8), получим формулы для коэффициентов:

$$J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3, J_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3, J_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3,$$

Коэффициенты характеристического уравнения называются инвариантами тензора напряжений.

Каждому значению  $\sigma_i$  соответствует вектор  $\vec{n}_i$ , характеризующий положение  $i$ -й главной площадки, с компонентами  $n_{ix}, n_{iy}, n_{iz}$ , векторы  $\vec{n}_i$  и  $\vec{n}_j$  ортогональны при  $i \neq j$ . Для нахождения компонент векторов  $\vec{n}_i$  достаточно в уравнения (10.6) подставить найденное значение  $\sigma_i$  и решить любые два из этих уравнений совместно с условием нормировки:

$$n_{ix}^2 + n_{iy}^2 + n_{iz}^2 = 1.$$

Решив систему (10.6) трижды, получим матрицу направляющих косинусов:

$$[A] = \begin{bmatrix} n_{1x} & n_{1y} & n_{1z} \\ n_{2x} & n_{2y} & n_{2z} \\ n_{3x} & n_{3y} & n_{3z} \end{bmatrix}. \quad (10.10)$$

Направление главных напряжений также может быть определено тремя Эйлерами углами относительно местной системы координат (рис. 10.2):

- $\theta$  (угол нутации) — угол между положительными направлениями осей  $OZ_1$  и  $\sigma_3$  ( $0 \leq \theta \leq \pi$ ).

- $\psi$  (угол прецессии) — угол между осью  $OX_1$  и осью  $OA$  (линия пересечения плоскостей  $X_1OY_1$  и  $\sigma_1O\sigma_2$ ), положительное направление которой выбирается так, что  $OA, OZ_1$  и  $\sigma_1$  образуют правую тройку. Угол  $\psi$  отсчитывается от оси  $OX_1$  к оси  $OY_1$  ( $0 \leq \psi \leq 2\pi$ ).

- $\phi$  (угол чистого вращения) — угол между осями  $OA$  и  $\sigma_1$  отсчитывается от оси  $\sigma_1$  к  $\sigma_2$  ( $0 \leq \phi \leq 2\pi$ ).

Значения углов Эйлера определяются так:  $\theta = \arccos(n_{3z})$ . При  $\theta = 0, \phi = 0, \psi = \arcsin(n_{1y})$ , причем если  $n_{1x} < 0$ , то  $\psi = \pi - \arcsin(n_{1y})$ . Если  $\psi < 0$ , то  $\psi = \psi + 2\pi$ .

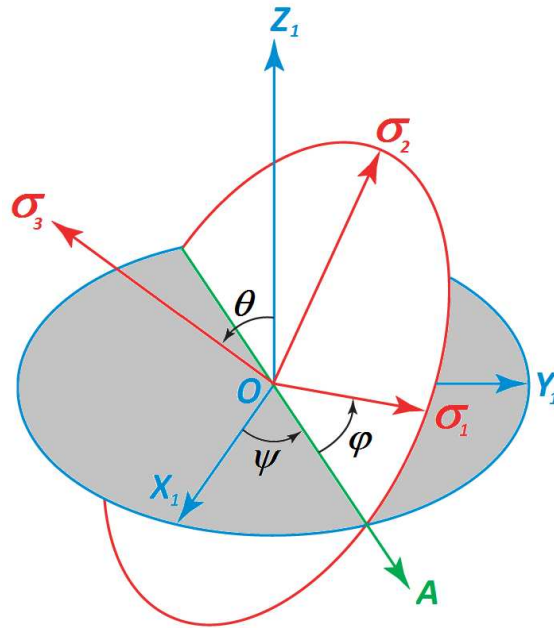


Рис. 10.2. Эйлеровы углы относительно местной системы координат

Далее  $\phi = \arcsin\left(\frac{n_{3z}}{\sqrt{1-n_{3z}^2}}\right)$ , причем если  $\left(\frac{n_{2z}}{\sqrt{1-n_{3z}^2}}\right) < 0$ , то  $\phi = \pi - \arcsin\left(\frac{n_{1z}}{\sqrt{1-n_{3z}^2}}\right)$ .

Если  $\phi < 0$ , то  $\phi = \phi + 2\pi$ .

Пользуясь законом Гука, получим главные суммарные относительные удлинения в направлении главных напряжений:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3)], \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)], \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)].\end{aligned}$$

Для изотропного тела угловые деформации не влияют на линейные и наоборот.

Для характеристики напряженно-деформированного состояния производится вычисление параметра Лоде-Надаи, характеризующего вид напряженно-деформированного состояния [10.3]:

$$\mu = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1. \quad (10.11)$$

Значение параметра Лоде-Надаи характеризует при:

- $\mu = 1$  — чистое сжатие;
- $\mu = 0$  — чистый сдвиг;
- $\mu = -1$  — чистое растяжение.

~~✎~~ Главные напряжения обладают важным свойством: по сравнению со всеми другими площадками, нормальные напряжения на главных площадках принимают экстремальные значения. Для доказательства этого свойства достаточно исследовать на экстремум нормальное напряжение как функцию  $n_x, n_y, n_z$  при дополнительном ограничении  $n_{ix}^2 + n_{iy}^2 + n_{iz}^2 = 1$ .

Введем понятие среднего напряжения (гидростатическое давление):

$$\sigma_0 = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3.$$

Тензор напряжений можно представить в виде суммы двух тензоров  $[\sigma] = [\tilde{s}] + [\tilde{d}]$ , где

$$[\tilde{s}] = \begin{bmatrix} \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_0 \end{bmatrix}, [\tilde{d}] = \begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix}.$$

Первый тензор называется шаровым, он характеризует изменение объема тела без изменения его формы. Второй тензор, называемый девиатором, характеризует изменение формы. Особенностью девиатора напряжений является равенство нулю его первого инварианта  $J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z - 3\sigma_0 = 0$ .

### Пространственная задача теории упругости

Для объемных конечных элементов с использованием приведенных формул вычисляются:

главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $\sigma_3$ ;

углы Эйлера  $\theta, \psi$  и  $\phi$ ;

максимальное касательное напряжение  $\tau \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \max$ ;

главные деформации  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$ ;

параметр Лоде-Надаи  $\mu$ .

Определение главных напряжений в этом случае производится из кубического уравнения, построенного для девиатора напряжений:

$$S^3 + pS + q = 0, \quad (10.12)$$

где

$$\begin{aligned} p &= (S_x S_y + S_x S_z + S_y S_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2), \\ q &= -(S_x S_y S_z + 2\tau_{xy} \tau_{xz} \tau_{yz} - S_x \tau_{yz}^2 - S_y \tau_{xz}^2 - S_z \tau_{xy}^2), \\ S_x &= \sigma_x - \sigma_0, S_y = \sigma_y - \sigma_0, S_z = \sigma_z - \sigma_0, \\ \sigma_0 &= (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3, S_x + S_y + S_z = 0. \end{aligned}$$

Корни уравнения (10.12):

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot \sqrt{r} \cdot \cos(\omega), \\ S_3 &= -2 \cdot \sqrt{|r|} \cdot \cos\left(\omega + \frac{\pi}{3}\right), \\ S_2 &= -2 \cdot \sqrt{|r|} \cdot \cos\left(\omega - \frac{\pi}{3}\right), \end{aligned} \quad (10.13)$$

где

$$\omega = \frac{1}{3} \arccos\left(-\frac{q}{2 \cdot r \sqrt{r}}\right), r = p/3,$$

Главные напряжения вычисляются по формуле:

$$\sigma_i = S_i + \sigma_0. \quad (10.14)$$

Затем вычисляется матрица направляющих косинусов (10.10).

### Плоская задача теории упругости

Моделируется плоское напряженное состояние в плоскости  $X_1OZ_1$ . Характеристическое уравнение в случае плоского напряженного состояния имеет вид:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xz} \\ \tau_{xz} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0,$$

а в случае плоской деформации:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & \sigma_y - \sigma & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0.$$

Главные напряжения вычисляются на срединной поверхности в центре тяжести каждого конечного элемента. В случае плоского напряженного состояния главные напряжения равны:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}, \sigma_2 = 0, \quad (10.15)$$

а в случае плоской деформации:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}, \sigma_2 = \sigma_y. \quad (10.16)$$

Угол наклона наибольшего главного напряжения  $\sigma_1$  к оси  $OX_1$ :

$$\phi = \arctg \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_x}{\tau_{xz}} \right), \quad (10.17)$$

если  $\tau_{xz} = 0$ , то  $\phi = 0$ .

### КЭ плиты

Моделируется напряженное состояние в плоскости  $X_1OY_1$ , характеризующееся изгибными усилиями. Напряжения вычисляются для нижней и верхней поверхностей:

$$\sigma_x^{B/H} = \pm \frac{6M_x}{h^2}, \sigma_y^{B/H} = \pm \frac{6M_y}{h^2}, \tau_{xy}^{B/H} = \pm \frac{6M_{xy}}{h^2}, \quad (10.18)$$

где  $h$  — толщина плиты.

Главные напряжения и углы их наклона вычисляются по формулам (10.15) и (10.17).

В срединной поверхности возникают касательные напряжения:

$$\tau_{xz} = 1.5 \frac{Q_x}{h}, \tau_{yz} = 1.5 \frac{Q_y}{h}, \quad (10.19)$$

которые при вычислении главных напряжений игнорируются.

### КЭ оболочек

Моделируется напряженное состояние (в плоскости  $X_1OY_1$ ), характеризующееся нормальными и касательными напряжениями в срединной поверхности, а также изгибными усилиями. Напряжения вычисляются для нижней и верхней поверхностей:

$$\sigma_x^{B/H} = N_x \pm \frac{6M_x}{h^2}, \sigma_y^{B/H} = N_y \pm \frac{6M_y}{h^2}, \tau_{xy}^{B/H} = N_{xy} \pm \frac{6M_{xy}}{h^2}, \quad (10.20)$$

В срединной поверхности  $\sigma_x = N_x, \sigma_y = N_y, \tau_{xy} = N_{xy}$ , влияние напряжений  $\tau_{xz}, \tau_{yz}$  (10.19) от перерезывающих сил игнорируется. Главные напряжения для этих поверхностей и углы их наклона вычисляются по формулам (10.15) и (10.17).



## 10.2 ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Расчет на прочность простых напряженных состояний, в частности, одноосного и чистого сдвига, сравнительно прост, так как эти напряженные состояния воспроизводятся при испытаниях на растяжение и на кручение стержней. Об опасности действующих напряжений можно судить, сопоставляя их с экспериментально полученной величиной (с пределом текучести для пластических материалов или с временным сопротивлением для хрупких тел). Но чаще встречаются случаи, когда напряженное состояние не одноосное, а сложное. Проводить испытания материалов при сложном напряженном состоянии технически невозможно из-за бесконечного числа этих напряженных состояний. Поэтому был избран путь сведения сложного напряженного состояния к эквивалентному ему простому, одноосному, и сравнение эквивалентного напряжения с предельным одноосным, определяемым экспериментально. При сведении сложного напряженного состояния к эквивалентному обычно используется некоторый критерий — теория прочности. Теории прочности дают возможность находить эквивалентное напряжение как функцию главных напряжений.

Определение истинной причины разрушения материала является труднейшей задачей, что не позволило создать единую общую теорию прочности и повлекло за собой появление многих теорий прочности, каждая из которых основывается на своем критерии разрушения [10.4].

В таблице 10.1 приведены характеристики реализованных теорий прочности.

Таблица 10.1

№ п/п	Наименование теории прочности	Формула	Геометрическая интерпретация	Примечания
1	2	3	4	5
1	Наибольших главных напряжений	$\sigma_E = \sigma_1,$ $\sigma_S = \sigma_3$	Куб с центром, смещенным относительно начала координат в сторону гидростатического давления	Исторически первая теория прочности — предложенная Г. Галилеем. Удовлетворительно описывает предельное состояние весьма хрупких, достаточно однородных материалов, таких как стекло, гипс, некоторые виды керамики
2	Наибольших главных деформаций	$\sigma_E = \sigma_1 - \nu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3),$ $\sigma_S = \sigma_3 - \nu \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)$	Равносторонний косоугольный параллелепипед с осью симметрии, равнонаклоненной к координатным осям	Предложена Э. Мариоттом и развита Б. Сен-Венаном. Ввиду малой достоверности в настоящее время почти не применяется
3	Наибольших касательных напряжений	$\sigma_E = \sigma_1 - \sigma_3,$ $\sigma_S = 0$	Правильная шестигранная призма, равнонаклоненная к осям координат	Предложена Ш. Кулоном. Удовлетворительно описывает предельное состояние пластичных малоупрочняющихся материалов (отпущенные стали), для которых характерна локализация пластических деформаций


Продолжение таблицы 10.1


1	2	3	4	5
4	Энергетическая	$\sigma_E = \sigma_i,$ $\sigma_S = 0$	Круговой цилиндр, описанный вокруг призмы, интерпретирующей теорию максимальных касательных напряжений	Предложена М. Губером, Г. Генки, Р. Мизесом. Хорошо описывает предельное состояние широкого класса пластичных материалов (медь, никель, алюминий, углеродистые и хромоникелевые стали)
5	Теория О. Мора	$\sigma_E = \sigma_1 - \chi \cdot \sigma_3,$ $\sigma_S = \frac{\sigma_1}{\chi} - \sigma_3$	Шестигранная равнонаклоненная к осям пирамида	Применяется для установления предельного состояния достаточно однородных материалов, по-разному сопротивляющихся растяжению и сжатию
6	Друккера – Прагера	При $\sigma_0 \leq 0$ $\sigma_E = (\chi - 1) \cdot \sigma_0 + \frac{\sigma_i}{3}(\chi + 2).$ При $\sigma_0 > 0$ $\sigma_E = \left(1 - \frac{1}{\chi}\right) \cdot \sigma_0 + \frac{\sigma_i}{3} \left(1 + \frac{2}{\chi}\right).$ $\sigma_S = 0$	Двуполостной параболоид вращения, равнонаклоненный к осям координат	Удовлетворительно описывает предельное состояние сравнительно пластичных материалов, для которых параметр $\chi > 0.3$
7	Писаренко – Лебедева	$\alpha = \frac{27J_3}{2\sigma_i^3}$ при $\sigma_i \leq 0$ — $\alpha = 0.$ При $\sigma_0 \leq 0$ $\sigma_E = (\chi - 1)\sigma_0 + \frac{\sigma_i}{3} [3 - (1 - \chi)(\sqrt{3} \cos \psi - \sin \psi)].$ При $\sigma_0 > 0$ $\sigma_E = \left(1 - \frac{1}{\chi}\right) \sigma_0 + \frac{\sigma_i}{3\chi} [3 - (1 - \chi)(\sqrt{3} \cos \psi - \sin \psi)].$ $\sigma_S = 0$	Коническая поверхность, описанная вокруг пирамиды Мора. В сечении октаэдрической плоскостью — равносторонний криволинейный треугольник	Хорошо описывает предельное состояние широкого класса достаточно однородных конструкционных материалов. При $R_t = R_c$ преобразуется в энергетическую теорию. В случае, когда $R_t \ll R_c$ (весьма хрупкие материалы), результаты вычислений практически совпадают с данными расчета по теории наибольших главных напряжений
8	Гениева	При $\sigma_0 \leq 0$ $\sigma_E = -3\sigma_0(1 - \chi) + \beta \sigma_i^2.$ При $\sigma_0 > 0$ $\sigma_E = -3\sigma_0 \left(\frac{1}{\chi} - 1\right) + \frac{\beta}{\chi} \sigma_i^2.$ $\sigma_S = 0$	—	Хорошо описывает предельное состояние бетона
9	Кулона – Мора	$\sigma_E = (1 - \chi) \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_i \sin \psi}{3}\right) + (1 + \chi) \frac{\sigma_i \cos \psi}{\sqrt{3}},$ $\sigma_S = 0$	—	Грунт

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3	4	5
10	Боткина	$\sigma_E = \frac{1}{2} [3\sigma_0(1 - \chi) + \sigma_i(1 - \chi)],$ $\sigma_S = 0$	—	Грунт
<p>Условные обозначения</p> <p><math>\sigma_E</math> — эквивалентное напряжение при растяжении;</p> <p><math>\sigma_S</math> — эквивалентное напряжение при сжатии;</p> <p><math>\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3</math> — главные напряжения;</p> <p><math>\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}</math> — среднее напряжение;</p> <p><math>\sigma_i = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}</math> — интенсивность напряжений;</p> <p><math>\alpha = \frac{27J_3}{2\sigma_i^3}, \psi = \frac{1}{3} \arcsin(\alpha), J_3 = (\sigma_1 - \sigma_0)(\sigma_2 - \sigma_0)(\sigma_3 - \sigma_0);</math></p> <p><math>\sigma_t, \sigma_c</math> — предельные напряжения растяжения и сжатия, для грунтов <math>\sigma_t = \frac{2C \cos \phi}{1 + \sin \phi}, \sigma_c = \frac{2C \cos \phi}{1 - \sin \phi};</math></p> <p><math>C</math> — сцепление;</p> <p><math>\phi</math> — угол внутреннего трения;</p> <p><math>\chi = \left  \frac{\sigma_t}{\sigma_c} \right , \beta = \left  \frac{1}{\sigma_c} \right .</math></p>				

Вычисление главных и эквивалентных напряжений в пластинчатых и объемных конечных элементах по усилиям от отдельных загрузений, а также по расчетным сочетаниям загрузений (РСН) или по расчетным сочетаниям усилий (РСУ) производится в момент вывода этой информации на экран.

Для визуализации главных и эквивалентных напряжений в пластинчатых конечных элементах в результатах расчета предусмотрен режим **Главные и эквивалентные напряжения пластин**. Переход в режим осуществляется с помощью команды меню **Результаты** ⇒ **Напряжения в пластинах**, одноименной команды на вкладке ленты **Результаты** либо кнопки  на панели инструментов.

Для визуализации главных и эквивалентных напряжений в объемных конечных элементах в результатах расчета предусмотрен режим **Главные и эквивалентные напряжения объемных элементов**. Переход в режим осуществляется с помощью команды меню **Результаты** ⇒ **Напряжения в объемных КЭ**, одноименной команды на вкладке ленты **Результаты** либо кнопки  на панели инструментов.

Режимы подробно описаны в п. 3.4.

## ГЛАВА 11. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ

### Общие положения

Нелинейный процессор предназначен для решения статических физически и геометрически нелинейных задач, а также задач с наличием конструктивной нелинейности и предварительного напряжения.

В геометрически нелинейных задачах отсутствует линейная зависимость между деформациями и перемещениями. Решение этих задач производится шаговым методом, причем шаг выбирается автоматически.

В физически нелинейных задачах отсутствует линейная зависимость между напряжениями и деформациями — нелинейная упругость или упругопластичность. Решение нелинейно упругих задач производится шаговым методом (формула 18.5.2). Количество шагов и коэффициенты к нагрузке задаются пользователем или вычисляются программой. Для задач упругопластичности применяется итерационный метод (формула 18.6.2).

К физически нелинейным относятся и задачи ползучести, которые решаются итерационным методом (формула 18.6.2).

В задачах конструктивной нелинейности изменяется расчетная схема. Например, возникает контакт с опорой при достижении в некоторой точке определенной величины перемещения. Для задач конструктивной нелинейности, с односторонними связями, с трением, применяется итерационный метод (формула 18.6.2).

Шаговый и итерационный методы сводят решение нелинейных задач к последовательности линейных. На каждом шаге или итерации по приращениям перемещений вычисляются приращения напряжений (усилий), которые суммируются с полученными ранее. При наличии ограничений суммарные напряжения корректируются.

В физическом смысле итерационный метод производит поиск таких дополнительных компенсирующих нагрузок, которые сообщают линейно деформируемому телу перемещения, равные перемещениям нелинейного тела под заданную нагрузку. В связи с этим, данный метод еще называют методом компенсирующих нагрузок.

Нелинейный процессор позволяет комбинировать линейные и нелинейные конечные элементы. Подробная информация о нелинейных конечных элементах содержится в Главе 19.

Геометрическая интерпретация шагового и итерационного методов представлена соответственно на рис. 11.1, 11.2.

### 11.1 НЕЛИНЕЙНАЯ УПРУГОСТЬ

Моделирование нелинейной упругости материалов производится физически нелинейными элементами. Используются законы деформирования (зависимости  $\sigma - \epsilon$ ), позволяющие учитывать практически любые нелинейные свойства материала. Возможно наличие двух материалов (бетон и арматура).

Матрица жесткости линейной системы формируется на основании жесткостей, вычисляемых численным интегрированием для каждого нелинейного конечного элемента. Схема численного интегрирования и набор используемых жесткостей определяются типом конечного элемента. Сечение конечного элемента в точках интегрирования дробится на ряд элементарных подобластей. В центрах этих подобластей определяются новые значения

физико-механических характеристик материала в соответствии с заданной диаграммой деформирования.

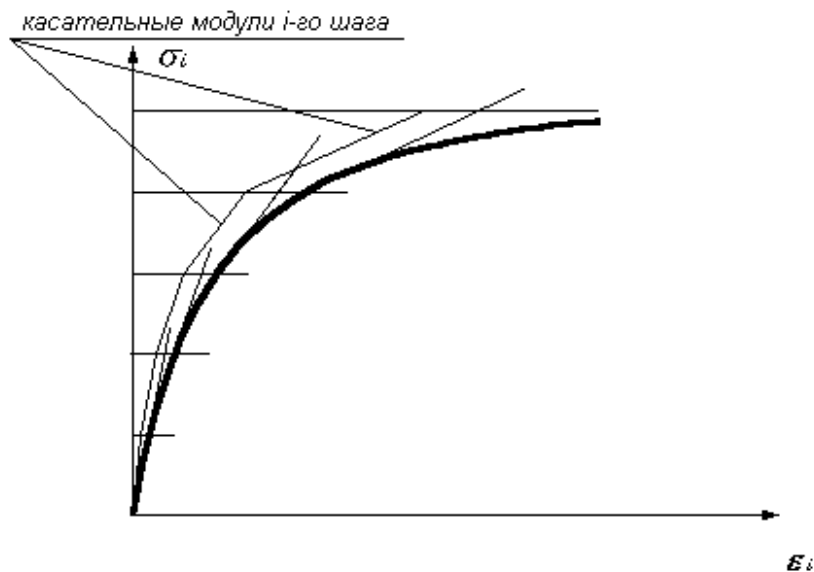


Рис. 11.1. Геометрическая интерпретация шагового метода для случая одноосного растяжения (сжатия)

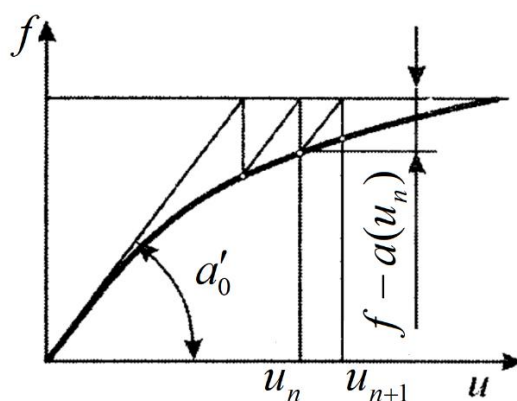


Рис. 11.2. Геометрическая интерпретация итерационного метода для случая одноосного растяжения (сжатия)

На каждом шаге производится оценка напряженно-деформированного состояния, для стержневых элементов в точках интегрирования, в плоских и объемных элементах — в центре тяжести. В разделе результатов расчета «Сведения о состоянии материалов» приводятся сообщения о развитии или достижении предельных состояний, появлении пластических шарниров или состояний разрушения. Таблица формируется, если в процессе решения задачи материал сечения был частично или полностью разрушен или в сечении образовался пластический шарнир. В противном случае таблица остается пустой. В сообщениях указывается процент разрушения сечений элементов, как по основному, так и по армирующему материалу. При образовании в сечении пластического шарнира печатается соответствующий текст и величина предельного момента.

## 11.2 ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Моделирование геометрической нелинейности производится с помощью соответствующих линейно упругих конечных элементов — нитей, мембран, изгибаемых стержней и пластин. Применяется шаговый метод с автоматическим выбором шага. На каждом шаге контролируется положительная определенность матрицы линеаризованной системы, что позволяет решать задачи устойчивости деформированной схемы. Реализован также метод, позволяющий решать геометрически нелинейные задачи после потери устойчивости.

Для геометрически нелинейных задач рекомендуется использовать автоматический выбор шага, или автоматический выбор шага с поиском новых форм равновесия.

## 11.3 ФИЗИЧЕСКАЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Используется для задач, требующих одновременного учета нелинейно упругих свойств материала и больших перемещений. Применяется шаговый метод с автоматическим выбором шага. Критерий выбора — изменение геометрии и жесткостей.

## 11.4 КОНСТРУКТИВНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Для решения задач конструктивной нелинейности используется итерационный метод. Моделирование обеспечивается специальными конечными элементами односторонних связей, трения, предварительного натяжения.

## 11.5 УПРУГОПЛАСТИЧНОСТЬ

Для решения задач упругопластичности используется итерационный метод. Библиотека упругопластичных конечных элементов содержит изгибаемые стержни и оболочки, элементы плоского напряженного состояния и плоской деформации, объемные элементы и элементы грунта.

## 11.6 ПОЛЗУЧЕСТЬ

Учет ползучести выполняется для всех физически нелинейных элементов, для которых должен быть задан закон уменьшения модуля упругости во времени (в сутках). Расчет может производиться после любой законченной истории нелинейных нагружений. Результатами являются суммарные перемещения узлов и усилия в элементах.

## 11.7 МОНТАЖ

Система **МОНТАЖ** предназначена для компьютерного моделирования процесса возведения сооружений. В графической системе создается расчетная схема, содержащая все элементы, монтируемые и демонтируемые. Монтаж и демонтаж элемента может быть выполнен только один раз.

На каждой стадии производится расчет конструктивной схемы, содержащей смонтированные и не демонтированные к этой стадии элементы.

После того как схема создана, необходимо сформировать монтажную таблицу, содержащую три набора данных:

1. **Стадии.** Для каждой стадии возведения указываются элементы, которые будут смонтированы и демонтированы. Допускаются пустые стадии, без монтируемых и демонтируемых элементов, они используются только для задания нагрузки. Каждой стадии должно соответствовать свое монтажное загрузение, количество стадий и монтажных загрузений одинаково.

2. **Группы.** Для каждой группы элементов схемы задаются поправочные коэффициенты к модулю деформации и к прочности бетона в соответствии с номерами стадий возведения. Поправочные коэффициенты не могут убывать от стадии к стадии. Если информация о группах не указана, то характеристики материала остаются неизменными на всех стадиях.

3. **Дополнительные загрузения.** Для каждой стадии задаются номера дополнительных загрузений и коэффициенты (в том числе нулевые и отрицательные), с которыми эти загрузения должны учитываться при возведении. Под дополнительными подразумеваются присутствующие только при возведении. Это, например, загрузения от складирования строительных материалов, от их перемещения в пределах этажа или с этажа на этаж и т.п. Они задаются под номерами, большими, чем общее количество стадий возведения. Эксплуатационные нагрузки на заверенное сооружение задаются на послестадийных загрузениях.

В результате работы расчетного процессора системы **МОНТАЖ** в элементах вычисляются усилия и напряжения, накапливаемые в процессе возведения.

По умолчанию перемещения узлов в процессе счета не накапливаются, а вычисляются для каждой стадии.

При моделировании сооружений из железобетона могут быть учтены климатические условия, при которых происходит замораживание или оттаивание уложенной бетонной смеси, что реализуется коэффициентами понижения или повышения прочности и модуля деформации бетона на различных стадиях возведения. При этом производится учет текущих прочности и модуля деформации бетона, а также наличия временных стоек опалубки. На каждой стадии расчета определяется количество арматуры во всех сечениях железобетонных элементов. Результаты армирования для каждой стадии представлены в виде таблиц, по которым легко оценить, является ли проектное армирование достаточным.

Для использования в задаче системы **МОНТАЖ** в параметрах проекта следует установить флажок **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»** и нажать кнопку **Применить изменения**.

## Монтажные загрузки

Для задания загрузок, которые будут действовать на схему, нужно воспользоваться редактором загрузок (см. п. 2.15).

Для линейного монтажа предусмотрены 4 специальных типа загрузок (рис. 11.3), для каждого из которых имеется возможность выбора нормативного документа для формирования РСУ. Кроме того, можно вычислять расчетные сочетания нагрузок (РСН).

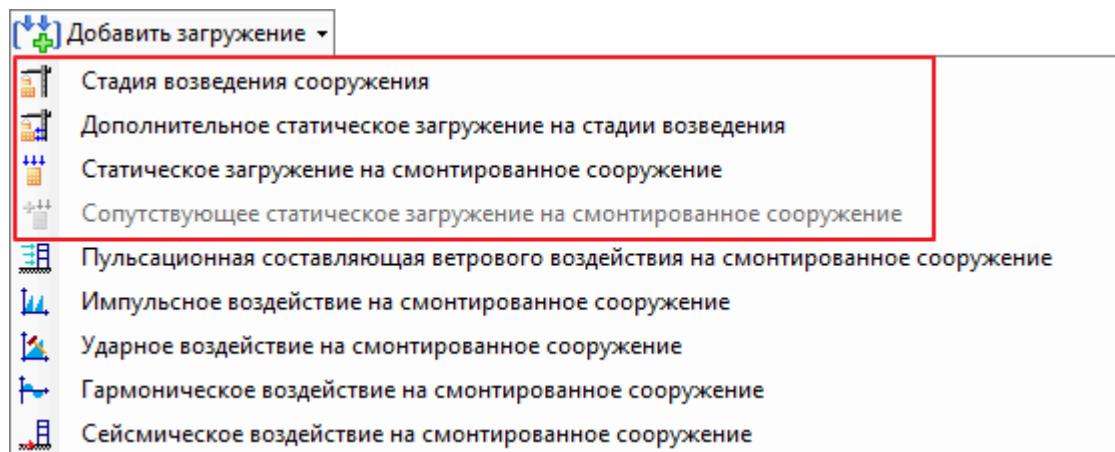


Рис. 11.3. Типы загрузок для задач линейного монтажа

**История возведения сооружения** содержит информацию о стадиях возведения сооружения (рис. 11.4). Максимальное количество стадий возведения сооружения — 120.

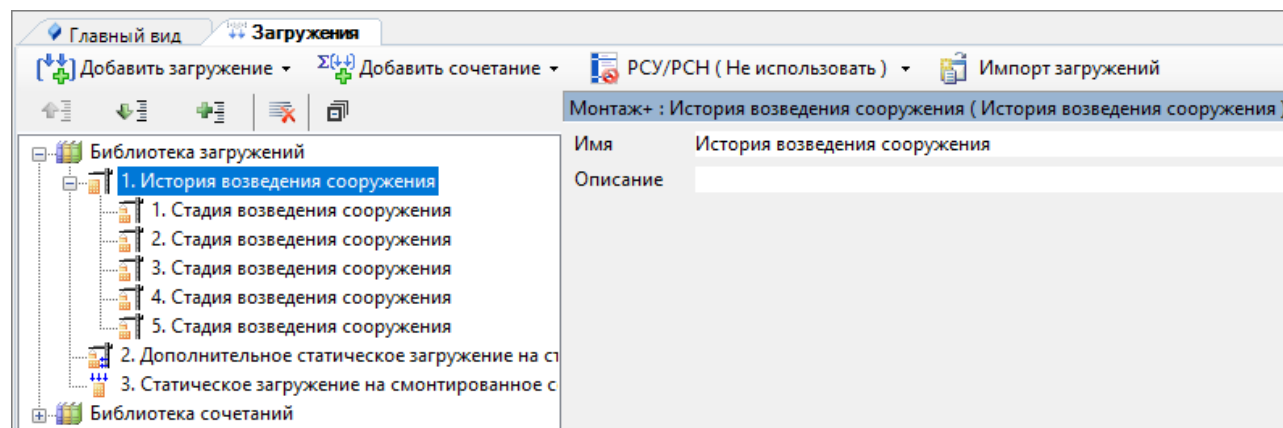


Рис. 11.4. История возведения сооружения

Монтажные линейные задачи дополнительно, в зависимости от выбранных параметров проекта, могут сочетаться с задачами Теплопроводности и Динамики+. Нелинейные монтажные задачи — с задачами Теплопроводности, Динамики+ и Фильтрации.

Для добавления стадии в списке загрузок должна быть выделена история возведения сооружения. В процессе расчета стадии будут "монтироваться" одна за другой. Обычно за стадию принимается этаж здания.

В области **Параметры стадии возведения** (рис. 11.5) расположен флажок **Обнулить перемещения**, который позволяет для каждой отдельной стадии, независимо от ее расположения на схеме, принимать начальные перемещения равными нулю. Если же флажок




не установлен, то начальные перемещения текущей стадии будут равны перемещениям предыдущей стадии.

Рис. 11.5. Стадия возведения сооружения

В области **Оценка начальной потери устойчивости** указываются:

- **Анализ устойчивости** — раскрывающийся список, с помощью которого производится управление выполнением анализа устойчивости.
- **Количество форм потери устойчивости** — при выполнении анализа устойчивости в данном поле задается количество форм от 1 до 10.

Если в раскрывающемся списке **Добавить загрузку** редактора загрузок выбрать элемент **Дополнительное статическое загрузку на стадии возведения** (рис. 11.3), то будет добавлено загрузку, которое можно комбинировать со стадиями возведения. Это могут быть любые нагрузки, сопутствующие возведению (складирование материалов, стойки опалубки и т.п.).

 Для загрузки **Дополнительное статическое загрузку на стадии возведения** таблица **Сочетания нагрузок** корректировке не подлежит. При этом **Вид загрузки** внутрипрограммно принимается как **Постоянное**.

Имя стадии возведения сооружения	Коэффициент
1.1. Стадия возведения сооружения	0.5
1.2. Стадия возведения сооружения	0.5
1.3. Стадия возведения сооружения	-1

Рис. 11.6. Дополнительное статическое загрузку на стадии возведения


В области **Формирование списка коэффициентов учета текущего дополнительного нагружения** (рис. 11.6) расположена таблица, в которой задается поведение нагрузки данного нагружения: на какой стадии и с каким коэффициентом она участвует.

Стадия возведения сооружения выбирается в раскрывающемся списке **Имя стадии возведения сооружения**. В соответствующем поле указывается **Коэффициент** к нагрузке.

С помощью кнопки **Добавить** выбранная стадия с заданным коэффициентом вносится в таблицу. Если данная стадия уже есть в таблице, то повторное добавление не произойдет, вместо этого новый коэффициент будет приплюсован к существующему.

Для того чтобы изменить коэффициент, необходимо выделить соответствующую строку в таблице, в поле ввода **Коэффициент** заменить текущее значение на новое и нажать кнопку **Изменить**, после чего изменения будут занесены в таблицу.

Для того чтобы удалить строку из таблицы, необходимо выделить строку и нажать кнопку **Удалить**.

 *Наличие нагрузки на стадиях регулируется коэффициентом, который суммируется. Таким образом, если требуется, чтобы нагрузка была задана пополам в две стадии, на каждой из них следует задать коэффициент 0.5. Если нужно уменьшить или убрать нагрузку, используется отрицательный коэффициент.*

Если в раскрывающемся списке **Добавить нагружение** редактора нагружений выбрать элемент **Статическое нагружение на смонтированное сооружение**, будет добавлено нагружение, где задаются нагрузки, которые будут приложены к сооружению после монтажа, например, нагрузка от оборудования и т.п.

А если выбрать элемент **Сопутствующее статическое нагружение на смонтированное сооружение**, будет добавлено нагружение, в котором задаются нагрузки, сопутствующие нагрузкам на смонтированное сооружение (например, тормозная нагрузка сопутствует крановой).

### Таблицы монтажных стадий


Для добавления элементов схемы в монтажные стадии воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨ **Монтаж** либо нажмите кнопку  на панели инструментов.

Панель активного режима **Монтаж** представлена следующими вкладками (рис. 11.7):

- Редактор монтажных стадий;
- Редактор групп коэффициентов;
- Демонтаж в Динамике+;
- Политика назначения.

В верхней части панели расположен раскрывающийся список **Монтажная стадия**, из которого необходимо выбрать желаемую монтажную стадию.

Вкладка **Редактор монтажных стадий** (рис. 11.7) содержит две закладки — **Монтаж** и **Демонтаж**, где находятся поля ввода **Элементы монтажа / демонтажа**. Это области ввода текста, в которые записывается список элементов, монтируемых или демонтируемых на выбранной стадии. Список элементов заполняется автоматически (см. ниже). Также есть возможность ввода номеров элементов вручную.

 Область ввода **Элементы монтажа / демонтажа** разбита на две части: сверху вводятся номера конечных элементов, а снизу — номера архитектурных элементов.

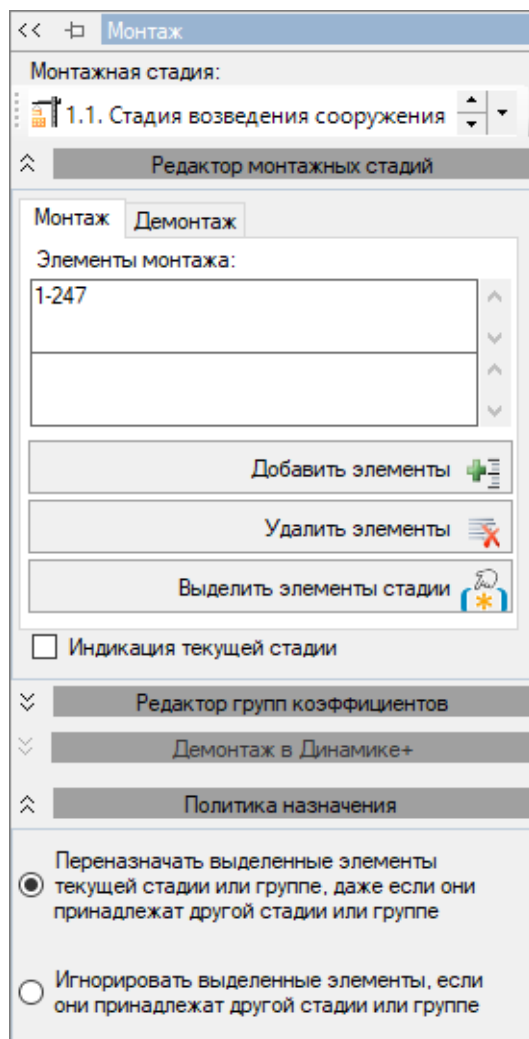


Рис. 11.7. Панель режима **Монтаж**

Здесь также расположены следующие кнопки:

- **Добавить элементы** — позволяет добавить список элементов, выбранных на схеме, в область ввода **Элементы монтажа**.
- **Удалить элементы** — позволяет удалить список элементов, выбранных на схеме, из области ввода **Элементы монтажа**.
- **Выделить элементы стадии** — позволяет выделить на схеме элементы из области ввода **Элементы монтажа**.

Для демонтажа доступны только смонтированные ранее элементы. Таким образом, в область ввода **Элементы демонтажа** могут быть внесены только те элементы, которые на предыдущих стадиях внесены в область ввода элементов монтажа. Соответственно, на первой стадии в область ввода **Элементы демонтажа** не может быть внесен ни один элемент.

При установленном флажке **Индикация текущей стадии** на схеме мигает выделение элементов данной стадии.

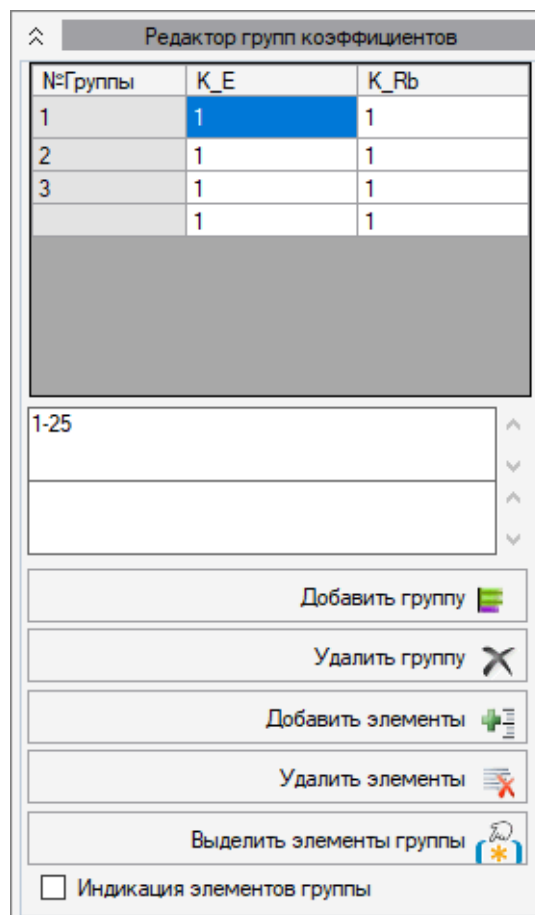


Рис. 11.8. Вкладка **Редактор групп коэффициентов**

Во вкладке **Редактор групп коэффициентов** (рис. 11.8) доступна таблица групп с возможностью задания коэффициента к модулю упругости (**К\_Е**) и коэффициента к прочности бетона (**К\_Rb**), которая используется в подсистеме **МОНТАЖ+**.

Под таблицей расположена область ввода текста, где отображается список элементов данной группы. Список элементов заполняется автоматически (см. ниже), также есть возможность ввести номера элементов вручную

Управляющие кнопки для управления группами:

- **Добавить группу** — добавляет в конец списка новую группу.
- **Удалить группу** — удаляет из списка выделенную группу.
- **Добавить элементы** — позволяет добавить список элементов, выбранных на схеме, в область ввода элементов группы.
- **Удалить элементы** — позволяет удалить список элементов, выбранных на схеме, из области ввода элементов группы.
- **Выделить элементы стадии** — выделяет на схеме элементы из области ввода элементов группы.

При установленном флажке **Индикация элементов группы** на схеме мигает выделение элементов данной стадии.

Вкладка **Демонтаж в Динамике+** (рис. 11.9) используется для расчета на устойчивость от прогрессирующего обрушения при локальном разрушении несущих элементов конструкции. Для монтажной динамической задачи, как линейной, так и нелинейной, для последней стадии монтажа указываются элементы, которые будут демонтироваться в динамической постановке.

Для динамического нагружения нужно задать график изменения приложенных с обратным знаком реакций демонтируемых элементов (см. Главу 13).

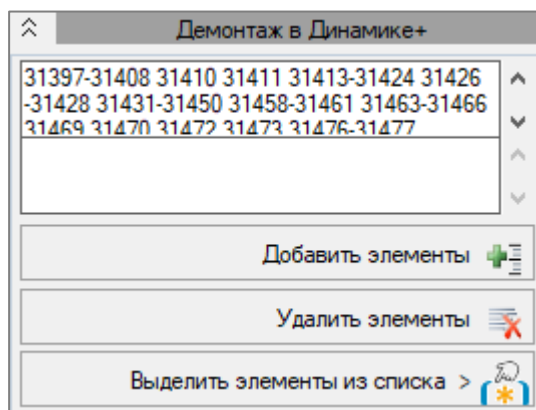


Рис. 11.9. Вкладка **Демонтаж в Динамике+**

Во вкладке **Политика назначения** с помощью соответствующих переключателей можно управлять логикой работы с элементами, принадлежащими другим стадиям.

## 11.8 НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О РАЗРУШЕНИЯХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ШАРНИРАХ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В ПК ЛИРА 10.12 имеется возможность идентифицировать разрушения для мономатериальных и армированных нелинейных элементов. Первая возможность идентифицировать разрушение — во время расчета, отключив работу расчетного процессора в фоновом режиме (рис. 11.10). По цвету окраса элементов можно увидеть разрушения и трещины в стретжевых, пластинчатых и объемных элементах.



Рис. 11.10 Индикация разрушений в элементах во время расчета

Вторая возможность идентификации разрушений — через режим **Разрушения** в результатах расчета (см. п. 3.7). Однако эта возможность доступна лишь для нелинейных пластин и только для статической нелинейной задачи и последней стадии нелинейного монтажа.

В ПК ЛИРА 10.12 предусмотрено несколько вариантов частичного или полного отказа в пластинах:

- **Образование трещин от растяжения** — если максимальные напряжения в бетоне превышают предел прочности бетона на растяжение, но в элементе при этом не возникает разрушений и пластических шарниров, то на элементе будет индицироваться трещина растяжения.

- **Образование трещин от сжатия** — если минимальные напряжения в бетоне превышают предел прочности бетона на сжатие, но в элементе при этом не возникает разрушений и пластических шарниров, то на элементе будет индицироваться трещина сжатия.

- **Разрушения в шаговых пластинчатых элементах при превышении напряжений по заданной теории прочности** — теория прочности задается в редакторе материалов. Если эквивалентное напряжение растяжения или сжатия превысит заданное критическое значение, то это будет идентифицировано как разрушение элемента. Если элемент полностью разрушен,

то он не участвует в дальнейшем расчете, но и не высвобождает на соседние элементы энергию, которая стала причиной разрушения.

• **Разрушения вследствие образования пластического шарнира по выбранному нормативному документу в пластинах** — нормы для пластического шарнира задаются в редакторе нелинейного материала. Возможны 4 варианта пластических шарниров:

- По СНиП 2.03.01-84\*;
- По Еврокод 2;
- По СП 63.13330.2012(2018);
- По ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

Пластические шарниры по Еврокод 2, СП 63.13330.2012(2018), ДСТУ Б В.2.6-156:2010 работают идентично. Для железобетонных материалов проверяются минимальные отрицательные деформации в бетоне на сжатие и максимальные положительные в арматуре — на растяжение. Затем они сравниваются с теми, которые заданы в редакторе нелинейного материала для индикации на образование шарнира. Деформации при этом берутся те, которые были получены при конечно-элементном расчете. Для монолитных материалов проверяются максимальные и минимальные деформации в основном материале. Если по какому-либо из этих критериев деформации выходят за установленные границы, в элементах появляется индикация шарнира.

Пластические шарниры по СНиП 2.03.01-84\* считаются исходя из получаемых усилий. Затем по методикам СНиП в пластинах с арматурой проверяется, есть ли образование пластического шарнира в предположении нулевого предела прочности бетона на растяжение и билинейной диаграммы бетона на сжатие. А для монолитных пластин просто проверяется образование пластического шарнира от заданных усилий при фактических, заданных пользователем, свойствах материала.

~~✎~~ *В ПК ЛИРА 10.12 существует критерий, по которому материал может считаться монолитным, или железобетоном. Если толщина полосы распределенной арматуры меньше 0.0005 высоты пластины, то считается, что сечение является бетонным, а не железобетонным. Этот критерий взят из норм, которые определяют, является ли сечение бетонным или железобетонным. Поэтому если процент армирования в пластине меньше 0.05%, то для нее будут выполняться проверки не как для железобетона с нулевым пределом прочности бетона на растяжение, а как для бетона, в котором предел прочности на растяжение учитывается везде, согласно заданной диаграмме материала.*

• **Разрушения в стрижневых и пластинчатых элементах по специальным проверкам на мембранную группу усилий.**

При учете пластических шарниров в элементах пластин проводятся дополнительные упрощенные внутренние проверки на мембранную группу усилий с учетом несущей способности конструкции при внезапном образовании трещины. Полученные мембранные усилия из КЭ-расчета в пластинах проверяются по критерию растяжения арматуры (без учета бетона) и на сжатие (учитывается как бетон, так и арматура).

Условие разрушения на мембранную группу для железобетона:

$$\frac{N}{A_s} > R_s$$

или

$$-N > R_s \cdot A_s + R_b \cdot A_b$$

где  $N$  — мембранное усилие в самой опасной проекции;

$A_s$  — площадь арматуры в сечении по направлению;

$A_b$  — площадь бетона;

$R_s$  — предел прочности арматуры;

$R_b$  — предел прочности бетона.

Условие разрушения на мембранную группу для бетона:

$$\frac{N}{A_b} > R_{bt}$$

или

$$\frac{-N}{A_b} > R_b$$

где  $N$  — мембранное усилие в самой опасной проекции;

$A_b$  — площадь сечения;

$R_{bt}$  — предел прочности на растяжение;

$R_b$  — предел прочности на сжатие.


## ГЛАВА 12. СИСТЕМА PUSHOVER ANALYSIS

Нелинейный статический анализ (Pushover Analysis) является частью характеристического метода сейсмического проектирования (Performance-Based Seismic Design) конструкций и сооружений. Суть этой философии сейсмического проектирования заключается в том, что при землетрясениях поведение конструкции и ее повреждения в основном зависят от деформаций, спровоцированных сейсмическим воздействием, а не от усилий в элементах, которые возникают от эквивалентного сейсмического воздействия. Ключевыми параметрами в характеристическом методе сейсмического проектирования являются «требование» и «несущая способность». «Требование» отображает сейсмическое колебание грунта, а «несущая способность» — способность сопротивляться «сейсмическому требованию». Конструкция должна обладать несущей способностью для сопротивления «сейсмическому требованию» для удовлетворения целей проектирования.

Нелинейная статическая процедура — это удобное средство для оценки несущей способности конструкций в ситуациях, когда прямой динамический метод является слишком сложным и трудоемким в применении к данной схеме, либо при анализе сейсмостойкости уже существующих зданий.

Во время выполнения процедуры нелинейного статического анализа конструкция подвергается нагрузке от собственного веса и монотонно растущему воздействию, которое задается в виде силовой нагрузки или перемещения и представляет собой эквивалентное сейсмическое воздействие. В большинстве разработанных методов статической нелинейной процедуры многомассовая расчетная модель (МРМ) преобразуется в эквивалентную одномассовую систему (ЭОМС) для упрощения и большего удобства расчета. Использование ЭОМС дает возможность избежать необходимости выполнения нелинейного динамического расчета исходной многомассовой расчетной модели. Результатом анализа является спектр несущей способности (кривая pushover), который дает важную информацию об общей прочности и податливости конструкции. Использование спектра несущей способности дает возможность вычислить неупругое перемещение ЭОМС — целевое перемещение, которое соответствует сейсмическому воздействию, выраженному через «сейсмическое требование». После расчета эквивалентной одномассовой системы происходит возвращение к МРМ с вычислением всех необходимых перемещений и анализом несущей способности элементов конструкции.

### 12.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения pushover-анализа при создании задачи в окне **Параметры проекта** необходимо установить флажок **В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»** (см. п. 2.3). При этом будет автоматически установлен и флажок **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**. Для задания загружений, которые будут действовать на схему, нужно воспользоваться редактором загружений. Чтобы перейти в редактор, воспользуйтесь вкладкой ленты **Редакторы и конструирование** или командой меню **Редакторы** ⇨ **Редактор загружений** либо щелкните на кнопке  на панели инструментов. В данном виде расчета доступны следующие типы загружений (рис. 12.1):

- История нелинейного загружения;
- Стадия нелинейного загружения;



- Статическое нагружение;
- Сейсмика с разложением по собственным формам колебаний;
- Спектр несущей способности.

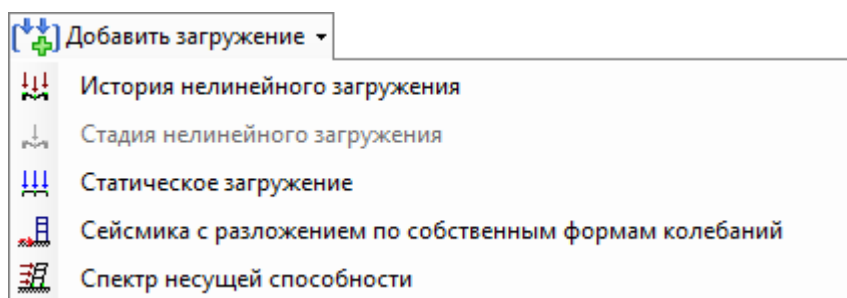


Рис. 12.1. Раскрывающийся список **Добавить нагружение**

Первые три типа нагружений служат инструментами моделирования статических воздействий на сооружение или конструкцию.

На данный момент в ПК ЛИРА 10.12 возможно провести нелинейный статический анализ по четырем расчетным модулям:

- модуль 27 — сейсмическое воздействие по однокомпонентной акселерограмме;
- модуль 36 — сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2014 с изменениями от 01.05.2019 (Украина);
- модуль 44 — сейсмическое воздействие по EN 1998-1:2004 (Eurocode 8);
- модуль 55 — сейсмическое воздействие по СТО НИУ МГСУ 2015 (Российская Федерация).

Задание нелинейных нагружений, статического нагружения или сейсмического воздействия ничем не отличаются от обычной статической нелинейной задачи или статической задачи с расчетом на сейсмическое воздействие. После моделирования воздействий на сооружение или конструкцию следует задать параметры нелинейного статического расчета.

При выборе типа нагружения **Спектр несущей способности** задаются следующие параметры, представленные в виде трех блоков в окне редактора нагружений: **Параметры нагружения**, **Параметры выполнения расчета** и **Параметры прекращения расчета**.

Блок **Параметры нагружения** (рис. 12.2) разбит на два раздела, каждый из которых дает возможность выбрать определенный вид нагружения, которое будет служить исходным для построения спектра несущей способности. Раздел **Предшествующая история** является обязательным для нагружения **Спектр несущей способности** и служит инструментом для выбора истории нелинейного нагружения, которая будет отображать статические воздействия на конструкцию. Также в этом разделе можно задать коэффициент, с которым статическое нагружение будет учтено в нелинейном статическом анализе. Раздел **Сейсмическое нагружение** является инструментом для выбора сейсмического воздействия, которое будет учтено в pushover-анализе. Здесь также присутствуют поля для ввода номера формы колебания, которая будет использоваться для анализа, и коэффициента, с которым будут учтены инерционные силы.

Параметры загрузки	
<input checked="" type="checkbox"/> Предшествующая история	<input checked="" type="checkbox"/> Сейсмическое нагружение
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">  1. История нелинейного нагружения                 </div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">  2. Сейсмика с разложением по собственным формам колебаний                 </div>
	Номер учитываемой формы собственных колебаний (0-для формы с максимальным модальным вкладом, 1-для сдвигающей силы в основании)
	0
	Коэффициент к инерционным силам по выбранной форме собственных колебаний
	1

Рис. 12.2. Параметры загрузки

В ПК ЛИРА 10 нелинейный статический анализ производится с учетом только одной формы колебаний. Обычно в качестве расчетной формы колебаний берут первую форму. Но для правильного выбора формы нужно сначала провести модальный анализ и выбрать форму с наибольшим вкладом модальных масс.

Блок **Параметры выполнения расчета** (рис. 12.3) содержит поля для задания параметров выполнения нелинейного расчета, а именно:

- Стартовый шаг;
- Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов;
- Допускаемая погрешность в выборе шага;
- Шаг сохранения результатов.

Параметры выполнения расчета		
<input type="checkbox"/> Обнулить перемещения	Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов	
	1000	
Стартовый шаг	Допускаемая погрешность в выборе шага	Шаг сохранения результатов
1E-05	1E-05	0.1

Рис. 12.3. Параметры выполнения расчета

Блок **Параметры прекращения расчета** (рис. 12.4) включает поля для ввода следующих параметров:

- Номер контролируемого узла;
- Предельное значение суммарного перемещения;
- Предельный коэффициент к нагружению.

Параметры прекращения расчета		
Номер контролируемого узла	Предельное значение суммарного перемещения	Предельный коэффициент к нагружению
1	200 мм	10


Рис. 12.4. Параметры прекращения расчета

В поле **Номер контролируемого узла** следует вводить узел, который принадлежит верхнему уровню здания или сооружения. Стоит отметить, что при расчете по 44-му модулю спектр несущей способности будет строиться именно для указанного узла. В то же время,


метод N2, который реализован в Eurocode 8, был создан с расчетом на то, что в качестве контролируемого узла будет выбран узел с верхнего уровня здания.

В поле **Предельное значение суммарного перемещения** вводится величина суммарного перемещения контролируемого узла, при достижении которой расчет будет прекращен. Суть характеристического метода проектирования заключается в доведении конструкции до разрушения. Поэтому, традиционно, задают перемещение, при котором конструкция должна разрушиться.

В поле **Предельный коэффициент к загрузению** задается коэффициент, с которым учитываются загрузки в нелинейном статическом анализе, — по достижении его расчет прекращается.

 Если в качестве контролируемого узла при расчете по 44-му расчетному модулю выбран узел, у которого ограничены все степени свободы, то при попытке расчета будет получена ошибка.

## 12.2 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для просмотра стандартных результатов (перемещения узлов, усилия в элементах и т.д.) для загрузки **Спектр несущей способности** воспользуйтесь инструментами визуализации или таблицами (см. п. 3.3). С помощью вкладки ленты или команды меню **Спец. результаты** ⇨ **Спектр несущей способности** (либо кнопки  на панели инструментов) доступны для просмотра в виде графиков характерные результаты нелинейной статической процедуры. Эти же результаты можно вывести и в табличном виде. Также с помощью режима **Таблицы результатов** можно вывести таблицу **Результаты по Pushover**, в которой собраны сводные результаты по загрузению.

Как упоминалось ранее, нелинейный статический анализ в ПК ЛИРА 10.12 возможно провести по четырем расчетным модулям. Поскольку в расчетные модули заложены разные алгоритмы по разным нормативным документам, виды результатов расчета по различным модулям немного отличаются.

### 12.2.1 Расчет по 27-му расчетному модулю

При расчете по однокомпонентной акселерограмме расчет производится следующим образом:

1. Многомассовая расчетная схема приводится к эквивалентной одномассовой.
2. Выполняется построение спектров несущей способности (СНС) в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » и «двигающая сила  $F_{ОСН}$  – перемещение  $S_d$ », а также выполняется их идеализация в билинейном представлении.
3. Выполняется процесс интегрирования ЭОМС на заданную акселерограмму.

В результате расчета получены следующие результаты (рис. 12.5):

- СНС  $S_a - S_d$  — спектр несущей способности (СНС) ЭОМС в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » и его билинейное представление;

- СНС  $F_{OCH} - S_d$  — СНС ЭОМС в координатах «сдвигающая сила  $F_{OCH}$  – перемещение  $S_d$ » и его билинейное представление;
- $M - d$  — изменение массы ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
- $W - d$  — изменение частоты ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
- $P - d$  — изменение периода ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
- $USa - P$  — упругий спектр реакции ускорений акселерограммы для 5% затухания;
- $USv - P$  — упругий спектр реакции скоростей акселерограммы для 5% затухания;
- $USd - P$  — упругий спектр реакции перемещений акселерограммы для 5% затухания;
- $USa - USd$  — упругий псевдоспектр реакции ускорений в координатах «ускорения  $US_a$  – перемещения  $US_d$ »;
- $a - t$  — упругие и неупругие ускорения ЭОМС в динамике во времени на заданную акселерограмму землетрясения;
- $v - t$  — упругие и неупругие скорости ЭОМС в динамике во времени на заданную акселерограмму землетрясения;
- $d - t$  — упругие и неупругие перемещения ЭОМС в динамике во времени на заданную акселерограмму землетрясения;
- $F - t$  — упругие и неупругие восстанавливающие силы ЭОМС в динамике во времени на заданную акселерограмму землетрясения.

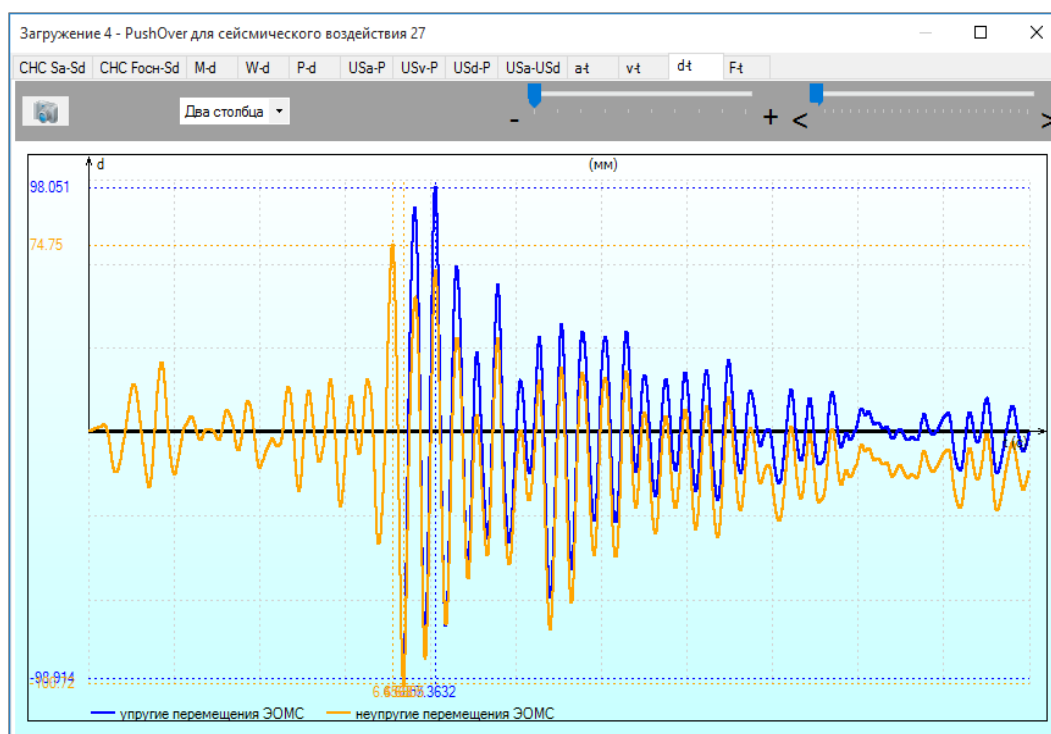


Рис. 12.5. Результаты по Pushover для 27-го модуля

### 12.2.2 Расчет по 36-му расчетному модулю

При расчете по ДБН В.1.1-12:2014 (Украина) выполняется линейный спектральный расчет МРМ и построение СНС для МРМ в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  –

спектральное перемещение  $S_d$ » с его билинейной идеализацией. Затем выполняется построение СНС для ЭОМС в координатах «сдвигающая сила  $F_{OCH}$  – перемещение  $S_d$ » и проводится его билинейная идеализация. Результатом нелинейного статического расчета ЭОМС являются перемещения в МРМ (максимальное и отвечающее границе текучести, идеализированной МРМ). Зависимость между этими перемещениями выражается коэффициентом податливости  $\mu$ . Следующим шагом расчета является нахождение коэффициента редукции  $R_{\mu}$ , который зависит от коэффициента податливости и периода колебаний здания. На завершающем этапе строится проектный спектр реакции с вычислением целевого перемещения.

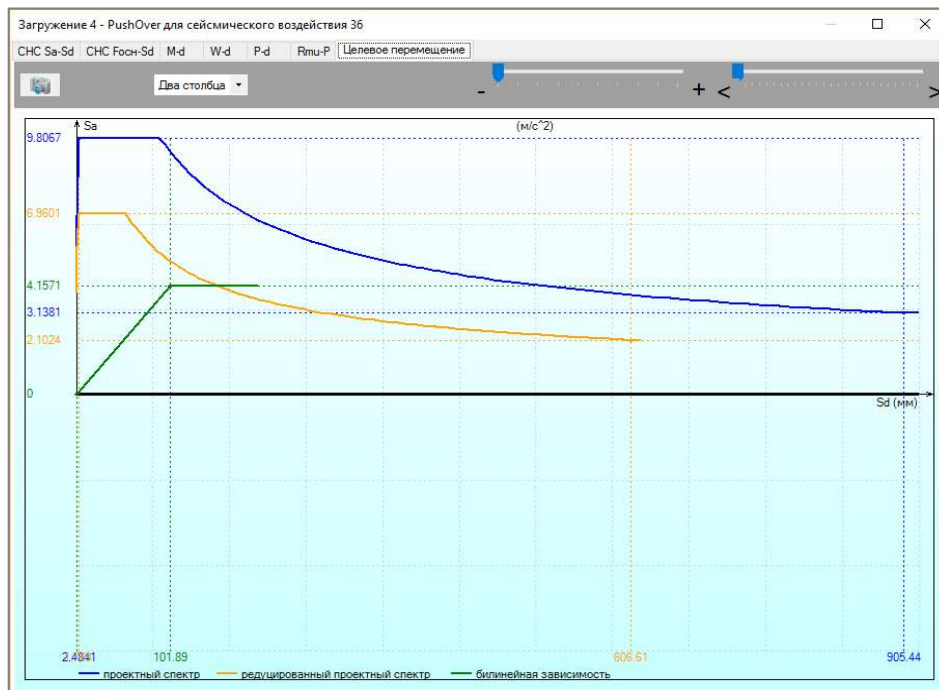


Рис. 12.6. Результаты по Pushover для 36-го модуля

В результате расчета получены следующие результаты (рис. 12.6):

- СНС  $S_a - S_d$  — спектр несущей способности (СНС) МРМ в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » и его билинейное представление;
  - СНС  $F_{OCH} - S_d$  — СНС ЭОМС в координатах «сдвигающая сила  $F_{OCH}$  – перемещение  $S_d$ » и его билинейное представление;
    - $M - d$  — изменение массы ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
    - $W - d$  — изменение частоты ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
    - $P - d$  — изменение периода ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
    - $R_{\mu} - P$  — изменение коэффициента редукции ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
- Целевое перемещение — в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » построены: проектный спектр реакции, редуцированный проектный спектр реакции и билинейная зависимость.

### 12.2.3 Расчет по 44-му расчетному модулю

Характерным отличием расчета по EN 1998-1:2004 (Eurocode 8) является то, что результаты напрямую зависят от выбора контрольного узла. Для других расчетных модулей контрольный узел служит, собственно, лишь инструментом для прекращения расчета по достижении его заданного контрольного перемещения. В то же время, для 44-го модуля спектр несущей способности строится для контрольного узла. Поэтому следует выбирать узел в верхнем уровне сооружения, поскольку это условие заложено в нелинейный статический метод, который реализован в EN 1998-1:2004 (Eurocode 8). Алгоритм данного расчета следующий:

1. MPM заменяется на ЭОМС.
2. Вычисляется коэффициент преобразования  $\Gamma$ .
3. После деления значения перемещения в контрольном узле и сдвигающей силы в основании MPM на коэффициент преобразования строится спектр несущей способности ЭОМС.
4. Происходит идеализация СНС ЭОМС и вычисление предела текучести ЭОМС.
5. Происходит вычисление периода колебаний идеализированной ЭОМС.
6. Вычисляется целевое перемещение и строится проектный спектр реакции.

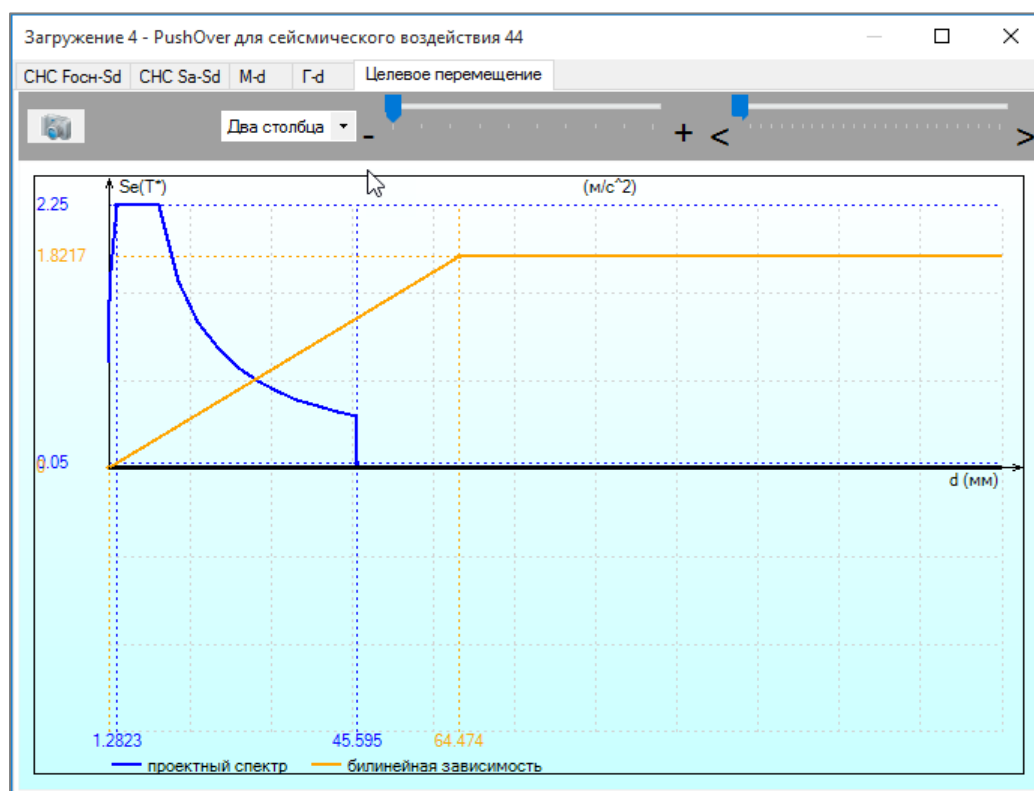


Рис. 12.7. Результаты по Pushover для 44-го модуля

В результате расчета получены следующие результаты (рис. 12.7):

- СНС  $F_{OCH} - S_d$  — СНС в координатах «сдвигающая сила  $F_{OCH}$  – перемещение  $S_d$ »;
- СНС  $S_a - S_d$  — спектр несущей способности (СНС) в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » и его билинейное представление;
- $M - d$  — изменение массы ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;

- $\Gamma - d$  — изменение коэффициента преобразования ЭОМС по шагам нелинейного нагружения;
- Целевое перемещение — в координатах «упругое ускорение  $S_e(T^*)$  – перемещение  $d$ » построены: проектный спектр реакции и билинейная зависимость.

#### 12.2.4 Расчет по 55-му расчетному модулю

При расчете по стандарту организации МГСУ (Российская Федерация) статическая нелинейная процедура выполняется по следующему алгоритму:

1. Выполняется построение спектра несущей способности многомассовой расчетной модели в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » и его билинейная идеализация.
2. Выполняется построение проектного спектра «сейсмического требования».
3. Вычисляются максимальные перемещения и коэффициент податливости.

В результате расчета в координатах «спектральное ускорение  $S_a$  – спектральное перемещение  $S_d$ » выполняется построение (рис. 12.8):

- спектра несущей способности многомассовой расчетной модели и его билинейного представления;
- проектного спектра;
- графика разрушения первого элемента, с вычислением точек его пересечения с СНС и проектным спектром.

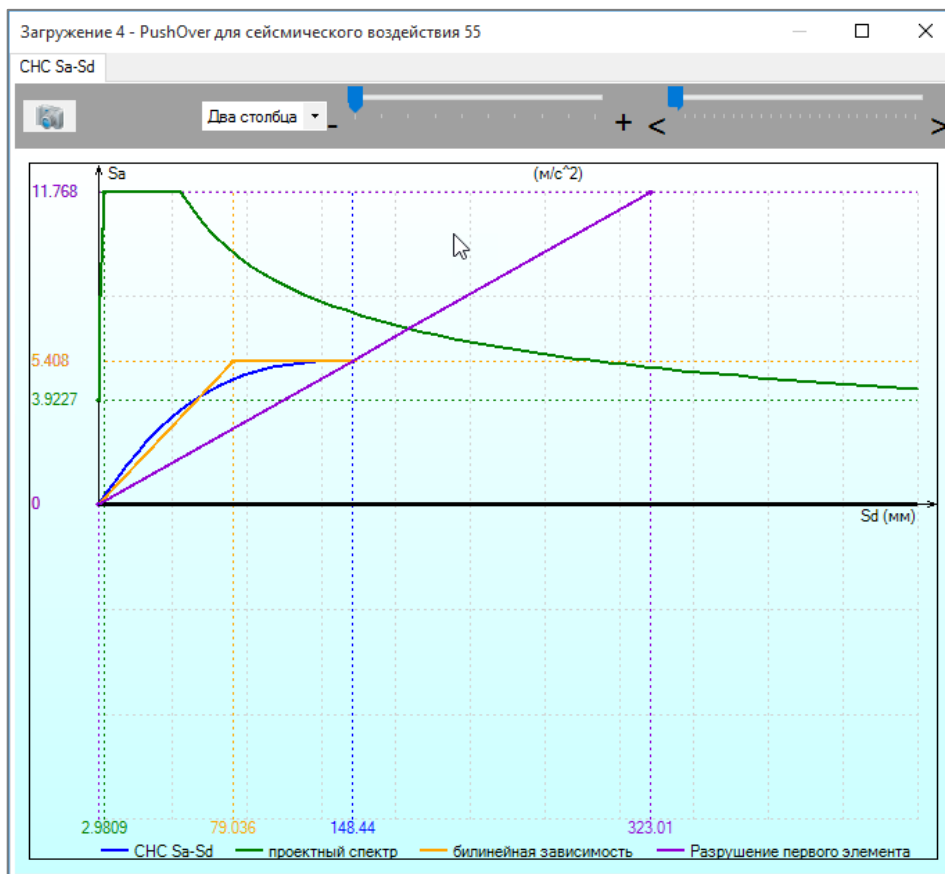


Рис. 12.8. Результаты по Pushover для 55-го модуля

## ГЛАВА 13. СИСТЕМА ДИНАМИКА+

**Общие положения**

Расчетно-графическая система ДИНАМИКА+ реализует метод прямого интегрирования уравнений движения по времени, что позволяет производить компьютерное моделирование отклика конструкции на динамические воздействия, как во время воздействия, так и после его завершения. Система ДИНАМИКА+ применяется для решения линейных и нелинейных задач.

К расчету задач динамики во времени допускаются следующие типы конечных элементов:

- все линейные элементы;
- односторонние связи (с трением и без);
- элементы грунта — плоские и объемные;
- все физически нелинейные элементы, основанные на теории упругопластичности;
- все геометрически нелинейные элементы.

Задача линейного динамического расчета формулируется в виде:

$$b\left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, v\right) + c\left(\frac{\partial u}{\partial t}, v\right) + a(u, v) = (f(t), v), \quad t > 0,$$

$$u(0) = u_0, \quad \partial u / \partial t(0) = u_1$$

Эта задача решается методом конечных разностей по безусловно устойчивой разностной схеме второго порядка точности:

$$b(\gamma_m u, v) + c(\beta_m u, v) + a(\alpha_m u, v) = (f_m, v);$$

$$t_m = m\theta; \quad u_m = u(t_m); \quad \alpha_m u = \frac{u_{m+1} + u_{m-1}}{2};$$

$$\beta_m u = \frac{u_{m+1} - u_{m-1}}{2\theta}; \quad \gamma_m u = \frac{u_{m+1} - 2u_m + u_{m-1}}{\theta^2}.$$

Это система уравнений относительно  $u_{m+1}$ , правые части которой зависят от  $u_m, u_{m-1}$ . Матрица не зависит от  $m$ . Значения  $u_0, u_1$  определяются из начальных условий.

В результате расчета определяются перемещения, скорости и ускорения узлов, а также усилия и напряжения в элементах, вычисленные во все моменты времени  $t_m$ .

Для нелинейной задачи в уравнение добавляется нелинейное слагаемое  $d(u, v)$ , зависящее от характера нелинейности, а в разностную схему — слагаемое  $d(u_m, v)$ , которое попадает в правую часть.



### 13.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СХЕМЫ

Для создания расчетной схемы необходимо установить флажок **В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»** в окне **Параметры проекта** (рис. 13.1).

Параметры проекта

Имя: Динамика+

Описание:

Тип создаваемой задачи

(1) Плоская ферма или балка-стенка (X,Z)

(2) Плоская рама (X,Z,UY)

(3) Плоская плита или ростверк (Z,UX,UY)

(4) Пространственная ферма или объемный массив (X,Y,Z)

(5) Пространственная конструкция (X,Y,Z,UX,UY,UZ)

(7) Пространственная конструкция с учетом деформации стержней (X,Y,Z,UX,UY,UZ,W)

В задаче будут присутствовать нелинейные элементы

В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»

В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА +»

В задаче будет использоваться система «МОСТ»

В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»

Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)

Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)

Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Путь: C:\Users\Public\Documents\Lira Soft\Lira10.8\FEMProject

Создать

Рис. 13.1. Параметры проекта

Расчет с учетом динамики во времени доступен как в линейной, так и в нелинейной постановке, с учетом и без учета теплопроводности, а также с учетом и без учета монтажа. Таким образом, для расчета дополнительных задач в окне **Параметры проекта** (рис. 13.1) нужно также установить соответствующий флажок: **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы**, **В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»**, **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)**.

#### 13.1.1 Создание загружений

Приступая к созданию **Загружений** (рис. 13.2), в первую очередь необходимо создать **Статическое загружение**, которое в дальнейшем может быть преобразовано в массы для формирования **Матрицы масс динамического нагружения**. При необходимости создать более одного статического нагружения следует добавить к ранее созданному нагружению **Сопутствующее статическое нагружение**.

Обратите внимание на то, что **Статическое загружение** и все **сопутствующие** ему в ходе расчета будут объединены в одно нагружение. Таким образом, в результатах расчета не будет возможности отображения результатов для каждого статического нагружения отдельно.

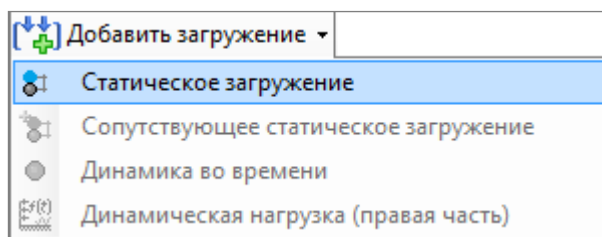


Рис. 13.2. Добавить загрузку

После добавления **Статического загрузку** становится доступным добавление **Динамики во времени**. Для этого нужно выбрать соответствующий элемент в раскрывающемся списке **Добавить загрузку** (рис. 13.2). В появившемся окне (рис. 13.3) задаются **Шаг интегрирования** и **Время интегрирования**, на основании которых будет получено минимальное количество моментов времени, для каждого из которых будут сформированы результаты.


Рис. 13.3. Задание данных для динамики во времени

Задание **Скорости распространения сейсмического воздействия** требуется в случае задания нагрузки типа сейсмограмма. В таком случае сейсмограмма к выбранным узлам будет приложена с отяжкой во времени, равном времени прохождения сейсмической волны от крайней горизонтальной точки на схеме к точке приложения сейсмограммы.

Далее необходимо выбрать из раскрывающегося списка получаемые **Результаты расчета**:

- Только перемещения;
- Перемещения и усилия;
- Перемещения, усилия и РСУ
- Перемещения, усилия, РСУ и напряжения;
- Только поле температур.

*При решении задачи нестационарной теплопроводности температура будет рассчитана в любом случае.*

 При решении нелинейных задач файлы результатов с напряжениями могут занимать много места на жестком диске. Это нужно учитывать при заказе получаемых результатов из раскрывающегося списка.

Для учета эффектов случайного кручения необходимо выбрать **Учет эксцентриситетов масс** и задать после щелчка на кнопке **Редактировать...** эксцентриситеты масс по горизонтальному и вертикальному направлению, на всю схему или на выбранные этажи. Если задаются эксцентриситеты на конкретные номера этажей, то эти этажи должны быть предварительно созданы, используя **Редактор и конструирование** ⇨ **Группы элементов** (подробнее создание этажей см. п. 2.11.10).

Формирование матрицы масс может быть выполнено путем **Преобразования статических нагрузок в массы** или же получением масс **Из плотности элементов**. Для этого следует выбрать необходимый критерий, задать **Коэффициент преобразования** в соответствующем поле и нажать кнопку **Добавить**. При преобразовании статических нагрузок в массы требуется выбрать загрузку из раскрывающегося списка, для которого будет выполнено преобразование. При решении задач с наличием монтажа массы могут быть собраны только из последней монтажной стадии.

**Коэффициент преобразования** полученных масс может быть отредактирован. Для этого нужно выделить соответствующую строку, ввести новое значение коэффициента и нажать кнопку **Изменить**. Удаление масс производится путем выбора соответствующей записи и нажатия кнопки **Удалить**.

Загрузка **Динамка во времени** включает в себя следующие загрузки:

- **Динамическая нагрузка (узловые силы);**
- **Демпфирование;**
- **Динамическая нагрузка (правая часть).**

Динамика во времени : Динамическая нагрузка (узловые силы) ( Динамическая нагрузка (узловые силы) )

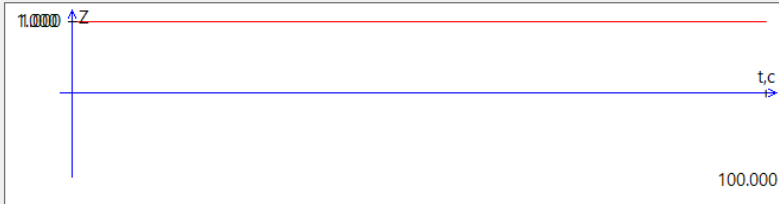
Имя Динамическая нагрузка (узловые силы)

Описание

Задать график для демонтируемых элементов

Закон изменения для демонтируемых элементов

Шаблон закона Произвольный шаг лома- Масштабный множитель к закону 1



	Время, с	Коэффициент к правой части
▶ 1	0	1
2	100	1

Прочитать закон из файла... Сохранить закон в файл... Количество точек 2 Шаг дискретизации, с 0

Рис. 13.4. График для демонтируемых элементов

При решении задач динамического демонтажа в окне **Динамическая нагрузка (узловые силы)** (рис. 13.4) необходимо задать график демонтируемых элементов (коэффициент к правой части от реакций в узлах динамически демонтируемых элементов).

Есть возможность создать график по таким шаблонам, как **Произвольный шаг ломаной**, **Равномерный шаг ломаной**, **Ломаная как функция во времени**. Для этого в раскрывающемся списке **Шаблон закона** нужно выбрать соответствующий элемент. Далее для построения графика необходимо указать **Количество точек** и заполнить появившуюся справа таблицу. Имеется также возможность записи графика в файл и чтения из файла.

При необходимости учета **Демпфирования** (рис. 13.5) нужно перейти к соответствующему пункту **Библиотеки загрузений**, установить флажок **Учитывать демпфирование**. Демпфирование может быть задано одним из трех способов:

- Непосредственным указанием коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ .
- Вычислением коэффициентов через две формы колебания.
- Учетом демпфирующих свойств отдельных материалов. Для этого коэффициенты демпфирования  $\alpha$  и  $\beta$  должны быть заданы в редакторе материалов и установлен флажок **Учитывать демпфирующие свойства материала** (рис. 13.5). В случае одновременного учета общего демпфирования и материального, при построении матрицы демпфирования, коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  будут суммироваться.

Параметры демпфирования					
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать пропорциональное демпфирование в форме Релея					
<input checked="" type="radio"/> Вычисление $\alpha$ и $\beta$ через 2 частоты собственных колебаний				<input type="radio"/> Матрица демпфирования $C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K$	
	Частота		Логарифмический декремент колебаний		
$\omega_1$	12	Гц	$\delta_1$	0.12	
$\omega_2$	223	Гц	$\delta_2$	0.18	
	$\alpha$	0		$1/c$	
	$\beta$	0		$c$	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать демпфирующие свойства материала					

Рис. 13.5. Демпфирование

При вычислении  $\alpha$  и  $\beta$  через частоты собственных колебаний и логарифмические декременты колебаний используется зависимость, которая получается из системы уравнений:

$$\begin{cases} \alpha + \beta \cdot \omega_1^2 = 2 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{4 \cdot \pi^2}{\delta_1^2} + 1}}; \\ \alpha + \beta \cdot \omega_2^2 = 2 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{4 \cdot \pi^2}{\delta_2^2} + 1}}. \end{cases}$$

Обычно бывает, что демпфирование  $\delta$  в исходных данных постоянное, тогда получение  $\alpha$  и  $\beta$  в таком частном случае сводится к виду:


$$\alpha = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{4 \cdot \pi^2}{\delta^2} + 1}} \cdot \omega_1 \cdot \omega_2}{\omega_1 + \omega_2};$$

$$\beta = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{1}{4 \cdot \pi^2 \delta^2} + 1}}{\omega_1 + \omega_2},$$

где  $\omega_1, \omega_2$  — минимальное и максимальное значение угловой частоты колебаний из исследуемого диапазона;

$\delta$  — логарифмический декремент колебаний, или еще может встечаться название «логарифмический декремент затухания»;


$\delta_1$  и  $\delta_2$  — логарифмические декременты колебаний, что соответствуют частотам  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

 *Будьте внимательны! В техническом задании на расчет демпфирования может быть задано еще и через другие величины, которые не стоит путать между собой:*

- $\Psi$  — коэффициент поглощения;
- $\gamma$  — коэффициент неупругого сопротивления;
- $\xi$  — коэффициент затухания (в литературе также может называться «коэффициент демпфирования», «относительное затухание», «относительное демпфирование», «параметр затухания»).

Вместе с логарифмическим декрементом колебания (затухания)  $\delta$  эти четыре параметра связаны между собой зависимостью:

$$\gamma = \frac{\Psi}{2 \cdot \pi} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{2 \cdot \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}.$$

 *При назначении диапазона частот  $\omega_1, \omega_2$ , как правило, используют диапазон собственных колебаний конструкции, при котором накапливается достаточное количество модальной массы. Если выбрать весь диапазон колебания конструкции от 0 до 100% модальной массы, то такой подход будет консервативным. При меньших диапазонах некоторые частоты будут посчитаны в «запас», а другие — в «не запас». Выбор того или иного диапазона собственных частот  $\omega_1, \omega_2$  инженер должен обосновать самостоятельно.*

Последней составляющей загрузки является **Динамика во времени** является **Динамическая нагрузка (правая часть)**, позволяющая пользователю задать общий закон изменения сил или тепловых нагрузок во времени. Для задания правой части необходимо сначала выбрать загрузку **Динамика во времени**, а затем нажать кнопку **Добавить загрузку** (рис. 13.2) и выбрать соответствующий элемент из раскрывающегося списка.

В рабочей области данного режима предоставляется возможность задать закон действия сил вручную либо же прочитать из файла. Для загрузки из файла необходимо нажать кнопку **Прочитать из файла** и в появившемся диалоговом окне выбрать соответствующий файл на диске. Таким же образом можно сохранить созданный закон, воспользовавшись функцией **Сохранить закон в файл**.

Для задания закона вручную доступно 3 шаблона, выбор шаблона производится из соответствующего раскрывающегося списка. При использовании шаблона **Произвольный шаг ломаной** (рис. 13.6) требуется указать только **Количество точек**. При этом промежутки времени между точками на графике могут быть произвольными. Для завершения

формирования закона необходимо заполнить таблицу, указав в ней **Время** и **Коэффициент к правой части** для каждого момента времени.

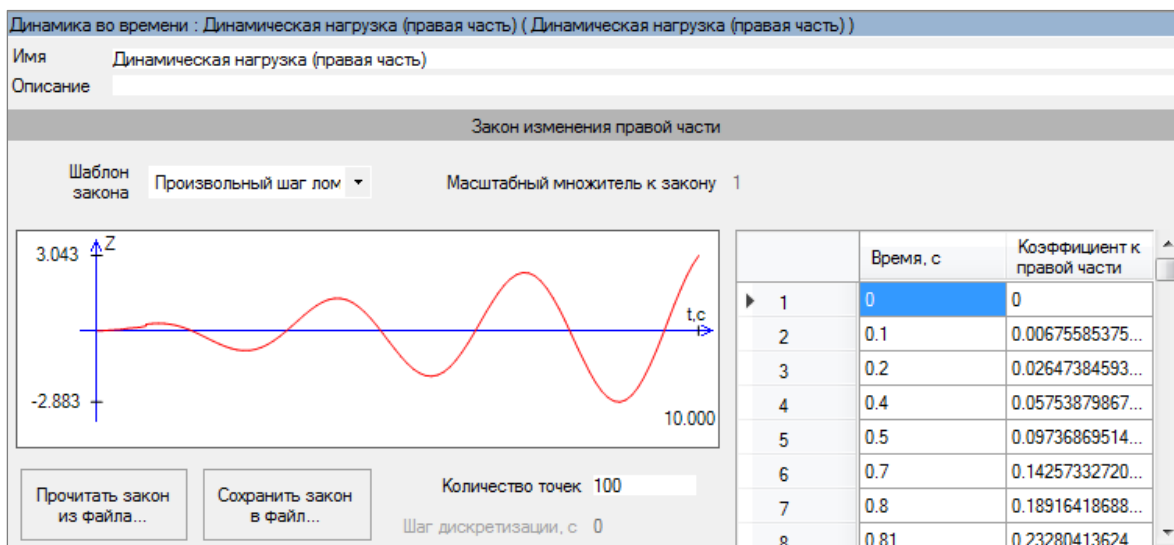


Рис. 13.6. Произвольный шаг ломаной

При выборе шаблона **Равномерный шаг ломаной** (рис. 13.7) необходимо дополнительно указать **Шаг дискретизации**, таким образом первая колонка таблицы заполнится автоматически, в отличие от предыдущего варианта. При выборе данного шаблона появляется возможность указать **Масштабный множитель к закону**.

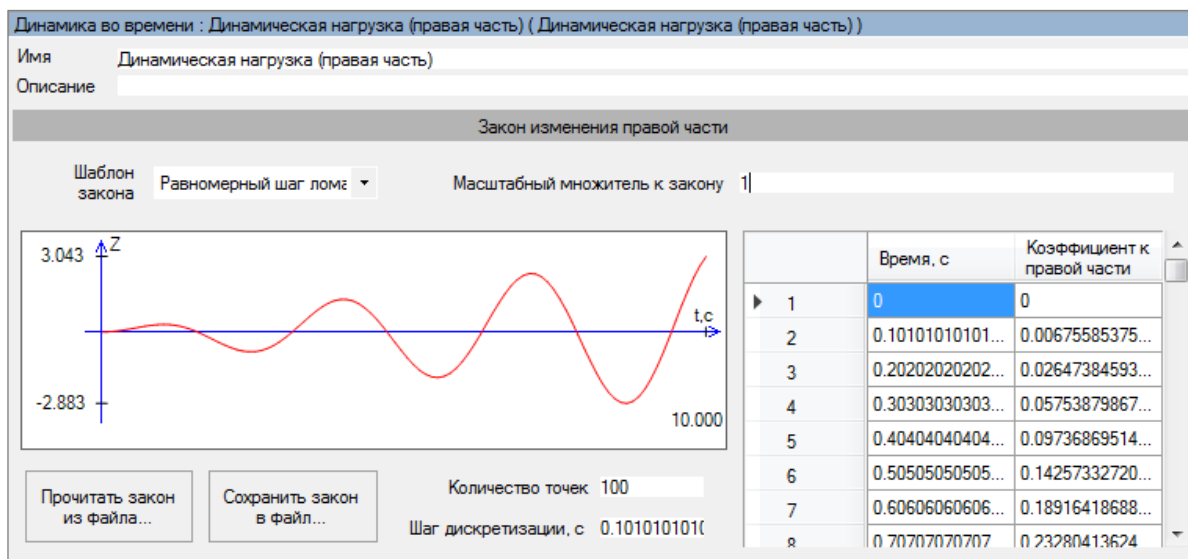


Рис. 13.7. Равномерный шаг ломаной

Последним шаблоном задания закона является **Ломаная как функция от времени** (рис. 13.8). Для задания закона таким образом необходимо выбрать соответствующий шаблон из раскрывающегося списка, задать функцию  $Z(x)$ , где  $x$  — время. Также необходимо указать время начала функции и продолжительность. Следует обратить внимание на то, что время функции задается всегда в секундах, частоты — в рад/с, углы — в рад.

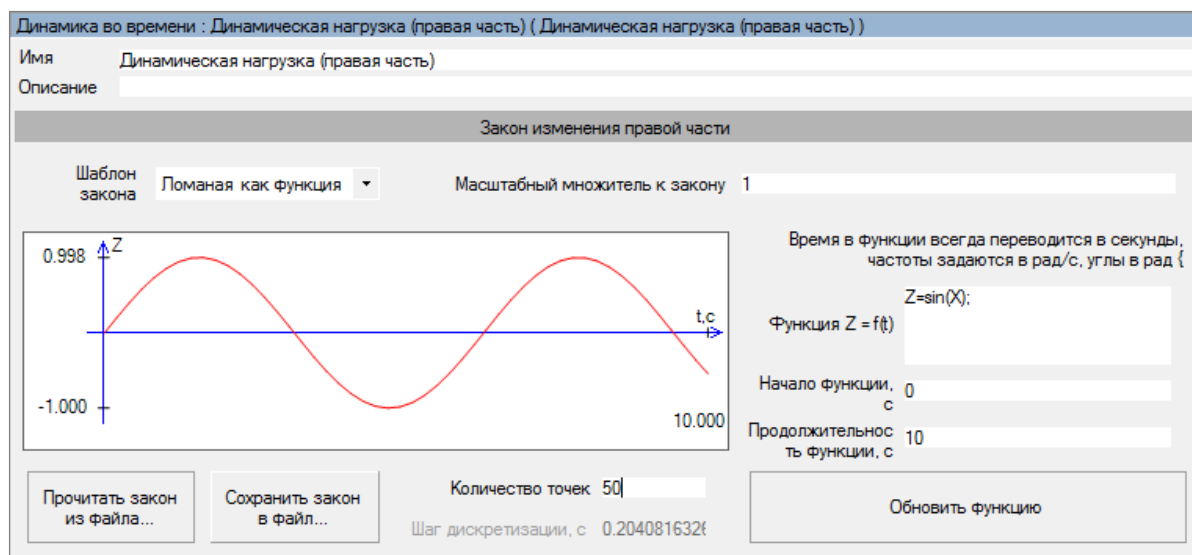


Рис. 13.8. Ломаная как функция от времени

### 13.1.2 Назначение нагрузок

Нагрузки для статических загрузений аналогичны нагрузкам из статических задач, и их назначение происходит таким же образом.

Для загрузки **Динамика во времени** (рис. 13.9) доступно назначение элементам и узлам схемы весов динамических и узловых масс соответственно (рис. 13.10).

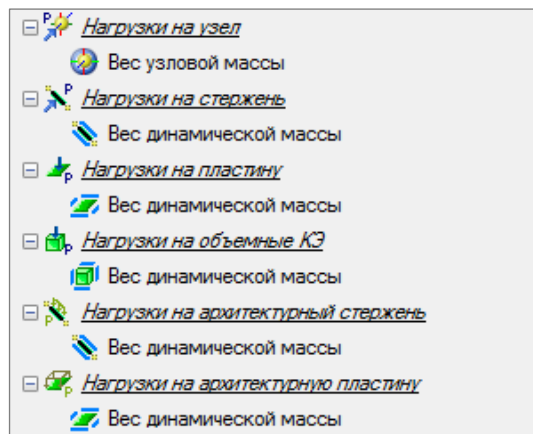


Рис. 13.9. Нагрузки: Динамика во времени

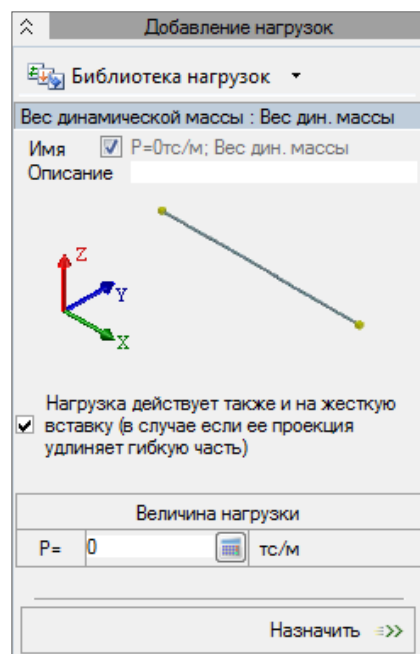


Рис. 13.10. Назначение веса динамических масс

Для назначения веса динамических масс на появившейся панели режима необходимо ввести значение **P**, выделить элементы и нажать кнопку **Назначить**. Также, при необходимости учета действия нагрузки на жесткую вставку (в случае, если ее проекция удлиняет гибкую часть), нужно указать это в окне режима, установив флажок.

Для загрузки **Динамическая нагрузка (узловые силы)** является доступным назначением нагрузок только узлам и в виде функции от времени (рис. 13.11). Благодаря данному загрузению предоставляется возможность задать нагрузки, действующие по разным законам в отличие от задания **Правой части**.

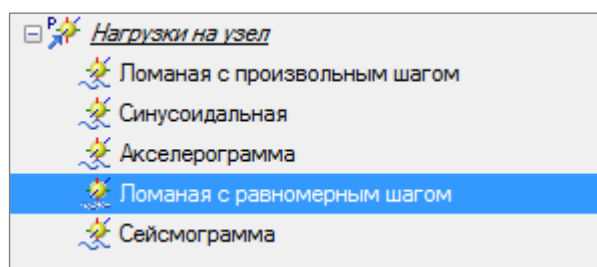


Рис. 13.11. Нагрузки. Узловые силы

Нагрузки, доступные в загрузении **Демпфирование**, аналогичны нагрузкам, доступным в статическом загрузении, за исключением недопустимости назначения заданных смещений и поворотов. Нагрузки, назначенные в данном загрузении, в ходе расчета будут интерпретироваться как демпферы и будут включены в матрицу демпфирования.

При задании **Правой части** для назначения доступны все постоянные нагрузки, кроме заданного смещения и поворота. Несмотря на то, что данные нагрузки являются постоянными, в ходе расчета они будут изменяться по закону, указанному в загрузении **Динамическая нагрузка (Правая часть)**.

### 13.1.3 Утилита преобразования записей сейсмического движения грунта

Утилита преобразования записей сейсмического движения грунта становится доступна при загрузении **Динамическая нагрузка (узловые силы)** и выборе соответствующей нагрузки на узел. Для нагрузки **Акселерограмма** доступно преобразование из имеющейся сейсмограммы, для нагрузки **Сейсмограмма**, напротив, — из имеющейся акселерограммы (рис. 13.12).

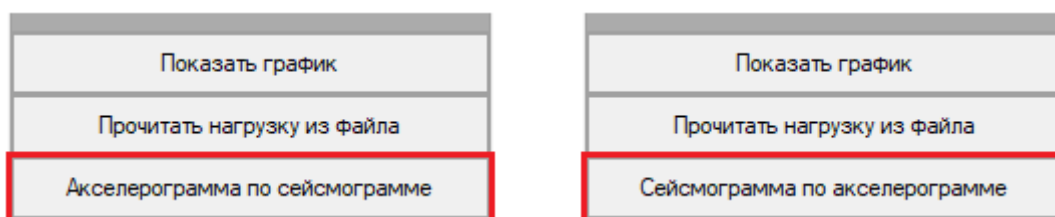


Рис. 13.12. Кнопки вызова утилиты

Для вычисления сейсмограммы/акселерограммы следует выбрать необходимый файл и, в случае необходимости, задать дополнительные условия вычисления (**Удаление тренда акселерограммы, Метод получения сейсмограммы/акселерограммы, Удаление тренда сейсмограммы, поворот нулевой линии**). Каждый из полученных результатов может быть визуализирован.



- **Удаление тренда акселерограммы/сейсмограммы** — в этом случае вычитаются средние значения, полученные линейной, квадратичной или кубической аппроксимацией (рис. 13.13).

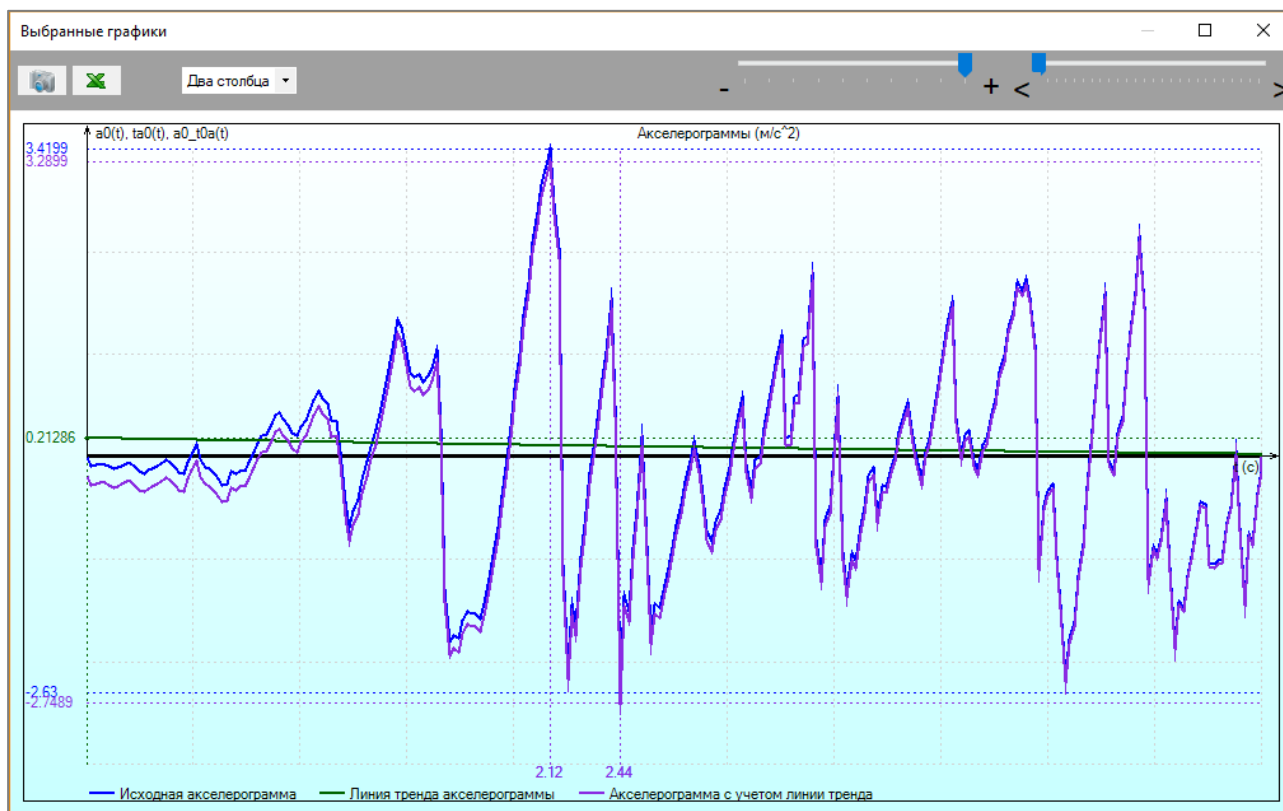


Рис. 13.13. Удаление тренда с помощью кубической аппроксимации

- **Метод получения сейсмограммы/акселерограммы** представляет собой совокупность формул и методов для преобразования данных:
  - **Метод равноускоренного движения** — кинематическое преобразование данных, при котором вектор ускорения остается неизменным по модулю и направлению. Доступен только для расчета сейсмограммы по акселерограмме.
  - **Метод центральных разностей** — конечно-разностная аппроксимация, исходное дифференциальное уравнение заменяется конечно-разностным относительно сеточной функции.
  - **Преобразование Фурье** — преобразование функции акселерограммы в частотные компоненты с помощью алгоритма ДПФ.
- **Поворот нулевой линии** — вычитание из входных данных координат прямой, проходящей через первую и последнюю точку исходного графика (рис. 13.14).

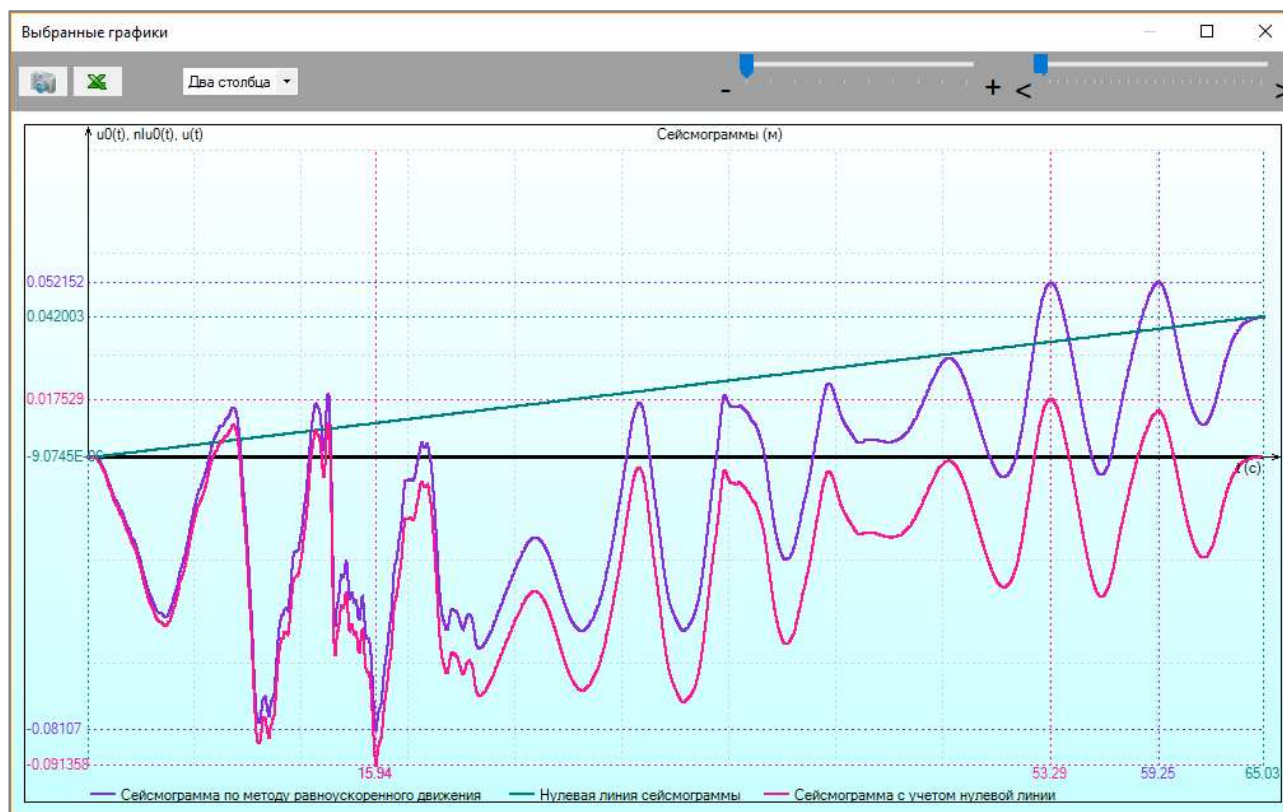



Рис. 13.14. Поворот нулевой линии



Помимо вышеперечисленных функций, утилита дает для выбранной акселерограммы землетрясения возможность анализа частотного состава с помощью преобразования Фурье, получения спектров реакции ускорений, скоростей и перемещений при указанном относительном затухании (рис. 13.15).


 Обратите внимание, что визуализация исходных данных и полученных результатов возможна только для графиков с совпадающими единицами измерения.

Полученная в результате преобразований сейсмограмма может быть использована при расчете на сейсмические воздействия в динамике во времени (ДИНАМИКА+), а вычисленные спектры реакции ускорений, скоростей и перемещений — и в расчете на сейсмическое воздействие по спектру реакции одномассового осциллятора для метода разложения по формам собственных колебаний.

Сохранение полученных результатов с указанной точностью осуществляется в файлы:

- **.ar1** (для акселерограммы при сейсмической нагрузке **Сейсмограмма**);
- **.sr1** (для сейсмограммы при сейсмической нагрузке **Акселерограмма**);
- **.vr1** (для велосиграммы, независимо от представления сейсмической нагрузки);
- **.rsa** (для спектра реакции ускорений);
- **.rsv** (для спектра реакции скоростей);
- **.rsd** (для спектра реакции перемещений).

При отображении графиков имеется возможность создать копию изображения с экрана (щелкнув на кнопке ) и выполнить экспорт данных в .xlsx-файл (щелкнув на кнопке ) , см. рис. 13.16.

 Преобразование Фурье и вычисление спектров реакции доступны при выборе исходной или полученной акселерограммы, независимо от выбора представления сейсмической нагрузки.

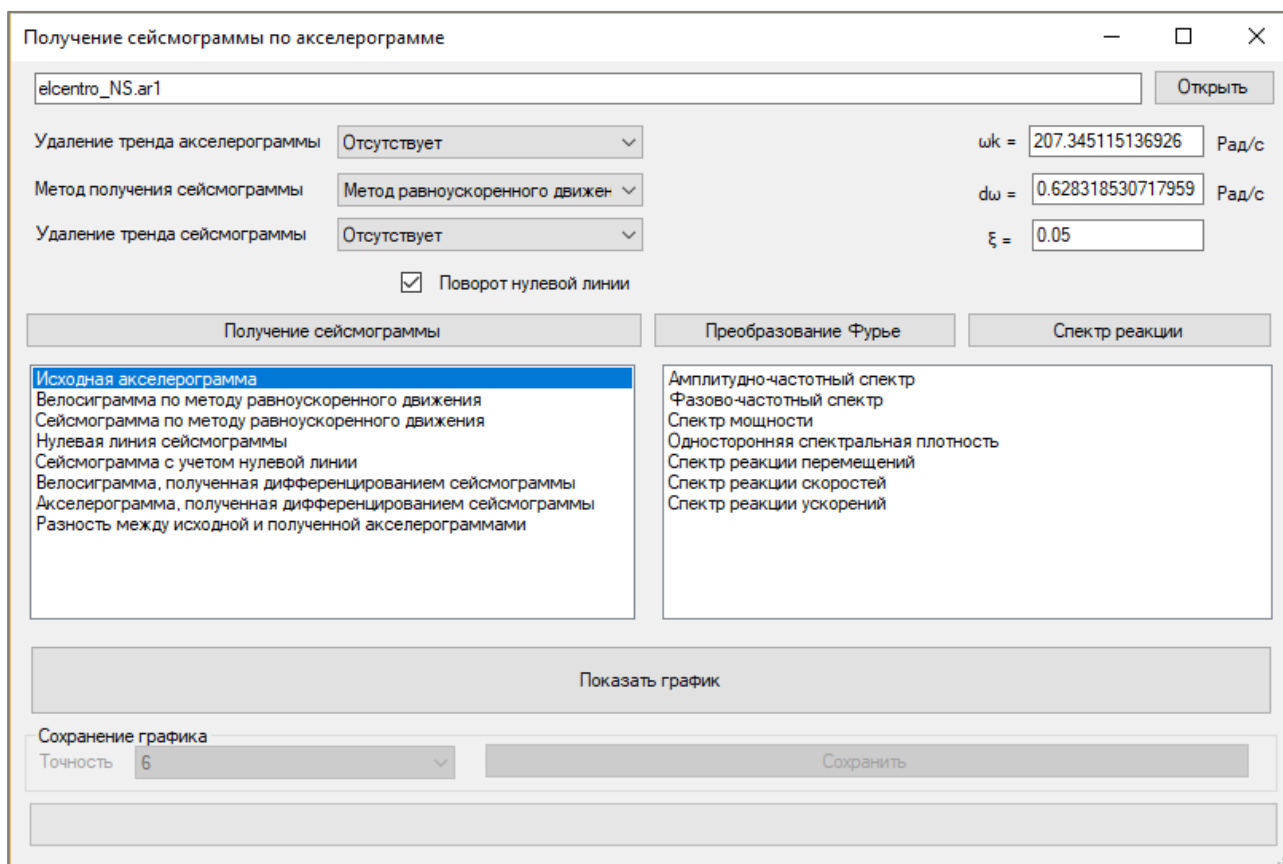


Рис. 13.15. Преобразование Фурье и получение спектров реакции указанной акселерограммы

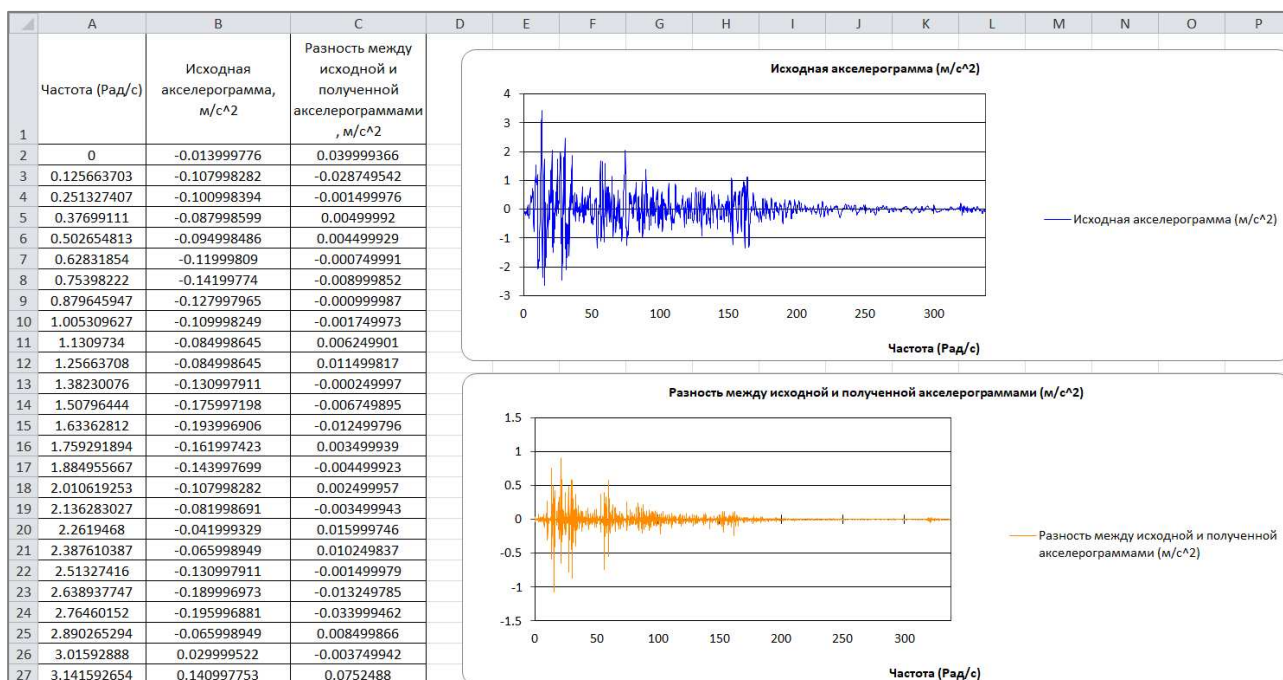


Рис. 13.16. Экспорт данных в .xlsx-файл

## 13.2 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для статических загрузений в режиме **Результаты расчета** данные отображаются для суммы всех статических загрузений. Для суммарного загрузения можно отобразить перемещения узлов, усилия в стержнях и пластинах, усилия в спец. элементах, напряжения в объемных элементах, результаты РСУ, главные и эквивалентные напряжения в пластинах и объемных элементах.

Результаты расчета **Динамики во времени** отображаются для каждого момента времени. Помимо результатов, описанных выше, имеется возможность отображения графиков **Ускорений, Скоростей, Перемещений** и **Построения спектра реакции**.


Для построения спектра реакций необходимо выполнить команду **Спец. результаты** ⇒ **Построение**

**спектра реакции** либо нажать кнопку  на панели инструментов. В появившемся окне (рис. 13.17) необходимо указать узлы, для которых будет построен спектр реакции, выделив их на схеме и нажав **Пополнить список** узлов или же **Заменить список узлов**, если необходимо изменить уже существующий. Далее нужно указать **Направление** (X, Y, Z, UX, UY, UZ) и **Спектр реакции** (**Перемещений, Скоростей, Ускорений, Псевдоскоростей, Псевдоускорений**). Также необходимо выбрать критерий затухания (**Логарифмический декремент** либо **Параметр затухания**) и его значение, установив флажок напротив нужного значения. Если числовое значение критерия затухания не совпадает с предлагаемым перечнем, то его можно задать вручную: установив флажок на значении **0**, появляется возможность ввода произвольного числа (рис. 3.17). Последним параметром является указание величины, которая будет отложена по оси абсцисс — **Частота** или **Период**.

При необходимости задания **Значения предельной частоты** и **Дробления стандартного шага** следует воспользоваться вкладкой **Параметры построения**.

При построении спектра реакции для двух и более узлов суммарная реакция всех узлов вычисляется как среднее арифметическое реакций в каждом узле.

Полученный спектр реакции (рис. 13.18) можно импортировать в MS Excel, сохранить в файл или же сохранить как изображение. Также с помощью двух полос прокрутки можно масштабировать и перемещать спектр.

Для построения графиков зависимости ускорений, скоростей и перемещений от времени необходимо перейти в режим **Результаты по узлам** (воспользовавшись командой **Результаты** ⇒ **Узлы** либо щелкнув на кнопке  на панели инструментов) и отобразить вкладку **Графики** на панели активного режима (рис. 13.19). На данной вкладке требуется

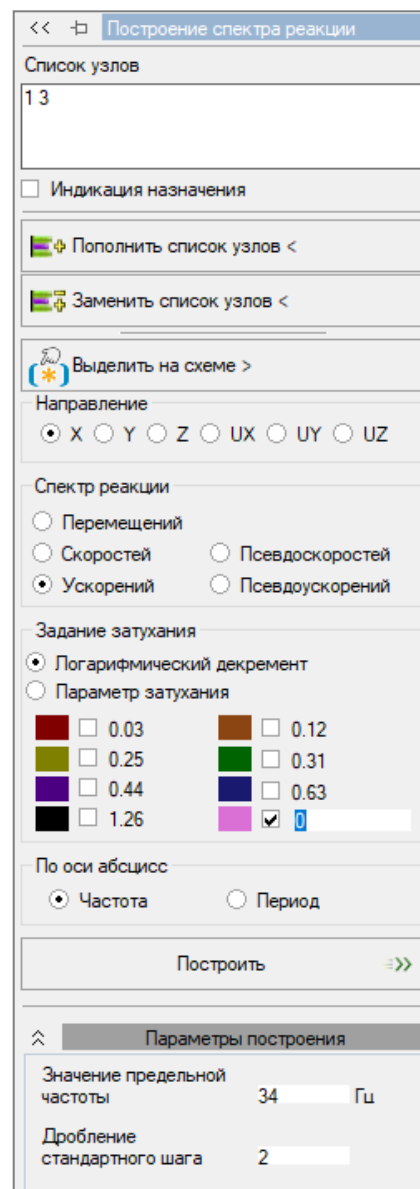


Рис. 13.17. Панель **Построение спектра реакции**

указать направление и факторы вывода (перемещения, скорости, ускорения). После этого нужно выбрать узел, для которого будут отображены графики, нажав на него левой кнопкой мыши.

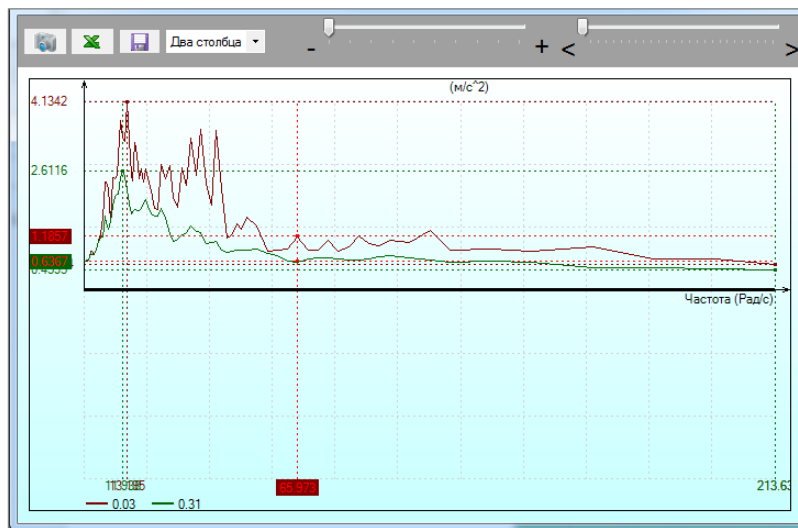


Рис. 13.18. Спектр реакции

Для построения графиков зависимости усилий от времени для стержневых, пластинчатых или объемных элементов необходимо перейти в режим **Результаты по стержням**, **Результаты по пластинам** или **Результаты по объемным КЭ**. В появившемся окне режима (рис. 13.20) требуется перейти на вкладку **Графики** и отметить флажками усилия, которые будут отображены. Далее нужно щелкнуть на элементе, для которого будут построены графики.

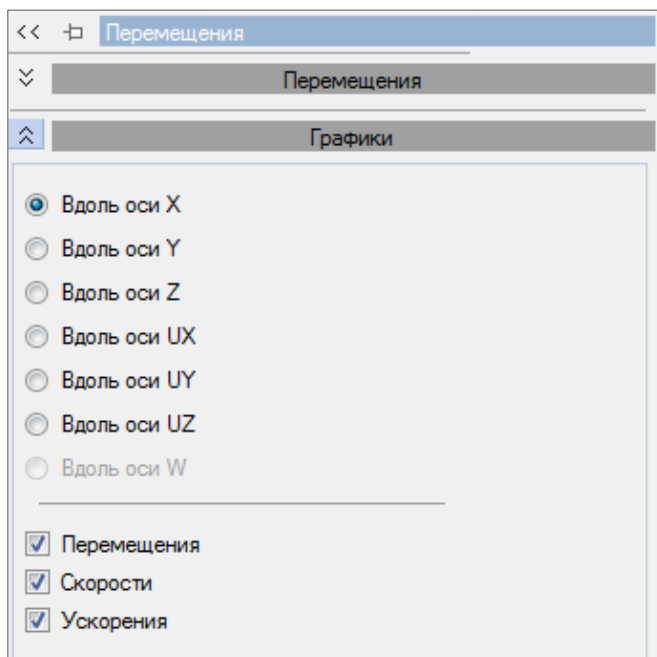


Рис. 13.19. Построение графиков

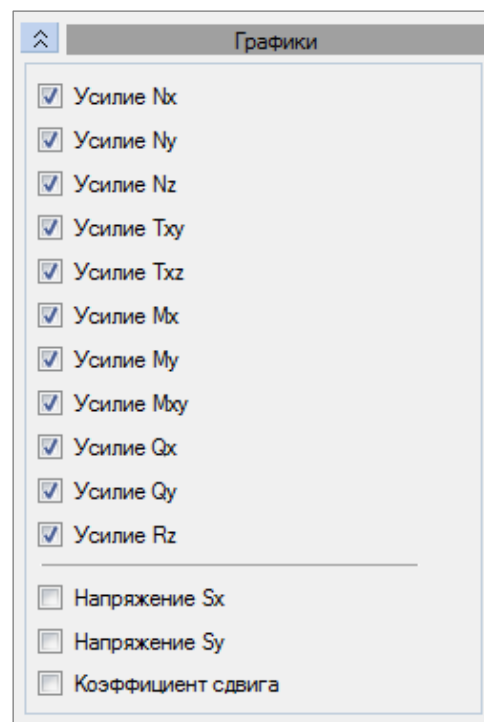




Рис. 13.20. Усилия в пластинах

## ГЛАВА 14. СИСТЕМА МОСТ

Система МОСТ предназначена для вычисления и графического отображения поверхностей/линий влияния, определения усилий от действия подвижных нагрузок и вычисления сочетаний усилий от статических загрузений и подвижных нагрузок. Система МОСТ позволяет определять усилия и для многоуровневых (многоярусных) мостов.

По возможностям создания расчетных схем система МОСТ ничем не отличается от линейных задач: позволяет создать стержневые, оболочечные, объемные или комбинированные расчетные схемы мостов. Количество статических загрузений, как и для линейных задач, не больше 300.

 При создании задачи для расчета по системе МОСТ необходимо выбрать требуемый тип создаваемой задачи и указать, что будет использоваться система МОСТ.

Полагая, что расчетная схема моста уже создана (созданию расчетных схем посвящена Глава 2), рассмотрим задание данных для системы МОСТ. Перейдем в режим **Мост** с помощью вкладки ленты или команды меню **Назначение** ⇒ **Мост** (кнопка  на панели инструментов). На экране отобразится панель активного режима **Редактировать уровни моста** (рис. 14.1). Данный режим предназначен для задания уровней моста и траекторий движения, расчетных узлов и элементов, сдвоенных нагрузок АК (требуется для п. 8.3.3 [14.1]).

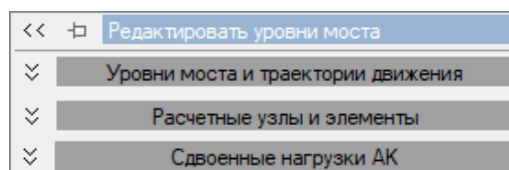


Рис. 14.1. Режим **Мост**

### 14.1 ЗАДАНИЕ УРОВНЕЙ МОСТА И ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ

Под уровнем подразумевают связную поверхность (часть моста), воспринимающую временную подвижную нагрузку.







а) одноуровневый


б) двухуровневый


Рис. 14.2. Примеры мостов

На рис. 14.2 приведены примеры одноуровневого и многоуровневого мостов. Тротуары и дорожное полотно принято рассматривать как один уровень, т.е. для подавляющего числа мостов достаточно задания одного уровня. Уровень моста не должен быть самопересекающимся в плане: например, рассчитать винтовую рампу в системе МОСТ не удастся.

Раскрывающаяся вкладка **Уровни моста и траектории движения** панели активного режима **Редактировать уровни моста** показана на рис. 14.3. Уровень моста задается перечнем номеров узлов. Для создания уровня необходимо нажать кнопку  (**Добавить новый уровень**), при этом будет создан уровень с пустым списком узлов. Параметрами уровня служат **Имя**, **Цвет** и тип уровня: **Поверхность** или **Линия** влияния. Для системы МОСТ упор сделан на построении поверхностей влияния, но для плоских признаков схемы не обойтись и без линий влияния. Для добавления выделенных узлов в уровень моста предусмотрены две кнопки:  (**Занести выделенные узлы в список**) и  (**Добавить выделенные узлы в список**). Для выделения узлов, принадлежащих уровню моста, служит кнопка  (**Выделить узлы на схеме**).

Формальное ограничение на количество задаваемых уровней равно 100.

 *Подразумевается, что в узлах, указанных для уровня моста, в дальнейшем будет приложена единичная нагрузка и построены поверхности/линии влияния для расчетных узлов и элементов.*

Для удаления заданных уровней моста следует воспользоваться кнопкой  (**Удалить текущий уровень**).

Для построения траекторий движения нужно четко представлять, как расположены временные подвижные нагрузки для рассматриваемых случаев воздействия.

Траектория движения представляет собой незамкнутую ломаную линию на поверхности влияния, по которой производится прокатка временной подвижной нагрузки (с траекторией движения совпадает продольная ось подвижной нагрузки). Начало траектории движения соответствует началу прокатки подвижной нагрузки. При этом нагрузка своими крайними габаритами не должна выходить за пределы поверхности влияния.

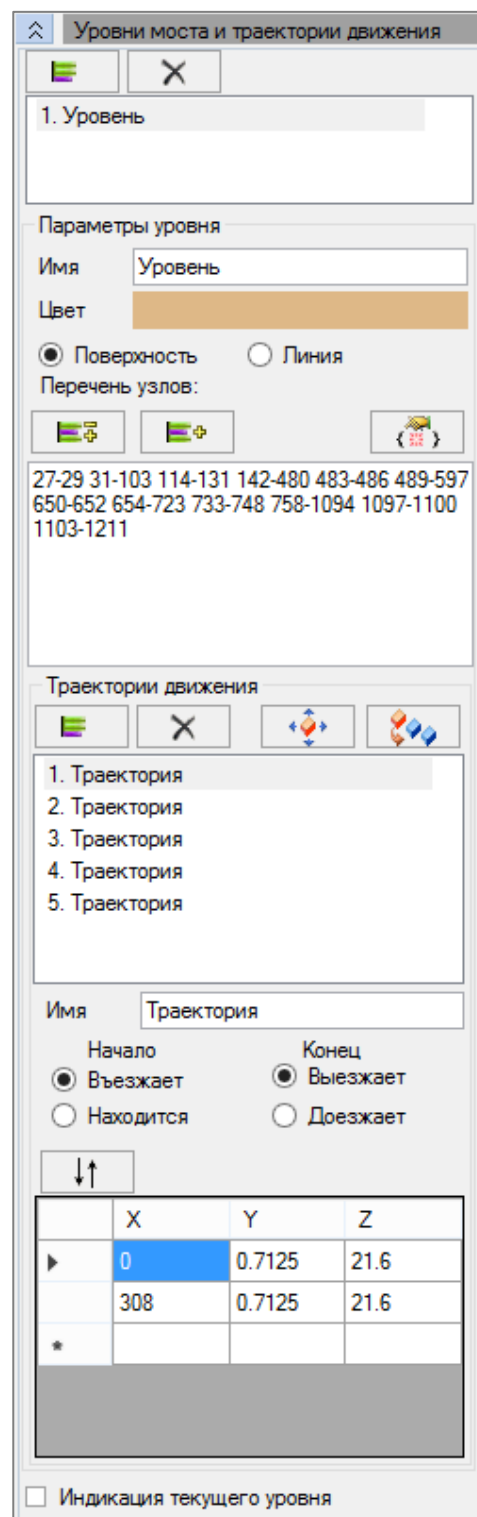




Рис. 14.3. Вкладка **Уровни моста и траектории движения**

Для создания траектории движения необходимо нажать кнопку  (**Добавить траекторию движения**).

 *Следует помнить, что если при создании траектории движения расчетная схема имеет выделенные узлы, то они будут автоматически добавлены в создаваемую траекторию движения.*

Параметрами траектории движения служат **Имя** и опции начала и конца. Для начала и окончания прокатки подвижной нагрузки в траектории движения предусмотрены следующие опции:

- Для начала траектории — подвижная нагрузка **Въезжает** на траекторию или же она полностью **Находится** на траектории и начинает движение.
- Для конца траектории — подвижная нагрузка **Выезжает** за пределы траектории или только **Доезжает** до конца траектории.

Траектории движения задаются координатами — это может быть как занесение координат вручную, так и с помощью контекстного меню в точках залипания: узлы расчетной схемы, сети построения либо строительных осей (рис. 14.4).

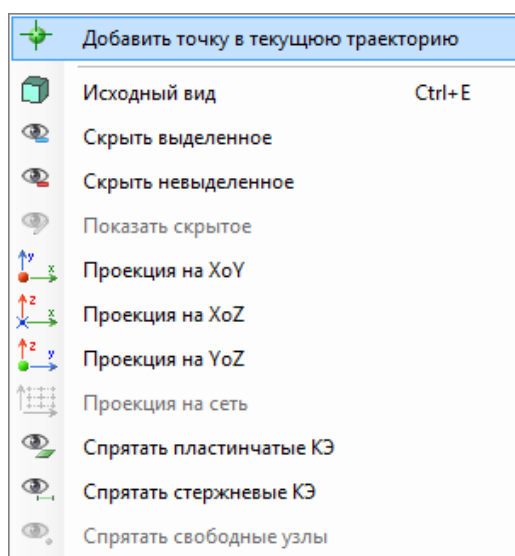




Рис. 14.4. Занесение координат узла в траекторию движения с помощью контекстного меню

Есть возможность задавать следующую траекторию движения, копируя текущую траекторию движения. Для этого необходимо нажать на кнопку  (**Скопировать текущую траекторию**) и задать параметры копирования выбранной траектории движения (рис. 14.5). В случае, если параметры копирования выбранной траектории движения были заданы не совсем удачно, имеется возможность переместить текущую траекторию движения, нажав кнопку  (**Переместить текущую траекторию**) и задав параметры перемещения текущей траектории движения (рис. 14.5).



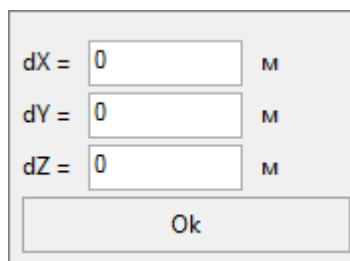



Рис. 14.5. Окно для задания параметров копирования и перемещения траекторий движения

Для удаления ненужной траектории предусмотрена кнопка  (**Удалить траекторию движения**).

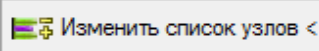
Текущая траектория движения отображается красным цветом, а заданные траектории движения подсвечиваются синим цветом.

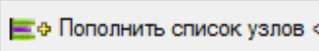
## 14.2 ЗАДАНИЕ РАСЧЕТНЫХ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ

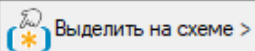
Раскрывающаяся вкладка **Расчетные узлы и элементы** панели активного режима **Редактировать уровни моста** предназначена для указания узлов и элементов, рассчитываемых в системе МОСТ (рис. 14.6). Для указанных узлов и элементов будет выполнено построение поверхностей/линий влияния, вычисление минимальных и максимальных факторов от подвижных нагрузок, а также вычисление комбинаций факторов от заданных статических загрузений и действия подвижных нагрузок.

В предельном случае расчетными узлами и элементами для системы МОСТ могут быть все узлы и элементы расчетной схемы.

Для назначения узлов расчетными в системе МОСТ необходимо на расчетной схеме выделить требуемые

узлы и нажать кнопку . Для пополнения заданного списка расчетных узлов в системе МОСТ нужно выделить требуемые узлы и нажать кнопку

. Для выделения уже внесенных в список узлов нужно воспользоваться кнопкой

.

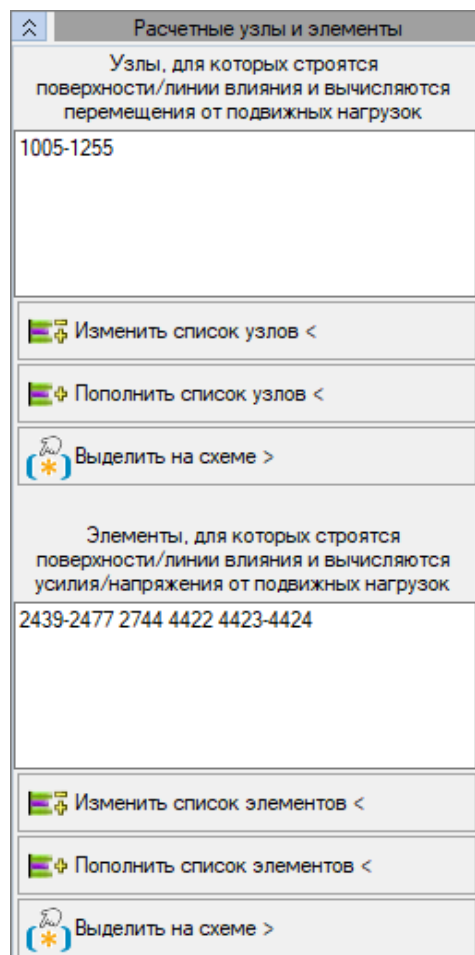
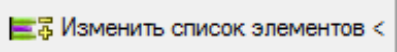
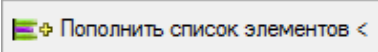
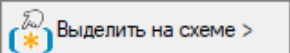
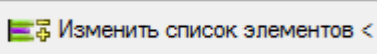
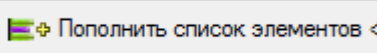
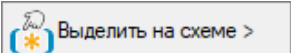


Рис. 14.6. Вкладка **Расчетные узлы и элементы**

Для назначения элементов расчетными в системе МОСТ необходимо на расчетной схеме выделить требуемые элементы и нажать кнопку . Для пополнения заданного списка расчетных элементов в системе МОСТ нужно выделить требуемые элементы и нажать кнопку . Для выделения уже внесенных в список элементов нужно воспользоваться кнопкой .

### 14.3 ЗАДАНИЕ СДВОЕННЫХ НАГРУЗОК АК

Раскрывающаяся вкладка **Сдвоенные нагрузки АК** панели активного режима **Редактировать уровни моста** предназначена для загрузки двумя тандемами (тележками) стержневых элементов с опорным сечением над промежуточной опорой или примыкающих к рамным узлам (рис. 14.7) в соответствии с п. 8.3.3 [14.1]. Загрузка двумя тандемами выполняется для первого или последнего сечения элемента. В зависимости от сечения, элемент должен быть внесен в нужный список (при необходимости элемент может быть внесен сразу в оба списка). Занесение элементов в списки для первого и последнего сечения выполняется однотипно. Для внесения элемента в список следует на расчетной схеме выделить требуемые элементы и нажать кнопку . Для пополнения заданного списка элементов в системе МОСТ нужно выделить требуемые элементы и нажать кнопку . Для выделения уже внесенных в список элементов нужно воспользоваться кнопкой .

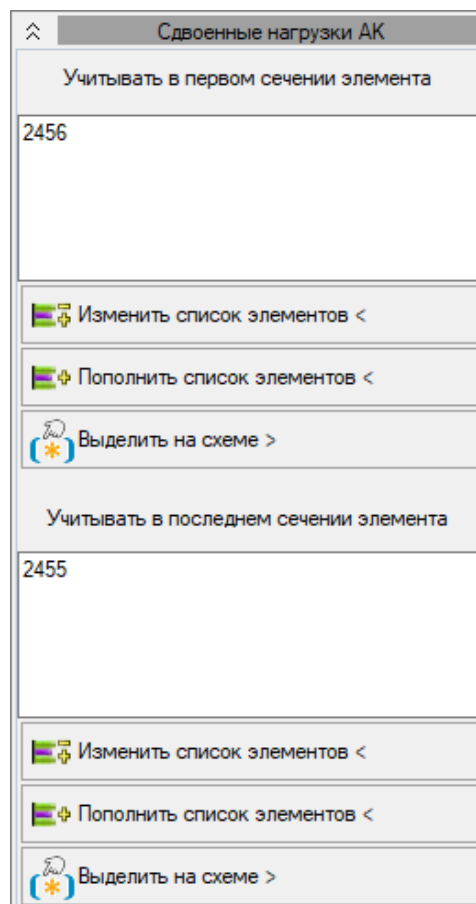




Рис. 14.7. Вкладка **Сдвоенные нагрузки АК**

 *Заданные уровни моста, траектории*

*движения, рассчитываемые узлы и/или элементы являются минимальной информацией для расчета по системе МОСТ. При задании минимальной информации для рассчитываемых узлов и/или элементов будут построены только поверхности/линии влияния.*

## 14.4 ЗАДАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПОДВИЖНЫХ НАГРУЗОК

Для задания временных подвижных нагрузок на мост необходимо перейти в **Редактор загрузений** с помощью команды меню **Редакторы ⇨ Редактор загрузений** (кнопка  на панели инструментов). С помощью кнопки **Добавить загрузение** следует добавить действующие на проектируемый мост временные подвижные нагрузки. Задание статических загрузений описано в п. 2.15. Список допустимых временных подвижных нагрузок показан на рис. 14.8.

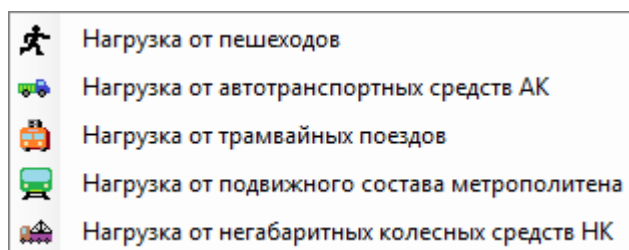


Рис. 14.8. Допустимые временные подвижные нагрузки

При добавлении первого загрузения временной подвижной нагрузки из указанных на рис. 14.8 будет создано добавляемое загрузение, которое будет помещено в родительское загрузение **Подвижные нагрузки**. При добавлении следующего загрузения временной подвижной нагрузки необходимо сначала щелкнуть мышью на названии родительского загрузения — **Подвижные нагрузки**, чтобы загрузения временной подвижной нагрузки стали доступны для создания в раскрывающемся списке кнопки **Добавить загрузение**.

Временные подвижные нагрузки реализованы на основе следующих нормативных документов:


- СНиП 2.05.03-84\* [14.2];
- Eurocode EN 1991-2 [14.3];
- ДБН В.1.2-15:2009 [14.1];
- ГОСТ Р 52748-2007 [14.4];
- ДБН В.2.3-22:2009 [14.5];
- ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010 [14.6];
- СП 35.13330.2011 [14.7].

Далее рассмотрим задание временных подвижных нагрузок более детально.

### Загрузение «Нагрузка от пешеходов»

Для временной нагрузки от пешеходов задаются (рис. 14.9):

1. Нормативное значение равномерно распределенной по площади нагрузки;
2. Коэффициент для расчета на прочность;
3. Ширина тротуара.

 При задании ширины тротуара равной нулю предполагается, что вместо нормативного значения равномерно распределенной по площади нагрузки задается значение погонной равномерно распределенной нагрузки, но ее перевод в пользовательские единицы измерения будет осуществляться как для распределенной по площади.

Подвижные нагрузки : Нагрузка от пешеходов ( Нагрузка от пешеходов )		
Имя	Нагрузка от пешеходов	
Описание		
Параметры		
Коэф. для расчета на прочность $\gamma_f \cdot (1+\psi)$	Нормативная распределенная нагрузка (v)	Ширина тротуара
1.2	0.20394 тс/м <sup>2</sup>	1.5 м
Уровень и траектории		
Укажите к какому уровню моста приложена эта нагрузка и по каким траекториям движется:		
Уровень приложения нагрузки	<input checked="" type="checkbox"/> 1. Траектория <input type="checkbox"/> 2. Траектория <input type="checkbox"/> 3. Траектория <input type="checkbox"/> 4. Траектория <input type="checkbox"/> 5. Траектория	
1. Уровень		


Рис. 14.9. Задание загрузки **Нагрузка от пешеходов**

При задании временной подвижной нагрузки указываются траектории движения, по которым она будет приложена.

### Загрузка «Нагрузка от автотранспортных средств АК»

Для временной нагрузки от автотранспортных средств АК задаются (рис. 14.10):

1. Для равномерно распределенной нагрузки:
  - нормативное значение погонной равномерно распределенной нагрузки;
  - коэффициент для расчета на прочность;
  - коэффициент для расчета на выносливость.
2. Для тандема (двухосной тележки):
  - нормативное значение осевой нагрузки;
  - коэффициент для расчета на прочность;
  - коэффициент для расчета на выносливость;
  - база осей;
  - ширина колеи;
  - пятно контакта колеса с дорожным покрытием.

 Параметры тандема **Ширина колеи** и **Пятно контакта колеса с дорожным покрытием** (размеры пятна контакта вдоль и поперек) могут задаваться равными нулю. При задании обоих параметров тандема равными нулю временная подвижная нагрузка от автотранспортных средств АК станет аналогичной временной подвижной нагрузке, используемой в предыдущих версиях программного комплекса.


Подвижные нагрузки : Нагрузка от автотранспортных средств АК ( Нагрузка от автотранспортных средств АК )				
Имя Нагрузка от автотранспортных средств АК				
Описание				
Параметры				
Козф. для расчета на прочность $\gamma_f \cdot (1+\psi)$		Козф. для расчета на выносливость $\gamma_f \cdot (1+\psi_d)$		Нормативная распределенная нагрузка (v)
1.15		1		1.4276 тс/м
Кэффициент к расчетным значениям на прочность для тандемов $\gamma_f \cdot (1+\psi)$			Кэффициент к расчетным значениям на выносливость для тандемов $\gamma_f \cdot (1+\psi_d)$	
2.1			1.2667	
Нормативная нагрузка на ось (P)	База (d)	Ширина колеи (b)	Размер колеса вдоль (c)	Размер колеса поперек (w)
14.276 тс	1.5 м	1.9 м	0.2 м	0.6 м
Сдвоенные нагрузки				
<input type="checkbox"/> Учет сдвоенных нагрузок	Понижающий коэффициент		Расстояние между последней осью первой и передней осью второй нагрузки	
	0.85		20 м	
Уровень и траектории				
Укажите к какому уровню моста приложена эта нагрузка и по каким траекториям движется:				
Уровень приложения нагрузки		<input type="checkbox"/> 1. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 2. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 3. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 4. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 5. Траектория		
1. Уровень				

Рис. 14.10. Задание загрузки **Нагрузка от автотранспортных средств АК**

Прокатка временной подвижной нагрузки от автотранспортных средств АК (а также от негабаритных колесных средств НК) выполняется по 6 линиям влияния (рис. 14.11). При этом для линий влияния вводятся весовые коэффициенты к значению нагрузки на ось. Так, для линий влияния с номерами 1, 3, 4 и 6 весовой коэффициент равен 0.125, а для линий влияния с номерами 2 и 5 — 0.25.

Учет ширины колеи и размеров пятна контакта колеса с дорожным покрытием позволяет учитывать пространственный характер временной подвижной нагрузки и более точно вычислять значения минимальных и максимальных факторов для расчетных узлов и элементов.

Для учета сдвоенных нагрузок от автотранспортных средств АК необходимо в блоке **Сдвоенные нагрузки** установить флажок **Учет сдвоенных нагрузок** и уточнить значения **Понижающего коэффициента** и **Расстояния между последней осью первой и передней осью второй нагрузки**.

 Следует помнить, что сдвоенная нагрузка будет учтена только в том случае, если при задании загрузки **Нагрузка от автотранспортных средств АК** будет установлен флажок **Учет сдвоенных нагрузок**. При учете сдвоенных нагрузок сначала выполняется прокатка одного тандема, потом — двух тандемов с понижающим коэффициентом, а затем — выбор экстремальных значений рассматриваемых факторов.

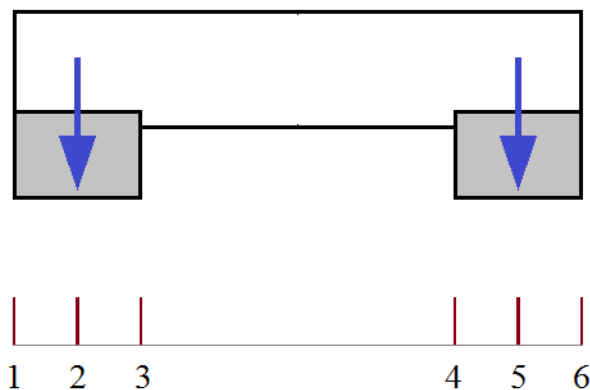



Рис. 14.11. Используемые линии влияния для прокатки подвижных нагрузок АК и НК

### Загрузка «Нагрузка от трамвайных поездов»

Временные подвижные нагрузки **Одиночный трамвай** и **Трамвайные поезда**, которые существовали в предыдущих версиях программы, объединены в один тип нагрузки — **Трамвайные поезда** (рис. 14.12), для которых задаются следующие параметры:

- полная нормативная нагрузка на ось;
- порожняя нормативная нагрузка на ось;
- коэффициент для расчета на прочность;
- коэффициент для расчета на выносливость;
- ширина колеи;
- два расстояния между осями колес  $e$  и  $d$ ;
- длина вагона;
- расстояние между поездами;
- количество вагонов;
- количество поездов.

Прокатка временной подвижной нагрузки от трамвайных поездов выполняется по двум линиям влияния, при этом пренебрегается пятном контакта колеса с рельсом.

 Количество четырехосных вагонов в одном трамвайном поезде ограничено четырьмя. Для линий влияния, имеющих два и более участков одного знака, разделяющие участки другого знака загружаются порожними вагонами (это относится и к нагрузке от подвижного состава метрополитена).

Подвижные нагрузки : Нагрузка от трамвайных поездов ( Нагрузка от трамвайных поездов )				
Имя      Нагрузка от трамвайных поездов				
Описание				
Параметры				
Коеф. для расчета на прочность $\gamma_f \cdot (1+\mu)$		Коеф. для расчета на выносливость $\gamma_f \cdot (1+\mu)$		
1.21		1.0667		
Полная нормативная нагрузка на ось (P)	Порожняя нормативная нагрузка на ось (P*)	Ширина колеи (b)	Расстояние между осями колес (e)	Расстояние между осями колес (d)
7.4949      тс	3.7475      тс	1.524      м	1.9      м	5.6      м
Длина вагона (f)	Расстояние между поездами (g)	Количество вагонов	Количество поездов	
16.2      м	1.7      м	3	1	
Уровень и траектории				
Укажите к какому уровню моста приложена эта нагрузка и по каким траекториям движется:				
Уровень приложения нагрузки	<input type="checkbox"/> 1. Траектория <input type="checkbox"/> 2. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 3. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 4. Траектория <input type="checkbox"/> 5. Траектория			
1. Уровень				

Рис. 14.12. Задание загрузки **Нагрузка от трамвайных поездов**

### Загрузка «Нагрузка от подвижного состава метрополитена»

Для временной нагрузки от подвижного состава метрополитена задаются (рис. 14.13):

- полная нормативная нагрузка на ось;
- порожняя нормативная нагрузка на ось;
- коэффициент для расчета на прочность;
- коэффициент для расчета на выносливость;
- ширина колеи;
- два расстояния между осями колес  $e$  и  $d$ ;
- длина вагона;
- количество вагонов.

При задании нагрузки от подвижного состава метрополитена описывается один вагон и указывается количество вагонов.

Подвижные нагрузки : Нагрузка от подвижного состава метрополитена ( Нагрузка от подвижного состава метрополитена )				
Имя Нагрузка от подвижного состава метрополитена				
Описание				
Параметры				
Козф. для расчета на прочность $\gamma_f \cdot (1+\psi)$			Козф. для расчета на выносливость $\gamma_f \cdot (1+\psi_d)$	
1.21			1.0667	
Полная нормативная нагрузка на ось (P)	Порожняя нормативная нагрузка на ось (P*)	Ширина колеи (b)	Расстояние между осями колес (e)	Расстояние между осями колес (d)
14.99 тс	7.4949 тс	1.52 м	2.1 м	10.5 м
Длина вагона (f)	Количество вагонов			
19.2 м	5			
Уровень и траектории				
Укажите к какому уровню моста приложена эта нагрузка и по каким траекториям движется:				
Уровень приложения нагрузки 1. Уровень		<input type="checkbox"/> 1. Траектория <input type="checkbox"/> 2. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 3. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 4. Траектория <input type="checkbox"/> 5. Траектория		

Рис. 14.13. Задание загрузки **Нагрузка от подвижного состава метрополитена**

### Загрузка «Нагрузка от негабаритных колесных средств НК»

Для временной нагрузки от негабаритных колесных средств НК задаются (рис. 14.14):

- нормативное значение нагрузки на ось;
- коэффициент для расчета на прочность;
- понижающий коэффициент для расчета по второму предельному состоянию (прим. 2 к п. 6.12 [14.7]);
- расстояние между осями колес;
- ширина колеи;
- пятно контакта колеса с дорожным покрытием.

Для временной подвижной нагрузки от негабаритных колесных средств НК предусмотрен учет сдвоенных нагрузок согласно п. 6.12 [14.7].


Для учета сдвоенных нагрузок от негабаритных колесных средств НК необходимо в блоке **Сдвоенные нагрузки** установить флажок **Учет сдвоенных нагрузок** и уточнить



значения **Понижающего коэффициента** и **Расстояния между последней осью первой и передней осью второй нагрузки**.

Подвижные нагрузки : Нагрузка от негабаритных колесных средств НК ( Нагрузка от негабаритных колесных средств НК )				
Имя Нагрузка от негабаритных колесных средств НК				
Описание				
Параметры				
Коэф. для расчета на прочность $\gamma_f \cdot (1+\psi)$			Понижающий коэф. для расчета по второму предельному состоянию	
1.1			0.8	
Нормативная нагрузка на ось (P)	Расстояние между осями колес (d)	Ширина колеи (b)	Размер колеса вдоль (c)	Размер колеса поперек (w)
25.697 тс	1.2 м	2.7 м	0.2 м	0.8 м
Сдвоенные нагрузки				
<input type="checkbox"/> Учет сдвоенных нагрузок	Понижающий коэффициент		Расстояние между последней осью первой и передней осью второй нагрузки	
	0.75		12 м	
Уровень и траектории				
Укажите к какому уровню моста приложена эта нагрузка и по каким траекториям движется:				
Уровень приложения нагрузки		<input type="checkbox"/> 1. Траектория <input type="checkbox"/> 2. Траектория <input checked="" type="checkbox"/> 3. Траектория <input type="checkbox"/> 4. Траектория <input type="checkbox"/> 5. Траектория		
1. Уровень				

Рис. 14.14. Задание загрузки **Нагрузка от негабаритных колесных средств НК**

 В отличие от учета сдвоенных нагрузок для автотранспортных средств АК, где сдвоенные нагрузки учитываются для первого и/или последнего сечения указанных элементов, учет сдвоенных нагрузок для негабаритных колесных средств НК выполняется для всех расчетных элементов. При учете сдвоенных нагрузок вначале выполняется прокатка одного экипажа НК, потом — двух экипажей НК с понижающим коэффициентом, а затем — выбор экстремальных значений рассматриваемых факторов.

### Родительское загрузение «Подвижные нагрузки»

В родительском загрузении **Подвижные нагрузки** задаются:

- $K_1$  — коэффициент сложения подвижных нагрузок от пешеходов и от автотранспортных средств АК, который вводится к нагрузке от пешеходов —  $(\Pi \cdot K_1 + АК)$ ;

- $s_2$  — коэффициент к временной нагрузке, которая оказывает меньшее воздействие при одновременном загрузении полос автомобильного движения совместно с тротуарами и рельсовых путей (метрополитена или трамвая);
- $s_1$  — коэффициенты полосности для нагрузки от автотранспортных средств АК.


Для коэффициентов полосности предусмотрена таблица, в первой строке которой указываются значения коэффициентов для равномерно распределенной нагрузки, а во второй — для тандемов. Первый столбец — для полосы, которая приводит к самым неблагоприятным результатам, второй столбец — для полосы, которая приводит к самым неблагоприятным результатам из оставшихся полос движения (исключая уже учтенную полосу) и т.д. Таблица рассчитана на 20 возможных полос движения, но использоваться будут только реально заданные полосы со всех уровней моста. При этом выбор неблагоприятной полосы движения осуществляется автоматически внутри программы.

Подвижные нагрузки : Подвижные нагрузки ( Подвижные нагрузки )																				
Имя		Подвижные нагрузки																		
Описание																				
Параметры																				
K1 =		1								S2 =		0.8								
Коэффициенты полосности S1 для нагрузки АК																				
№ полосы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Равном.	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Тандем	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Примечание:  
 K1 - коэффициент сложения пешеходов с нагрузкой АК (K1\*П+АК);  
 S2 - коэффициент к временной нагрузке, которая оказывает меньшее воздействие при одновременном загрузении полос автомобильного движения (совместно с тротуарами) и рельсовых путей (железных дорог, метрополитена или трамвая);  
 S1 - коэффициенты полосности для нагрузки АК (в первой строке указываются значения коэффициентов для равномерно распределенной нагрузки, во второй - для тандемов).

Рис. 14.15. Родительское загрузение **Подвижные нагрузки**

## 14.5 РАСЧЕТ


После задания исходных данных по системе МОСТ можно выполнить расчет. С помощью вкладки ленты или команды меню **Расчет** ⇨ **Выполнить расчет** (либо кнопки  на панели инструментов) переходим в режим **Параметры расчета**. Для запуска на расчет нажимаем кнопку **Запустить расчет**. Дожидаемся окончания расчета и, если в режиме **Параметры расчета** был установлен флажок **Переходить в результаты после успешного расчета** и расчет прошел удачно, оказываемся в режиме **Результаты расчета**.

## 14.6 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

В результатах расчета для анализа результатов от действия временных подвижных нагрузок предусмотрены два режима:

- поверхности/линии влияния;
- результаты системы МОСТ.

### Режим «Поверхности/линии влияния»

Режим **Поверхности/линии влияния** предназначен для анализа поверхностей/линий влияния для расчетных узлов и/или элементов. Вход в режим осуществляется с помощью инструментов вкладки ленты или команды меню **Спец. результаты** ⇨ **Поверхности/линии влияния** (либо кнопки  на панели инструментов). Вид панели режима **Поверхности/линии влияния** представлен на рис. 14.16.

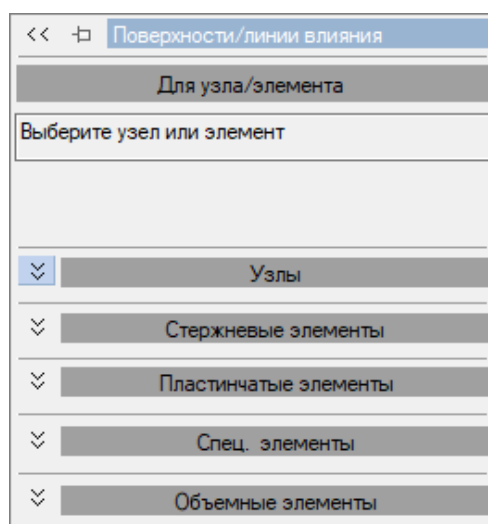


Рис. 14.16. Панель режима **Поверхности/линии влияния**

Для успешной работы с режимом нужно выбрать одну из следующих раскрывающихся вкладок:

- **Узлы;**
- **Стержневые элементы;**
- **Пластинчатые элементы;**
- **Спец. элементы;**
- **Объемные элементы.**

По умолчанию открыта вкладка **Узлы**. После выбора требуемой вкладки необходимо на расчетной схеме указать узел или элемент, соответствующий выбранной вкладке (программа автоматически отсеивает не соответствующие выбору объекты). После этого, если выбранный узел/элемент был расчетным для системы МОСТ (п. 14.2), становится возможным для поверхности влияния посмотреть мозаику, а для линии влияния — эпюру либо мозаику по выбранному фактору. На рис. 14.17 показана мозаика поверхности влияния перемещения Z для центрального узла мостового полотна. Поверхность влияния можно рассечь

произвольным сечением, в результате будет получена линия влияния для произвольного сечения поверхности влияния.

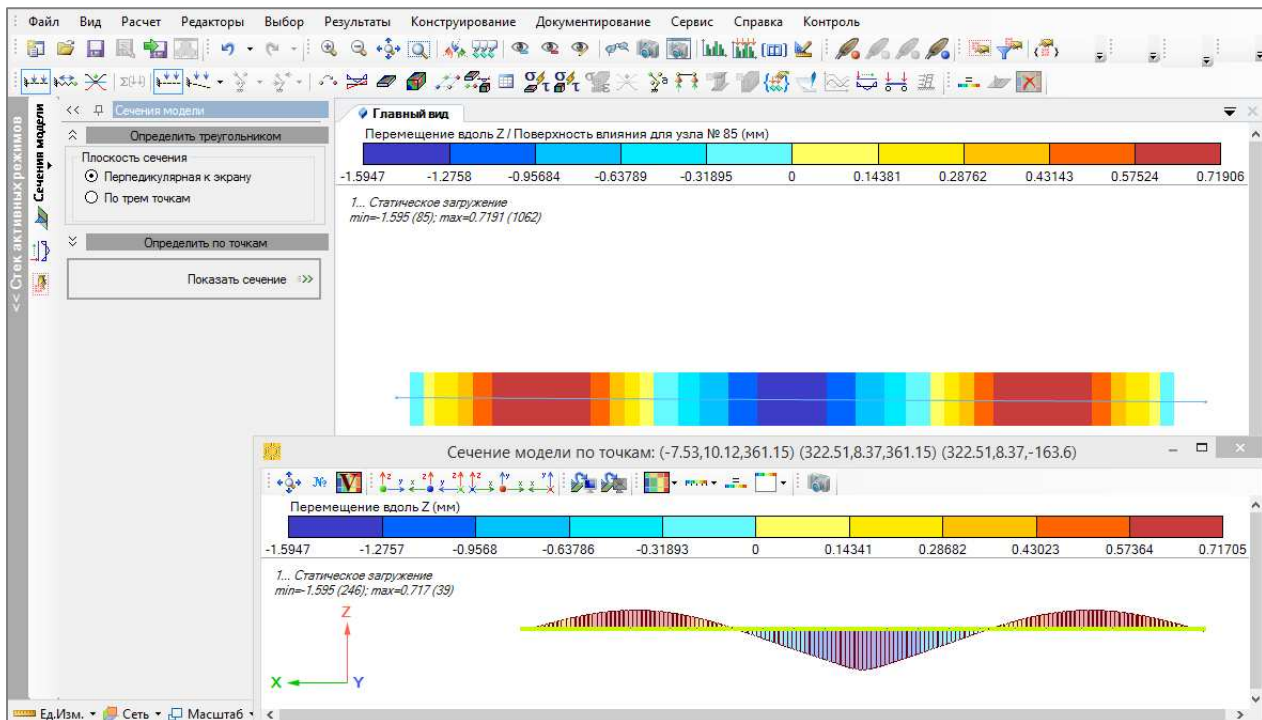



Рис. 14.17. Мозаика поверхности влияния перемещения Z и линия влияния, полученная сечением поверхности влияния

### Режим «Результаты системы МОСТ»

Режим **Результаты системы МОСТ** предназначен для анализа результатов от действия статических нагрузок, подвижных нагрузок и их комбинаций для расчетных узлов и/или элементов. Вход в режим осуществляется с помощью команды меню **Спец. результаты** ⇒ **Результаты системы МОСТ** (либо одноименной команды на вкладке **Спец. результаты** ленты, либо кнопки  на панели инструментов). Вид панели режима **Результаты системы МОСТ** представлен на рис. 14.18.

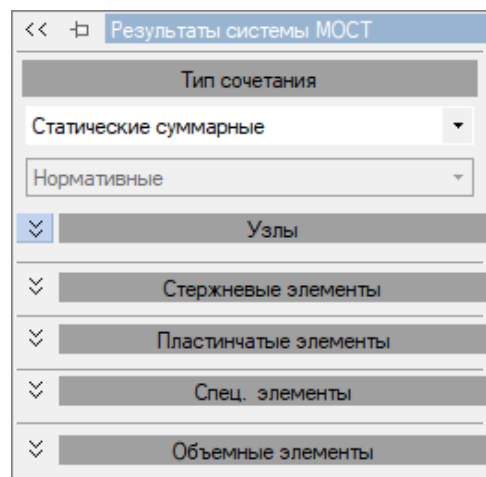


Рис. 14.18. Панель режима **Результаты системы МОСТ**

В раскрывающемся списке **Тип сочетания** выбирается, от действия каких нагрузок будут выводиться значения огибающих факторов (рис. 14.19). Список формируется динамически, в зависимости от имеющихся временных подвижных нагрузок. В этом списке могут присутствовать комбинации, которые обозначают следующее:

- **Комбинация 1** — суммарные статические загрузки + пешеходы + полосы АК + рельсовый транспорт;
- **Комбинация 2** — суммарные статические загрузки + НК;
- **Комбинация 3** — худшая из комбинаций 1 и 2.

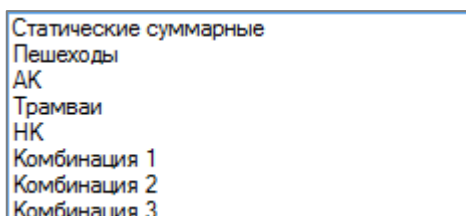


Рис. 14.19. Список присутствующих статических нагрузок, подвижных нагрузок и их комбинаций

Для раскрывающейся вкладки **Узлы** можно смотреть только нормативные значения огибающих факторов. Для раскрывающихся вкладок по элементам доступны:

1. Для статических суммарных:
  - нормативные;
  - расчетные  $\gamma_f > 1$ ;
  - расчетные  $\gamma_f < 1$ .
2. Для пешеходов, НК и комбинации 2:
  - нормативные;
  - расчетные.
3. Для остальных подвижных нагрузок и комбинаций:
  - нормативные;
  - расчетные;
  - выносливость.

Для расчетных узлов и элементов результаты представлены в виде минимальных и максимальных значений факторов. На рис. 14.20 представлена развернутая вкладка **Стержневые элементы**.

Для визуального представления минимальных и максимальных значений факторов доступны мозаика и эпюры.

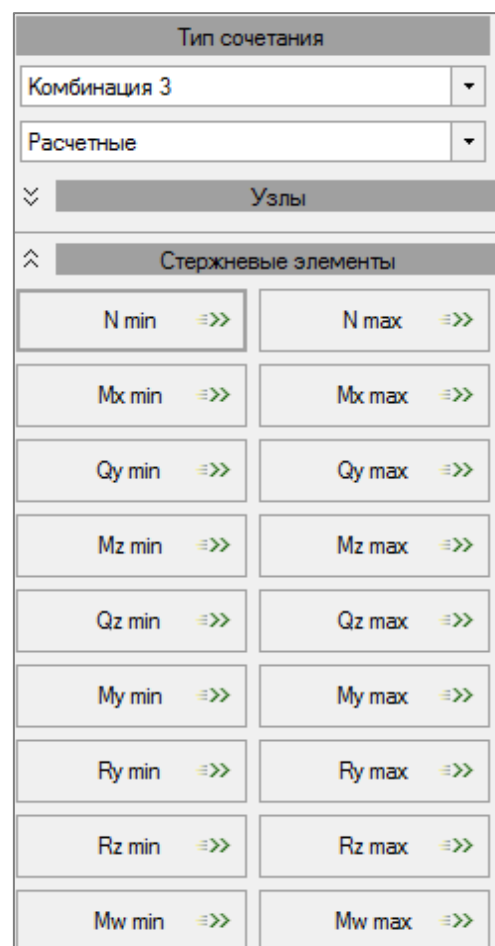



Рис. 14.20. Вкладка **Стержневые элементы**

## Таблицы системы МОСТ

Режим **Таблицы результатов** предназначен для формирования таблиц исходных данных и результатов расчета. Переход в режим **Таблицы результатов** осуществляется с помощью команды меню **Документирование** ⇨ **Таблицы результатов** (либо одноименной команды на вкладке **Анализ и документирование** ленты, либо кнопки  на панели инструментов). Режим **Таблицы результатов** подробно описан в п. 3.10.2.

В сокращенном списке таблиц представлены только таблицы для комбинаций 1–3. Полный же перечень таблиц весьма внушителен. Сами таблицы разбиты по категориям:

- по типам загрузок (нормативные, расчетные, для расчетов выносливости);
- по видам нагрузок (статические, Пешеходы, АК, Трамвайные поезда, Поезда метрополитена, НК, Комбинация 1, Комбинация 2, Комбинация 3);
- по примитивам расчетной схемы (узлы, стержни, пластины, объемные и специальные элементы).

Табличное представление результатов по подвижным нагрузкам реализовано с подсветкой минимальных и максимальных значений выводимых факторов.

## ГЛАВА 15. СИСТЕМА СЕЧЕНИЕ

Система «СЕЧЕНИЕ» предназначена для определения упруго-геометрических характеристик композитных поперечных сечений стержней произвольной формы.

### 15.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

При создании задачи необходимо указать, что будет использована система «СЕЧЕНИЕ» (см. п. 2.3).

Построение геометрии сечения осуществляется с помощью обычных инструментов построения в ПК ЛИРА 10 (см. Главу 2). Поперечные сечения могут быть построены с помощью одномерных или двумерных элементов, а также их комбинации (рис. 15.1). Одномерные элементы моделируют тонкостенные участки сечения.

При использовании одномерного элемента необходимо задать его толщину. Для этого нужно перейти в редактор сечений/жесткостей (см. п. 2.13) и в раскрывающемся списке **Специальные сечения** выбрать элемент **Ширина участка**. Также элементам поперечного сечения нужно назначить материалы (см. п. 2.14).

Следует отметить, что назначать связи сечения не нужно.

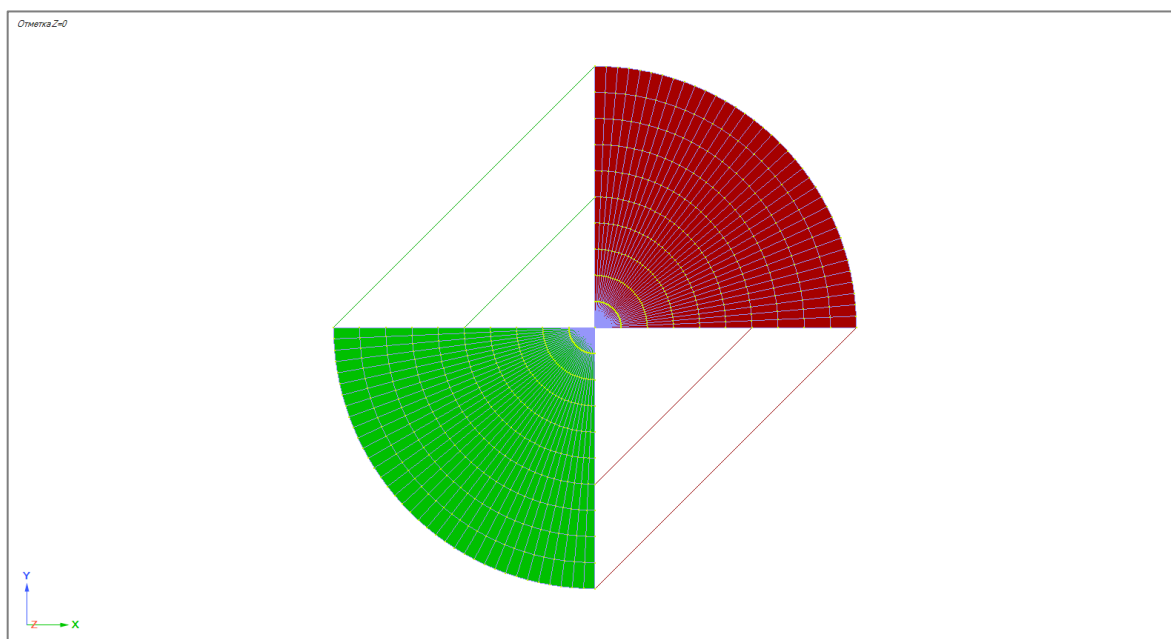



Рис. 15.1. Произвольное композитное сечение

### 15.2 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для просмотра графических результатов расчета поперечного сечения воспользуйтесь вкладкой ленты или командой меню **Спец. результаты** ⇨ **Расчет сечения** (либо кнопкой  на панели инструментов). Активизируется режим **Расчет сечения** (рис. 15.2), который позволяет вывести на экран следующие графические результаты (рис. 15.3):

- центр масс;


- центр жесткости;
- центр кручения;
- центр сдвига (изгиба);
- центр пересечения нейтральных осей;
- глобальные оси;
- главные оси;
- главные оси масс;
- вспомогательные оси;
- нейтральные оси;
- ядро сечения;
- эллипс инерции.

Также данное меню дает возможность посмотреть распределение следующих факторов:

- $W$  — секториальные координаты;
- $\sigma_x$  — нормальное напряжение;
- $\tau_{xy}, \tau_{xz}$  — касательные напряжения;
- $\varepsilon_x$  — линейная деформация;
- $\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{xz}$  — сдвиговые деформации;
- $\sigma_1, \sigma_3$  — главные напряжения;
- $\tau_{max}$  — максимальное касательное напряжение;
- $\sigma_E, \sigma_S$  — эквивалентные напряжения.

Для вывода на экран распределения напряжений (рис. 15.4) или деформаций необходимо в соответствующих полях ввода на вкладке **Напряжения** ввести значения усилий, которые действуют в центре жесткости сечения. Для использования различных теорий прочности необходимо ввести дополнительные параметры (см. п. 3.4).

Помимо графических результатов, пользователю предоставляется возможность просмотра табличных результатов расчета. Для вызова табличных результатов воспользуйтесь вкладкой ленты **Анализ и документирование** или командой меню **Документирование** ⇨ **Таблицы результатов** (либо

кнопкой  на панели инструментов). Перечень рассчитываемых характеристик приведен в таблице 15.1.

Рассчитанное поперечное сечение стержня можно импортировать в обычную задачу, используя **Редактор сечений/жесткостей** ⇨ **Специальные сечения** ⇨ **Импортированное сечение стержня**.

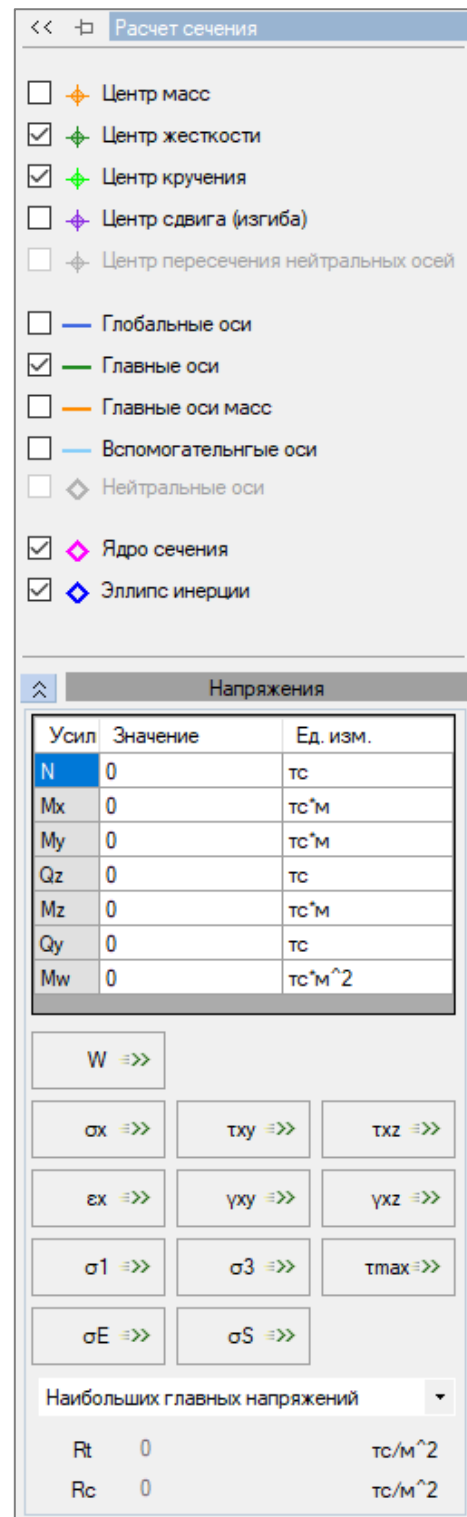


Рис. 15.2. Режим **Расчет сечения**



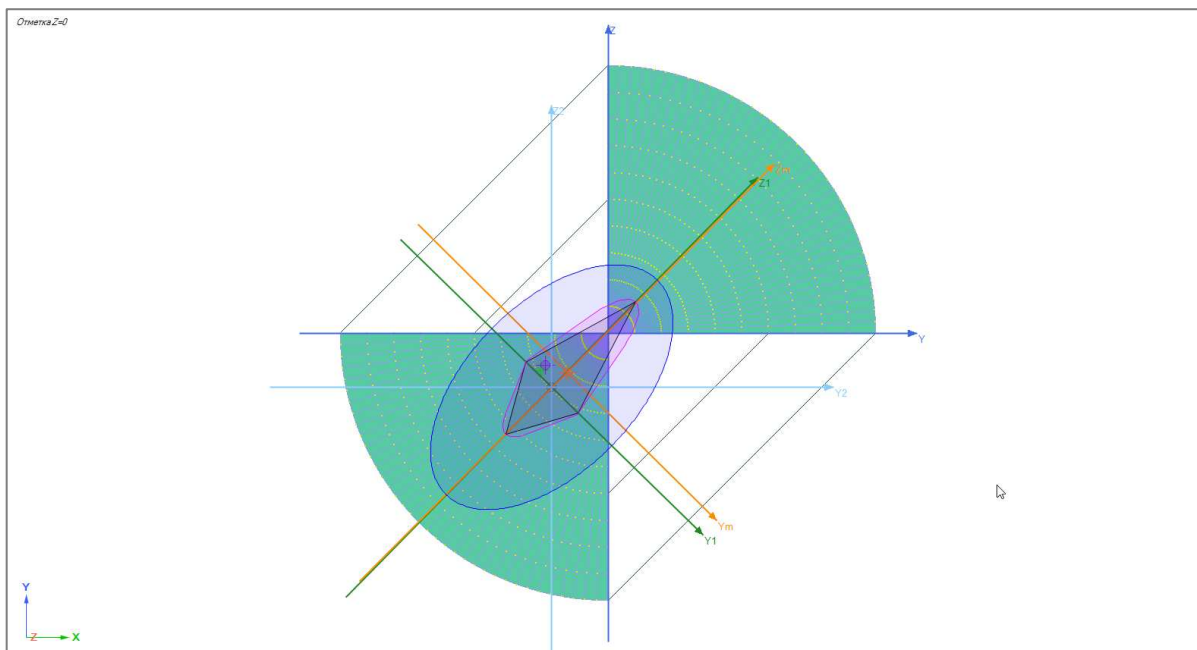


Рис. 15.3. Графические результаты расчета

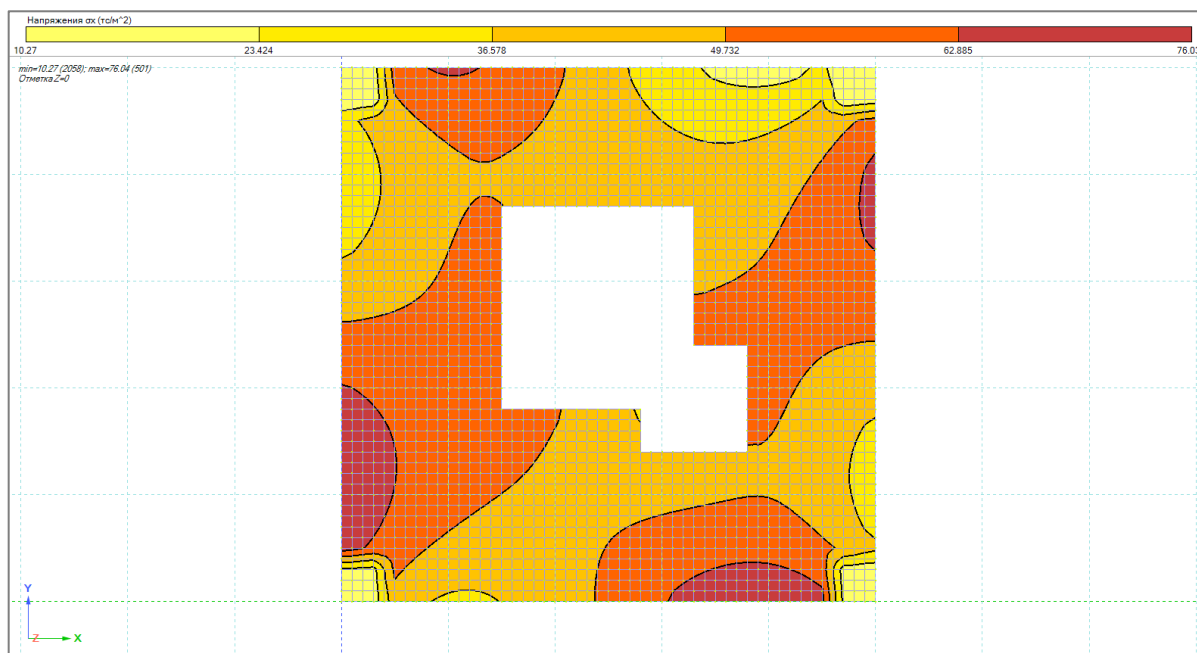


Рис. 15.4. Распределение напряжений

Таблица 15.1. Рассчитываемые характеристики сечений

Наименование раздела / Наименование характеристики	Обозначение	Единицы измерения
ГХС, полученные в глобальной ХОУ и вспомогательной Y2O2Z2 системах координат (под вспомогательной системой координат имеется в виду центральная система координат, параллельная глобальной системе координат)		
Координаты центра жесткости в глобальной системе координат	Xg	см
	Yg	см
Площадь поперечного сечения	F	см <sup>2</sup>
Момент инерции относительно вспомогательной оси Y2	Iy2	см <sup>4</sup>
Момент инерции относительно вспомогательной оси Z2	Iz2	см <sup>4</sup>

Наименование раздела / Наименование характеристики	Обозначение	Единицы измерения
Центробежный момент инерции относительно вспомогательных осей Y2 и Z2	$I_{y2z2}$	см <sup>4</sup>
Радиус инерции относительно вспомогательной оси Y2	$r_{y2}$	см
Радиус инерции относительно вспомогательной оси Z2	$r_{z2}$	см
Угол поворота главных центральных осей инерции по отношению к вспомогательным осям Y2 и Z2 (положительный против часовой стрелки)	$\varphi$	°
Габаритная ширина поперечного сечения в глобальной системе координат	b	см
Габаритная высота поперечного сечения в глобальной системе координат	h	см
Периметр внешнего контура	$P_{ext}$	см
Периметр внутренних контуров	$P_{int}$	см
Полный периметр	$P_{all}$	см
<b>ГХС, полученные в местной Y1O1Z1 системе координат</b>		
Главный момент инерции относительно местной оси Y1	$I_{y1}$	см <sup>4</sup>
Главный момент инерции относительно местной оси Z1	$I_{z1}$	см <sup>4</sup>
Статический момент полусечения относительно местной оси Y1	$S_{y1}$	см <sup>3</sup>
Статический момент полусечения относительно местной оси Z1	$S_{z1}$	см <sup>3</sup>
Момент сопротивления изгибу относительно местной оси Y1 по Z1+	$W_{y1+}$	см <sup>3</sup>
Момент сопротивления изгибу относительно местной оси Y1 по Z1-	$W_{y1-}$	см <sup>3</sup>
Момент сопротивления изгибу относительно местной оси Z1 по Y1+	$W_{z1+}$	см <sup>3</sup>
Момент сопротивления изгибу относительно местной оси Z1 по Y1-	$W_{z1-}$	см <sup>3</sup>
Главный радиус инерции относительно местной оси Y1	$r_{y1}$	см
Главный радиус инерции относительно местной оси Z1	$r_{z1}$	см
Максимальная ордината ядрового расстояния	Y1+	см
Минимальная ордината ядрового расстояния	Y1-	см
Максимальная аппликата ядрового расстояния	Z1+	см
Минимальная аппликата ядрового расстояния	Z1-	см
Интеграл $S(Y1*(Y1*Y1+Z1*Z1)/I_{z1})dF$	Y1i	см
Интеграл $S(Z1*(Y1*Y1+Z1*Z1)/I_{y1})dF$	Z1i	см
Габаритная ширина поперечного сечения в местной системе координат	b1	см
Габаритная высота поперечного сечения в местной системе координат	h1	см
Полярный момент инерции	$I_p$	см <sup>4</sup>
Полярный момент сопротивления	$W_p$	см <sup>3</sup>
Полярный радиус инерции	$r_p$	см
<b>Пластические характеристики</b>		
Координаты пересечения нейтральных осей в местной системе координат	Y1pl	см
	Z1pl	см
Пластический момент сопротивления изгибу относительно оси Ypl	$W_{ypl}$	см <sup>3</sup>
Пластический момент сопротивления изгибу относительно оси Zpl	$W_{zpl}$	см <sup>3</sup>
<b>Крутильные характеристики</b>		
Координаты центра кручения в местной системе координат	Y1t	см
	Z1t	см
Момент инерции при свободном кручении	$I_t$	см <sup>4</sup>

Наименование раздела / Наименование характеристики	Обозначение	Единицы измерения
Секториальный момент инерции	$I_w$	$\text{см}^6$
Момент сопротивления при свободном кручении	$W_t$	$\text{см}^3$
Секториальный момент сопротивления	$W_w$	$\text{см}^4$
<b>Сдвиговые характеристики</b>		
Координаты центра сдвига (изгиба) в местной системе координат	$Y_{1s}$	$\text{см}$
	$Z_{1s}$	$\text{см}$
Сдвиговая площадь по нормали к оси $Y_1$	$F_{y1}$	$\text{см}^2$
Сдвиговая площадь по нормали к оси $Z_1$	$F_{z1}$	$\text{см}^2$
Момент сопротивления сдвигу вдоль оси $Y_1$	$W_{Qy1}$	$\text{см}^2$
Момент сопротивления сдвигу вдоль оси $Z_1$	$W_{Qz1}$	$\text{см}^2$
<b>Массово-инерционные характеристики</b>		
Координаты центра масс в глобальной системе координат	$X_m$	$\text{см}$
	$Y_m$	$\text{см}$
Координаты центра масс в местной системе координат	$Y_{1m}$	$\text{см}$
	$Z_{1m}$	$\text{см}$
Момент инерции массы относительно вспомогательной оси $Y_2$	$I_{my2}$	$\text{см}^4$
Момент инерции массы относительно вспомогательной оси $Z_2$	$I_{mz2}$	$\text{см}^4$
Центробежный момент инерции массы относительно вспомогательных осей $Y_2$ и $Z_2$	$I_{my2z2}$	$\text{см}^4$
Угол поворота главных осей масс	$\beta$	$^\circ$
Главный момент инерции массы относительно оси масс $Y_3$	$I_{y3}$	$\text{см}^4$
Главный момент инерции массы относительно оси масс $Z_3$	$I_{z3}$	$\text{см}^4$
Координаты центра кручения масс в местной системе координат	$Y_{1tm}$	$\text{см}$
	$Z_{1tm}$	$\text{см}$
Секториальный момент инерции масс	$I_{wm}$	$\text{см}^6$
<b>Приведенные характеристики материала</b>		
Усредненный модуль упругости	$E_s$	$\text{тс}/\text{м}^2$
Усредненный коэффициент Пуассона	$\nu_s$	
Усредненный модуль сдвига	$G_s$	$\text{тс}/\text{м}^2$
Усредненная плотность	$\rho_s$	$\text{тс}/\text{м}^3$
<b>Жесткостные характеристики</b>		
Продольная жесткость	$EF$	$\text{тс}$
Изгибная жесткость относительно местной оси $Y_1$	$EI_{y1}$	$\text{тс} \cdot \text{м}^2$
Изгибная жесткость относительно местной оси $Z_1$	$EI_{z1}$	$\text{тс} \cdot \text{м}^2$
Жесткость при свободном кручении	$GI_t$	$\text{тс} \cdot \text{м}^2$
Сдвиговая жесткость по нормали к местной оси $Y_1$	$GF_{y1}$	$\text{тс}$
Сдвиговая жесткость по нормали к местной оси $Z_1$	$GF_{z1}$	$\text{тс}$
Секториальная жесткость	$EI_w$	$\text{тс} \cdot \text{м}^4$
Погонная нагрузка	$g$	$\text{тс}/\text{м}$

## ГЛАВА 16. СИСТЕМА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ» предназначена для решения линейных задач стационарной или нестационарной теплопроводности. Данная система может работать совместно с системами «МОНТАЖ», «ФИЛЬТРАЦИЯ» и «ДИНАМИКА+».

С системой «ДИНАМИКА+» активизируется нестационарная теплопроводность. При этом нестационарная теплопроводность не может сочетаться с задачей фильтрации.

Вычисленная температура является нагрузкой для линейной или нелинейной статической задачи.

### 16.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения расчета температурного поля необходимо при создании задачи установить флажок **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)** в окне **Параметры проекта** (см. п. 2.3). В табл. 16.1 приведены возможные комбинации для создания задачи с использованием теплопроводности.


Таблица 16.1 Типы создаваемых задач

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Линейная задача со стационарной теплопроводностью	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача со стационарной теплопроводностью	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Линейная монтажная задача со стационарной теплопроводностью	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

## Продолжение таблицы 16.1

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Нелинейная монтажная задача со стационарной теплопроводностью	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача со стационарной теплопроводностью и расчетом фильтрации	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача со стационарной теплопроводностью и расчетом фильтрации	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Линейная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Линейная монтажная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Нелинейная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Чтобы задать загрузки, нужно воспользоваться редактором загрузок. Для перехода в редактор необходимо выполнить команду **Редакторы ⇨ Редактор загрузок** или нажать кнопку  на панели инструментов. В зависимости от выбранной комбинации систем, для стационарной теплопроводности будут доступны следующие типы загрузок:

- вычисление температурного поля;
- стадия нелинейного нагружения с вычислением температурного поля;
- стадия возведения сооружения с вычислением температурного поля.

При решении задачи нестационарной теплопроводности температурная задача решается в рамках динамического нагружения.

Задание параметров загрузок для задач вычисления температурного поля ничем не отличается от статических или нелинейных загрузок. Нагрузки, используемые в системе «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ», перечислены в Главе 2 (п. 2.10).

Построение геометрии схемы осуществляется с помощью обычных инструментов построения ПК ЛИРА 10.12 (см. Главу 2). В расчете теплопроводности могут участвовать все имеющиеся в ПК ЛИРА 10.12 конечные элементы (кроме, естественно, специальных).

Граничные условия теплопроводности в ПК ЛИРА 10.12 моделируются нагрузками **Заданная температура в узле**, связями по температуре или элементами теплообмена.

Связь по температуре эквивалентна заданной температуре в узле, равной нулю. Отсутствие граничных условий соответствует термоизоляции — тепловой поток через поверхность равен нулю.

Моделирование теплообмена с окружающей средой осуществляется специальными элементами поверхностного теплообмена 151 (одноузловой), 168 (стержневой), 162 и 164 (пластинчатые). Эти элементы нужно располагать на поверхности объекта, на которой происходит теплообмен с внешней средой. Конечные элементы с соответствующими элементами теплообмена показаны на рис. 16.1.

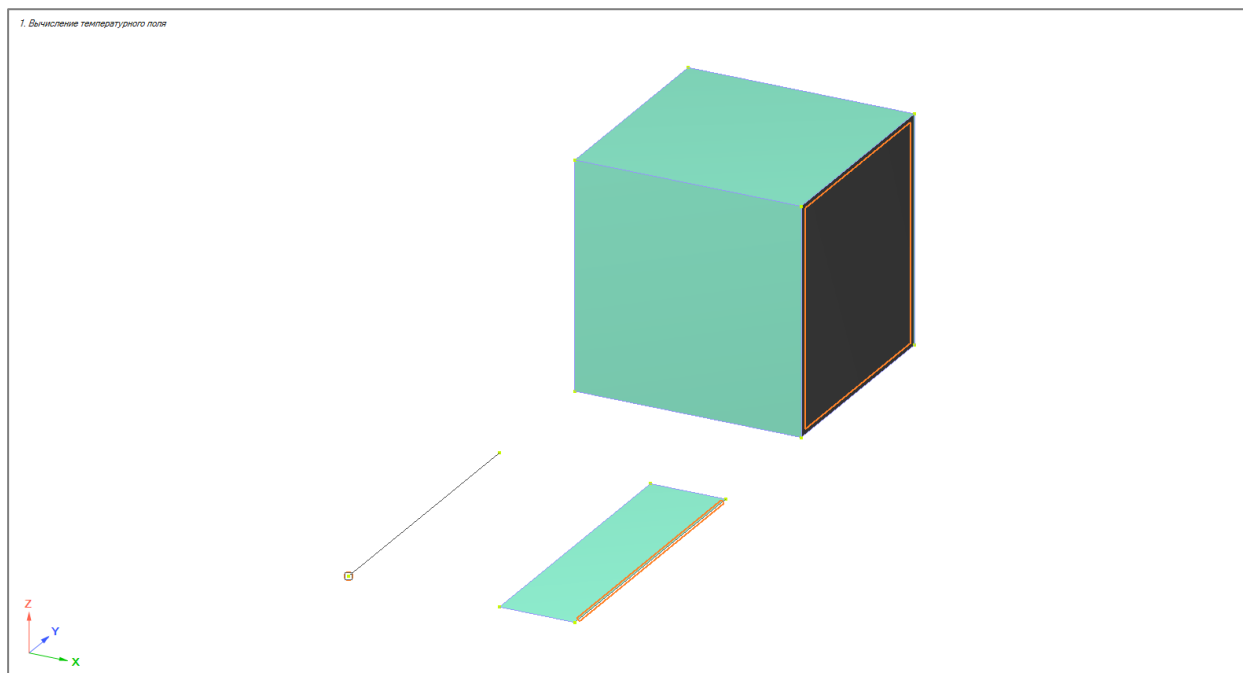


Рис. 16.1. Конечные элементы с соответствующими элементами теплообмена

Для каждого типа элементов теплообмена существуют нагрузка (температура окружающей среды) и специальный материал, позволяющий задать коэффициент теплообмена и размер элемента (для стержневого — ширина, для одноузлового — площадь). Специальные материалы доступны в редакторе материалов в раскрывающемся списке **Специальные материалы** (рис. 16.2).

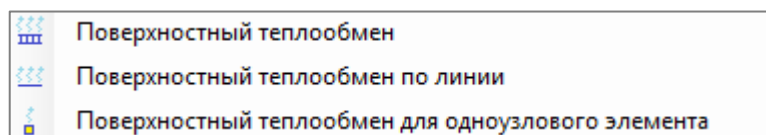


Рис. 16.2. Специальные материалы для поверхностного теплообмена

Задание параметров материала для расчета температурного поля осуществляется в **Редакторе материалов** (рис. 16.3).

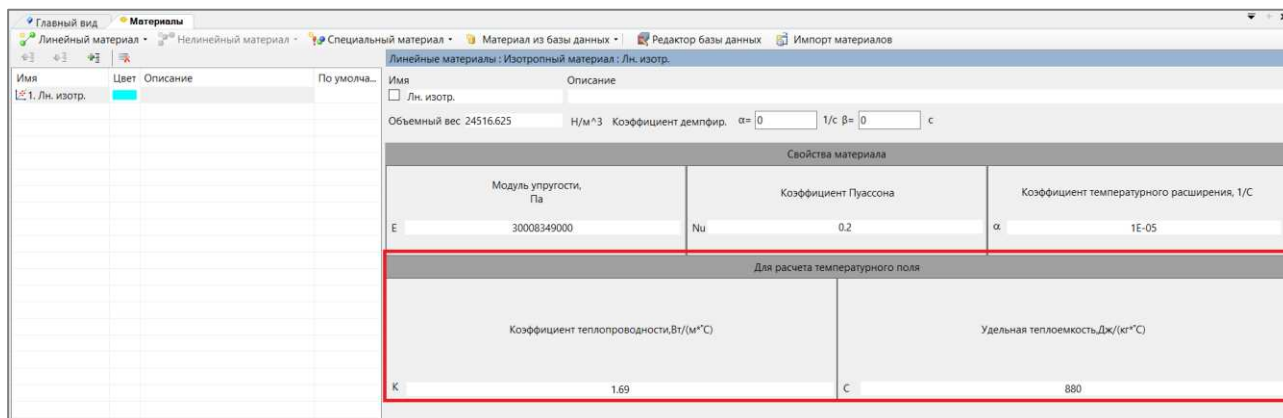


Рис. 16.3. Теплофизические свойства материала

Для задач теплопроводности есть возможность назначить начальную температуру в узлах (см. п. 2.11.21). Также начальная температура может быть применена путем переноса расчета температурного поля из выбранного загружения в исходные данные для выделенных узлов или всей схемы (см. Главу 3). Перенос начальной температуры полезен, например, если нужно посчитать на первом шаге стационарную задачу теплопроводности, а на втором — нестационарную тепловую задачу. Если задана ненулевая начальная температура, то для назначения нагрузок температура может учитываться как приращение или как абсолютное значение.

## 16.2 РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Для моделирования сложных и разнообразных процессов теплопереноса, конвективного теплообмена все большую популярность приобретают численные методы. Преимущества численных методов заключаются в том, что они позволяют получить искомый результат с учетом реальных свойств материалов и геометрии всех входящих в расчетную область тел. Одним из таких методов является метод конечных элементов, используемый для решения дифференциальных уравнений с частными производными, возникающих при решении задач прикладной физики.

В матричном виде нестационарное уравнение теплопроводности записывается в виде:

$$[C] \cdot \frac{\partial}{\partial t} \{T\} + [K] \cdot \{T\} = \{F\},$$

где  $[K]$  — положительно определенная симметричная матрица коэффициентов теплопроводности, или просто матрица теплопроводности;

$[C]$  — матрица теплоемкости;

$\{T\}$  и  $\{F\}$  — вектора температуры и правой части соответственно.

В ПК ЛИРА 10 используется неявная схема интегрирования:

$$[C] \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta\tau} + [K] \cdot T_{i+1} = F_i,$$


где  $\Delta\tau$  — шаг по времени (шаг дискретизации);

$T_i, T_{i+1}$  — вектора температур в текущий и следующий моменты времени;

$F_i$  — вектор правой части в текущий момент времени.

## 16.3 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для просмотра результатов расчета температурного поля воспользуйтесь командой

**Спец. результаты** ⇨ **Теплопроводность** или кнопкой  на панели инструментов. Эти же результаты можно вывести и в табличном виде (с помощью режима **Таблицы результатов**).

Панель режима **Температурное поле** (рис. 16.4) позволяет выводить на экран результаты распределения начальной и фактической, для данного загружения, температуры по узлам или элементам, а также плотность теплового потока по элементам.



При просмотре результатов плотности теплового потока и установленном флажке **Направление температурного градиента для пластинчатых элементов** в центре элементов будут отображены векторы направления температурного градиента (рис. 16.5).

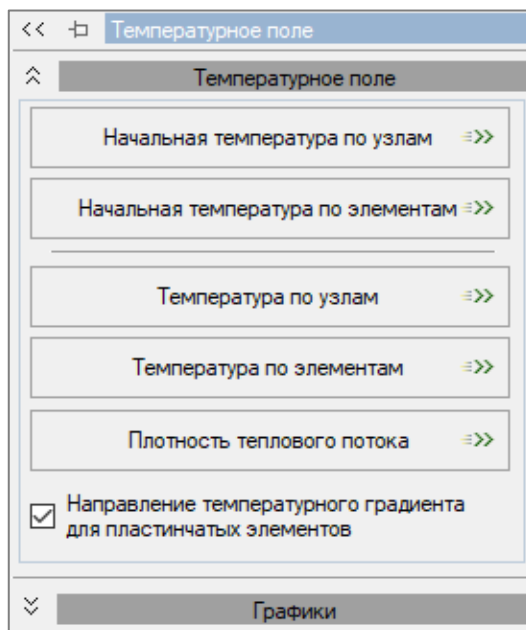


Рис. 16.4. Панель режима Температурное поле

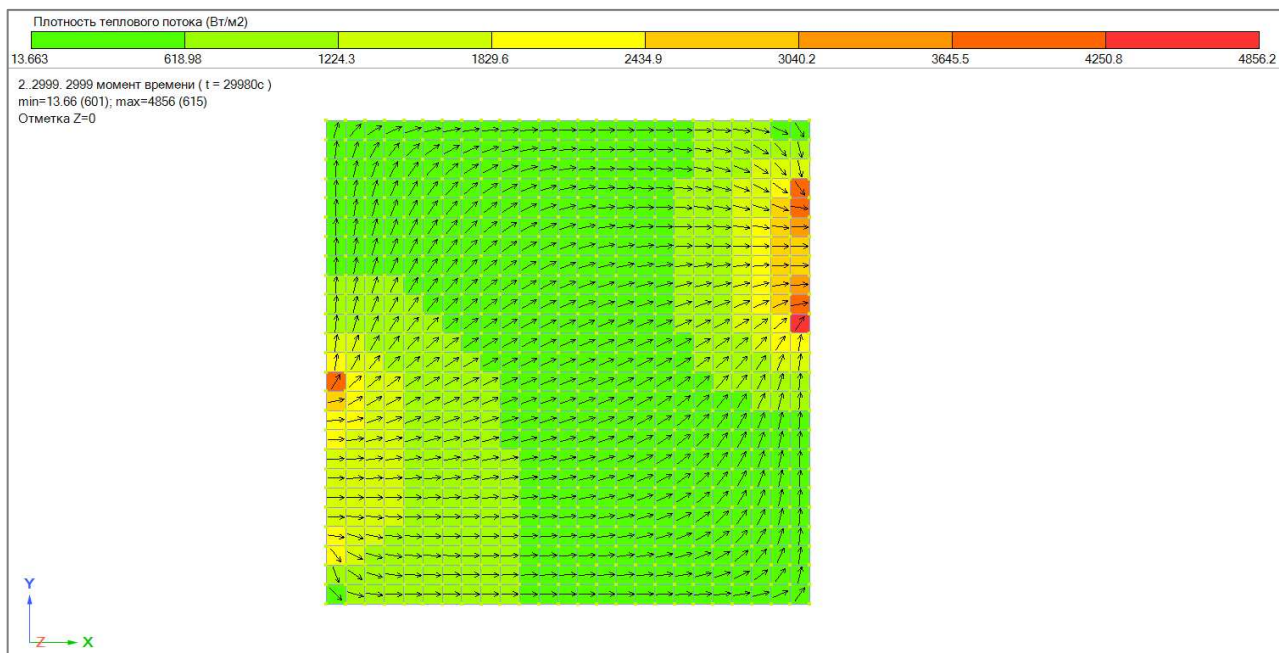



Рис. 16.5. Результаты расчета температурного поля

## ГЛАВА 17. СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИЯ

Система «ФИЛЬТРАЦИЯ» позволяет производить расчет поля давления и скорости фильтрации грунтовых вод в расчетных схемах с произвольной геометрией для дальнейшего определения напряженно-деформированного состояния от действия вычисленного порового давления. Расчет выполняется как с учетом физически нелинейных свойств грунта, так и с учетом изменения геометрии конструкции (Монтаж + Фильтрация). Кроме этого реализована возможность совмещения расчета фильтрации с расчетом стационарной теплопроводности в рамках одной задачи.

### 17.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения расчета поля давления и скорости фильтрации грунтовых вод необходимо указать при создании задачи, что в задаче будет использоваться система «ФИЛЬТРАЦИЯ» (см. п. 2.3). Чтобы задать загрузки, нужно воспользоваться редактором загрузений. Для перехода в редактор нужно выполнить команду меню **Редакторы** ⇨ **Редактор загрузений** (либо одноименную команду на вкладке **Редакторы и конструирование** ленты, либо нажать кнопку  на панели инструментов). В зависимости от выбранной комбинации систем, будут доступны следующие типы загрузений:

- стадия нелинейного загрузения с расчетом фильтрации;
- стадия возведения сооружения с расчетом фильтрации.


Построение геометрии схемы осуществляется с помощью обычных инструментов ПК ЛИРА 10.12 (см. Главу 2). В расчете фильтрации участвуют только элементы грунта и элементы экранирующего слоя.

Для типов материалов плоского и объемного грунта добавлены фильтрационные характеристики, которые нужно указать в **Редакторе материалов** (рис. 17.1). Для типов элементов экранирующего слоя, которые моделируют высачивание, нужно также задать свойства на границе (рис. 17.2 и 17.3).

Нагрузок на элементы в системе «ФИЛЬТРАЦИЯ» нет.

Граничными условиями в системе «ФИЛЬТРАЦИЯ» является давление жидкости, которое назначается в узлах схемы и задается либо отдельной нагрузкой на узел, либо с помощью нагрузок на группу узлов (трапециевидная или по функции). Также граничным условием высачивания является наличие элемента экранирующего слоя. Подробнее см. в Главе 2 и 19. Отсутствие граничных условий означает непроницаемую границу — скорость фильтрации по направлению нормали к границе равна нулю.

### 17.2 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для просмотра результатов расчета фильтрации воспользуйтесь командой меню **Спец. результаты** ⇨ **Фильтрация** (либо одноименной командой на вкладке **Спец. результаты** ленты, либо кнопкой  на панели инструментов). Эти же результаты можно вывести и в табличном виде (с помощью режима **Таблицы результатов**).

На рис. 17.4 показана панель режима **Поле давления**, которая позволяет выводить на экран поле давления жидкости по узлам или элементам, а также скорость фильтрации по элементам. При просмотре результатов скорости фильтрации и установленном флажке **Направление градиента скорости фильтрации для пластинчатых элементов**, в центре элементов будут отображены векторы направления градиента скорости фильтрации (рис. 17.5).

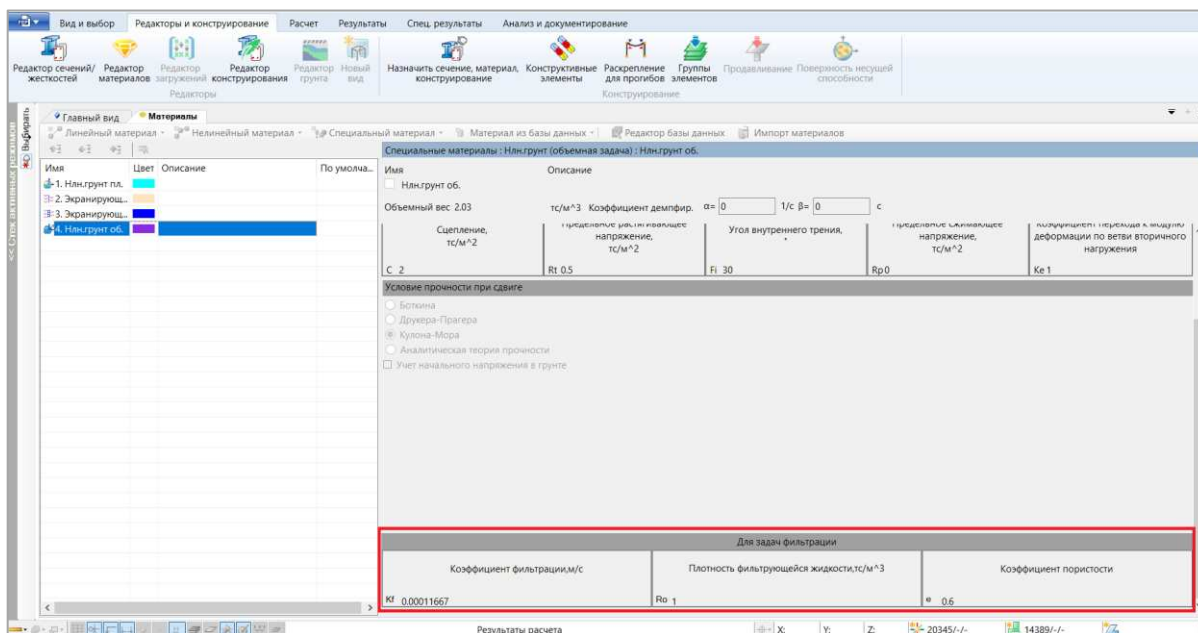


Рис. 17.1. Фильтрационные свойства материала

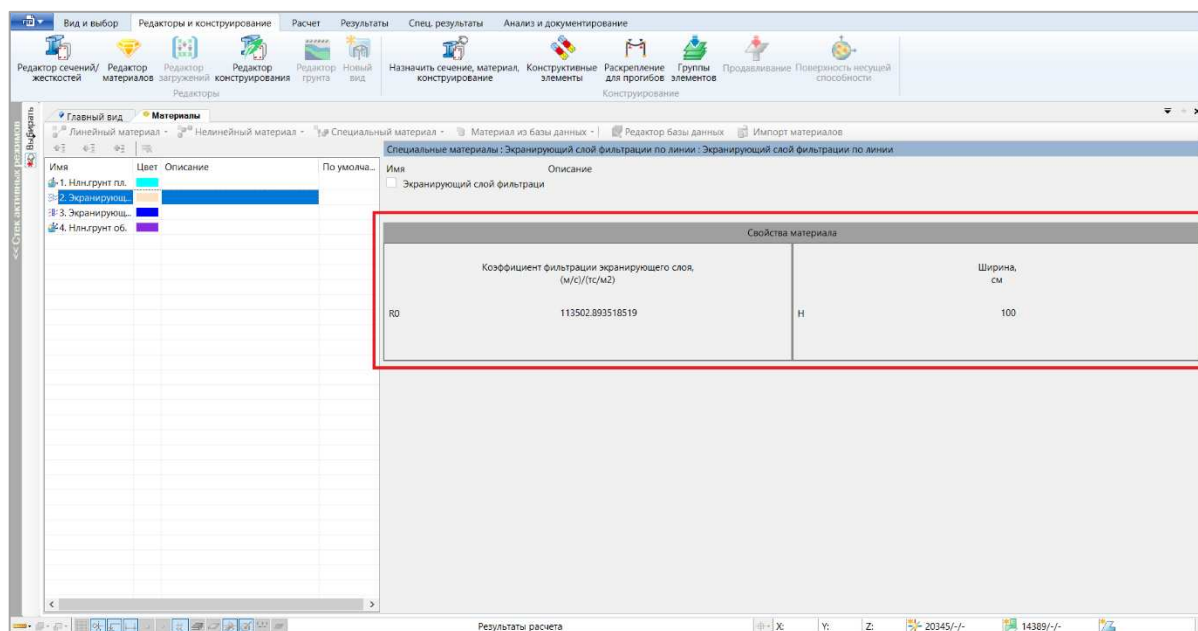


Рис. 17.2. Фильтрационные свойства экранирующего слоя для плоской задачи

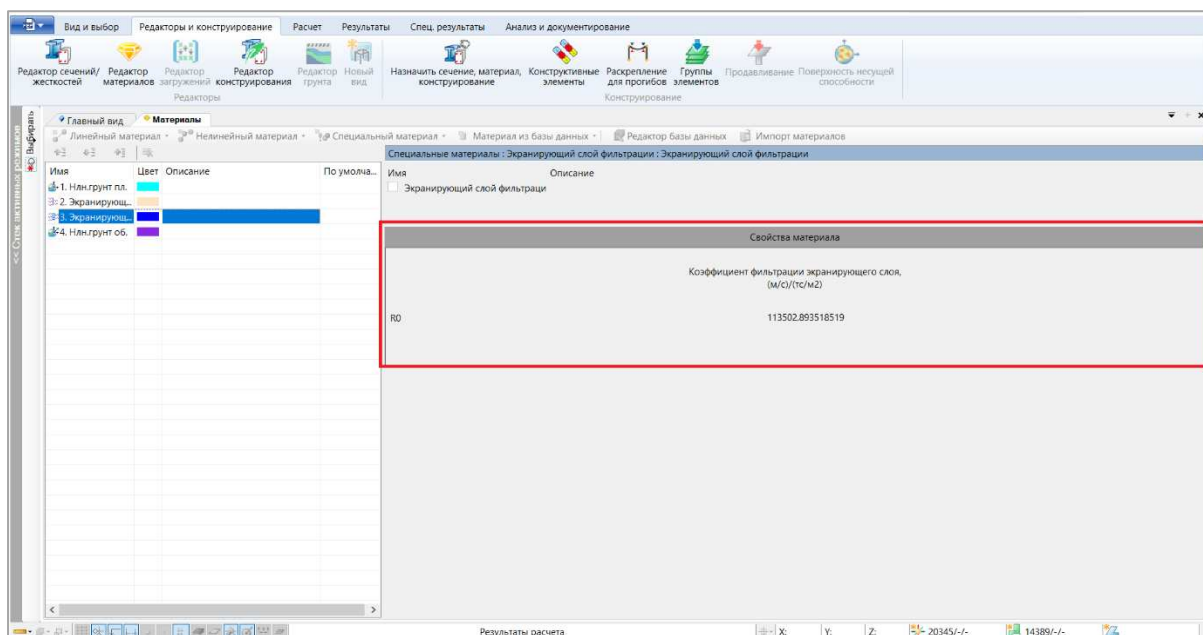


Рис. 17.3. Фильтрационные свойства экранирующего слоя для объемной задачи

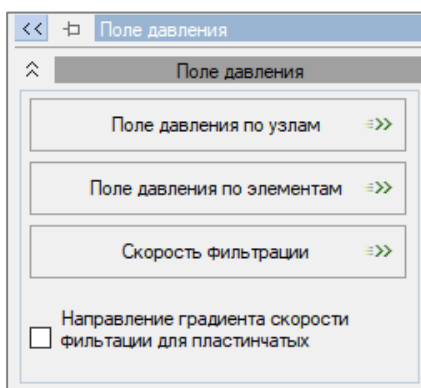


Рис. 17.4. Панель Поле давления

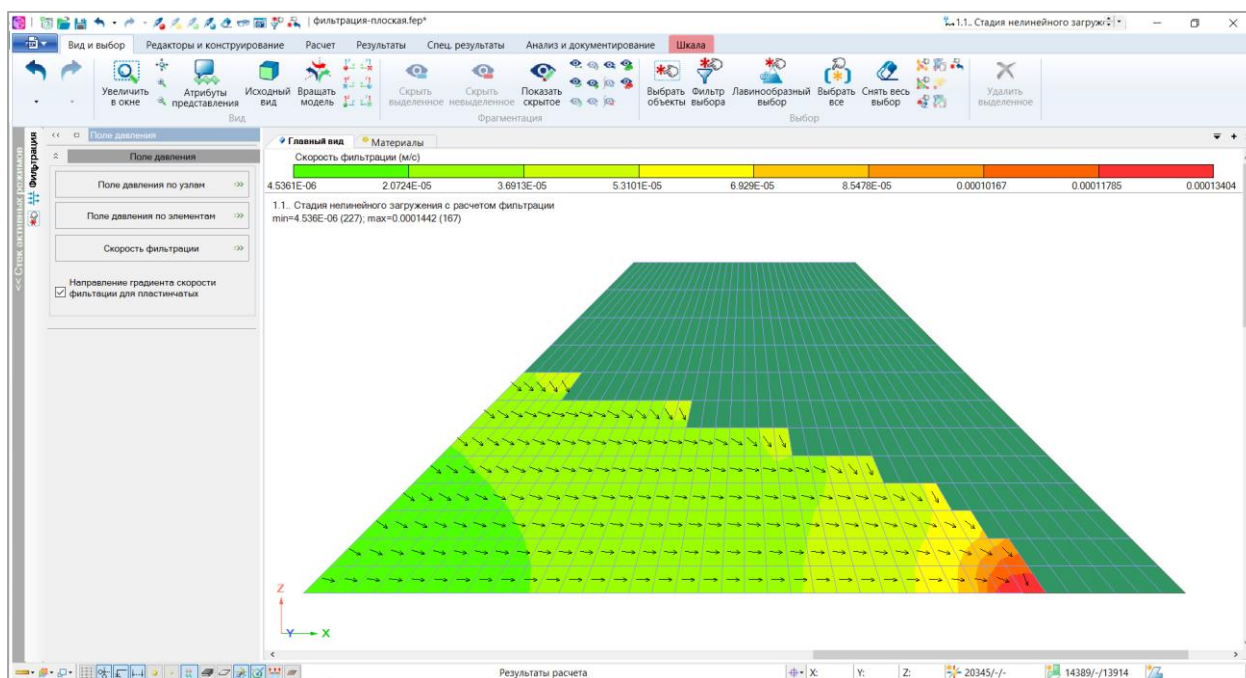


Рис. 17.5. Результаты расчета

## ГЛАВА 18. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

### 18.1 ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ

Расчетный процессор ПК ЛИРА 10 предназначен для решения линейных и нелинейных статических и динамических задач механики сплошной среды. Теория изложена в [18.3–18.5, 18.7, 18.11, 18.14, 18.29, 18.39, 18.41, 18.47, 18.48, 18.54, 18.56, 18.60, 18.62, 18.66, 18.71, 18.75, 18.79, 18.89]. Применяется метод конечных элементов (МКЭ). Основные теоремы о сходимости и оценках погрешности МКЭ доказаны в [18.15, 18.17–18.20, 18.28, 18.44, 18.46, 18.49, 18.50, 18.58, 18.59, 18.80–18.88], исследование конечных элементов (КЭ), применяемых в ПК ЛИРА 10, проведено в [18.33, 18.59, 18.78, 18.81, 18.82].

#### Рассчитываемые конструкции:

- плоские и пространственные фермы и рамы;
- пластины;
- массивные тела;
- комбинированные системы.

#### Нагрузки:

- распределенные по области или грани, заданные в глобальной системе координат, в которой определены координаты узлов, или в местной, связанной с элементом;
- сосредоточенные (узловые), заданные в глобальной системе координат или в локальной, связанной с узлом;
- температурные — задаются для элемента, только в статической задаче;
- для динамических задач — импульс, периодическое воздействие, ветер, сейсмика.

Граничные условия, в том числе и неоднородные, задаются для перемещений и поворотов узлов в глобальной или локальной системе координат.

Абсолютно жесткие тела (АЖТ) задаются непересекающимися наборами узлов.

В ПК ЛИРА 10 реализована система МОНТАЖ, позволяющая на каждой стадии монтировать и (или) демонтировать группы линейных и нелинейных КЭ в соответствии с последовательностью возведения конструкции. После каждой стадии возможна проверка устойчивости. Динамические нагрузки прикладываются только после последней стадии.

В ПК ЛИРА 10 имеется система **Вариация моделей**, вычисляющая расчетные сочетания усилий для топологически эквивалентных схем с различными жесткостными характеристиками, система МОСТ — построение линий и поверхностей влияния для подвижных нагрузок.

**18.2 ЛИНЕЙНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА**

Решение  $U$  линейной статической задачи при всех возможных перемещениях  $V$  удовлетворяет равенствам принципа возможных перемещений:

$$a_0(U, V) = q(V), \tag{18.2.1}$$

где  $a_0(U, V)$ ,  $q(V)$  — функционалы возможных работ внутренних и внешних сил, линейные по  $V$ , функционал  $a_0(U, V)$  линеен и по  $U$ , симметричен и положительно определен.

МКЭ сводит задачу (18.2.1) к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), решив которую методом Гаусса, определяем перемещения узлов. Для ускорения решения СЛАУ производится перенумерация неизвестных, уменьшающая заполняемость матрицы [18.53]. Напряжения (усилия) вычисляются далее для каждого КЭ по известным формулам теории упругости.

**18.3 ЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА**

Решение  $U$  линейной динамической задачи при всех возможных перемещениях  $V$  удовлетворяет равенствам:

$$b(U'', V) + c(U', V) + a_0(U, V) = q(V), \tag{18.3.1}$$

где  $b(U, V)$ ,  $c(U, V)$  — симметричные положительно определенные функционалы возможных работ инерционных сил и сил сопротивления движению. Перемещения и внешние силы зависят от времени  $t$ , штрихами обозначается дифференцирование по  $t$ . Добавляются начальные или периодические условия:  $U(0) = U^0$ ,  $U'(0) = U^1$ ,  $U(0) = U(T_0)$ ,  $U'(0) = U'(T_0)$ , где  $T_0$  — период.

Задачи (18.3.1) решаются в ПК ЛИРА 10 методом Фурье разложения по формам собственных колебаний [18.36, 18.38, 18.74], рекомендованным строительными нормами. Формы  $V_k(x)$  и частоты  $\omega_k$  собственных колебаний являются решениями задачи на собственные значения:

$$a_0(V, W) = \omega^2 b(V, W), \tag{18.3.2}$$

и определяются методом итераций подпространств [18.53] с использованием модифицированного метода Якоби. Задача (18.3.1) сводится к независимым обыкновенным дифференциальным уравнениям второго порядка с постоянными коэффициентами, которые легко решаются аналитически. Точность метода зависит от количества вычисленных форм. Влияние не вычисленных форм в ПК ЛИРА 10 не учитывается. Для импульса, периодического воздействия, ветра, сеймики дальнейшие вычисления производятся согласно рекомендациям строительных норм.

Задачи (18.3.1) с начальными условиями решаются в ПК ЛИРА 10 также в системе ДИНАМИКА+ методом конечных разностей по безусловно устойчивой схеме [18.9, 18.10, 18.25]:

$$b(\gamma_n U, V) + c(\beta_n U, V) + a_0(\alpha_n U, V) = q_n(V), \tag{18.3.3}$$

$\theta$  — шаг по времени,  $t_n = n\theta$ ,  $U_n = U(t_n)$ ,

$\delta_n U = (U_{n+1} - U_n)/\theta$ ,  $\beta_n U = (U_{n+1} - U_{n-1})/2\theta = (\delta_n(U) + \delta_{n-1}(U))/2$ ,

$\gamma_n U = (U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1})/\theta^2$ ,  $\alpha_n U = (U_{n+1} + U_{n-1})/2$ .

Нагрузка — кусочно-линейная функция от времени.

Погрешность схемы (18.3.3) пропорциональна  $\theta^2$ .

## 18.4 Задачи упругой устойчивости недеформированной схемы

Задачи упругой устойчивости недеформированной схемы [18.1, 18.2, 18.27] аналогичны задаче на собственные значения (18.3.2). Критические значения  $\lambda_k$  и соответствующие им формы потери устойчивости  $V_k(x)$  являются решениями задачи:

$$a_0(V, W) + \lambda a'_\sigma(U, V, W) = 0, \quad (18.4.1)$$

где  $a'_\sigma(U, V, W)$  — функционал устойчивости [18.27, 18.52], зависящий от полученных в результате решения линейной статической задачи напряжений (усилий).

Наименьшее из положительных  $\lambda_k$  называют коэффициентом запаса устойчивости или критическим значением для заданной нагрузки. Задачи (18.4.1) решаются в ПК ЛИРА 10 методом итераций подпространств. Реализованные методы позволяют исследовать не только устойчивость при сжатии, но и изгибно-крутильные формы потери устойчивости.

## 18.5 Нелинейные статические задачи

ПК ЛИРА 10 позволяет решать нелинейные статические и динамические задачи: геометрически нелинейные, нелинейно упругие, упругопластические, с односторонними ограничениями, в том числе с трением, задачи механики сыпучей среды (грунтов). Существование и единственность решения нелинейных задач исследованы в [18.8, 18.16, 18.31, 18.32, 18.35, 18.37, 18.55, 18.61, 18.68].

Решение  $U$  нелинейной статической задачи при всех возможных перемещениях  $V$  удовлетворяет равенствам:

$$a(U, V) = q(V), \quad (18.5.1)$$

функционал  $a(U, V)$  возможной работы внутренних сил линеен по  $V$  и не линеен по  $U$ .

Нелинейные статические задачи с непрерывно дифференцируемыми нелинейностями (геометрическая нелинейность, нелинейная упругость) решаются шаговым методом [18.37, 18.51]:

$$a'(U_n, U_{n+1} - U_n, V) = (\theta_{n+1} - \theta_n)q(V), \quad (18.5.2)$$

где  $a'(U, W, V)$  — производная  $a(U, V)$ ,

$$U_0 = 0,$$

$$n = 1, \dots, N,$$

$$0 = \theta_0 < \theta_1 < \dots < \theta_N = 1.$$

Используется автоматический выбор шагов. Критерием является изменение геометрии и жесткости. Если производная  $a'(U, W, V)$  положительно определена, конструкция устойчива и погрешность метода (18.5.2) пропорциональна максимальному шагу. Шаговый метод для геометрически нелинейных задач позволяет исследовать устойчивость деформированной схемы [18.52].

В ПК ЛИРА 10 реализован расчет геометрически нелинейных задач после потери устойчивости: для нагрузки, при которой произошла потеря устойчивости, определяется устойчивое равновесное состояние, после чего расчет продолжается шаговым методом.

В геометрически нелинейных задачах и задачах устойчивости учитывается наличие АЖТ в соответствии с [18.52].

### 18.6 Задачи с односторонними ограничениями, с трением и задачи механики сыпучей среды

Задачи с односторонними ограничениями, а также упругопластические, с трением и задачи механики сыпучей среды, сформулированы в виде:

$$a_0(U, V) + d(U, V) = q(V), \quad (18.6.1)$$

где  $d(U, V) = a(U, V) - a_0(U, V)$ ,

и решаются итерационным методом [18.12]:

$$a_0(U_{n+1}, V) + d(U_n, V) = q(V). \quad (18.6.2)$$

### 18.7 Нелинейные динамические задачи

Поскольку метод Фурье не применим к нелинейным динамическим задачам, такие задачи решаются в ПК ЛИРА 10 в системе ДИНАМИКА+ с использованием аналогичных (18.3.3) разностных схем [18.12, 18.25].

### 18.8 Конечные элементы линейной статической задачи

В соответствии с [18.59], описание конечного элемента должно содержать:

- задачу, для решения которой он предназначен;
- область  $\Omega$ , занимаемую конечным элементом, и его узлы  $X_I$ ;
- множество узловых неизвестных;
- множество  $H_\mu$  линейных комбинаций базисных функций  $\mu_k$  или их явный вид.

Базисные функции зависят только от геометрических характеристик элемента и порядка производных  $m$  в функционале возможной работы внутренних сил. При наличии изгиба или стесненного кручения порядок производных равен двум, в остальных случаях — единице. Построения производятся для стандартных КЭ  $\Omega_0$ . Базисные функции и порядок погрешности  $\tau$  приведены в [18.33, 18.59, 18.73].

Обозначим  $C^k(\Omega)$  — множество  $k$  раз непрерывно дифференцируемых на  $\Omega$  функций;  $P_r(\Omega)$  — множество многочленов степени не выше  $r$  на  $\Omega$ ;  $Q_r(\Omega)$  — множество произведений многочленов степени не выше  $r$  по каждой переменной,  $P_r(\Omega) \subset Q_r(\Omega)$ .

#### Стержневые КЭ

Область КЭ( $\Omega_0$ ) — отрезок  $[0, l]$  с узлами  $X_1 = 0$ ,  $X_2 = l$ ; узловые неизвестные —  $u(X_i)$  при  $m = 1$ ,  $u(X_i), u'(X_i)$  при  $m = 2$ . Базисные функции  $\mu_k$  удовлетворяют однородным уравнениям равновесия порядка  $2m$ , поэтому дают точное решение задачи. Базисные функции при постоянном сечении имеют вид ( $s = x_1/l$ ):

$$\text{при } m = 1 \quad \mu_1 = 1 - s, \quad \mu_2 = s, \quad (18.8.1)$$

при  $m = 2$

$$\mu_1 = 1 - 3s^2 + 2s^3, \quad \mu_2 = l(s - 2s^2 + s^3), \quad \mu_3 = 3s^2 - 2s^3, \quad \mu_4 = l(-s^2 + s^3). \quad (18.8.2)$$

Для стесненного кручения базисные функции — линейные комбинации полиномов первой степени и гиперболических синуса и косинуса.



**Двумерные КЭ**

$\Omega_0$  — треугольник с вершинами  $(0, 0)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(0, 1)$ , единичный квадрат, четырехугольник с вершинами  $(1, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(a, 0)$ ,  $(0, b)$ ,  $a < 0$ ,  $b < 0$ . Линейное преобразование переводит соответствующий  $\Omega_0$  в произвольный треугольник, прямоугольник, выпуклый четырехугольник. Четырехугольник разбивается диагоналями на четыре треугольника  $\Omega_q$ . Узлы — в вершинах, если указано, и в серединах сторон.

**Трехмерные КЭ**

$\Omega_0$  — единичные тетраэдр, куб, прямая треугольная призма и четырехгранная пирамида. Узлы — в вершинах, если указано, и в серединах ребер.

**Двух- и трехмерные элементы при  $m = 1$** 

Узловые неизвестные для всех элементов —  $u(X_i)$ .

1. Треугольник,  $\tau = 1$ :

$H_\mu = P_1(\Omega)$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид:

$$\mu_1 = 1 - s_1 - s_2, \mu_2 = s_1, \mu_3 = s_2. \quad (18.8.3)$$

2. Прямоугольник,  $\tau = 1$ :

$H_\mu = Q_1(\Omega)$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид:

$$\mu_1 = r_1 r_2, \mu_2 = s_1 r_2, \mu_3 = r_1 s_2, \mu_4 = s_1 s_2, r_i = 1 - s_i. \quad (18.8.4)$$

3. Четырехугольник:

Базисные функции удовлетворяют условиям:

$$\mu_k \in P_2(\Omega_q), \mu_k \in C^1(\Omega), H_\mu \supset P_1(\Omega), \tau = 1.$$

4. Треугольник с узлами в серединах сторон,  $\tau = 2$ :

$H_\mu = P_2(\Omega)$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид:

$$\begin{aligned} \mu_1 = 1 - 3s_1 - 3s_2 + 2s_1^2 + 4s_1s_2 + 2s_2^2, \mu_2 = -s_1 + 2s_1^2, \mu_3 = -s_2 + 2s_2^2, \\ \mu_4 = 4s_1s_2, \mu_5 = 4s_2 - 4s_1s_2 - 4s_2^2, \mu_6 = 4s_1 - 4s_1s_2 - 4s_1^2. \end{aligned} \quad (18.8.5)$$

5. Четырехугольник с узлами в серединах сторон,  $\tau = 2$ :

Базисные функции удовлетворяют условиям:  $\mu_k \in P_2(\Omega_q)$ ,  $\mu_k \in C^1(\Omega)$ ,  $H_\mu = P_2(\Omega)$ .

6. Тетраэдр,  $\tau = 1$ :

$H_\mu = P_1(\Omega)$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид:

$$\mu_1 = 1 - s_1 - s_2 - s_3, \mu_2 = s_1, \mu_3 = s_2, \mu_4 = s_3. \quad (18.8.6)$$

7. Параллелепипед,  $\tau = 1$ :

$H_\mu = P_1(\Omega)$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид:

$$\begin{aligned} \mu_1 = r_1 r_2 r_3, \mu_2 = s_1 r_2 r_3, \mu_3 = r_1 s_2 r_3, \mu_4 = s_1 s_2 r_3, \\ \mu_5 = r_1 r_2 s_3, \mu_6 = s_1 r_2 s_3, \mu_7 = r_1 s_2 s_3, \mu_8 = s_1 s_2 s_3, r_i = 1 - s_i. \end{aligned} \quad (18.8.7)$$

8. Треугольная призма,  $\tau = 1$ :

$H_\mu \supset P_1(\Omega)$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид

$$\begin{aligned} \mu_1 = (1 - s_1 - s_2)r_3, \mu_2 = s_1 r_3, \mu_3 = s_2 r_3, \\ \mu_4 = (1 - s_1 - s_2)s_3, \mu_5 = s_1 s_3, \mu_6 = s_2 s_3, r_3 = 1 - s_3 \end{aligned} \quad (18.8.8)$$

9. Четырехгранная пирамида,  $\tau = 1$ :  $H_\mu = P_1(\Omega) + \{x_1 * x_2 / (1 - x_3)\}$ .

10. Тетраэдр с узлами в серединах ребер,  $\tau = 2$ :

$H_\mu = P_2(\Omega)$ .

11. Параллелепипед с узлами в серединах ребер,  $\tau = 2$ :

$P_2(\Omega) \subset H_\mu \subset P_4(\Omega)$ .

12. Треугольная призма с узлами в серединах ребер,  $\tau = 2$ :

$$P_2(\Omega) \subset H_\mu \subset P_3(\Omega).$$

13. Четырехгранная пирамида с узлами в серединах ребер,  $\tau = 2$ :

$$H_\mu = P_2(\Omega) + \{x_1^2 * x_2 / (1 - x_3), x_1 * x_2^2 / (1 - x_3), x_1 * x_2 / (1 - x_3), x_1 * x_2 * x_3 / (1 - x_3)\}.$$

Для элементов 10, 11 и 12 с узлами на ребрах уравнения граней, не содержащих узел  $X_k$ , имеют вид  $l_{ki}(s_1, s_2, s_3) = 0$ , где  $l_{ki}(s_1, s_2, s_3)$  — многочлены первой степени. Для вершины таких граней на единицу меньше, чем для середины ребра. Дополнительный многочлен для вершины соответствует уравнению плоскости, проходящей через середины ребер, содержащих эту вершину. Тогда базисные функции являются произведениями построенных многочленов и коэффициента, который вычисляется из условия  $\mu_k(X_k) = 1$ . Равенства  $\mu_k(X_i) = 0$ ,  $i \neq k$  выполнены по построению.

Базисные функции элементов 6–9 преобразуют стандартный КЭ в произвольный.

### Двумерные элементы изгиба при $m = 2$

Узловые неизвестные —  $u(X_i)$ ,  $\alpha_1(X_i) = \partial u / \partial x_2(X_i)$ ,  $\alpha_2(X_i) = -\partial u / \partial x_1(X_i)$ .

14. Прямоугольник,  $\tau = 2$ :

$H_\mu \supset P_3(\Omega)$ . Базисные функции на прямоугольнике  $\Omega_0$  имеют вид:

$$\mu_i = \phi_i(1 - s_1, 1 - s_2), \mu_{i+3} = \phi_i(s_1, 1 - s_2), \mu_{i+6} = \phi_i(1 - s_1, s_2), \mu_{i+9} = \phi_i(s_1, s_2), \\ \phi_1 = s_1 s_2 (-1 + 3s_1 + 3s_2 - 2s_1^2 - 2s_2^2), \phi_2 = s_1 s_2^2 (1 - s_2), \phi_3 = s_1^2 s_2 (1 - s_1). \quad (18.8.9)$$

15. Треугольник,  $\tau = 1$ :

Базисные функции удовлетворяют условиям:  $P_4(\Omega) \supset H_\mu \supset P_2(\Omega)$ .

16. Четырехугольник,  $\tau = 1$ :

Базисные функции удовлетворяют условиям:  $\mu_k \in P_3(\Omega_q)$ ,  $\mu_k \in C^1(\Omega)$ ,  $H_\mu \supset P_2(\Omega)$ .

17. Треугольник с узлами в серединах сторон,  $\tau = 1$ :

Базисные функции удовлетворяют условиям:  $P_4(\Omega) \subset H_\mu \subset P_5(\Omega)$ .

18. Четырехугольник с узлами в серединах сторон,  $\tau = 2$ :

Базисные функции удовлетворяют условиям:  $\mu_k \in P_5(\Omega_q)$ ,  $\mu_k \in C^2(\Omega)$ ,  $H_\mu \supset P_3(\Omega)$ .

Вычисление базисных функций четырехугольников 3, 5 и двумерных элементов изгиба 14–17 сводится к решению систем линейных уравнений, которое выполняется программой.

## 18.9 ФУНКЦИОНАЛЫ ВОЗМОЖНЫХ РАБОТ ЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ

Обозначим  $\Omega$  трехмерную область с границей  $\Gamma$ ,  $x \in \Omega$  — независимые переменные,  $U(x)$  — перемещения,  $V, W$  — возможные перемещения,  $\alpha(x)$  — повороты,  $f$  — внешние силы,  $\sigma_{ij}(U)$  — напряжения,  $\varepsilon_{ij}(U)$ ,  $e_{ij}(U)$  — линейные и геометрически нелинейные деформации,  $E, G, K, \mu$ , — модули Юнга, сдвига, объемной деформации и коэффициент Пуассона,  $0 \leq \mu < 1/2$ ,  $G = E / (1 + \mu)$ ,  $K = E / (1 - 2\mu)$ ,  $\Lambda = \mu / (1 - 2\mu)$ ,  $\rho$  — плотность,  $T$  — температура,  $\zeta$  — коэффициент температурной деформации. Используется суммирование по повторяющимся индексам, индексы  $i, j, k, l$  принимают значения 1, 2, 3. Для трехмерной задачи, пластин и стержней приведены функционалы возможных работ:

- внутренних сил  $a_0(U, V)$ ;
- внешних сил  $(q, V)$ ;

- температуры  $g_T(V)$ ;
- инерционных сил  $b(U, V)$ ;
- функционал для задачи устойчивости  $a'_\sigma(U, V, W)$ .

### Трехмерная задача

Линейные деформации связаны с перемещениями зависимостями Коши:

$$\varepsilon_{ij}(U) = (\partial U_i / \partial x_j + \partial U_j / \partial x_i) / 2. \quad (18.9.1)$$

Закон Гука в ортотропном случае имеет вид:

$$\sigma_{ij}(U) = G(\varepsilon_{ij}(U) + \delta_{ij} \Lambda \varepsilon_{kk}(U)). \quad (18.9.2)$$

Функционалы имеют вид:

$$a_0(U, V) = \int_{\Omega} G(\varepsilon_{ij}(U) + \delta_{ij} \Lambda \varepsilon_{kk}(U)) \varepsilon_{ij}(V) dx, \quad (18.9.3)$$

$$(q, V) = \int_{\Omega} f_i U_i dx, \quad (18.9.4)$$

$$b(U, V) = \int_{\Omega} \rho U_i V_i dx, \quad (18.9.5)$$

$$g_T(V) = \int_{\Omega} K \zeta T e_{ii}(V) dx. \quad (18.9.6)$$

$$a'_\sigma(U, V, W) = \int_{\Omega} \sigma_{ij}(U) \cdot d^2 e_{ij}(V, W) dx, \quad (18.9.7)$$

где  $d^2 e_{ij}(V, W) = (\partial V_k / \partial x_i \cdot \partial W_k / \partial x_j + \partial W_k / \partial x_i \cdot \partial V_k / \partial x_j) / 2$ .

### Пластины

Ось  $x_3$  ортогональна срединной плоскости пластины, занимающей двумерную область  $\Omega_0$  с границей  $\Gamma_0$ . Толщина пластины  $\delta$ ,  $I = \delta^3 / 12$ , оси  $x_1$  и  $x_2$  лежат в срединной плоскости,  $E_0 = E / (1 - \mu^2)$ . Индексы  $r, q$  принимают значения 1, 2. Функционал возможной работы внутренних сил имеет вид:

$$a_0(U, U) = a_N(U, U) + a_M(U, U) + a_Q(U, U), \quad (18.9.8)$$

$$\text{где } a_N(U, U) = \int_{\Omega_0} \delta (E_0 (\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \mu \frac{\partial u_2}{\partial x_2}) \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + E_0 (\frac{\mu \partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_1}) \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + G (\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1})^2 / 2) dx_1 dx_2, \quad (18.9.9)$$

$$a_M(U, U) = \int_{\Omega_0} I (E_0 (\frac{\partial \alpha_2}{\partial x_1} + \mu \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_2}) \frac{\partial \alpha_2}{\partial x_1} + E_0 (-\mu \frac{\partial \alpha_2}{\partial x_1} + \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_2}) \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_2} + G (\frac{\partial \alpha_2}{\partial x_2} - \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_1})^2 / 2) dx_1 dx_2 \quad (18.9.10)$$

$$a_Q(U, U) = k \int_{\Omega_0} \delta G ((\frac{\partial u_3}{\partial x_1} + \alpha_2)^2 + (\frac{\partial u_3}{\partial x_2} - \alpha_1)^2) dx_1 dx_2 / 2, k = 5/6. \quad (18.9.11)$$

Функционал (18.9.11) учитывает влияние поперечного сдвига.

При отсутствии поперечного сдвига, т.е. при  $a_Q(U, U) = 0$ , получим:

$$a_M(U, U) = \int_{\Omega_0} I (E_0 (\frac{\partial^2 u_3}{\partial x_1^2} + \mu \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_2^2}) \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_1^2} + E_0 (\mu \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_2^2}) \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_2^2} + 2G (\frac{\partial^2 u_3}{\partial x_1 \partial x_2})^2) dx_1 dx_2, \quad (18.9.12)$$

При отсутствии изгиба, т.е. при  $a_M(U, U) = a_Q(U, U) = 0$ , имеем  $a_0(U, U) = a_N(U, U)$ .

Функционал  $a_N(U, U)$  получен для плоского напряженного состояния, т.е.  $\sigma_{33} = 0$ . В случае плоской деформации, т.е.  $\varepsilon_{33} = 0$ , в (18.9.9) нужно сначала положить  $E_0 = E(1 - \mu^2)$ , а затем заменить  $\mu$  на  $\mu / (1 - \mu)$ .

При учете упругого основания в  $a_0(U, U)$  добавляется слагаемое:

$$c_0(U, U) = \int_{\Omega_0} (C_1 u_3^2 + C_2 (\frac{\partial u_3}{\partial x_1})^2 + C_2 (\frac{\partial u_3}{\partial x_2})^2) dx_1 dx_2, \quad (18.9.13)$$

где  $C_1, C_2$  — коэффициенты постели модели Пастернака.

Функционал  $a_0(U, U)$  не содержит поворота  $\alpha_3 = (\partial u_2/\partial x_1 - \partial u_1/\partial x_2)/2$ , поэтому в [18.90] предложено добавить в  $a_N(U, U)$  слагаемое:

$$\int_{\Omega_0} G\delta(\alpha_3 - (\partial u_2/\partial x_1 - \partial u_1/\partial x_2)/2)^2 dx_1 dx_2. \quad (18.9.14)$$

Далее

$$(g, U) = \int_{\Omega_0} (p_i u_i + m_2 \alpha_2 + m_3 \alpha_3) dx_1 dx_2, \quad (18.9.15)$$

$$b(U, U) = \int_{\Omega_0} \rho(\delta u_i u_i + I(\alpha_2^2 + \alpha_3^2)) dx_1 dx_2, \quad (18.9.16)$$

Распределение температуры по толщине линейно:  $T(x) = T_1 - x_3 T_3$ , тогда  $g_T(U) = \int_{\Omega_0} K_1 \zeta(\delta T_1(\partial u_1/\partial x_1 + \partial u_2/\partial x_2) + IT_3(\chi_{11} + \chi_{22})) dx_1 dx_2$ ,  $K_1 = E/(1 - \mu)$ . (18.9.17)

Функционал для задачи устойчивости:

$$\begin{aligned} a'_\sigma(U, V, V) = & \int_{\Omega} [N_{rq} \partial v_3/\partial x_p \cdot \partial v_3/\partial x_q + N_{11}(\partial v_2/\partial x_1)^2 + N_{22}(\partial v_1/\partial x_2)^2 + \\ & + N_{12}(\partial v_1/\partial x_1 \cdot \partial v_1/\partial x_2 + \partial v_2/\partial x_1 \cdot \partial v_2/\partial x_2) + 2\partial(M_{1r}\alpha_1)/\partial x_r \cdot \partial v_2/\partial x_1 - \\ & - 2\partial(M_{2r}\alpha_2)/\partial x_r \cdot \partial v_1/\partial x_2 - 2(m_2\alpha_1\alpha_3 - m_1\alpha_2\alpha_3) + m_{33}(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) - \\ & - \partial(M_{rq}\alpha_r\alpha_3)/\partial x_q] dx_1 dx_2 / 2. \end{aligned} \quad (18.9.18)$$

где  $\alpha_1 = \partial u_3/\partial x_2$ ,

$\alpha_2 = -\partial u_3/\partial x_1$ ,

$N_{iq} = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \sigma_{iq} dx_3$ ,

$M_{rq} = -\int_{-\delta/2}^{\delta/2} x_3 \sigma_{rq} dx_3$ ,

$m_2 = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} x_3 f_1 dx_3$ ,

$m_1 = -\int_{-\delta/2}^{\delta/2} x_3 f_2 dx_3$ .

Первая сумма в (18.9.18) — изгиб от сжатия, последние — влияние изгиба.

Слагаемые

$$N_{11}(\partial v_2/\partial x_1)^2 + N_{22}(\partial v_1/\partial x_2)^2 + N_{12}(\partial v_1/\partial x_1 \cdot \partial v_1/\partial x_2 + \partial v_2/\partial x_1 \cdot \partial v_2/\partial x_2)$$

существенны, хотя при использовании метода разложения по малому параметру (толщине) они приняты малыми [18.60, 18.89]. Например, задачи устойчивости центрально сжатых стержней с сечениями — Пи, двутавр, Зет и т.д., можно моделировать и пластинами. Если в (18.9.18) не учитывать указанные слагаемые, критическая сила увеличивается на 30–50%.

Слагаемые, содержащие  $\alpha_3$ , следует вводить в (18.9.18) только в том случае, когда функционал  $a_0(U, U)$  работы внутренних сил содержит (18.9.14).

### Стержни

Ось  $x_1$  направлена вдоль прямолинейной оси стержня, отрезка  $[0, l] = \Omega_0$ , оси  $x_2, x_3$  — главные центральные оси сечения  $A$ ,  $|A|$  — площадь сечения,  $I_2 = \int_A x_3^2 dA, I_3 = \int_A x_2^2 dA$  — моменты инерции,  $x_2^0, x_3^0$  — координаты центра кручения. Штрихами обозначается дифференцирование по  $x_1$ ,  $I_\omega$  — секториальный момент инерции.

$$\begin{aligned} a_0(U, U) = & \int_0^l (E|A|u_1'^2 + EI_2u_3''^2 + EI_3u_2''^2 + GI_1\alpha_1'^2/2 + EI_\omega\alpha_1''^2 + 2(EI_3u_2''')^2/GF_3) + \\ & + 2(EI_2u_3''')^2/GF_2) dx. \end{aligned} \quad (18.9.19)$$

Упругое основание моделируется прямоугольником, ортогональным оси  $x_3$ . Ширина прямоугольника  $b$  соответствует поверхности контакта. В  $a_0(U, U)$  добавляется слагаемое:

$$c_0(U, U) = b \int_0^l (C_1(u_3^2 - 2x_2^0 u_3 \alpha_1 + (x_2^0)^2 \alpha_1^2 + b^2 \alpha_1^2 / 12) + C_2(u_3'^2 - 2x_2^0 u_3' \alpha_1' + (x_2^0)^2 \alpha_1'^2 + b^2 \alpha_1'^2 / 12 + \alpha_1'^2)) dx_1. \quad (18.9.20)$$

Для ортогонального оси  $x_2$  основания заменяем в (18.38)  $u_3$  на  $u_2$  и  $x_2^0$  на  $-x_3^0$ .

$$(g, U) = \int_0^l (p_i u_i + (m_1 + f_2 x_3^0 - f_3 x_2^0) \alpha_1 - m_2 u_3' + m_3 u_2' + m_\omega \alpha_1') dx_1, \quad (18.9.21)$$

$$b(U, U) = \int_0^l \rho (|A| (u_i u_i + 2(x_3^0 u_2 - x_2^0 u_3) \alpha_1 + R \alpha_1^2) + I_2 u_3'^2 + I_3 u_2'^2 + I_\omega \alpha_1'^2) dx_1, \quad (18.9.22)$$

где  $R = (x_2^0)^2 + (x_3^0)^2 + (I_2 + I_3) / |A|$ ,

$$m_1 = \int_A (x_2 f_3 - x_3 f_2) dA + p_2 x_3^0 - p_3 x_2^0,$$

$$m_2 = \int_A x_3 f_1 dA,$$

$$m_3 = - \int_A x_2 f_1 dA, \quad (18.9.23)$$

$$p_i = \int_A f_i dA,$$

$$m_\omega = \int_A f_1 \varphi dA.$$

Распределение температуры по сечению линейно:  $T(x) = T_1 - x_2 T_2 - x_3 T_3$ , тогда

$$g_T(U) = \int_0^l E \zeta (T_1 |A| u_1' + T_2 I_3 u_2'' + T_3 I_2 u_3'') dx_1. \quad (18.9.24)$$

Функционал для задачи устойчивости:

$$a'_\sigma(U, V, V) = \int_l [N_1 (\alpha_2^2 + \alpha_3^2) + M_1 (\alpha_2' \alpha_3 - \alpha_3' \alpha_2) - 2(M_2 \alpha_1)' \alpha_3 + 2(M_3 \alpha_1)' \alpha_2 + (M_2 \alpha_1 \alpha_3)' - (M_3 \alpha_1 \alpha_2)' - m_2 \alpha_1 \alpha_3 + m_3 \alpha_1 \alpha_2 + (N_1 r^2 + M_2 I_{32} - M_3 I_{23} + M_\omega I_{33}) \alpha_1^2] dx_1 / 2 - d^2(f, V), \quad (18.9.25)$$

где  $r^2 = (I_2 + I_3) / A$ ,

$$I_{33} = \int_A \varphi (x_2^2 + x_3^2) dA / I_\omega,$$

$$I_{32} = \int_A x_3 (x_2^2 + x_3^2) dA / I_2,$$

$$I_{23} = \int_A x_2 (x_2^2 + x_3^2) dA / I_3,$$

$$N_i = \int_A \sigma_{1i} dA,$$

$$M_1 = \int_A (x_2 \sigma_{13} - x_3 \sigma_{12}) dA, \quad M_2 = \int_A x_3 \sigma_{11} dA, \quad M_3 = - \int_A x_2 \sigma_{11} dA.$$

Первое слагаемое под интегралом в (18.9.25) — изгиб от сжатия, второе — изгиб от кручения, третье–восьмое — кручение от изгиба, последнее — кручение от сжатия. Это слагаемое следует вводить, только если функционал  $a_0(U, U)$  содержит под интегралом  $E I_\omega \alpha_1'^2$ , иначе критическая сила может быть занижена. Три последних слагаемых в (18.9.25) — учет несимметричности нагрузки в сечении, например, сила приложена не в центре тяжести.

### Абсолютно жесткое тело (АЖТ)

Все деформации АЖТ равны нулю, поэтому функционал  $a_0(U, U)$  нулевой. Далее

$$b(U, U) = \rho (|\Omega| u_i u_i + I_k \alpha_k^2),$$

$$(f, U)_\Omega = p_i u_i + m_i \alpha_i,$$

где  $p_i = \int_\Omega f_i d\Omega$ ,  $m_1 = \int_\Omega (x_2 f_3 - x_3 f_2) d\Omega$ ,  $m_2 = \int_\Omega (x_3 f_1 - x_1 f_3) d\Omega$ ,  $m_3 = \int_\Omega (x_1 f_2 - x_2 f_1) d\Omega$ .

$$a'_\sigma(U, V, V) = m_{ij} \alpha_i \alpha_j / 2,$$

где  $m_{ij} = - \int_\Omega x_i f_j d\Omega$ ,  $i \neq j$ ,  $m_{ii} = \int_\Omega x_k f_k d\Omega$ , суммирование по  $k \neq i$ .

Если АЖТ — отрезок, то  $x_2 = x_3 = 0$ , поэтому  $m_{12} = -m_3$ ,  $m_{13} = m_2$ ,  $m_{23} = m_{11} = 0$ .

### 18.10 МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Все рассмотренные задачи (нелинейные, динамические, на собственные значения) сведены к решению последовательности линейных. Линейные задачи сформулированы как принцип возможных перемещений:

$$a(U, V) = q(V), \quad (18.10.1)$$

где  $a(U, V)$  — симметричный положительно определенный билинейный функционал;  $q(V)$  — линейный функционал, действительное перемещение  $U$  и любое возможное перемещение  $V$  определены на области  $\Omega$  с границей  $\Gamma$  и принадлежат энергетическому пространству  $H$ .

Задачу (18.10.1) требуется свести к конечномерной, к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Одним из наиболее универсальных и распространенных способов для этого является метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях.

Область  $\Omega$  разбивается на конечные элементы (КЭ)  $\Omega_r$ , которые, в зависимости от размерности, являются отрезками, выпуклыми многоугольниками или многогранниками,  $\Gamma_r$  — граница  $\Omega_r$ . Различные КЭ не имеют общих внутренних точек. Узлами  $X_j$  конечно-элементной сетки являются вершины КЭ, возможны и узлы на сторонах (ребрах). Наибольшее расстояние между узлами сетки, принадлежащими одному КЭ, обозначим  $h$ .

Разбиение на конечные элементы предполагается согласованным: если вершина или ребро элемента принадлежит и другому КЭ, то они являются вершиной или ребром этого другого конечного элемента.

Все функционалы, получаемые интегрированием по  $\Omega$ , будем представлять как суммы соответствующих интегралов по  $\Omega_r$ , функционал, полученный интегрированием по  $\Omega_r$ , обозначаем индексом  $r$ .

Неизвестными МКЭ (степенями свободы) являются линейные функционалы  $L_k(U)$ , носители которых обозначим  $S_k$ . Функционалы  $L_k(U)$  линейно независимы: если равенства  $c_k L_k(U) = 0$  выполнены для всех  $U \in H$ , то все  $c_k = 0$ . Обычно функционалы  $L_k(U)$  — значения функций и их производных в узлах, тогда  $S_k$  совпадает с одним из узлов.

Неизвестные в узлах:

- перемещения для трехмерных областей;
- перемещения и повороты для стержней и пластин;
- для тонкостенных стержней добавляется седьмое перемещение.

Звездой элементов  $\Omega^k$ , соответствующей функционалу  $L_k(U)$ , называется объединение всех элементов  $\Omega_r$ , содержащих  $S_k$ .

Перемещения аппроксимируем линейными комбинациями базисных функций  $\mu_k(x)$ :

$$U_h(x) = d_k \mu_k(x). \quad (18.10.2)$$

Множество функций вида (15.10.2) обозначим  $H_\mu$ .

Базисные функции  $\mu_k(x)$  отличны от нуля только на  $\Omega^k$ , они удовлетворяют равенствам:

$$L_k(\mu_i) = \delta_{ki}. \quad (18.10.3)$$

Из (18.10.3) следует линейная независимость базисных функций.

Из (18.10.3) при  $U = U_h, V = \mu_i$ , получаем уравнения МКЭ:

$$a(U_h, \mu_i) = q(\mu_i), \quad (18.10.4)$$

которые, используя (18.10.2), запишем в виде:

$$d_k a(\mu_k, \mu_i) = q(\mu_i). \quad (18.10.5)$$

Элементы матрицы  $a(\mu_k, \mu_i)$  и вектора  $q(\mu_i)$  получаем суммированием по всем КЭ  $\Omega_r$  элементов матриц  $a_r(\mu_k, \mu_i)$  и векторов  $q_r(\mu_i)$ . Очевидно, что  $a_r(\mu_k, \mu_i) \neq 0$  только при  $\Omega_r \subset \Omega^k \cap \Omega^i$ ,  $q_r(\mu_k) \neq 0$  только при  $\Omega_r \subset \Omega^k$ .

Матрица  $a_r(\mu_k, \mu_i)$  и вектор  $q_r(\mu_i)$  вычисляются в местной системе координат, связанной с элементом, корректируются на шарниры жордановыми исключениями, на жесткие вставки — при помощи матрицы, соответствующей перемещениям АЖТ, а затем преобразуются в общую; используется матрица, составленная из координат единичных векторов местной системы, матрица косинусов.

При вычислении интегралов применяется численное интегрирование — кубатурные формулы:

$$\int_{\Omega} f d\Omega = \gamma_k f(x_k), \quad x_k \in \Omega. \quad (18.10.6)$$

Изложенный достаточно простой метод построения системы уравнений МКЭ, основанный на том, что большинство вычислений выполняется независимо на каждом отдельном КЭ, является одним из основных алгоритмических преимуществ МКЭ.

Вторым существенным преимуществом МКЭ является простота удовлетворения граничным условиям. Из (18.10.2) и (18.10.3) следует равенство  $L_j(U_h) = d_j$ . Поэтому для выполнения не обязательно однородного граничного условия  $L_j(U_h) = z_j$ , достаточно в (18.10.2) и (18.10.5) задать  $d_j = z_j$ . Граничные условия на напряжения (усилия) выполнены всегда, так как МКЭ использует принцип возможных перемещений.

Элементы матрицы  $a(\mu_k, \mu_i)$  отличны от нуля, только если пересечение  $\Omega^k \cap \Omega^i$  содержит хотя бы один КЭ. Такие матрицы называют разреженными или слабо заполненными. При решении системы (18.10.5) методом Гаусса заполнение (количество ненулевых элементов) возрастает. Для уменьшения количества вычислений и времени решения СЛАУ следует перенумеровать неизвестные, чтобы заполнение стало как можно меньше. Такие методы, основанные на теории графов, изложены в [18.53].

По решению задачи (18.10.5) находим перемещения каждого КЭ в его системе координат, затем вычисляем напряжения для трехмерных элементов, усилия для стержней и пластин. Усилия в стержнях корректируются на распределенные нагрузки.

### 18.11 ВЫЧИСЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ

Алгоритмы вычисления площади сечения, координат центра тяжести, положения главных центральных осей и моментов инерции хорошо известны. Для вычисления характеристик при кручении и сдвиге требуется [18.41] решить уравнения в сечении  $A$ :

$$-(\partial(G\psi_i/\partial x_2)/\partial x_2) - (\partial(G\psi_i/\partial x_3)/\partial x_3) + p_i = 0 \quad (18.11.1)$$

с граничными условиями

$$G\partial\psi_i/\partial x_2 n_2 + G\partial\psi_i/\partial x_3 n_3 + q_i = 0, \quad (18.11.2)$$

где  $i = 1, 2, 3$ ,  $p_1 = 0$ ,  $p_2 = Ex_2$ ,  $p_3 = Ex_3$ ,  $q_1 = -Gx_3 n_2 + Gx_2 n_3$ ,

$$q_2 = G\mu[(x_2^2 - x_3^2)n_2 + 2x_2 x_3 n_3]/4, \quad q_3 = G\mu[2x_2 x_3 n_2 + (x_3^2 - x_2^2)n_3]/4,$$

где  $E, G, \mu$  — модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, которые могут быть переменными по области сечения.

Задача Неймана (18.11.1), (18.11.2) имеет единственное (с точностью до аддитивной постоянной) решение, если  $\int_{\Gamma} q_i d\Gamma = 0$ . Эти равенства следуют из формулы Грина:

$$\int_{\Gamma} q_n d\Gamma = \int_A \partial q / \partial x_j dA.$$

Для применения МКЭ сформулируем задачу (18.11.1), (18.11.2) в виде, аналогичном принципу возможных перемещений:

$$\int_A (G(\partial\psi_i/\partial x_2 * \partial v_i/\partial x_2 + \partial\psi_i/\partial x_3 * \partial v_i/\partial x_3) + p_i v) dA + \int_{\Gamma} q_i v d\Gamma = 0. \quad (18.11.3)$$

Положим  $\varphi = \psi_1 - x_3^0 x_2 + x_2^0 x_3 - c$ , где  $x_2^0, x_3^0$  — координаты центра кручения.

Найдя  $\psi_i$  из (4.7), определяем  $x_2^0, x_3^0$  и  $c$  из условий:

$$\int_A Ex_2 \varphi dA = \int_A Ex_3 \varphi dA = \int_A E \varphi dA = 0:$$

$$x_2^0 = -\int_A Ex_3 \psi_1 dA / EI_2, \quad x_3^0 = \int_A Ex_2 \psi_1 dA / EI_3, \quad c = \int_A E \psi_1 dA / |A|. \quad (18.11.4)$$

Вычисляем момент инерции кручения  $EI_2$  и секториальный момент инерции  $EI_{\omega}$ :

$$GI_1 = \int_A G((\partial\psi_1/\partial x_2 - x_3)^2 + (\partial\psi_1/\partial x_3 + x_2)^2) dA, \quad EI_{\omega} = \int_A E \varphi^2 dA. \quad (18.11.5)$$

Далее по функциям  $\psi_2, \psi_3$  находим сдвиговые площади:

$$GF_2 = (EI_2)^2 / \int_A G(\eta_{22}^2 + \eta_{23}^2) dA, \quad F_3 = (EI_3)^2 / \int_A G(\eta_{32}^2 + \eta_{33}^2) dA. \quad (18.11.6)$$

$$\eta_{22} = \mu(x_2^2 - x_3^2)/4 + \partial\psi_2/\partial x_2, \quad \eta_{23} = \mu x_2 x_3 / 2 + \partial\psi_2/\partial x_3,$$

$$\eta_{32} = \mu x_2 x_3 / 2 + \partial\psi_3/\partial x_2, \quad \eta_{33} = \mu(x_3^2 - x_2^2)/4 + \partial\psi_3/\partial x_3.$$

Изложенный метод распространяется и на тонкостенные сечения. Конечные элементы — прямоугольники, искомая функция на каждом прямоугольнике представляется в виде:

$$\psi(y_2, y_3) = \psi_1(y_2) + y_3 \psi_2(y_2), \quad (18.11.7)$$

где оси  $y_2, y_3$  направлены вдоль длинной и короткой, «тонкостенной», сторон. Подставив (18.11.7) в (18.11.3), получим вариационную формулировку для тонкостенного сечения.

Такой подход универсален и не требует различных алгоритмов для открытых, замкнутых, полузамкнутых и т.д. сечений.

Формулы для вычисления напряжений в произвольной точке сечения имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= E u_1' - x_2 u_2'' - x_3 u_3'' + \alpha_1'' \varphi, \\ \sigma_{12} &= G(\alpha_1' (\partial\psi_1/\partial x_2 - x_3)/2 + u_2''' \eta_{22} + u_3''' \eta_{32}), \\ \sigma_{13} &= G(\alpha_1' (\partial\psi_1/\partial x_3 + x_2)/2 + u_2''' \eta_{23} + u_3''' \eta_{33}). \end{aligned}$$



## 18.12 СТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Уравнение теплопроводности [18.16] получено из закона сохранения энергии и закона Фурье, в стационарном случае оно имеет вид:

$$-\operatorname{div}(K \operatorname{grad} T) = q, \quad (18.12.1)$$

где  $T$  — температура;

$q$  — плотность источников тепла;

$K$  — коэффициент теплопроводности;

$Q = -K \operatorname{grad} T$  — тепловой поток (закон Фурье).

Для применения МКЭ нужно интегральное тождество, аналогичное принципу возможных перемещений. Его получаем из (18.12.1) и формулы Грина интегрирования по частям:

$$\int_{\Omega} q * t * d\Omega = \int_{\Omega} -\operatorname{div}(K \operatorname{grad} T) * t * d\Omega = \int_{\Omega} K \operatorname{grad} T * \operatorname{grad} t * d\Omega - \int_{\Gamma} K \partial T / \partial n * t * d\Gamma \quad (18.12.2)$$

Здесь  $t$  — вариация  $T$ .

Возможны три варианта граничных условий:

1) На части границы  $\Gamma_1$  задана температура  $T = T_0$ ;

2) На части границы  $\Gamma_2$  задан тепловой поток  $Q = Q_0$ ;

3) На части границы  $\Gamma_3$  происходит теплообмен с окружающей средой по закону:

$$Q + k(T - T_1) = 0,$$

где  $k$  — коэффициент теплообмена,  $T_1$  — температура окружающей среды;

Граничное условие 1) реализуется аналогично заданным перемещениям.

Граничное условие 2) реализуется аналогично нагрузке по поверхности или линии.

Граничное условие 3) реализуется аналогично упругой опоре с жесткостью  $k$ , кроме того, добавляется нагрузка  $k * T_1$ .

## 18.13 СТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ФИЛЬТРАЦИИ

Уравнение фильтрации [18.16] получено из закона сохранения массы и закона Дарси, в стационарном случае оно имеет вид:

$$-\operatorname{div}(K \operatorname{grad} h) = 0, \quad (18.13.1)$$

$$h = p / \rho g + z, \quad (18.13.2)$$

где  $p$  — давление;

$h$  — напор;

$\rho$  — плотность жидкости;

$K$  — коэффициент фильтрации;

$v = -K \operatorname{grad} h$  — скорость фильтрации (закон Дарси).

Для применения МКЭ требуется интегральное тождество, аналогичное принципу возможных перемещений. Его получаем из (18.13.1) и формулы Грина интегрирования по частям:

$$0 = \int_{\Omega} -\operatorname{div}(K \operatorname{grad} h) * q * d\Omega = \int_{\Omega} K \operatorname{grad} h * \operatorname{grad} q * d\Omega - \int_{\Gamma} K \partial h / \partial n * q * d\Gamma. \quad (18.13.3)$$

Здесь  $q$  — вариация  $p$ .

Из равенства нулю интеграла по  $\Gamma$  получаем граничные условия:

- на непроницаемой поверхности  $K\partial h/\partial n = 0$ , это условие в МКЭ задавать не нужно, оно выполнится автоматически;

- на свободной поверхности:

$$p = 0. \quad (18.13.4)$$

Граничные условия удобней задавать для давления, а не для напора. Неоднородное условие (18.13.4) тоже легко реализуется.

Подставив (18.13.2) в (18.13.3), получим равенство МКЭ:

$$\int_{\Omega} K/(\rho g) \text{grad} p * \text{grad} q * d\Omega + \int_{\Omega} K \partial q / \partial z * d\Omega = 0. \quad (18.13.5)$$

Второе слагаемое в (18.13.5) — «нагрузка». Из (18.13.5) и граничных условий находим давление.

Полученное давление передается для дальнейшего расчета грунтового массива, используется зависимость для напряжений:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^0 + p\delta_{ij}.$$

Т.е. давление даст дополнительную нагрузку, которая вычисляется аналогично температурной. При расчете анализируем напряжения:  $\sigma_{ij}^0 = \sigma_{ij} - p\delta_{ij}$ .

#### 18.14 НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В матричном виде нестационарное уравнение теплопроводности записывается в виде:

$$[C] \cdot \frac{\partial}{\partial t} \{T\} + [K] \cdot \{T\} = \{F\} \quad (18.14.1)$$

где  $[K]$  — положительно определенная симметричная матрица коэффициентов теплопроводности, или просто матрица теплопроводности;

$[C]$  — матрица теплоемкости;

$\{T\}$  и  $\{F\}$  — вектора температуры и правой части соответственно.

В ПК ЛИРА 10 используется неявная схема интегрирования:

$$[C] \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta\tau} + [K] \cdot T_{i+1} = F_i \quad (18.14.2)$$

где  $\Delta\tau$  — шаг по времени (шаг дискретизации);

$T_i, T_{i+1}$  — вектора температур в текущий и следующий моменты времени;

$F_i$  — вектор правой части в текущий момент времени.

Граничные условия для задачи нестационарной теплопроводности аналогичны граничным условиям, реализованным для стационарной теплопроводности (см. п. 18.12), но с возможностью назначать их изменяемость во временной области.

## ГЛАВА 19. БИБЛИОТЕКА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Библиотека конечных элементов (БКЭ) вычисляет для каждого КЭ матрицы жесткости, масс и устойчивости, векторы нагрузок и усилия (напряжения). Используются соответствующие функционалы возможных работ и базисные функции (см. Главу 18).

Базисные функции зависят только от геометрических характеристик элемента и наличия изгиба или стесненного кручения.

БКЭ содержит:

- **По геометрическим характеристикам:**

- стержни постоянного и переменного (кроме физически нелинейных) сечения: брус, тавр, двутавр, швеллер, короб, кольцо;
- 3- и 6-узловые треугольники, 4- и 8-узловые четырехугольники постоянной толщины, дополнительные узлы — в серединах сторон;
- 8- и 20-узловые шестигранники, 6- и 15-узловые пятигранники, 4- и 10-узловые тетраэдры, 5- и 13-узловые четырехгранные пирамиды, дополнительные узлы — в серединах ребер;
- одноузловые элементы.

- **По типам задач:**

- линейные элементы;
- нелинейно упругие изгибаемые элементы;
- геометрически нелинейные элементы;
- нелинейно упругие геометрически нелинейные элементы;
- упругопластичные элементы;
- элементы грунта;
- специальные элементы.

Все конечные элементы, кроме одноузловых и некоторых специальных, имеют местную правую декартову систему координат  $X_1, Y_1, Z_1$ .

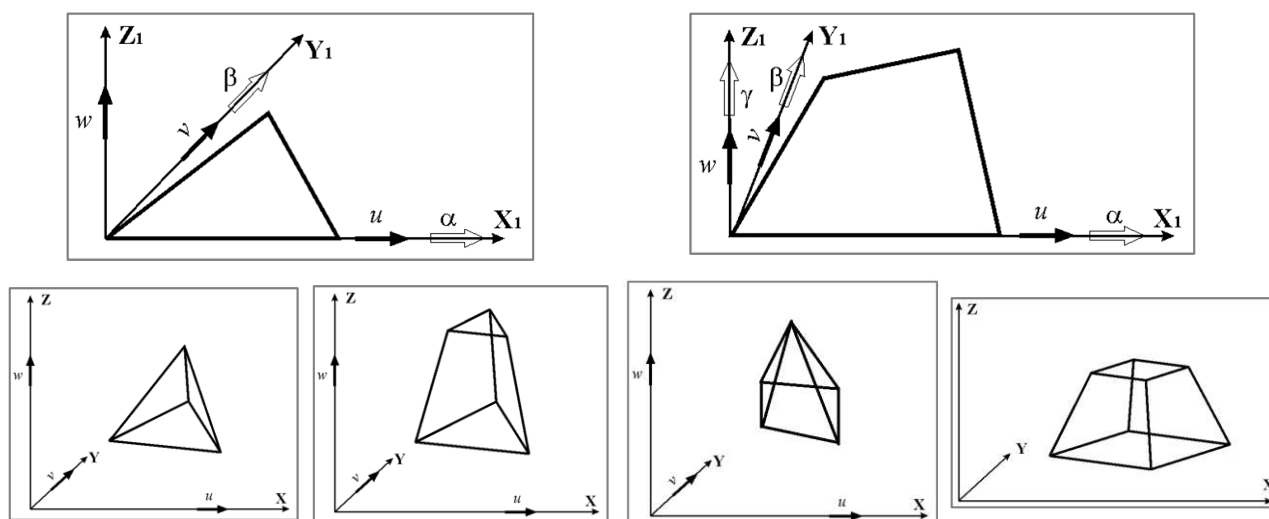


Рис. 19.1. Система координат пластинчатых и объемных КЭ (кроме специальных)

В БКЭ отсутствуют криволинейные элементы стержней и оболочек, т.к. сходимость прямолинейных и плоских элементов доказана в [18.21, 18.22, 18.59, 18.77].

**Узловые неизвестные (степени свободы)** элементов соответствуют типу создаваемой задачи и являются перемещениями  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и поворотами  $UX$ ,  $UY$ ,  $UZ$  в местной системе координат. Элемент стержня со стесненным кручением имеет седьмую степень свободы  $W$  (учет депланации сечения). Для двумерных элементов допускается дополнительное узловое неизвестное — поворот вокруг оси, перпендикулярной плоскости [18.90], что позволяет избавиться от геометрической изменяемости.

**Местные нагрузки** задаются в общей или местной системах координат по направлениям, соответствующим узловым неизвестным элемента.

## 19.1 СТЕРЖНИ

### Местная система координат

Ось  $X_1$  направлена от первого узла ко второму. Для пространственных систем оси  $Y_1$  и  $Z_1$  являются главными центральными осями инерции.

По умолчанию полагается, что у произвольно ориентированных стержней ось  $Z_1$  всегда направлена в верхнее полупространство, а ось  $Y_1$  параллельна горизонтальной плоскости  $XOY$  глобальной системы координат, а у вертикальных стержней — параллельна оси  $Y$  глобальной системы координат и направлена в противоположную сторону. Если же положение главных центральных осей у реального стержня не совпадает с положением, принятым по умолчанию, то необходимо задавать положение оси  $Y_1$  (рис. 19.2).

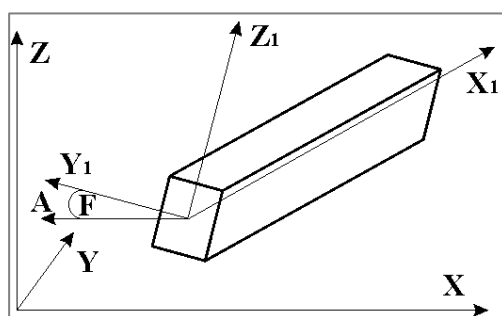


Рис. 19.2. Универсальный КЭ пространственного стержня

Местная система координат эквивалентного стержня (тип КЭ №110) аналогична универсальному КЭ пространственного стержня (КЭ 10). Эквивалентный стержень в конечно-элементном расчете не участвует. Данный элемент позволяет собирать усилия из линейных двумерных и линейных трехмерных элементов, с целью дальнейшего подбора и проверки конструирования по выбранным нормам. Для эквивалентного стержня в сбор усилий попадают те узлы, которые размещены между нормальными плоскостями, проходящими через два узла эквивалентного стержня.

### Сечения

Брус, тавр, двутавр, швеллер, короб, кольцо; постоянного и переменного (кроме физически нелинейных) сечения, для физически линейных — уголок, крест, несимметричные тавр и двутавр постоянного сечения.

Допускаются **жесткие вставки и шарниры** в начале и в конце гибкой части.

Для геометрически линейных изгибаемых стержней возможен **учет сдвига**. Для этого требуется задать соответствующий параметр.

**Упругое основание** (18.9.20) в линейных и упругопластичных элементах может работать и как одностороннее.

Матрица жесткости строится для гибкой части стержня.

### Нагрузки на элемент

Сосредоточенная нагрузка; равномерно распределенная; трапециевидная; температурная — равномерный нагрев или охлаждение и т.д.

Привязки сосредоточенной и трапециевидной нагрузок задаются относительно гибкой части стержня, т.е. возможны отрицательные привязки. Равномерно распределенная нагрузка может распространяться и на жесткие вставки.

Для сосредоточенной и равномерно распределенной нагрузки можно задать привязки относительно центра сечения. В этом случае автоматически вычисляются дополнительные моментные нагрузки. Эти привязки учитываются и при построении матрицы устойчивости в соответствии с (18.9.25). Для стержня со стесненным кручением учитывается положение центра кручения, что, согласно (18.9.23), дает дополнительный крутящий момент.

**Усилия** вычисляются в системе координат гибкой части, для нелинейных стержней в начале и в конце гибкой части, в линейных можно задать количество сечений, в которых вычисляются усилия.

### Типы стержней, узловые неизвестные, вычисляемые усилия:

- пространственная ферма ( $X, Y, Z; NX$ );
- балка ( $Z, UX, UY; MX, MY, QZ$ );
- пространственная рама без стесненного кручения ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ; NX, NY, NZ, MX, MY, MZ$ );
- пространственная рама со стесненным кручением ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ, W; NX, NY, NZ, MX, MY, MZ, MW$ );
- эквивалентный стержень ( $NX, NY, NZ, MX, MY, MZ$ ).

При наличии упругого основания вычисляются соответствующие реакции  $RY, RZ$ .

Элементы фермы и балки — частные случаи пространственной рамы. Элементы балки — только линейные.

## 19.2 ДВУМЕРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### Местная система координат

Ось  $X1$  направлена от первого узла ко второму. Ось  $Y1$  лежит в плоскости, проходящей через три первых узла, и образует острый угол с вектором, направленным от первого узла к третьему.

Возможно задание **осей выдачи усилий**. Для ортотропных элементов задаются **оси ортотропии**. Эти системы координат получены поворотами местной системы вокруг оси  $Z1$ . Усилия вычисляются в центре тяжести элемента.

Местная система координат эквивалентной оболочки (тип КЭ №142, 144) аналогична КЭ тонкой оболочки (КЭ 42, 44). Эквивалентная оболочка в конечно-элементном расчете не

участвует. Данный элемент позволяет собирать усилия из линейных трехмерных элементов, с целью дальнейшего подбора и проверки конструирования по выбранным нормам. Для эквивалентной оболочки усилия собираются из напряжений объемников плоскости граней, которые пересекает нормаль, проведенная из центра эквивалентной оболочки, при этом проекция грани попадает в тело эквивалентной оболочки.

Для геометрически линейных изгибаемых плит и пластин возможен **учет сдвига**. Для этого, в отличие от стержней, требуется изменить тип элемента.

**Упругое основание (18.9.13)** в линейных и упругопластичных элементах может работать и как одностороннее. При наличии упругого основания вычисляется реакция  $RZ$ .

Для пластин допускаются **жесткие вставки** в узлах, имеющие одинаковые длины и перпендикулярные плоскости элемента.

### Нагрузки на элемент

Сосредоточенная нагрузка; равномерная или трапециевидная, распределенная по элементу или грани; температурная — равномерный нагрев или охлаждение и т.д.

**Типы двумерных элементов, узловые неизвестные, вычисляемые усилия (напряжения  $NX, NY, NXY$ ):**

- изгибаемая плита ( $Z, UX, UY; MX, MY, MXY, QX, QY$ );
- плоское напряженное состояние и плоская деформация, вертикальные **напряжения** ( $X, Z; NX, NZ, NXZ$ ) и произвольного положения ( $X, Y, Z; NX, NY, NXY$ );
- пластина ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ; NX, NY, NXY, MX, MY, MXY, QX, QY$ );
- эквивалентная пластина ( $NX, NY, NXY, MX, MY, MXY, QX, QY$ ).

## 19.3 ТРЕХМЕРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

**Местная система координат** строится так же, как для двумерных элементов. Возможно задание **осей выдачи усилий**. Для ортотропных элементов задаются **оси ортотропии**.

### Нагрузки на элемент:

- сосредоточенная нагрузка;
- равномерная, распределенная по элементу или грани;
- температурная — равномерный нагрев или охлаждение.

### Узловые неизвестные, вычисляемые напряжения:

- $X, Y, Z$ ;
- $NX, NY, NZ, NXY, NXZ, NYZ$ .

Напряжения вычисляются в центре тяжести элемента.



*Приведенное выше — общее для линейных и нелинейных элементов.*

## 19.4 ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Применяются, если необходимо учесть изменение геометрии конструкции. Матрица жесткости формируется в системе координат деформированного положения, к ней добавляется соответствующая матрица устойчивости (18.9.25) для стержней, (18.9.18) для пластин или (18.9.7) для трехмерных элементов, суммарная матрица затем переводится в исходную систему координат при помощи специальной матрицы косинусов, которая строится по суммарным перемещениям.

Усилия вычисляются в системе координат деформированного положения.

#### Типы геометрически нелинейных элементов:

- нити и мембраны;
- стержни и пластины, теория Фон Кармана;
- стержни и пластины, сильный изгиб;
- стержень с учетом стесненного кручения, сильный изгиб;
- трехмерные элементы.

### 19.5 ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Применяются, если необходимо учесть нелинейную зависимость между деформациями и напряжениями. Возможно наличие двух материалов (бетон и арматура), для которых задаются указанные зависимости:


#### - Экспоненциальная:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{при } \varepsilon \leq \varepsilon_u = \sigma_u/E;$$

$$\sigma = (R - \sigma_u) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{E(\varepsilon - \varepsilon_u)}{R - \sigma_u}\right)\right) + \sigma_u \quad \text{при } \varepsilon > \varepsilon_u = \sigma_u/E); \quad (19.5.1)$$

где  $R$  — это предел прочности;

$\sigma_u$  — предел упругости.

 Для армированных элементов в качестве основного заполнителя может применяться два вида экспоненциальных законов: «11 – экспоненциально-зависимый материал» и «15 – экспоненциально зависимый бетон». Их отличие в том, что в первом случае арматура и бетон работают совместно, а во втором учитывается проскальзывание арматуры или смятие бетона.

#### - Трехлинейная (соответствует строительным нормам):

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{при } \varepsilon < \varepsilon_u = \sigma_u/E),$$

$$\sigma = \sigma_u + \varepsilon * (R - \sigma_u)/(\varepsilon_0 - \varepsilon_u) \quad \text{при } \varepsilon_u < \varepsilon < \varepsilon_0,$$

$$\sigma = R \quad \text{при } \varepsilon > \varepsilon_0; \quad (19.5.2)$$

при  $\sigma_u = R$  трехлинейная зависимость превращается в двухлинейную.

- **Кусочно-линейная**, задается значениями  $\{\varepsilon_n, \sigma_n\}$ , причем  $\{\varepsilon_n < \varepsilon_{n+1}\}; \{\sigma_n < \sigma_{n+1}\}$ ; для основного материала (бетона) упругопластичных двумерных и трехмерных элементов применяется **условие прочности Гениева**:

$$-(R_c + R_s)S_1 + S_2^2 + R_c * R_s < 0, \quad (19.5.3)$$

$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  — напряжения,

$$S_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3,$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}.$$

Для зависимостей (19.5.1), (19.5.2) следует принимать  $R = R_c$  при  $\varepsilon < 0$  и  $R = R_s$  при  $\varepsilon > 0$ ,  $R_c$  и  $R_s$  — пределы прочности при одноосном сжатии и растяжении.

**Оси выравнивания напряжений** двумерных и трехмерных элементов совпадают с осями арматуры, в этих осях вычисляются усилия (напряжения). **Напряжения** в неизгибаемых элементах (двумерных и трехмерных) вычисляются отдельно для каждого из двух материалов. Для изгибаемых стержней задаются параметры дробления сечений.

#### Арматурные включения:

Для изгибаемых стержней задаются площади арматурных стержней и их положение в сечении. Для изгибаемых пластин арматурные включения задаются в двух направлениях (площади и положение в сечении). Для неизгибаемых элементов указывается процент армирования по каждому направлению.

Все физически нелинейные элементы могут рассчитываться на ползучесть. Требуется задать закон уменьшения модуля упругости во времени, по Еврокоду или кусочно-линейный.

#### Типы физически нелинейных элементов:

- нелинейно упругие: стержни и пластины;
- упругопластичные: стержни, пластины, элементы плоского напряженного состояния и плоской деформации, вертикальные и произвольного положения, трехмерные элементы.

### 19.6 ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Применяются, если необходимо одновременно учесть физическую и геометрическую нелинейности. БКЭ содержит нелинейно упругие стержни и пластины сильного изгиба.

### 19.7 Грунты

Применяются для расчета грунтовых массивов и решения задач фильтрации.

Учет специфики грунтов обеспечивается заданием одного из условий прочности:

- условие Боткина:

$$\sin \phi \sigma_0 + \sigma_i - 2C \cos \phi \leq 0; \quad (19.7.1)$$

- условие Друкера-Прагера:

$$2 \sin \phi \sigma_0 + (3 - \sin \phi) \sigma_i - 6C \cos \phi \leq 0; \quad (19.7.2)$$

- условие Кулона-Мора:

$$\sin \phi (\sigma_1 + \sigma_3) + (\sigma_1 - \sigma_3) - 2C \cos \phi \leq 0; \quad (19.7.3)$$

- аналитическая теория:

$$-((\sigma_1 + \sigma_3)/s\gamma + 1)^\alpha ((\sigma_1 + \sigma_3)/s\delta + 1)^\beta + (\sigma_1 - \sigma_3)/\tau \leq 0, \quad (19.7.4)$$

где  $\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ ;



$$\sigma_i = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}};$$

$\sigma_3 \leq \sigma_2 \leq \sigma_1 \leq R_s$  — главные напряжения;

$R_s$  — предельное напряжение при растяжении;

$C$  — сцепление;

$\phi$  — угол внутреннего трения.

Допускается учет предварительного напряжения. Величины, входящие в (19.7.4), определяются экспериментально.

БКЭ содержит двух- и трехмерные элементы грунта. Двумерные элементы вертикальны, работают в условиях плоской деформации.

## 19.8 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

**Элементы упругой сваи** (тип №57) моделируют работу сваи. Могут быть одно- и двухузловыми.

**Элементы неотражающей границы** (типы №62, 63, 64, 65, 68) моделируют неотражающие условия на границе выделенной области при динамических расчетах грунтовых массивов. В статической задаче моделируют связи по перпендикулярному к поверхности направлению.

БКЭ содержит одно- и двумерные элементы неотражающей границы.

В динамике на границе, где находятся такие элементы, выполняются следующие условия:

$$\sigma_n = c_n \cdot \rho \cdot u'_n; \quad (19.7.5)$$

$$\sigma_\tau = c_\tau \cdot \rho \cdot u'_\tau; \quad (19.7.6)$$

где  $\sigma_n$  — нормальное напряжение на границе, действующее перпендикулярно границе;

$\sigma_\tau$  — касательное напряжение на границе в плоскости границы;

$\rho$  — плотность грунта;

$u'_n, u'_\tau$  — скорость грунта на границе, соответственно, перпендикулярно границе и по касательной;

$c_n$  и  $c_\tau$  — скорости соответственно продольной волны (Р-волны) и поперечной волны

(S-волны) в грунте на границе. Скорости продольной и поперечной волн в грунте могут быть получены из зависимостей:

$$c_n = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}};$$

$$c_\tau = \sqrt{\frac{E}{2\rho \cdot (1 + \nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}};$$

где  $E$  — модуль упругости грунта на границе;

$\nu$  — коэффициент Пуассона грунта на границе;

$G$  — модуль сдвига грунта на границе.

**Элементы законтурного упругого основания** (могут работать и как односторонние) имеют по одному узловому неизвестному  $W$ , определенному относительно общей системы координат. В результате расчета вычисляются реакции в узлах элемента.

**Двухузловой** элемент (КЭ 53) моделирует отпор полосы грунта, лежащей за пределами плиты и перпендикулярной к ее контуру (рис. 19.3). Для него задаются коэффициенты постели  $C1$  и  $C2$  модели Пастернака.

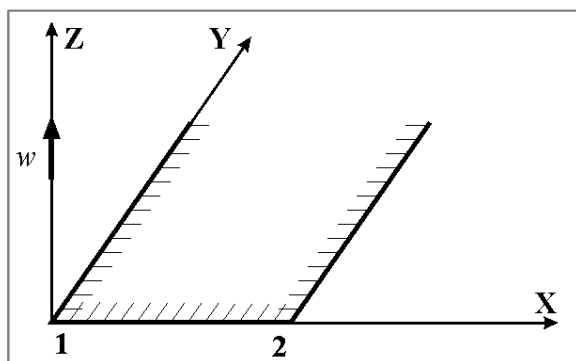


Рис. 19.3. Законтурный двухузловой КЭ упругого основания

**Одноузловой** элемент (КЭ 54) моделирует отпор угловой зоны грунта, примыкающей к углу плиты (рис. 19.4). Для него задается коэффициент постели  $C2$  модели Пастернака и угол зоны грунта в градусах, измеряемый между нормальными к сторонам, входящим в угол плиты.

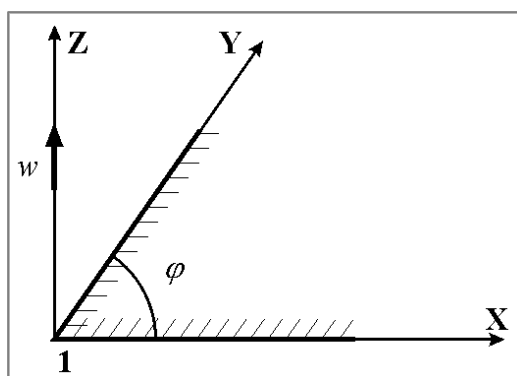


Рис. 19.4. Законтурный одноузловой КЭ упругого основания

**Элементы упругой связи** моделируют упругие связи в узле (одноузловой КЭ 56) или между смежными узлами (двухузловой КЭ 55). Узловые неизвестные определены относительно осей глобальной или локальной системы координат. Узлы КЭ 55 могут иметь одинаковые координаты.

Усилия являются реакциями в узлах.

В редакторе сечений/жесткостей необходимо задать параметры жесткости КЭ:

- погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль глобальной оси  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ;
- погонная жесткость связи на поворот вокруг глобальной оси  $R_{ux}$ ,  $R_{uy}$ ,  $R_{uz}$ .


 *Длина элемента при формировании матрицы жесткости принята равной единице.*

*Двухузловой КЭ 55 не имеет местной системы координат.*

**Односторонние элементы предварительного напряжения** моделируют предварительное обжатие (КЭ 207) или натяжение (КЭ 208). Расчет при этом выполняется шагово-итерационным методом.

Жесткость задается численно в разделе **Специальные сечения** редактора сечений/жесткостей при помощи ввода значения в текстовую строку. Также необходимо задать сжимающее или растягивающее усилие **Nmax**.

Рекомендуется, чтобы первым нагружением схемы, содержащей КЭ 207 или КЭ 208, было заданное обжатие или натяжение. Последующие нагружения сцепляются с первым. Все нагружения, кроме первого, могут содержать любые нагрузки — собственный вес, температура и др.

 **Внимание!** Если на каком-либо шаге расчета значение **Nmax** хотя бы в одном из КЭ будет превышено, то расчет прекратится, а элементы сохранят усилия предыдущего шага. По этой причине рекомендуется задавать не менее двух шагов расчета.

**Геометрически нелинейный специальный КЭ предварительного натяжения** моделирует предварительное натяжение в геометрически нелинейных задачах. Жесткости задаются как для обычного стержня. При отсутствии предварительного натяжения работает как элемент нити.

**Элементы односторонней связи с учетом предельных усилий** моделируют неупругие связи в узле (КЭ 256) или между двумя узлами (КЭ 255).

Элементы позволяют учесть неравные предельные усилия, например, по растяжению и по сжатию.

Узлы элемента 255 не могут иметь одинаковые координаты. Длина элемента при формировании матрицы жесткости принята равной единице.

В редакторе сечений/жесткостей необходимо задать параметры жесткости КЭ:

- погонные жесткости связи на растяжение-сжатие и повороты;
- предельные усилия на растяжение-сжатие и повороты.

**Односторонние элементы трения** моделируют трение в односторонней связи. Для одноузлового КЭ 263 связь ориентирована вдоль одной из глобальных или локальных осей координат узла. Для двухузлового КЭ 264 направление связи выстраивается в соответствии с координатами узлов, описывающих элемент, и совпадает с продольной осью X1.

Применяется условие трения Кулона:  $|\tau| \leq -\gamma\sigma$ ,

где  $\tau$  и  $\sigma$  — касательное и нормальное напряжения;


$\gamma$  — коэффициент трения покоя.

В редакторе сечения/жесткостей задаются параметры жесткости:

- R — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие, т/м;
- Q — погонная жесткость сцепления, т/м;
- $\gamma$  — коэффициент трения покоя;
- b — зазор, мм.

Переключателем отмечается работа связи либо на растяжение, либо на сжатие. Также при помощи раскрывающегося окна для одноузлового КЭ задается направление связи.

Узлы элемента 264 не могут иметь одинаковые координаты.

 Длина элемента при формировании матрицы жесткости принята равной единице. Величина зазора со знаком «+» при растяжении или со знаком «-» при сжатии.

**Элементы односторонней связи с учетом знаков перемещений** моделируют односторонние связи в узле (одноузловой КЭ 256) или между двумя узлами (двухузловой КЭ 255); являются аналогами КЭ 56 и КЭ 55 с учетом односторонней работы.

Узлы элемента 255 не могут иметь одинаковые координаты. Длина элемента при формировании матрицы жесткости принята равной единице.

В редакторе сечения/жесткостей необходимо задать:

- погонные жесткости связи на растяжение-сжатие и повороты;
- зазоры по всем направлениям.

При помощи переключателя нужно указать принцип работы:

- упруго на сжатие;
- упруго на растяжение;
- упругая связь.

### **Элементы для вычисления жесткостных характеристик сечений**

БКЭ содержит одномерные элементы для тонкостенного сечения (тип №103) и двумерные для массивного сечения (тип №112 — треугольник, и тип №119 — четырехугольник).

### **Элементы поверхностного теплообмена**

БКЭ содержит одномерные и двумерные элементы. Применяются в задаче теплопроводности для моделирования граничного условия Ньютона-Рихмана.

$$q = \alpha \cdot (T - T_{\text{среды}}); \quad (19.7.7)$$

где  $q$  — мощность теплового потока через площадку единичной площади на границе среды;

$\alpha$  — коэффициент поверхностного теплообмена;

$T$  — температура тела на границе среды;

$T_{\text{среды}}$  — температура внешней среды на границе.

### **Интерфейсные грунтовые элементы**

Данный КЭ позволяет обеспечить учет несовместности деформаций основания и конструкции на границе их контакта. Для решения плоских задач реализован прямоугольный физически нелинейный пластинчатый КЭ интерфейса, а для объемных — физически нелинейный объемный КЭ интерфейса (пространственные треугольные и четырехугольные призмы).

Для описания параметров деформирования интерфейсных элементов, кроме параметров, описывающих работу примыкающего элемента грунта, задается виртуальная толщина интерфейса (вдоль оси  $Z1$ ) —  $H_f$ , а также прочность интерфейса  $R_{iner}$  (в диапазоне 0–1). Для плоских элементов местная ось  $X1$  КЭ интерфейса должна быть расположена параллельно ребру примыкающего элемента конструкции, а для объемных плоскость  $X1Y1$  КЭ интерфейса должна быть расположена параллельно грани примыкающего элемента конструкции.

При реализации использовалась теория, изложенная в пособии [18.63].

$$E_r = 2 \cdot G_r \cdot \frac{1-\gamma_r}{2 \cdot \gamma_r}; \quad \gamma_r = 0.45; \quad G_r = R_{iner}^2 \cdot G_{soil};$$

$$|\tau| \leq R_{iner} \cdot (C_r - \sigma \cdot \tan(\phi)); \quad (19.7.8)$$

$$\sigma \leq R_{iner} \cdot R_t; \quad (19.7.9)$$

где  $E_r$  — модуль упругости интерфейса;

$G_r$  — модуль сдвига интерфейса;

$R_{iner}$  — коэффициент снижения прочности интерфейса;

$G_{soil}$  — модуль сдвига основы грунта;

$\tau, \sigma$  — соответственно касательное и нормальное напряжение;

$\varphi$  — угол внутреннего трения;

$C_r$  — сцепление интерфейса;

$R_t$  — предел прочности грунта на осевое растяжение.

### Пластина упругой связи

Пластина (КЭ 94, 96, 97, 98) предназначена для моделирования линейных стыков панельных зданий. В каждом из узлов КЭ имеется по шесть степеней свободы: X, Y, Z, UX, UY, UZ. Жесткости таких КЭ задаются в глобальной системе координат. При формировании матрицы жесткости ширина элемента вдоль оси ортотропии Y1 принята равной единице (считается, что ось ортотропии Y1 должна быть направлена поперек стыка). Усилия вычисляются в осях согласования.

### Пластина неупругой связи

Пластина (КЭ 294, 296, 297, 298) предназначена для моделирования линейных и нелинейных стыков панельных зданий. В каждом из узлов КЭ имеется по шесть степеней свободы: X, Y, Z, UX, UY, UZ. Жесткости таких КЭ задаются в глобальной системе координат. При формировании матрицы жесткости ширина элемента вдоль оси ортотропии Y1 принята равной единице (считается, что ось ортотропии Y1 должна быть направлена поперек стыка). Усилия вычисляются в осях согласования.

### Элементы экранирующего слоя фильтрации

Одномерные элементы предназначены для моделирования граничного условия высачивания (дренажа) при решении плоской задачи, а плоские элементы — при решении пространственной задачи фильтрации. Плоский КЭ может быть представлен как треугольный (172) или четырехугольный (174) элемент. Узловым неизвестным в данном типе конечного элемента является давление.


Граничное условие высачивания (дренажа) можно записать в виде уравнения:

$$V_n = R_0 \cdot p; \quad (19.7.10)$$

где  $V_n$  — компонент скорости фильтрации в точке на границе в направлении, нормальном к внешней поверхности;

$R_0$  — коэффициент фильтрации экранирующего слоя;

$p$  — поровое давление на границе высачивания.

 Для моделирования условия идеального дренажа рекомендуется коэффициент фильтрации экранирующего слоя принимать около  $10^5 \cdot K_f / (\rho \cdot c)$ , где  $K_f$  — коэффициент фильтрации основы грунта под исследуемой поверхностью;  $\rho$  — удельный вес жидкости;  $c$  — размер элемента грунта в направлении толщины слоя основного грунта возле поверхности.

## 19.9 СОСТАВ БКЭ

- **Стержни:**
  - Линейные:
    - №4 — пространственная ферма;
    - №3 — балочный стержень;
    - №10 — пространственная рама без стесненного кручения;
    - №7 — пространственный стержень со стесненным кручением;
    - №110 — эквивалентный стержень.
  - Физически нелинейные, нелинейная упругость:
    - №204 — пространственная ферма;
    - №210 — пространственная рама.
  - Геометрически нелинейные:
    - №304 — пространственная нить;
    - №310 — пространственная рама;
    - №309 — сильный изгиб без стесненного кручения;
    - №307 — сильный изгиб со стесненным кручением.
  - Физически и геометрически нелинейные, нелинейная упругость:
    - №404 — пространственная нить;
    - №410 — пространственная рама, сильный изгиб.
  - Физически нелинейные, упругопластичность:
    - №504 — пространственная ферма;
    - №510 — пространственная рама.
- **Двумерные элементы:**
  - Линейные элементы изгибаемой плиты.
  - Тонкие, теория Кирхгофа:
    - №12 — трехузловой треугольник;
    - №13 — шестиузловой треугольник;
    - №19 — четырехузловой четырехугольник;
    - №20 — восьмиузловой четырехугольник.
  - Толстые, теория Рейснера:
    - №16 — трехузловой треугольник;
    - №14 — шестиузловой треугольник;
    - №17 — четырехузловой четырехугольник;
    - №18 — восьмиузловой четырехугольник.
  - Линейные элементы плоского напряженного состояния и плоской деформации:
    - Вертикальные:
      - №22 — трехузловой треугольник;
      - №25 — шестиузловой треугольник;
      - №30 — четырехузловой четырехугольник;
      - №29 — восьмиузловой четырехугольник.
    - Произвольного положения:
      - №24 — трехузловой треугольник;
      - №26 — шестиузловой треугольник;
      - №27 — четырехузловой четырехугольник;

- №28 — восьмиузловой четырехугольник.
- Линейные элементы пластины:
  - Тонкие, теория Кирхгофа:
    - №42 — трехузловой треугольник;
    - №43 — шестиузловой треугольник;
    - №44 — четырехузловой четырехугольник;
    - №50 — восьмиузловой четырехугольник.
  - Толстые, теория Рейснера:
    - №46 — трехузловой треугольник;
    - №48 — шестиузловой треугольник;
    - №47 — четырехузловой четырехугольник;
    - №49 — восьмиузловой четырехугольник.
- Пластинчатые эквивалентные элементы:
  - №142 — трехузловой треугольник;
  - №144 — четырехузловой четырехугольник.
- Физически нелинейные элементы плоского напряженного состояния и плоской деформации, упругопластичность:
  - Вертикальные:
    - № 222 — трехузловой треугольник;
    - №225 — шестиузловой треугольник;
    - № 230 — четырехузловой четырехугольник;
    - № 229 — восьмиузловой четырехугольник.
  - Произвольного положения:
    - №224 — трехузловой треугольник;
    - №226 — шестиузловой треугольник;
    - №227 — четырехузловой четырехугольник;
    - №228 — восьмиузловой четырехугольник.
- Элементы грунтового массива, вертикальные, плоская деформация:
  - №282 — трехузловой треугольник;
  - №283 — шестиузловой треугольник;
  - №284 — четырехузловой четырехугольник;
  - №285 — восьмиузловой четырехугольник.
- Физически нелинейные элементы оболочек, нелинейная упругость:
  - Тонкие, теория Кирхгофа:
    - №242 — трехузловой треугольник;
    - №243 — шестиузловой треугольник;
    - №244 — четырехузловой четырехугольник;
    - №250 — восьмиузловой четырехугольник.
  - Толстые, теория Рейснера:
    - №246 — трехузловой треугольник;
    - №248 — шестиузловой треугольник;
    - №247 — четырехузловой четырехугольник;
    - №249 — восьмиузловой четырехугольник.
- Геометрически нелинейные элементы тонких оболочек (дополнительно задается признак: теория Фон Кармана, мембрана, сильный изгиб):
  - №342 — трехузловой треугольник;

- №343 — шестиузловой треугольник;
- №344 — четырехузловой четырехугольник;
- №350 — восьмиузловой четырехугольник.
- Физически и геометрически нелинейные элементы тонких оболочек, сильный изгиб:
  - №442 — трехузловой треугольник;
  - №443 — шестиузловой треугольник;
  - №444 — четырехузловой четырехугольник;
  - №450 — восьмиузловой четырехугольник.
- Физически нелинейные элементы оболочек, упругопластичность:
  - Тонкие, теория Кирхгофа:
    - №542 — трехузловой треугольник;
    - №543 — шестиузловой треугольник;
    - №544 — четырехузловой четырехугольник;
    - №550 — восьмиузловой четырехугольник.
  - Толстые, теория Рейснера:
    - №546 — трехузловой треугольник;
    - №548 — шестиузловой треугольник;
    - №547 — четырехузловой четырехугольник;
    - №549 — восьмиузловой четырехугольник.
- **Трехмерные элементы:**
  - Линейные:
    - №36 — восьмиузловой шестигранник;
    - №37 — двадцатиузловой шестигранник;
    - №34 — шестиузловой пятигранник;
    - №39 — пятнадцатиузловой пятигранник;
    - №32 — четырехузловой тетраэдр;
    - №38 — десятиузловой тетраэдр;
    - №35 — пятиузловая четырехгранная пирамида;
    - №40 — тринадцатиузловая четырехгранная пирамида.
  - Физически нелинейные, упругопластичность:
    - №236 — восьмиузловой шестигранник;
    - №237 — двадцатиузловой шестигранник;
    - №234 — шестиузловой пятигранник;
    - №239 — пятнадцатиузловой пятигранник;
    - №232 — четырехузловой тетраэдр;
    - №238 — десятиузловой тетраэдр;
    - №235 — пятиузловая четырехгранная пирамида;
    - №240 — тринадцатиузловая четырехгранная пирамида.
  - Элементы грунтового массива:
    - №276 — восьмиузловой шестигранник;
    - №277 — двадцатиузловой шестигранник;
    - №274 — шестиузловой пятигранник;
    - №279 — пятнадцатиузловой пятигранник;
    - №272 — четырехузловой тетраэдр;



- №278 — десятиузловой тетраэдр;
  - №275 — пятиузловая четырехгранная пирамида;
  - №280 — тринадцатиузловая четырехгранная пирамида.
- **Специальные элементы:**
    - Одно- и двухузловые элементы упругой связи, №56, №55;
    - Одно- и двухузловые элементы упругой связи №57;
    - Одно- и двухузловые элементы законтурного упругого основания, возможно, одностороннего, №54, №53;
    - Геометрически нелинейный элемент предварительного напряжения, №308;
    - Односторонние элементы предварительного напряжения, №208 — натяжение, №207 — сжатие;
    - Одно- и двухузловые элементы односторонней связи, №266, №265 — по перемещениям, №256, №255 — по усилиям;
    - Линейный пластинчатый КЭ упругой связи:
    - №94 — треугольный;
    - №96 — треугольный трехузловой (если используются КЭ с промежуточными узлами);
    - №97 — четырехугольный четырехузловой;
    - №98 — четырехугольный четырехузловой (если используются КЭ с промежуточными узлами).
    - Физически нелинейный пластинчатый КЭ неупругой связи:
      - №294 — треугольный трехузловой;
      - №296 — треугольный трехузловой (если используются КЭ с промежуточными узлами);
      - №297 — четырехугольный четырехузловой;
      - №298 — четырехугольный четырехузловой (если используются КЭ с промежуточными узлами).
    - Одно- и двухузловые элементы одностороннего трения, закон Кулона, №263, №264;
    - Физически нелинейные грунтовые интерфейсные элементы:
      - №268 — пластинчатый четырехузловой;
      - №269 — пространственная трех- или четырехугольная призма.
    - Элементы экранирующего слоя фильтрации:
      - №178 — одномерный;
      - №172 — трехузловой треугольник;
      - №173 — трехузловой треугольник (если используются КЭ с промежуточными узлами);
      - №174 — четырехузловой четырехугольник;
      - №175 — четырехузловой четырехугольник (если используются КЭ с промежуточными узлами).
    - Элементы неотражающей границы:
      - одномерный №68;
      - двумерные:
        - №62 — трехузловой треугольник;
        - №63 — шестиузловой треугольник;

- №64 — четырехузловой четырехугольник;
- №65 — восьмиузловой четырехугольник.
- Элементы для вычисления жесткостных характеристик сечений:
  - одномерный для тонкостенного сечения №103;
  - двумерные:
    - №112 — трехузловой треугольник;
    - №113 — шестиузловой треугольник;
    - №119 — четырехузловой четырехугольник;
    - №120 — восьмиузловой четырехугольник.
- Элементы поверхностного теплообмена:
  - одноузловой №151;
  - одномерный №168;
  - двумерные:
    - №162 — трехузловой треугольник;
    - №163 — шестиузловой треугольник;
    - №164 — четырехузловой четырехугольник;
    - №165 — восьмиузловой четырехугольник.

## ГЛАВА 20. РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ, ПРИНЯТЫЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА

При описании размерностей величин приняты следующие обозначения:

- $F$  — размерность силы;
- $L$  — размерность длины и перемещения.

### 20.1 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ПОВОРОТОВ УЗЛОВ

Перемещения (размерность  $L$ ) положительны, если они направлены вдоль соответствующих осей глобальной системы координат или локальной системы координат узла.

Повороты (безразмерны) положительны, если вращают узел против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующих осей глобальной или локальной систем координат. Депланация — скаляр, размерность  $1/L$ .

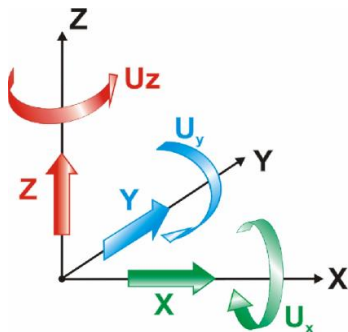


Рис. 20.1. Перемещение в глобальной системе координат

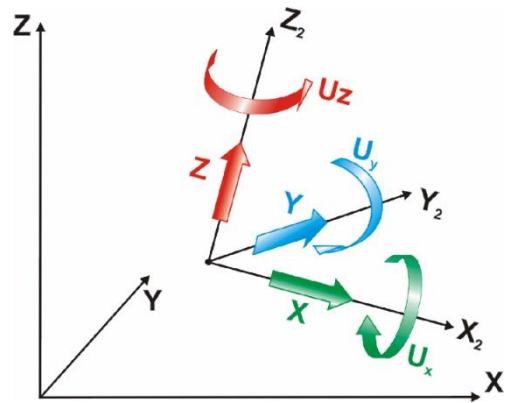


Рис. 20.2. Перемещение в локальной системе координат

### 20.2 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ УЗЛОВЫХ НАГРУЗОК И ИНЕРЦИОННЫХ СИЛ

Нагрузка и инерционная сила (размерность  $F$ ) положительны, если действуют против соответствующей оси.

Моментная нагрузка и инерционный момент (размерность  $FL$ ) положительны, если действуют по часовой стрелке, если смотреть с конца соответствующей оси.

Заданное смещение положительно, если оно направлено вдоль соответствующей оси или против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

### 20.3 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ РЕАКЦИЙ В УЗЛАХ

Линейная реакция (размерность  $F$ ) положительна, если она действует на узел против соответствующей оси глобальной или локальной системы координат узла.

Поворотная реакция (размерность  $FL$ ) положительна, если она действует на узел по часовой стрелке, если смотреть с конца соответствующей оси глобальной или локальной систем координат узла.

### 20.4 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ УСИЛИЙ В КЭ СТЕРЖНЯ

Таблица 20.1 Размерности и правила знаков усилий в стержне

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяет
N	F	Осевое усилие	Растяжение
$M_{кр}$	FL	Крутящий момент относительно оси $X_1$	Действие против часовой стрелки, если смотреть с конца оси $X_1$ , на сечение, принадлежащее концу стержня
$M_y$	FL	Изгибающий момент относительно оси $Y_1$	Растяжение нижнего волокна (относительно направления оси $Z_1$ )
$Q_z$	F	Перерезывающая сила вдоль оси $Z_1$	Совпадение с направлением оси $Z_1$ для сечения, принадлежащего концу стержня
$M_z$	FL	Изгибающий момент относительно оси $Z_1$	Растяжение нижнего волокна (относительно направления оси $Y_1$ )
$Q_y$	F	Перерезывающая сила вдоль оси $Y_1$	Совпадение с направлением оси $Y_1$ для сечения, принадлежащего концу стержня
B	FLL	Бимомент	Скаляр

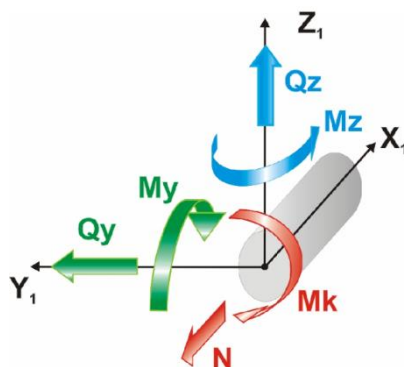


Рис. 20.3. Направление усилий в стержне в локальной системе координат

### 20.5 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ УСИЛИЙ В КЭ ПЛАСТИН

Таблица 20.2 Размерности и правила знаков усилий в КЭ плит

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяет
$M_x$	FL/L	Момент, действующий на сечение, ортогональное оси $X_1$	Растяжение нижнего относительно оси $Z_1$ волокна
$M_y$	FL/L	То же относительно оси $Y_1$	Растяжение нижнего относительно оси $Z_1$ волокна
$M_{xy}$	FL/L	Крутящий момент	Диагональ 1-4 или медиана, выходящая из узла 1, выпукла вниз относительно оси $Z_1$
$Q_x$	F/L	Перерезывающая сила вдоль оси $Z_1$ в сечении, ортогональном оси $X_1$	Совпадение с направлением оси $Z_1$ на той части КЭ, в которой отсутствует узел 1
$Q_y$	F/L	То же, в сечении, ортогональном оси $Y_1$	Совпадение с направлением оси $Z_1$ на той части КЭ, в которой отсутствует узел 1
$R_z$	F/L <sup>2</sup>	Давление на грунт	Растяжение грунта

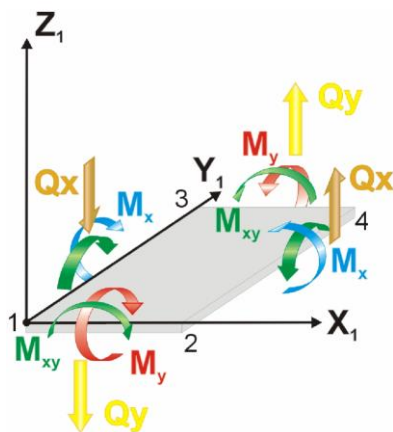


Рис. 20.4. Направление усилий в плите в локальной системе координат

Таблица 20.3 Размерности и правила знаков усилий в КЭ балки-стенки

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяет
$N_x$	$F/L^2$	Нормальное напряжение вдоль оси $X_1$	Растяжение
$N_z$	$F/L^2$	Нормальное напряжение вдоль оси $Z_1$	Растяжение
$T_{xz}$	$F/L^2$	Сдвигающее напряжение	Удлинение диагонали 1–4 четырехугольного КЭ или медианы, выходящей из узла 1, в треугольном КЭ

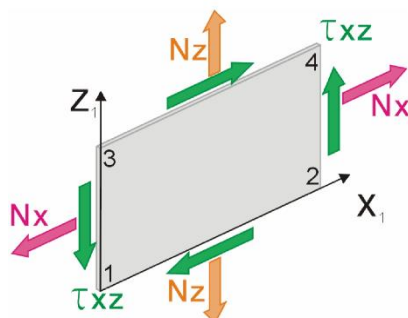


Рис. 20.5. Направление усилий в балке-стенке в локальной системе координат

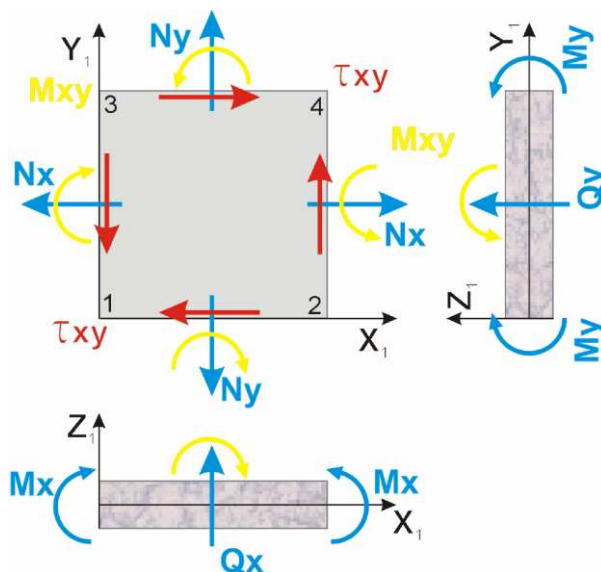


Рис. 20.6. Направление усилий в оболочке в локальной системе координат

Таблица 20.4 Размерности и правила знаков усилий в КЭ пластин

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяет
$N_x$	$F/L^2$	Нормальное напряжение вдоль оси $X_1$	Растяжение
$N_y$	$F/L^2$	То же вдоль оси $Y_1$	Растяжение
$T_{xy}$	$F/L^2$	Сдвигающее напряжение	Удлинение диагонали 1–4 четырехугольного КЭ или медианы треугольного КЭ, выходящей из узла 1
$M_x$	$FL/L$	Момент, действующий на сечении, ортогональное оси $X_1$	Растяжение нижнего относительно оси $Z_1$ волокна
$M_y$	$FL/L$	То же вдоль оси $Y_1$	Растяжение нижнего относительно оси $Z_1$ волокна
$M_{xy}$	$FL/L$	Крутящий момент	Диагональ 1–4 или медиана, выходящая из узла 1, выпукла вниз относительно оси $Z_1$
$Q_x$	$F/L$	Перерезывающая сила вдоль оси $Z_1$ в сечении, ортогональном оси $X_1$	Совпадение с направлением $Z_1$ на той части КЭ, в которой отсутствует узел 1
$Q_y$	$F/L$	Перерезывающая сила вдоль оси $Z_1$ в сечении, ортогональном оси $Y_1$	То же для оси $Y_1$
$R_z$	$F/L^2$	Давление на грунт	Растяжение грунта

## 20.6 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ УСИЛИЙ В ОБЪЕМНЫХ КЭ

Таблица 20.5 Размерности и правила знаков усилий в объемных КЭ

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяет
$N_x$	$F/L^2$	Нормальное напряжение вдоль оси $X_1$	Растяжение
$N_y$	$F/L^2$	То же вдоль оси $Y_1$	Растяжение
$N_z$	$F/L^2$	То же вдоль оси $Z_1$	Растяжение
$T_{xy}$	$F/L^2$	Сдвигающее напряжение, параллельное оси $X_1$ и лежащее в плоскости, параллельной $X_1OZ_1$	Совпадение с направлением оси $X_1$ , если $NY$ совпадает по направлению с осью $Y_1$
$T_{xz}$	$F/L^2$	Сдвигающее напряжение, параллельное оси $X_1$ и лежащее в плоскости, параллельной $X_1OY_1$	Совпадение с направлением оси $X_1$ , если $NZ$ совпадает по направлению с осью $Z_1$
$T_{yz}$	$F/L^2$	Сдвигающее напряжение, параллельное оси $Y_1$ и лежащее в плоскости, параллельной $X_1OY_1$	Совпадение с направлением оси $Y_1$ , если $NZ$ совпадает по направлению с осью $Z_1$

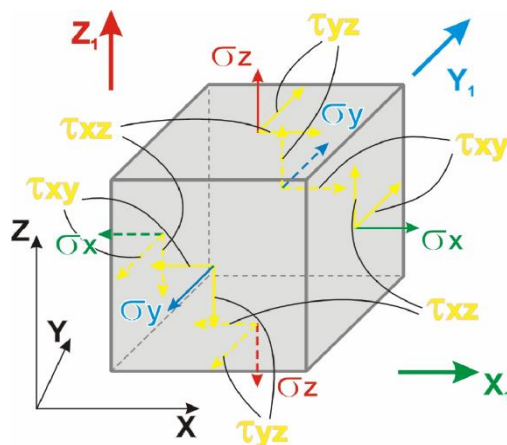


Рис. 20.7. Направление усилий в объемном КЭ в локальной системе координат

## 20.7 РАЗМЕРНОСТИ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ УСИЛИЙ В СПЕЦИАЛЬНЫХ КЭ

Таблица 20.6 Правила знаков усилий в специальных одноузловых КЭ 56, 263, 256, 266

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяется
$R_x$ $R_y$ $R_z$	F F F	Усилия в связи, ограничивающей перемещение вдоль осей координат	Положительным перемещением узла
$R_{ux}$ $R_{uy}$ $R_{uz}$	FL FL FL	Усилия в связи, ограничивающей поворот вокруг осей координат	Положительным поворотом узла

Таблица 20.7 Правила знаков усилий в специальных двухузловых КЭ 55, 264, 255, 265

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяется
$R_x$ $R_y$ $R_z$	F F F	Усилия в связи, ограничивающей перемещение вдоль осей координат	Положительной разностью перемещений второго и первого узлов
$R_{ux}$ $R_{uy}$ $R_{uz}$	FL FL FL	Усилия в связи, ограничивающей поворот вокруг осей координат	Положительной разностью поворотов второго и первого узлов

Знаки усилий специального двухузлового КЭ 55 зависят от порядка перечисления узлов при задании элемента.

Таблица 20.8 Правила знаков усилий в специальных КЭ 53,54

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяется
$R_z$	F	Отпор грунта за пределами конструкции в узле элемента	Положительным перемещением узла вдоль оси Z

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФОРМАТ ВХОДНОГО ФАЙЛА РАСЧЕТНОГО ПРОЦЕССОРА

### А.1 ФОРМА ОПИСАНИЯ ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Входными данными расчетного процессора является текстовый файл, разбитый на функциональные части — *документы*, каждый из которых имеет уникальный номер и отвечает за определенный набор характеристик.

Область *документа* определяется открытой «(» и закрытой «)» круглыми скобками. Все данные, которые находятся за пределами областей документов, будут проигнорированы процессором. После открытой скобки следует номер *документа* и символ «/».

Каждый *документ* состоит из *строк*, конец каждой из которых обозначается символом «/». В области документа можно задать комментарий, обравив его символами «\*» и «/». Комментарий не должен содержать символов, определяющих область документа, а также конца строки.

Несколько *строк документа* могут быть оформлены, как одна строка текстового редактора, а также для удобства восприятия и чтения одна *строка документа* может состоять из нескольких строк текстового редактора.

Пример:

```
( 1/
  7 1 1 2 /* 1-й элемент / 7 2 2 3      /* 2-й элемент /
  7 1 3 4 /* 3-й элемент /
  7 1
  4 5      /* 4-й элемент /
)
```

*Документ* текстового файла имеет строго форматизированный вид, как и каждая его *строка*. *Строки* в пределах одного *документа* могут иметь одинаковый вид или отличаться друг от друга в случае присутствия определенного идентификатора.

Список *документов* условно можно разбить на такие категории: общие характеристики, узлы, элементы, нагрузки и воздействия, а также сочетания (табл. А.1).

Таблица А.1 Документы текстового файла

Категория	Номер документа	Назначение
1	2	3
Общие характеристики	0	Общие характеристики задачи
	13	Бинарная информация
	27	Версия текстового файла и контрольные суммы
Узлы	4	Координаты узлов
	5	Закрепления и объединение перемещений
	12	Локальная система координат
	25	Абсолютно твердые тела



## Продолжение таблицы А.1

1	2	3
Элементы	1	Элементы (типы и перечень узлов)
	2	Шарниры
	9	Оси выравнивания усилий и напряжений
	11	Предельная относительная неупругая деформация элементов для КМК 2.01.03-96 "Строительство в сейсмических районах" Республики Узбекистан
	14	Жесткие вставки
	17	Локальная система координат/оси ортотропии
	19	Упругое основание
	21	Этажи
	39	Монтажные таблицы
	41	Материалы и сечения (жесткости)
	44	Эквивалентные элементы
	48	Несогласованные сети
Нагрузки и воздействия	6	Загружения и нагрузки
	7	Параметры нагрузок
	10	Коэффициенты к стадиям монтажа
	15	Динамические воздействия
	16	Управление нелинейными загружениями или стадиями монтажа
	20	Устойчивость
	22	Ползучесть
	23	Эксцентриситеты этажей
	24	Управление сопутствующими статическими загружениями на стадиях монтажа
	28	Динамика во времени
	30	Топология поверхностей/линий влияния (МОСТ)
	31	Траектории движения (МОСТ)
	34	Описание подвижных нагрузок и траекторий передвижения (МОСТ)
	35	Описание величин подвижных нагрузок (МОСТ)
	36	Коэффициенты сочетания подвижных нагрузок (МОСТ)
	40	PushOver
	43	Конденсация масс
47	Параметры обобщенных загружений	
49	Начальная температура	
Сочетания	8	Расчетные сочетания усилий (PCY)
	29	Коэффициенты сочетаний по степени влияния
	37	Коэффициенты к загружениям (перевод к нормативным, перевод к расчетным и доля длительности) для РСН
	38	РСН

## А.2 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Текстовый документ задачи должен начинаться с *документа 0*, каждая *строка* которого имеет свой номер и отвечает за определенный набор данных (табл. А.2).

*Строка документа 0* начинается с ее номера, после которого идет символ «;». Этот же символ может стоять перед окончанием *строки*, а также с помощью него могут разделяться данные внутри одной *строки* (к примеру, в *строках 4, 39*).

Пример:


```
( 0/
  1; Untitled/
  2; 7/
  4;
    3 : 1-5 ;
    4 : 6-10 ;
  /
  9;
    1 : 133-135 ;
    2 : 195-197 ;
  /
  10; 1 4 5-10 /
  11; 1 2 3 4 5 6 7 8 : 1 3 4-10 /
  12;
    11 : 1 3 ;
    21 : 2 4 ;
    32 : 5 7 ;
    42 : 6 8 ;
  /
  13; 1 3 4-10 /
  16; 2 1/
  17;
    1: 1-99 ;
    2: 100-198 ;
  /
  18; 1 3 4-10 /
  19; 11/
  20; 7 5 1 0.1 0 7 0 0 /
  21; 5 0 0.85 0 2 /
  39;
    1 : 1. Статическое загрузеение ;
    2 : 2. Статическое загрузеение ;
  /
)
```

Таблица А.2 Строки документа 0

Номер строки документа 0	Назначение
1	Имя задачи
2	Признак схемы
4	Количество расчетных сечений для стержней
9	Прокатка спаренных нагрузок АК в элементах для системы МОСТ

## Продолжение таблицы А.2

10	Список расчетных узлов для системы МОСТ
11	Список расчетных элементов для системы МОСТ
12	Унификация элементов для РСУ
13	Исключение элементов из расчета устойчивости
16	Ограничение на количество крановых и тормозных нагрузок, входящих в РСУ
17	Группы элементов с коэффициентами к стадиям монтажа
18	Элементы с односторонним упругим основанием
19	Расчет с промежуточными узлами
20	Управляющие параметры
21	Параметры РСУ
39	Имена загружений

 Списки элементов или узлов в строках 0-го документа могут быть заданы с помощью символа «-» для номеров, идущих подряд.

1-я строка содержит имя задачи, которое не может включать в себя символы «(», «)», «:», «?», «\*», «/», «\», «,», так как эти символы недопустимы в именах файлов либо являются разделителями строк и документов в текстовом файле.

2-я строка содержит одно число — признак схемы (табл. А.3).

Таблица А.3 Признаки схемы

Признак схемы	Задействованные направления	Описание
1	X, Z	Плоская ферма или балка-стенка
2	X, Z, UY	Плоская рама
3	Z, UX, UY	Плоская плита или ростверк
4	X, Y, Z	Пространственная ферма или объемный массив
5	X, Y, Z, UX, UY, UZ	Пространственная конструкция
7	X, Y, Z, UX, UY, UZ, W	Пространственная конструкция с учетом депланации стержней

4-я строка — количество расчетных сечений стержней. Задается следующим образом: первым идет число расчетных сечений, после — символ «:», далее — список номеров стержней и в конце символ «;», что обозначает конец данных для конкретного числа расчетных сечений.

9-я строка — данные о прокатке спаренных нагрузок АК в системе МОСТ. Задаются следующим образом: первым идет число, которое обозначает, где нужно учитывать спаренные нагрузки (1 — в первом сечении, 2 — в последнем), после — символ «:», далее — список номеров стержней и в конце символ «;».

10-я строка — список расчетных узлов для системы МОСТ.

11-я строка — список расчетных элементов для системы МОСТ. Задаются следующим образом: в начале идет список кодов усилий (должен быть равен 1 2 3 4 5 6 7 8), которые необходимо вычислять, после — символ «:», далее — список номеров элементов.

*12-я строка* — унификация элементов для РСУ. Задается следующим образом: первым идет число, которое обозначает номер группы унификации (до последней цифры) и ее тип (последняя цифра: 1 — единое сечение для всей группы, 2 — унификация по отдельным сечениям), после — символ «:», далее — список номеров элементов, которые входят в данную группу и в конце символ «;», обозначающий конец данных для конкретной группы унификации.

*13-я строка* — список элементов, для которых при расчете устойчивости не вычисляется матрица устойчивости.

*16-я строка* состоит из двух чисел: 1-е — учитываемое количество вертикальных крановых нагузков, 2-е — учитываемое количество тормозных крановых нагузков.

*17-я строка* — группы коэффициентов для монтажных стадий. Задается следующим образом: первым идет номер группы, после — символ «:», далее — список номеров элементов и в конце символ «;». Сами коэффициенты к монтажным стадиям, относящиеся к конкретной группе, задаются в документе 10 (подробнее см. п. А.5 «Нагрузки и воздействия»).

*18-я строка* — список элементов с односторонним упругим основанием.

*19-я строка* необходима в случае расчета с учетом промежуточных узлов и содержит одно число, номер последнего «не промежуточного» узла.



*При расчете с учетом промежуточных узлов номера промежуточных узлов должны быть в конце списка.*

*20-я строка* состоит из восьми чисел: 1-е — точность разложения, 2-е — точность динамики, 3-е — порог вклада модальных масс, 4-е — точность суммирования форм с кратными частотами, 5-е — метод разложения, 6-е — метод оптимизации, 7-е — использовать ли 6 степеней свободы в оболочке, 8-е — использовать ли одно ядро процессора.

*21-я строка* состоит из пяти чисел: 1-е — нормативный документ (0 — не выполнять расчет РСУ, 1 — СНиП 2.01.07-85\*, 2 — ДБН В.1.2-2:2006, 3 — СП 20.13330.2011, 4 — СП 20.13330.2016; 5 — EN 1990:2002), следующие 4 числа нужны только для нормативного документа EN 1990:2002 и обозначают: 2-е — 0 — использовать формулу (6.10) или 1 — использовать  $\max\{(6.10a), (6.10b)\}$ ; 3-е — значение коэффициента редукции в формуле (6.10b); 4-е — выбор между 0 —  $\psi_{11}$  или 1 —  $\psi_{21}$  для аварийных расчетных ситуаций; 5-е — какую таблицу использовать: 1 — EQU(группа А), 2 — STR/GEO(группа В), 4 — STR/GEO(группа С), 3 — EQU(группа А) и STR/GEO(группа В), 5 — EQU(группа А) и STR/GEO(группа С), 6 — STR/GEO(группа В) и STR/GEO(группа С), 7 — EQU(группа А) и STR/GEO(группа В) и STR/GEO(группа С).

*39-я строка* — имена загружений, которые задаются следующим образом: первым идет номер загрузки, после — символ «:», далее — имя загрузки и в конце символ «;», обозначающий конец данных для конкретного имени загрузки.

*Документ 13* — бинарная информация, записываемая в текстовый файл и используемая при импорте из текстового файла.

*Документ 27* — версия текстового файла и контрольные суммы, является обязательным и имеет всего одну строку, первое число которой соответствует номеру версии и изменениям текстового файла и вычисляется по формуле:

$$\begin{cases} A = V \cdot 10000 + R \cdot 100, & \text{для версии 10.12 и далее} \\ A = V \cdot 1000 + R \cdot 100, & \text{для более ранних версий} \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

где  $A$  — первое число 27-го документа,  
 $V=10$  — номер версии текстового файла,  
 $R=4$  — номер изменений текстового файла.

Все остальные числа — контрольные суммы для отдельных частей расчетной схемы, эти числа используются для проверки соответствия результатов расчета исходным данным.

### А.3 Узлы

*Документ 4* — координаты узлов. Строка содержит три координаты узла, которые задаются в метрах по направлениям в порядке: X, Y, Z. Все три координаты являются обязательными даже для плоских задач. Номер строки равен номеру узла в схеме.

Пример:

```
( 4/
    0.00000  2.00000  4.00000 /* узел 1 /
   -1.00000  2.00000  4.00000 /* узел 2 /
   -2.00000  2.00000  4.00000 /* узел 3 /
   -3.00000  2.00000  4.00000 /* узел 4 /
   -4.00000  2.00000  4.00000 /* узел 5 /
)
```

*Документ 5* — закрепления узлов и объединение перемещений. Первым числом в строке идет номер узла, далее идут соответствующие номера направлений (1 — X, 2 — Y, 3 — Z, 4 — UX, 5 — UY, 6 — UZ, 7 — W, 700 — T (нулевая температура в узле), 800 — F (нулевое давление в узле)), по которым узел будет закреплен или объединен по перемещениям.

 Для степеней свободы T и F объединение перемещений не предусмотрено.

Для задания закреплений достаточно указать номер узла и нужные направления. Для задания объединения перемещений необходимо после указания номера узла и направлений следующими строками указывать номера узлов, с которыми объединяются перемещения (в одной строке — один номер узла).

Пример:


```
( 5/
  * закрепления узлов /
  1 4 5 6 /
  3 4 5 6 7 /
  5 4 5 6 7 700/
  13 1 2 3 4 5 6 /
  13 7 /
  * объединение перемещений /
```

```

1 1 2 3 /3 /5 /7 /
2 1 2 3 4 5 6 /4 /6 /
2 7 /4 /6 /
)

```

Закреплены узлы: 1-й — по UX, UY, UZ, 3-й — по UX, UY, UZ, W, 5-й — по UX, UY, UZ, W, F, 13-й — по всем направлениям и объединены перемещения: 1-го, 3-го, 5-го и 7-го узлов по X, Y, Z, а также 2-го, 4-го и 6-го узлов по всем направлениям.

 *Строка документа 5 имеет ограничение на 7 чисел (с учетом номера узла). Поэтому для закрепления или объединения всех 7 направлений последнее направление необходимо указать с помощью новой строки.*

*Документ 12 описывает локальную систему координат узлов. Первым числом в строке является номер узла, далее задаются 6 чисел — два нормированных вектора (X и Y). Вектор Z определяется в процессоре как векторное произведение  $X \times Y$ , как для правосторонней системы координат.*

Пример:

```

( 12/
2 -0.857142857 -0.428571428 -0.285714285 0.447213595 -0.89442719 0 /
3 -1 0 0 0 -0.7071067812 0.7071067812 /
4 -0.99388373 0.11043152 0 -0.0780868809 -0.702781928 0.707106781 /
)

```


*Документ 25 служит для задания абсолютно твердых тел. Каждая строка — список номеров всех узлов одного твердого тела; первый узел в списке — базовый узел твердого тела.*

Пример:

```

( 25/
1 2 3 4 5 /
10 11 13 18 20 /
31 32 33 41 42 /
)


```

 *Количество узлов для одного твердого тела ограничено числом 501. Список узлов не допускается задавать через символ «-», даже если номера узлов идут подряд.*

## А.4 ЭЛЕМЕНТЫ

Документ 1 служит для задания типов и номеров узлов элементов. Порядок подачи элементов является их нумерацией. Строка документа 1 задается в такой последовательности:

- тип элемента;
- номер жесткости (должно быть положительным числом), который будет определен в процессоре;
- номера узлов.

 Количество узлов в одной строке ограничено числом 4, поэтому для задания большего количества узлов необходимо использовать дополнительные строки, в которых вместо типа элемента и номера жесткости будут стоять нули, а далее — оставшиеся узлы.

Пример:

```
( 1/
  * 1-й элемент 56-го типа (одноузловой) /
  56 1 1 /

  * 2-й элемент 10-го типа (стержень) /
  10 1 2 3 /


  * 3-й элемент 42-го типа (3-узловая пластина) /
  42 1 4 5 6 /

  * 4-й элемент 44-го типа (4-узловая пластина) /
  44 1 7 8 10 9 /

  * 5-й элемент 32-го типа (тетраэдр) /
  32 1 11 12 13 14 /

  * 6-й элемент 34-го типа (произвольная треугольная призма) /
  34 1 15 16 17 22 / 0 0 23 24 /

  * 7-й элемент 36-го типа (произвольный гексаэдр) /
  36 1 18 19 21 20 / 0 0 25 26 28 27 /
)
```

 В случае расчета с учетом промежуточных узлов, пластины и объемные элементы должны иметь соответствующий тип (см. Главу 19), стержни и одноузловые элементы остаются с такими же типами, что и без промежуточных узлов.

Пример задания 1-го документа с учетом промежуточных узлов (28 — номер последнего не промежуточного узла):

( 1/

```

* 1-й элемент 56-го типа (одноузловой) /
56 1 1 /
* 2-й элемент 10-го типа (стержень) /
10 1 2 3 29 /

* 3-й элемент 43-го типа (3-узловая пластина) /
43 1 4 5 6 32 / 0 0 31 30 /

* 4-й элемент 50-го типа (4-узловая пластина) /
50 1 7 8 10 9 / 0 0 33 34 36 35 /

* 5-й элемент 38-го типа (тетраэдр) /
38 1 11 12 13 14 / 0 0 40 38 37 39 / 0 0 41 42 /

* 6-й элемент 39-го типа (произвольная треугольная призма) /
39 1 15 16 17 22 / 0 0 23 24 46 44 / 0 0 43 59 58 57 / 0 0 45 47 48 /

* 7-й элемент 37-го типа (произвольный гексаэдр) /
37 1 18 19 21 20 / 0 0 25 26 28 27 / 0 0 49 50 54 52 /
0 0 60 61 63 62 / 0 0 51 53 56 55 /
    
```

)

Для пояснения порядка подачи узлов элементов в документе 1 ниже приведены рисунки А.1–А.6, где схематически показаны элементы и номера их узлов с учетом промежуточных.

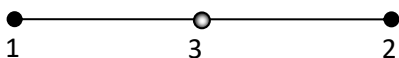


Рис. А.1. Порядок подачи узлов для стержня

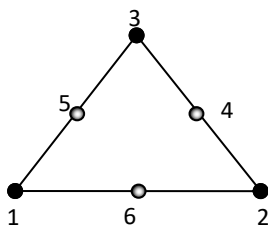


Рис. А.2. Порядок подачи узлов для 3-узловой пластины

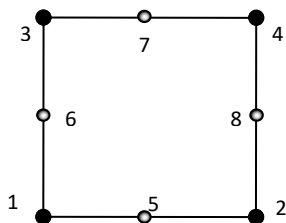


Рис. А.3. Порядок подачи узлов для 4-узловой пластины



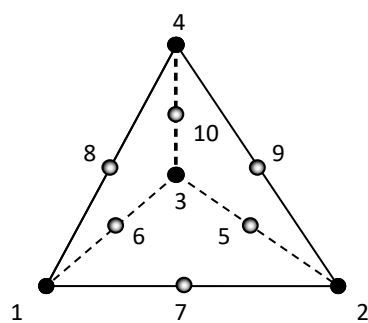


Рис. А.4. Порядок подачи узлов для тетраэдра

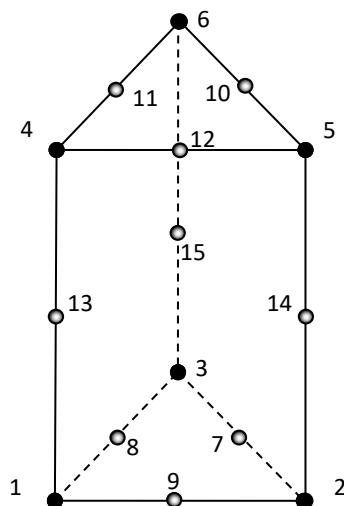


Рис. А.5. Порядок подачи узлов для произвольной треугольной призмы

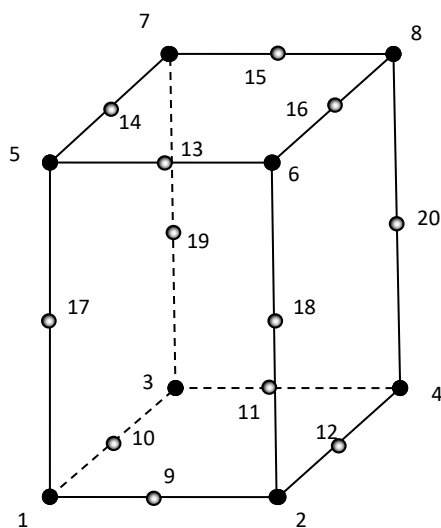


Рис. А.6. Порядок подачи узлов для произвольного гексаэдра

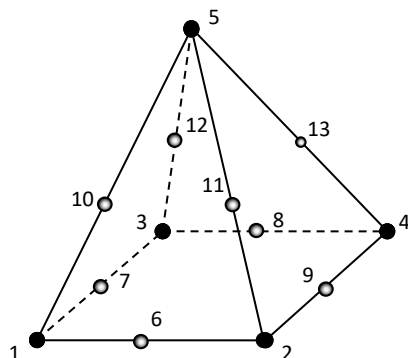


Рис. А.7. Порядок подачи узлов для пирамиды

Документ 2 описывает данные о шарнирах. Каждая строка документа 2 содержит информацию о шарнире для одного узла стержня по конкретному направлению и задается:

- Для идеального и упругого (шарнира с конечной жесткостью) шарниров с помощью 4 чисел:
  1. Номер стержня.
  2. Локальный номер узла (1 или 2, в соответствии с документом 1).
  3. Номер направления (1 — X, 2 — Y, 3 — Z, 4 — UX, 5 — UY, 6 — UZ, 7 — W).
  4. Жесткость (тс/м или тс·м/рад) — задается только для шарнира с конечной жесткостью, в случае идеального шарнира — 0 или вообще не задается.
- Для нелинейного шарнира с помощью 7–19 чисел:
  1. Номер стержня.
  2. Локальный номер узла (1 или 2, в соответствии с документом 1).
  3. Номер направления (1 — X, 2 — Y, 3 — Z, 4 — UX, 5 — UY, 6 — UZ).
  4. Закон (для линейного направления: перемещение, (м) – сила, (тс) или для углового направления: поворот, (Рад) — момент, (тс·м)), минимальное число пар закона — 2, максимальное — 8. Точка (0, 0) в законе не задается.

По депланации шарнир может быть создан только идеальным.

Пример:

```
( 2/
  * идеальный шарнир в 1-м элементе в 1-м узле по направлению Z /
  1 1 3/

  * шарнир конечной жесткости 100 тс·м/рад во 2-м элементе в 1-м узле по
  направлению UZ /
  2 1 6 100/

  * идеальный шарнир в 3-м элементе во 2-м узле по направлению X /
  3 2 1/

  * нелинейный шарнир в 4-м элементе во 2-м узле по направлению UY /
  4 2 5 -0.0017453 -11 -0.00087266 -9 -0.00043633 -7 -0.00017453 -5
  0.00017453 5 0.00043633 7 0.00087266 9 0.0017453 11 /
)
```


*Документ 9* описывает оси выравнивания усилий и напряжений и задается таким образом:

1. Номер элемента.
2. Для стержней задается нормализованный вектор по направлению  $Y1$  (вектор  $X$  у стержней всегда направлен от 1-го узла ко 2-му, вектор  $Z$  определяется в процессоре векторным произведением  $X \times Y$ , как для правосторонней системы координат), для пластин — угол поворота, для объемных элементов — два нормализованных вектора по направлениям  $X1$  и  $Y1$ .

Пример:

```
( 9/
  * оси выравнивания усилий для стержня под номером 1 /
  1 0 0.525322 0.8509035 /
  * оси выравнивания напряжений для пластины под номером 2 /
  2 90 /
  * оси выравнивания напряжений для объемного элемента под номером 3 /
  3 1 0 0 0 1 0 /
)
```

*Документ 11* описывает предельную относительную деформацию элементов для КМК 2.01.03-96 “Строительство в сейсмических районах” Республики Узбекистан. Каждая строка документа 11 содержит значение предельной относительной деформации. Порядок подачи соответствует элементам.

 Число строк документа 11 должно соответствовать количеству элементов.

*Документ 14* описывает жесткие вставки элементов и задается таким образом:

1. Номер элемента.
2. Тип осей, в которых задана жесткая вставка (для стержней: 3 — глобальные оси, 0 — местные оси; для пластин: всегда в местных осях).
3. Значения жесткой вставки, для стержней — 6 чисел (приращения по  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$  для 1-го и 2-го узлов), для пластин — приращения по  $Z$ .

Пример:

```
( 14/
  * жесткая вставка в глобальных осях для стержня под номером 1 /
  1 3 0 0 0 2 1 0 /

  * жесткая вставка в местных осях для пластины под номером 2 /
  2 0 1 /
)
```

 Жесткие вставки задаются в метрах.

*Документ 17* описывает локальные оси стержней, а также оси ортотропии для пластин и объемных элементов. Задается таким образом:

1. Для стержней задается только нормализованный вектор  $Y$  (вектор  $X$  у стержней всегда направлен от 1-го узла ко 2-му, вектор  $Z$  определяется в процессоре векторным произведением  $X \times Y$ , как для правосторонней системы координат).
2. Для пластин задается угол поворота.
3. Для объемных элементов задаются два нормализованных вектора по направлениям  $X1$  и  $Y1$ .

Первым числом в строке 17 документа должен быть номер элемента, а далее описание осей.

Пример:

```
( 17/
  1 -0.707 0 0.707 /* локальная система стержня /
  2 14.036 /* оси ортотропии для пластины /
  4 0 1 0 0.56 0 -0.83 /* оси ортотропии для объемного элемента /
)
```

Документ 19 описывает упругое основание и задается таким образом:

1. Для одноузлового элемента законтурного упругого основания (тип 54) необходимыми характеристиками являются:
  - 1.1. Коэффициент сдвига  $C2$ , (тс/м), учитывающий законтурную работу упругого основания.
  - 1.2. Угол клина упругого основания, (°).
2. Для стержней существует два варианта:
  - 2.1. Для законтурного упругого основания (тип 53) необходимыми характеристиками являются:
    - 2.1.1. Коэффициент сжатия упругого основания  $C1$ , (тс/м<sup>3</sup>).
    - 2.1.2. Коэффициент сдвига  $C2$ , (тс/м), учитывающий законтурную работу упругого основания.
  - 2.2. Для общего случая необходимыми характеристиками являются:
    - 2.2.1. Ширина упругого основания, (м).
    - 2.2.2. Коэффициент сжатия упругого основания  $C1$ , (тс/м<sup>3</sup>).
    - 2.2.3. Коэффициент сдвига  $C2$ , (тс/м).
    - 2.2.4. Ширина упругого основания стержня, (м) вдоль оси  $Y1$ .
    - 2.2.5. Коэффициент сжатия упругого основания  $uC1$ , (тс/м<sup>3</sup>) вдоль оси  $Y1$ .
    - 2.2.6. Коэффициент сдвига  $uC2$ , (тс/м) вдоль оси  $Y1$ .
    - 2.2.7. Периметр стержня или ширина сбора основания стержня, (м) вдоль оси  $X1$ .
    - 2.2.8. Коэффициент сжатия упругого основания  $Sx$ , (тс/м<sup>3</sup>).
3. Для пластин необходимыми характеристиками являются:
  - 3.1. Коэффициент сжатия упругого основания  $C1$ , (тс/м<sup>3</sup>).
  - 3.2. Коэффициент сдвига  $C2,x$  вдоль оси  $X1$ , (тс/м).
  - 3.3. Коэффициент сдвига  $C2,y$  вдоль оси  $Y1$ , (тс/м).
  - 3.4. Коэффициент сдвига  $C2,xу$  упругого основания обладающего анизотропными свойствами, (тс/м).
  - 3.5. Коэффициент сжатия упругого основания  $Sx$ , (тс/м<sup>3</sup>).
  - 3.6. Коэффициент сжатия упругого основания  $Sу$ , (тс/м<sup>3</sup>).

Каждая строка 19-го документа должна начинаться с номера элемента. Пример:


```
( 19/
  1 800 90 /* для одноузлового элемента 54-го типа /
  2 800 1000 /* для стержня 53-го типа /
  3 0.4 800 1000 0.4 500 700 1.6 800 /* общий случай для стержня /
  4 900 1000 1000 0 630 630 /* для пластин /
)
```

*Документ 21* описывает этажи здания. Задается таким образом: номер этажа, затем через символ двоеточия задаются номера элементов, входящие в этот этаж (допускается задавать список через символ «-»).

Пример:

```
( 21/
  1 : 241-484 1529 2334 2335-2533 2870-2953 3098-3133 3214-3283 /
  2 : 485-728 1530 2134 2135-2333 2786-2869 3062-3097 3194-3213 3284-3333
    /
  3 : 729-972 1531 1934 1935-2133 2702-2785 3026-3061 3174-3193 3334-3383
    /
  4 : 973-1216 1532 1734 1735-1933 2618-2701 2990-3025 3154-3173 3384-3433
    /
  5 : 1217-1460 1533-1733 2534-2617 2954-2989 3134-3153 3434-3483 /
)
```

*Документ 39* описывает задания монтирования/демонтажа элементов на конкретных стадиях монтажа. В строке указывается номер стадии возведения, монтаж (1) или демонтаж (4), список элементов.

 Списки элементов в строках 39-го документа могут быть заданы с помощью символа «-» для номеров, идущих подряд.

Пример

```
( 39/
  * первая стадия возведения - монтаж элементов/
  1 1 : 1-64 /

  * вторая стадия возведения - монтаж элементов/
  2 1 : 65-128 /

  * вторая стадия возведения - демонтаж элементов/
  2 4 : 3 /
)
```

Задано 2 стадии:

1. Монтирование элементов с номерами: 1 – 64.
2. Монтирование элементов с номерами: 65 – 128 и демонтаж — с номером 3.

Документ 41 описывает жесткости элементов (материалы и сечения).

Строка документа 41 задается в следующем порядке:

1. Номер раздела.
2. Номер группы.
3. Жесткостные характеристики.
4. Символ «:».
5. Список элементов (допускается задавать список через символ «-»).
6. Символ «;».
7. Символ конца строки «/».

Разделы документа 41:

1. Материалы (табл. А.4–А.7).
2. Сечения (табл. А.8–А.10).
3. Грунты.
4. Спецэлементы (табл. А.11).
5. Дополнительные характеристики.
6. Произвольные нелинейные сечения.

### Материалы (раздел 1 41-го документа)

Таблица А.4 Группы 1-го раздела 41-го документа

Номер раздела	Номер группы	Описание
1	1	Изотропный материал
1	3	Ортотропный материал
1	4	Нелинейный основной материал
1	5	Нелинейный армирующий материал
1	7	Ползучесть
1	8	Теория прочности физической нелинейности
1	9	Нормы для учета пластических шарниров
1	11	Изотропные параметры для задачи «Теплопроводность»
1	13	Ортотропные параметры для задачи «Теплопроводность»
1	14	Коэффициенты демпфирования
1	15	Параметры многослойных пластин по слоям

Изотропный материал задается в такой последовательности:

1. Объемный вес, (тс/м<sup>3</sup>).
2. Модуль упругости, (тс/м<sup>2</sup>).
3. Коэффициент Пуассона.

Ортотропный материал задается в такой последовательности:

1. Объемный вес, (тс/м<sup>3</sup>).
2. Модуль упругости E1, (тс/м<sup>2</sup>).
3. Модуль упругости E2, (тс/м<sup>2</sup>).
4. Модуль упругости E3, (тс/м<sup>2</sup>).

5. Коэффициент Пуассона  $\nu_{12}$ .
6. Коэффициент Пуассона  $\nu_{21}$ .
7. Коэффициент Пуассона  $\nu_{13}$ .
8. Коэффициент Пуассона  $\nu_{23}$ .
9. Коэффициент Пуассона  $\nu_{31}$ .
10. Коэффициент Пуассона  $\nu_{32}$ .
11. Модуль сдвига  $G_{12}$ , (тс/м<sup>2</sup>).
12. Модуль сдвига  $G_{13}$ , (тс/м<sup>2</sup>).
13. Модуль сдвига  $G_{23}$ , (тс/м<sup>2</sup>).

Для нелинейного основного материала (задается законами 11, 13, 15, 14, 18) и армирующего материала (задается законами 11, 13, 15, 14) после задания номера раздела и группы задается номер закона (табл. А.5).

Для нелинейного основного материала объемный вес, модуль упругости и коэффициент Пуассона задаются с помощью раздела 1 группы 1.

Таблица А.5 Законы нелинейного материала

Номер закона	Описание
11	Экспоненциальная зависимость
13	Трехлинейная зависимость
14	Кусочно-линейное описание
15	Экспоненциальная зависимость (бетон и арматура)
18	Теория Гениева

*11-й, 13-й и 15-й законы* задаются в такой последовательности:

1. Модуль упругости  $E$ , (тс/м<sup>2</sup>).
2. Предел прочности на сжатие  $\sigma^-$ , (тс/м<sup>2</sup>).
3. Предел упругости на сжатие  $\sigma_{0}^-$ , (тс/м<sup>2</sup>).
4. Предел относительной деформации на сжатие  $\varepsilon^-$ .
5. Предел прочности на растяжение  $\sigma^+$ , (тс/м<sup>2</sup>).
6. Предел упругости на растяжение  $\sigma_{0}^+$ , (тс/м<sup>2</sup>).
7. Предел относительной деформации на растяжение  $\varepsilon^+$ .

Для *14-го закона* задаются точки графика (деформация – напряжение, (тс/м<sup>2</sup>)). Точка с нулевыми координатами (0, 0) пропускается.

*18-й закон* задается в такой последовательности:

1. Модуль упругости  $E$ , (тс/м<sup>2</sup>).
2. Предел прочности на сжатие  $\sigma^-$ , (тс/м<sup>2</sup>).
3. Предел относительной деформации на сжатие,  $\varepsilon^-$ .
4. Предел прочности на растяжение  $\sigma^+$ , (тс/м<sup>2</sup>).
5. Предел относительной деформации на растяжение  $\varepsilon^+$ .

Ползучесть может быть задана двумя законами (номер закона указывается после раздела и группы):

1. 44-й кусочно-линейный закон ползучести описывается графиком, каждая точка которого имеет две координаты:  $T$  — количество суток (возраст бетона) и  $\varphi(T)$  — коэффициент ползучести, соответствующий количеству суток;

2. 41-й степенной закон ползучести описывается двумя значениями:  $\varphi_0$  — теоретический коэффициент ползучести и  $\beta_H$  — коэффициент, зависящий от относительной влажности и теоретического размера элемента.

 График для 44-го закона ползучести должен начинаться с точки  $(0, 0)$ .

Теория прочности задается в таком порядке (после номера раздела и группы):

1. Идентификатор теории (табл. А.6).
2. Предельное напряжение на сжатие,  $(\text{тс}/\text{м}^2)$ .
3. Предельное напряжение на растяжение,  $(\text{тс}/\text{м}^2)$ .
4. Число 0 (обязательно).

Таблица А.6 Теории прочности

Идентификатор теории прочности	Описание
1	Теория наибольших главных напряжений
2	Теория наибольших главных деформаций
3	Теория наибольших касательных напряжений
4	Энергетическая теория Губера-Хенки-Мизеса
5	Теория Мора
9	Теория Друкера-Прагера
11	Теория Писаренко-Лебедева
18	Теория Гениева

Нормы для учета пластических шарниров задаются в таком порядке (после номера раздела и группы):

1. Идентификатор норм (табл. А.7).
2.  $\varepsilon$ - для основного материала.
3.  $\varepsilon^+$  для основного материала.
4.  $\varepsilon^+$  для армирующего материала.

Таблица А.7 Нормы учета пластических шарниров

Идентификатор норм пластических шарниров	Описание
0	СНиП 2.03.01-84*
1	Не учитывать пластические шарниры
2	Еврокод 2
3	СП 52-101-2003
4	ДСТУ Б В.2.6-156:2010

Изотропные параметры для задачи «Теплопроводность»:

1. Коэффициент теплопроводности,  $(\text{т}/(\text{с}^{\circ}\text{C}))$ .
2. Удельная теплоемкость,  $(\text{м}^2/(\text{с}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}))$ .



Ортотропные параметры для задачи «Теплопроводность»:

1. Коэффициент теплопроводности K11, (т/(с\*°C)).
2. Коэффициент теплопроводности K22, (т/(с\*°C)).
3. Коэффициент теплопроводности K33, (т/(с\*°C)).
4. Коэффициент теплопроводности K12, (т/(с\*°C)).
5. Коэффициент теплопроводности K13, (т/(с\*°C)).
6. Коэффициент теплопроводности K23, (т/(с\*°C)).
7. Удельная теплоемкость, (м<sup>2</sup>/(с<sup>2</sup>\*°C)).

Коэффициенты демпфирования:

1.  $\alpha$ , (1/с).
2.  $\beta$ , (с).

Параметры многослойных пластин по слоям (по одному слою задаются):

1. Объемный вес, (тс/м<sup>3</sup>).
2. Модуль упругости, (тс/м<sup>2</sup>).
3. Коэффициент Пуассона.
4. Коэффициент температурного расширения.
5. Коэффициент теплопроводности, (т/(с\*°C)).
6. Удельная теплоемкость, (м<sup>2</sup>/(с<sup>2</sup>\*°C)).
7.  $\alpha$ , (1/с).
8.  $\beta$ , (с).

 Число слоев в многослойной пластине ограничено 10.

Пример задания групп 1-го раздела:

```
( 41/
* Изотропный материал /
1 1 2.5 3060000 0.2 : 1-10 /

* Ортотропный материал /
1 3 2.5 3061000 3062000 3063000 0.12 0.21 0.13 0.23 0.31 0.32 1200000
1300000 2300000 : 11-20 /

* 11-й закон для основного и армирующего материалов /
1 4 11 3060000 -1890 -950 -0.002 163 90 0.0002 : 21-30 /
1 5 11 21000000 -40000 -35000 -0.02 40000 35000 0.02 : 21-30 /

* 13-й закон для основного и армирующего материалов /
1 4 13 3060000 -1890 -950 -0.002 163 90 0.0002 : 31-40 /
1 5 13 21000000 -40000 -35000 -0.02 40000 35000 0.02 : 31-40 /

* 14-й закон для основного и армирующего материалов /
1 4 14 -0.002 -1890 -0.0003 -950 2.9E-05 90 0.0002 163 : 41 /
1 4 14 -0.02 -40000 -0.00167 -35000 0.00167 35000 0.02 40000 : 41 /

* 15-й закон для основного и армирующего материалов /
1 5 15 3060000 -1890 -950 -0.002 163 90 0.0002 : 42-50 /
1 5 15 21000000 -40000 -35000 -0.02 40000 35000 0.02 : 42-50 /

* 18-й закон для основного материала /
1 4 18 3060000 -163 -0.002 1890 0.0002 : 51-60 /
```

```

* 44-й закон ползучести /
1 7 44 0 0 100 1.1 200 1.2 300 1.3 : 21-30 /

* 41-й закон ползучести /
1 7 41 1.1 1.3 : 31-40 /

* Теория прочности наибольших главных напряжений /
1 8 1 1000 1500 0 : 21-30 /

* Теория прочности наибольших главных деформаций /
1 8 2 1000 1500 0 : 31-40 /

* Теория прочности наибольших касательных напряжений /
1 8 3 1000 1500 0 : 41 /

* Энергетическая теория прочности Губера-Хенки-Мизеса /
1 8 4 1000 1500 0 : 42-50 /

* Теория прочности Мора /
1 8 5 1000 1500 0 : 51-60 /

* Теория прочности Друкера-Прагера /
1 8 9 1000 1500 0 : 61-70 /

* Теория прочности Писаренко-Лебедева /
1 8 11 1000 1500 0 : 71-80 /

* Теория прочности Гениева /
1 8 18 1000 1500 0 : 81-90 /

* Учет пластических шарниров СНиП 2.03.01-84 /
1 9 0 -0.002 0.0002 0.02 : 21-30 /

* Учет пластических шарниров Еврокод 2 /
1 9 2 -0.002 0.0002 0.02 : 31-40 /

* Учет пластических шарниров СП 52-101-2003 /
1 9 3 -0.002 0.0002 0.02 : 41 /

* Учет пластических шарниров ДСТУ Б В.2.6-156:2010 /
1 9 4 -0.002 0.0002 0.02 : 42-50 /

* Изотропные параметры для задачи «Теплопроводность» /
1 11 0.00017233204 880 : 21-30 /

* Ортотропные параметры для задачи «Теплопроводность» /
1 13 0.0001019716213 0.0004078864852 0.0006118297278 0.0002039432426
0.0003059148638 0.0005098581065 880 : 8 9 /

* Коэффициенты демпфирования /
1 14 0.136263 0.013626 : 8 9 /

* Параметры многослойных пластин по слоям /
1 15 2.5 3060000 0.2 1E-05 0.00017233204 880 0.136263 0.013626
2.5 3070000 0.2 1E-05 0.00017233204 880 0.136263 0.013626
2.5 3080000 0.2 1E-05 0.00017233204 880 0.136263 0.013626 : 10 /

```

)

## Сечения (раздел 2 41-го документа)

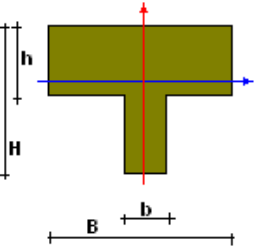
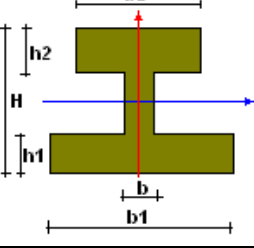
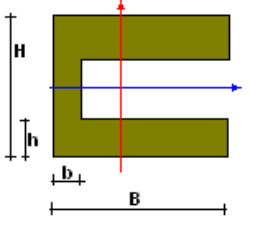
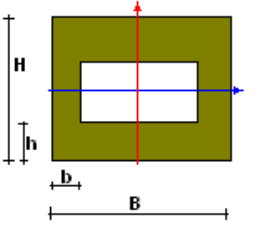
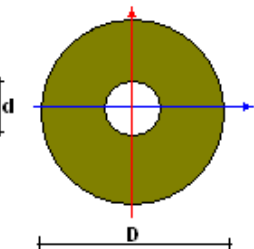
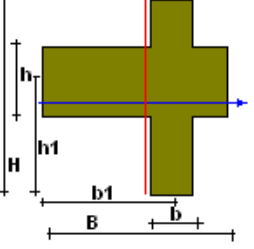
Таблица А.8 Группы 2-го раздела 41-го документа

Номер раздела	Номер группы	Описание
2	1	Толщина пластины, для многослойных пластин: число слоев, перечень толщин вдоль местной оси Z (задаются в метрах)
2	2	Сечение стержня (размеры задаются в сантиметрах)
2	3	Арматурные включения для объемных элементов и балок-стенок
2	4	Арматурные включения для стержней
2	5	Арматурные включения для оболочек
2	6	Параметры дробления стержней
2	7	Численное описание сечения стержня
2	8	Ядра жесткости
2	9	Дополнительные данные для расчета устойчивости стержней и несовпадения центра жесткости и масс
2	10	Коэффициенты для стержня переменного сечения
2	11	Коэффициенты изменения жесткости для пластины
2	12	Коэффициенты изменения жесткости для стержней

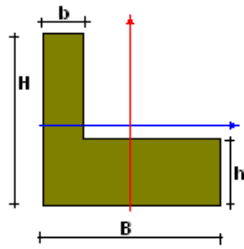
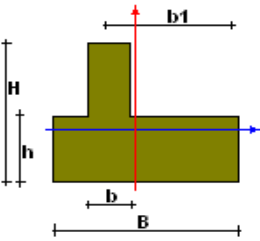
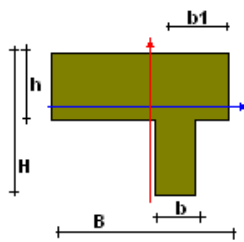
Стержень во 2-й группе 2-го раздела может иметь одно из 11 параметрических сечений (табл. А.9), идентификатор которого должен быть указан после номера раздела и группы либо его жесткость должна быть задана численно.

Таблица А.9 Железобетонные сечения стержня

Идентификатор сечения	Схематическое изображение	Название сечения	Порядок подачи размеров сечения
1	2	3	4
0		Брус	B H
1		Тавр симметричный (полка снизу)	b H B h

1	2	3	4
2		Тавр симметричный (полка сверху)	$b H B h$
3		Двутавр	$b H b_1 h_1 b_2 h_2$
4		Швеллер	$b H B h$
5		Коробка	$B H b h$
6		Кольцо	$D d$
9		Крест	$b H B h B-b_1 h_1$

## Продолжение таблицы А.9

1	2	3	4
10		Угол	$B H b h$
11		Тавр несимметричный (полка снизу)	$b H B h b1$
12		Тавр несимметричный (полка сверху)	$B H B h b1$

Пример задания сечений пластин и стержней (1-я и 2-я группы 2-го раздела):

( 41/

\* толщина пластины /  
2 1 0.2 : 1/

\* толщины многослойной пластины /  
2 1 3 0.2 0.3 0.2 : 2 /

\* Брус /  
2 2 0 40 60 : 3 /

\* Тавр симметричный полка снизу /  
2 2 1 20 50 40 10 : 4 /

\* Тавр симметричный полка сверху /  
2 2 2 20 50 40 10 : 5 /

\* Двутавр /  
2 2 3 15 60 40 10 50 13 : 6 /

\* Швеллер /  
2 2 4 10 50 40 15 : 7 /

\* Коробка /  
2 2 5 40 50 10 15 : 8 /

\* Кольцо /  
2 2 6 40 10 : 9 /

```
* Крест /
2 2  9 20 50 40 10 27 25 : 10 /

* Угол /
2 2  10 50 40 20 10 : 11 /

* Тавр несимметричный полка снизу /
2 2  11 10 50 40 20 25 : 12 /

* Тавр несимметричный полка сверху /
2 2  12 10 50 40 15 25 : 13 /
```

)

Арматурные включения для объемных элементов и балок-стенок (*раздел 2 группа 3*) задаются следующим образом:

1. Для балок-стенок:
  - 1.1. Тип арматурного включения (должен быть равен 0).
  - 1.2. Процент армирования вдоль оси X.
  - 1.3. Процент армирования вдоль оси Y.
2. Для объемных элементов:
  - 2.1. Процент армирования вдоль оси X.
  - 2.2. Процент армирования вдоль оси Y.
  - 2.3. Процент армирования вдоль оси Z.

Пример:

```
( 41/
* арматурные включения для балки-стенки /
2 3  0 20 20 : 1 /

* арматурные включения для объемного элемента /
2 3  0 3 3 5 : 2 /

)
```

Арматурные включения стержней (*раздел 2 группа 4*) могут задаваться для первых 7 сечений из таблицы А.9.

Для первых шести сечений (брус, тавр симметричный (полка снизу), тавр симметричный (полка сверху), двутавр, швеллер, коробка) арматурные включения могут быть трех видов:

1. Точечная арматура.
2. Горизонтальная размазанная арматура.
3. Вертикальная размазанная арматура.

Арматурные включения для первых шести сечений задаются в таком порядке (после номеров раздела и группы):

1. Тип арматурных включений может принимать значение:
  - 1.1. 3 — Точечная арматура.
  - 1.2. 6 — Горизонтальная размазанная арматура.
  - 1.3. 7 — Вертикальная размазанная арматура.
2. Параметры арматурных включений:
  - 2.1. Для точечной арматуры:

- 2.1.1. Площадь (см<sup>2</sup>).
- 2.1.2.  $L_y$  — привязка по оси  $Y$  (см).
- 2.1.3.  $L_z$  — привязка по оси  $Z$  (см).
- 2.2. Для размазанной горизонтальной арматуры:
  - 2.2.1. Площадь (см<sup>2</sup>).
  - 2.2.2.  $L$  — привязка по оси  $Z$  (см).
  - 2.2.3.  $a_1$  — отступ по оси  $Y$  слева (см).
  - 2.2.4.  $a_2$  — отступ по оси  $Y$  справа (см).
- 2.3. Для размазанной вертикальной арматуры:
  - 2.3.1. Площадь (см<sup>2</sup>).
  - 2.3.2.  $L$  — привязка по оси  $Y$  (см).
  - 2.3.3.  $a_1$  — отступ по оси  $Z$  снизу (см).
  - 2.3.4.  $a_2$  — отступ по оси  $Z$  сверху (см).
3. Символ «:».
4. Список элементов.

Пункты 1–2 повторяются столько раз, сколько раз заданы арматурные включения.

В **Редакторе сечений/жесткостей** арматурные включения задаются относительно любой из выбранных точек. В текстовый файл для бруса, тавра симметричного (полка снизу), тавра симметричного (полка сверху), двутавра и коробки арматурные включения попадают в систему координат, где ось  $Y$  идет по нижней стороне сечения, а ось  $Z$  — по середине этой же стороны. Для швеллера ось  $Z$  идет по внешней стороне стенки швеллера.

Задание арматурных включений для бруса в **Редакторе сечений/жесткостей** показано на рис. А.8.

Точечная				
#	Точка	$L_y$ , см	$L_z$ , см	Площадь, см <sup>2</sup>
▶ 1	2	15	15	10
2	2	25	25	10
* 3	1			

Размазанная						
#	Точка	Тип	$L$ , см	$a_1$ , см	$a_2$ , см	Площадь, см <sup>2</sup>
▶ 1	1	Z1	10	1	2	20
2	1	Z1	-10	1	2	20
3	1	Y1	-10	1	2	20
4	1	Y1	10	1	2	20
* 5	1	Y1				

Рис. А.8. Пример задания арматуры для бруса в **Редакторе сечений/жесткостей**

В текстовый файл показанные арматурные включения для бруса попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для бруса /
  2 4 3 10 -5 15
    3 10 5 25
    7 20 10 1 2
    7 20 -10 1 2
    6 20 10 1 2
    6 20 30 1 2 : 1-10 /
)
```

Задание арматурных включений для симметричного тавра (полка снизу) в Редакторе сечений/жесткостей показано на рис. А.9.

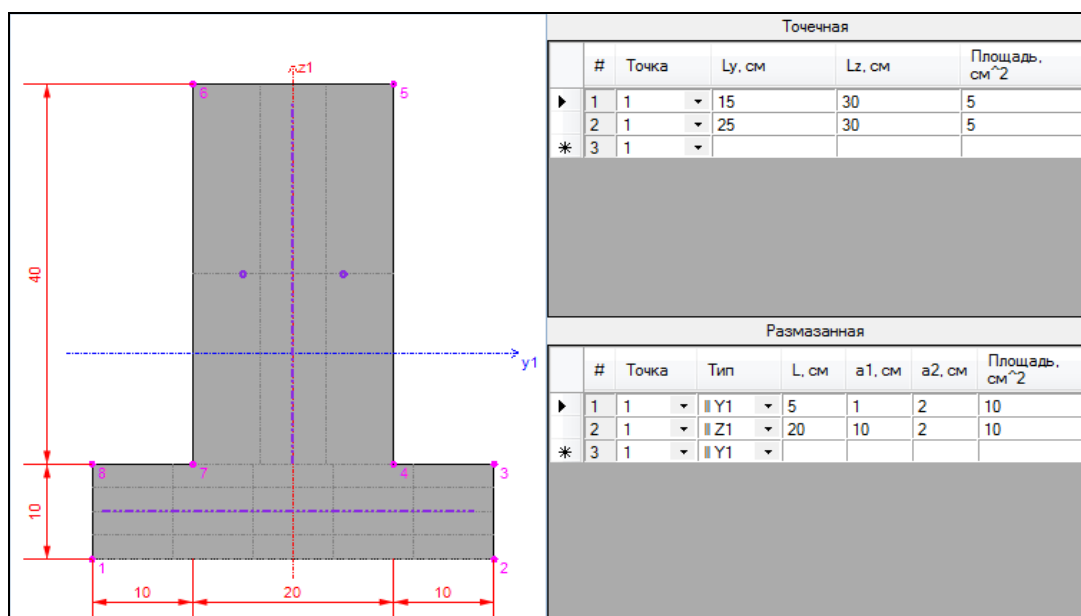


Рис. А.9. Пример задания арматуры для симметричного тавра (полка снизу) в Редакторе сечений/жесткостей

В текстовый файл показанные арматурные включения для симметричного тавра (полка снизу) попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для симметричного тавра полка снизу /
  2 4 3 5 -5 30
    3 5 5 30
    6 10 5 1 2
    7 10 0 10 2 : 11-20 /
)
```

Задание арматурных включений для симметричного тавра (полка сверху) в Редакторе сечений/жесткостей показано на рис. А.10.



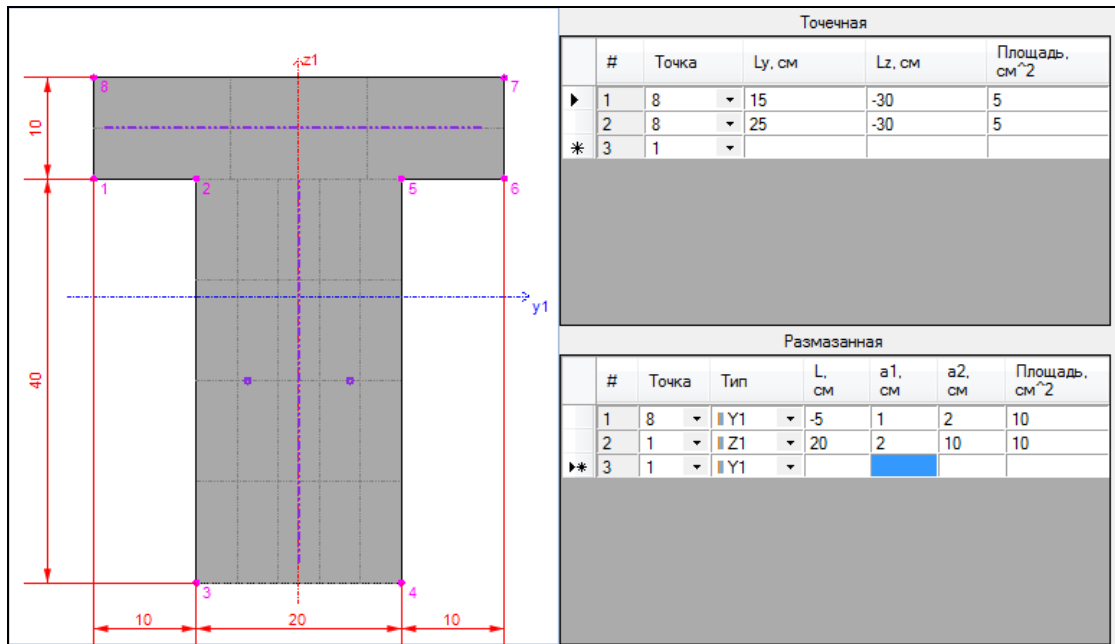


Рис. А.10. Пример задания арматуры для симметричного тавра (полка сверху) в Редакторе сечений/жесткостей

В текстовый файл показанные арматурные включения для симметричного тавра (полка сверху) попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для симметричного тавра полка сверху /
  2 4 3 5 -5 20
    3 5 5 20
    6 10 45 1 2
    7 10 0 2 10 : 21-30 /
)
```

Задание арматурных включений для двутавра в Редакторе сечений/жесткостей показано на рис. А.11.

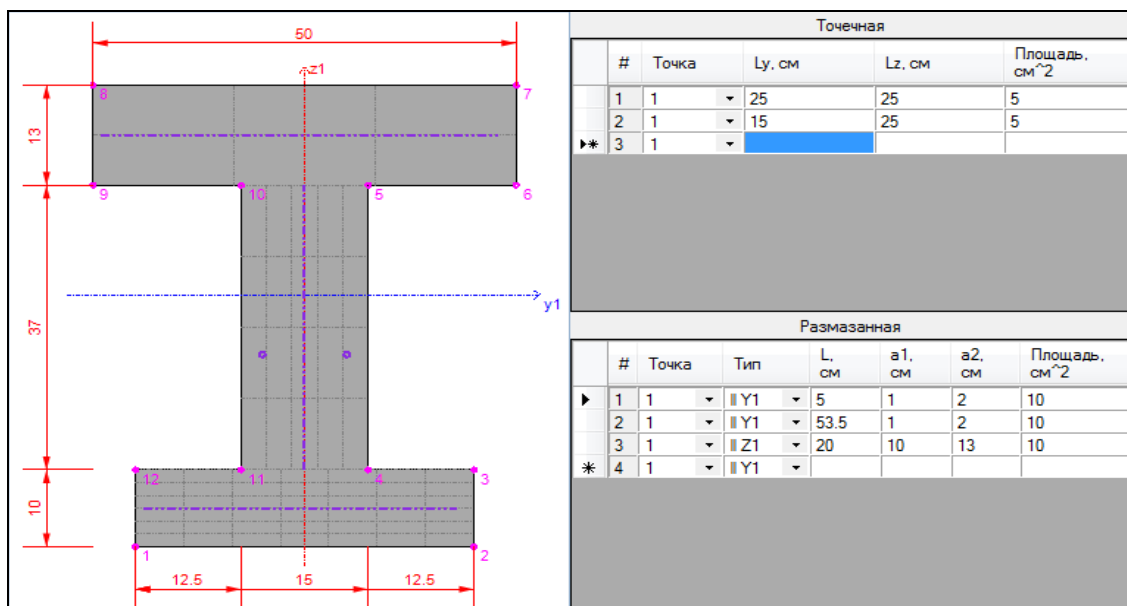


Рис. А.11. Пример задания арматуры для двутавра в Редакторе сечений/жесткостей

В текстовый файл показанные арматурные включения для двутавра попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для двутавра /
  2 4 3 5 5 25
    3 5 -5 25
    6 10 5 1 2
    6 10 53.5 1 2
    7 10 0 10 13: 31-40 /
)
```

Задание арматурных включений для швеллера в Редакторе сечений/жесткостей показано на рис. А.12.

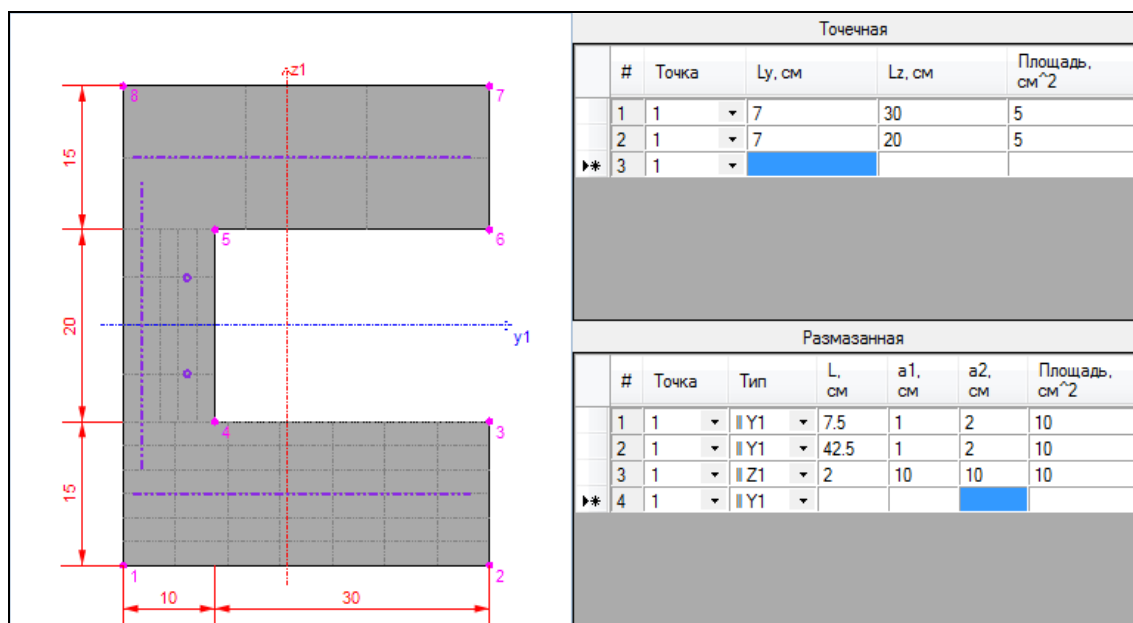


Рис. А.12. Пример задания арматуры для швеллера в Редакторе сечений/жесткостей

В текстовый файл показанные арматурные включения для швеллера попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для швеллера /
  2 4 3 5 7 30
    3 5 7 20
    6 10 7.5 1 2
    6 10 42.5 1 2
    7 10 2 10 10 : 41-50 /
)
```

Задание арматурных включений для коробки в Редакторе сечений/жесткостей показано на рис. А.13.

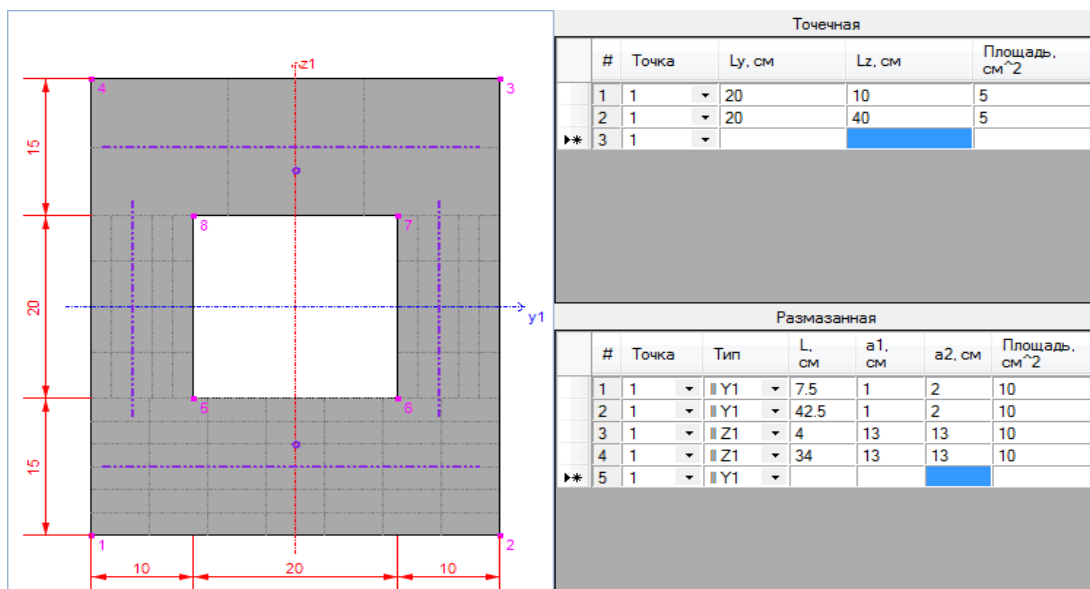


Рис. А.13. Пример задания арматуры для коробки в Редакторе сечений/жесткостей

В текстовый файл показанные арматурные включения для коробки попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для коробки /
  2 4 3 5 0 10
    3 5 0 40
    6 10 7.5 1 2
    6 10 42.5 1 2
    7 10 -16 13 13
    7 10 14 13 13 : 51-60 /
)
```

Арматурные включения для кольца могут быть двух видов:

1. Точечная арматура.
2. Размазанная по окружности арматура.

Арматурные включения для кольца задаются в таком порядке (после номеров раздела и группы):

1. Тип арматурных включений (10 — точечная арматура, 8 — размазанная арматура).
2. Параметры арматурных включений:
  - 2.1. Для точечной арматуры:
    - 2.1.1. Площадь (см<sup>2</sup>).
    - 2.1.2. Диаметр (см).
    - 2.1.3. Угол (градусы).
  - 2.2. Для размазанной арматуры:
    - 2.2.1. Диаметр (см).
    - 2.2.2. Толщина кольца (см).
3. Символ «:».
4. Список элементов.

Пункты 1–2 повторяются столько раз, сколько раз заданы арматурные включения.

Для кольца арматурные включения задаются относительно центра — точка 1, а угол от оси Y1 против часовой стрелки (рис. А.14).

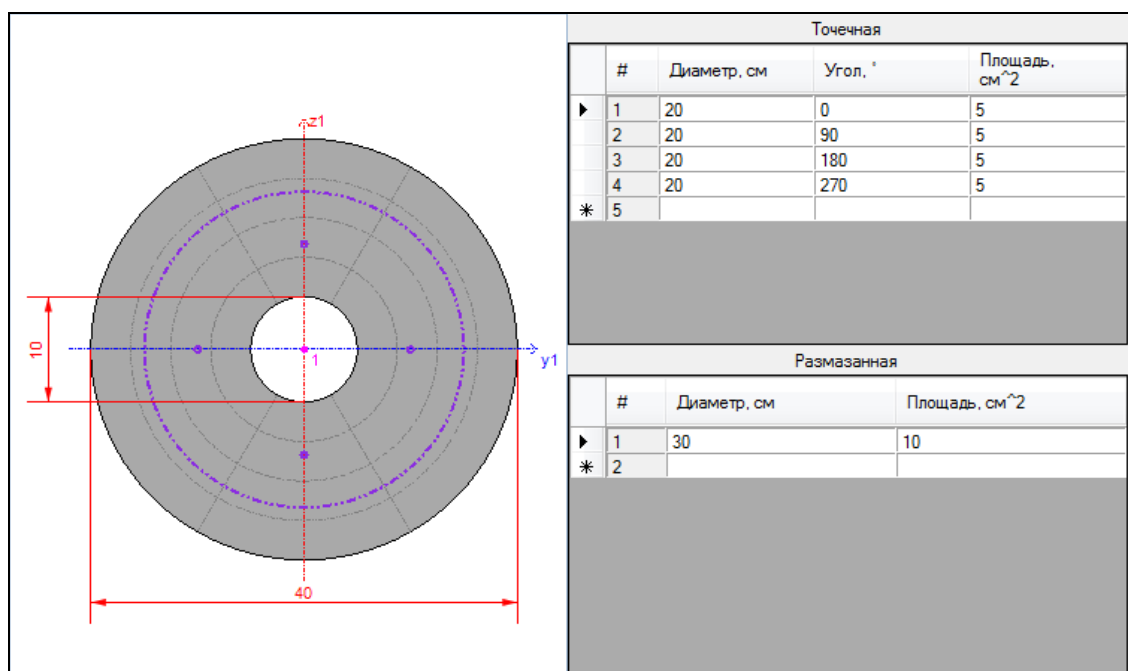


Рис. А.14. Пример задания арматуры для кольца в Редакторе сечений/жесткостей


В текстовый файл показанные арматурные включения для кольца попадут как:

```
( 41/
  * арматурные включения для кольца /
  2 4
  10 5 20 0
  10 5 20 90
  10 5 20 180
  10 5 20 270
  8 30 0.1061 : 61-70 /
)
```

Арматурные включения оболочек (раздел 2 группа 5) в виде листов задаются следующим образом:

1. Тип арматурного включения (должен быть равен 2).
2. Толщина эквивалентного листа вдоль X1 (см).
3. Толщина эквивалентного листа вдоль Y1 (см).
4. Привязка (см) относительно средней линии сечения.

Пункты 2–4 повторяются столько раз, сколько раз заданы арматурные включения.

 В случае задания арматурных включений в виде сетки пункт 2 отвечает за  $A_x$  — площадь арматуры по X (см<sup>2</sup>/м), а пункт 3 — за площадь арматуры по Y (см<sup>2</sup>/м).

Пример:

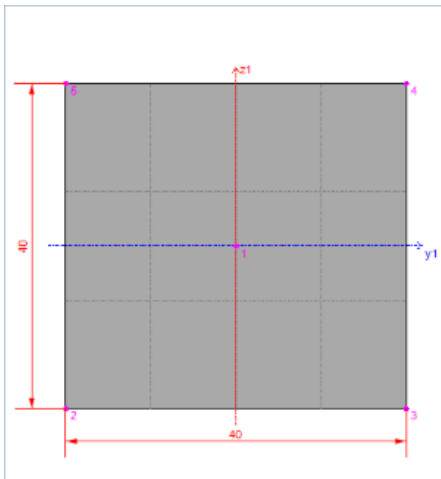
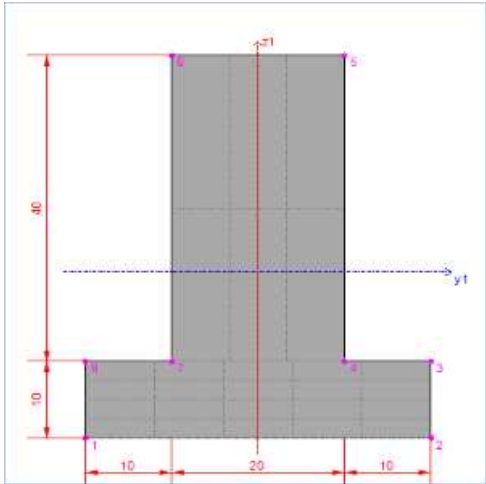
( 41/  
 \* арматурные включения для оболочки /  
 2 5 2 3 3 7 3 3 -7 0.1 0.1 0 : 3-10 /  
 )

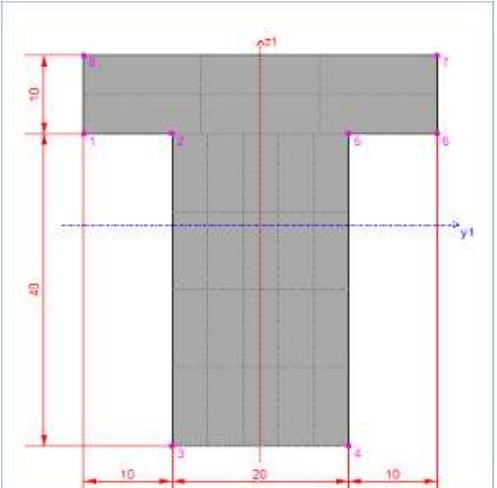
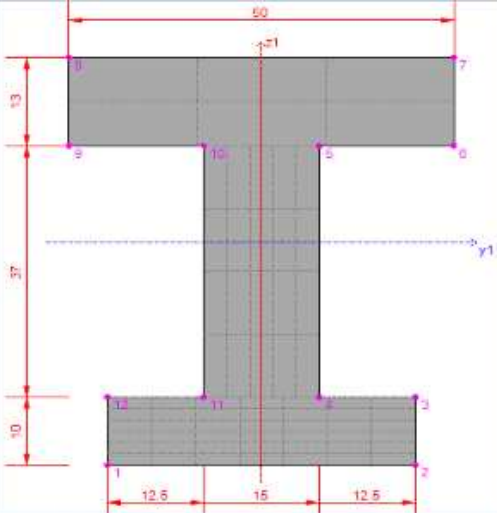
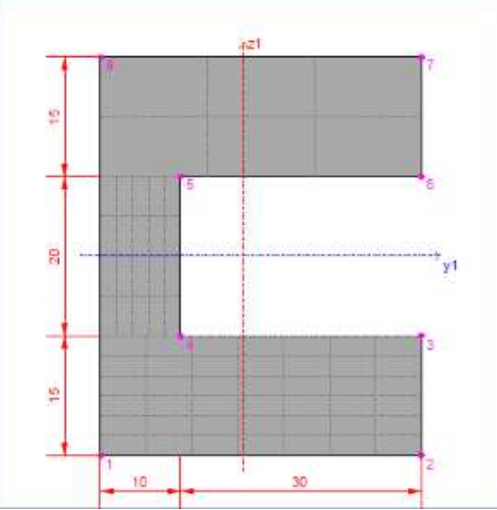
Параметры дробления стержней (*раздел 2 группа б*) описывают дробление для первых 7 сечений из таблицы А.9. Для наглядности примеры задания дроблений схематически показаны и описаны в табл. А.10.

Строка для дробления задается в следующем порядке (после номеров раздела и группы):

1. Тип дробления (3 — для кольца, 2 — для всех остальных).
2. Параметры дробления.
3. Символ «:».
4. Список элементов.

Таблица А.10 Дробление сечений стержня

Название сечения	Схематическое изображение	Описание и порядок подачи параметров дробления
1	2	3
Брус		<p>NZ — дробление по оси Z          NY — дробление по оси Y</p> <p>В данном примере:          NZ = 3          NY = 4</p>
Тавр симметричный (полка снизу)		<p>NZ1 — дробление полки по оси Z          NZ2 — дробление стенки по оси Z          NY1 — дробление полки по оси Y          NY2 — дробление стенки по оси Y</p> <p>В данном примере:          NZ1 = 4          NZ2 = 2          NY1 = 5          NY2 = 3</p>

1	2	3
<p>Тавр симметричный (полка сверху)</p>		<p>NZ1 — дробление стенки по оси Z                      NZ2 — дробление полки по оси Z                      NY1 — дробление стенки по оси Y                      NY2 — дробление полки по оси Y</p> <p>В данном примере:                      NZ1 = 4                      NZ2 = 2                      NY1 = 5                      NY2 = 3</p>
<p>Двутавр</p>		<p>NZ1 — дробление нижней полки по оси Z                      NZ2 — дробление стенки по оси Z                      NZ3 — дробление верхней полки по оси Z                      NY1 — дробление нижней полки по оси Y                      NY2 — дробление стенки по оси Y                      NY3 — дробление верхней полки по оси Y</p> <p>В данном примере:                      NZ1 = 6                      NZ2 = 4                      NZ3 = 2                      NY1 = 7                      NY2 = 5                      NY3 = 3</p>
<p>Швеллер</p>		<p>NZ1 — дробление нижней полки по оси Z                      NZ2 — дробление стенки по оси Z                      NZ3 — дробление верхней полки по оси Z                      NY1 — дробление нижней полки по оси Y                      NY2 — дробление стенки по оси Y                      NY3 — дробление верхней полки по оси Y</p> <p>В данном примере:                      NZ1 = 6                      NZ2 = 4                      NZ3 = 2                      NY1 = 7                      NY2 = 5                      NY3 = 3</p>

## Продолжение таблицы А.10

1	2	3
Коробка		<p>NZ1 — дробление нижнего пояса по оси Z  NZ2 — дробление стенки по оси Z  NZ3 — дробление верхнего пояса по оси Z  NY1 — дробление нижнего пояса по оси Y  NY2 — дробление стенки по оси Y  NY3 — дробление верхнего пояса по оси Y</p> <p>В данном примере:  NZ1 = 6  NZ2 = 4  NZ3 = 2  NY1 = 7  NY2 = 5  NY3 = 3</p>
Кольцо		<p>NK — количество сегментов в секторе  NS — количество секторов</p> <p>В данном примере:  NK = 4  NS = 6</p>

## Пример задания дробления:

( 41/

\* дробление бруса /  
2 6 2 3 4 : 1 /

\* дробление тавра симметричного (полка снизу) /  
2 6 2 4 2 5 3 : 2 /

\* дробление тавра симметричного (полка сверху) /  
2 6 2 4 2 5 3 : 3 /

\* дробление двутавра /  
2 6 2 6 4 2 7 5 3 : 4 /

\* дробление швеллера /  
2 6 2 6 4 2 7 5 3 : 5 /

\* дробление коробки /  
2 6 2 6 4 2 7 5 3 : 6 /

\* дробление кольца /  
2 6 3 4 6 : 7 /

)

Численное описание сечения стержня (*раздел 2 группа 7*) может быть использовано как геометрические, так и как жесткостные характеристики. В случае численного описания геометрических характеристик задаются:

1. Площадь  $A$  ( $m^2$ ).
2. Момент инерции  $I_{y1}$  ( $m^4$ ).
3. Момент инерции  $I_{z1}$  ( $m^4$ ).
4. Момент инерции  $I_{x1}$  ( $m^4$ ).
5. Сдвиговая площадь  $A_{y1}$  ( $m^2$ ).
6. Сдвиговая площадь  $A_{z1}$  ( $m^2$ ).

В случае численного описания жесткостных характеристик задаются:

1.  $EA$  (тс).
2.  $EI_{y1}$  (тс\* $m^2$ ).
3.  $EI_{z1}$  (тс\* $m^2$ ).
4.  $GI_{x1}$  (тс\* $m^2$ ).
5.  $GA_{y1}$  (тс).
6.  $GA_{z1}$  (тс).

Ядра жесткости (*раздел 2 группа 8*) задаются в метрах в следующем порядке:  $Y1-$ ,  $Y1+$ ,  $Z1-$ ,  $Z1+$ .

Дополнительные данные для расчета устойчивости стержней (5 чисел) и несовпадение центра жесткости и масс (7 чисел) (*раздел 2 группа 9*) задаются в таком порядке:

1. Секториальный момент инерции ( $I_w$  —  $cm^6$ , в случае задания численного описания геометрических характеристик,  $EI_w$  — тс\* $m^4$ , в случае задания численного описания жесткостных характеристик);
2.  $RuY$  — координата центра кручения (м);
3.  $RuZ$  — координата центра кручения (м);
4.  $KfY$  — коэффициент учета несимметричности;
5.  $KfZ$  — коэффициент учета несимметричности;
6.  $KyM$  —  $y$ -координата центра масс в главных осях;
7.  $KzM$  —  $z$ -координата центра масс в главных осях;
8.  $FiM$  — угол центральных осей масс, отсчитанный от главных осей;
9.  $IyM$  — момент инерции масс относительно оси  $y$ ;
10.  $IzM$  — момент инерции масс относительно оси  $z$ ;
11.  $IwM$  — центробежный момент инерции масс;
12.  $F$  — площадь сечения.

Пример задания численного описания сечения (*раздел 2, группы 7, 8, 9*):

```
( 41/
  * Численное описание геометрических характеристик /
  2 7 0.13 0.0021083 0.001816 0.00087083 0 0 : 4 /
  2 8 0.066037 0.074123 0.08109 0.08109 : 4 /
  2 9 7.24892E-08 -0.228079 0 0.026783 0 0 0 0 0.0021083 0.001816
0.00028877 0.13 : 4 /
```

```
* Численное описание жесткостных характеристик /
```



```

2 7 397800 6451.5 5557.038462 1024.389962 36384.31828 128845.9705 : 2 /
2 8 0.06603729604 0.07412349555 0.08108974359 0.08108974359 : 2 /
2 9 122.8871678 -0.2280792482 0 0.02678324147 0 0 0 0 0.002108333333
0.001816025641 0.0002887699314 0.13 : 2 /
)

```

Коэффициенты для стержня переменного сечения (*раздел 2 группа 10*) описываются двумя числами: начальным и конечным коэффициентами для учета переменного сечения.

Пример:

```

( 41/
  2 10 0.8 0.5 : 1-10 /
)

```

Коэффициенты изменения жесткости для пластины (*раздел 2 группа 11*) описываются 11 числами:

Dxxxx, Дуууу, Dxxуу, Dxуху, Kxxxx, Куууу, Kxxуу, Kхуху, Нхх, Нуу и флаг, первые 10 чисел интерпретируются, как коэффициенты к элементам мембранной, изгибной и сдвиговой матриц жесткости.

Мембранная матрица жесткости

$$\begin{bmatrix} D_{xxxx} & D_{xxуу} & 0 \\ D_{xxуу} & D_{уууу} & 0 \\ 0 & 0 & D_{хуху} \end{bmatrix}.$$

Изгибная матрица жесткости

$$\begin{bmatrix} K_{xxxx} & K_{xxуу} & 0 \\ K_{xxуу} & K_{уууу} & 0 \\ 0 & 0 & K_{хуху} \end{bmatrix}.$$

Сдвиговая матрица жесткости

$$\begin{bmatrix} H_{xx} & 0 \\ 0 & H_{уу} \end{bmatrix}.$$

Параметр флаг: 0 — задаются коэффициенты к матрице жесткости, 1 — коэффициенты к матрице жесткости с учетом эквивалентной толщины (используются для ребристых плит).

Пример:

```

( 41/
  2 11 0.9 0.9 0.8 0.9 0.7 0.7 0.6 0.7 0.5 0.5 0 : 1 /
)

```

Коэффициенты изменения жесткости для стержней (*раздел 2 группа 12*) описываются 7 числами:

K\_EF, K\_EIy, K\_EIz, K\_GIx, K\_GFy, K\_GFz, K\_EIw, которые интерпретируются, как коэффициенты к соответствующим жесткостям EF, EIy, EIz, GIx, GFy, GFz, EIw.

Пример:

```

( 41/
  2 12 1 0.9 0.9 0.9 0.8 0.8 0.7 : 1 /
)

```

## Грунты (раздел 3 41-го документа)

Раздел 3 описывает следующие характеристики:

1. Группа 1 — грунты плоской деформации, для которых задаются следующие характеристики:

- 1.1.  $K_e$  — коэффициент перехода к модулю деформации по ветви вторичного нагружения.
- 1.2. Условие прочности при сдвиге (1 — Кулона-Мора, 2 — аналитическая теория прочности).
- 1.3.  $C$  — сцепление ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 1.4.  $R_t$  — предельное растягивающее напряжение ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 1.5.  $F_i$  — угол внутреннего трения.
- 1.6.  $\sigma_x$  — начальное напряжение вдоль оси X ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 1.7.  $\sigma_y$  — начальное напряжение вдоль оси Z ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 1.8.  $R_p$  — предельное сжимающее напряжение ( $\text{тс/м}^2$ ).

2. Группа 2 — грунты объемной задачи.

- 2.1. Условие прочности при сдвиге (1 — Боткина, 2 — Друкера-Прагера, 3 — Кулона-Мора, 4 — аналитическая теория прочности).
- 2.2.  $C$  — сцепление ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 2.3.  $R_t$  — предельное растягивающее напряжение ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 2.4.  $F_i$  — угол внутреннего трения;
- 2.5.  $K_e$  — коэффициент перехода к модулю деформации по ветви вторичного нагружения.
- 2.6.  $\sigma_x$  — начальное напряжение вдоль оси X ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 2.7.  $\sigma_y$  — начальное напряжение вдоль оси Y ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 2.8.  $\sigma_z$  — начальное напряжение вдоль оси Z ( $\text{тс/м}^2$ ).
- 2.9.  $R_p$  — предельное сжимающее напряжение ( $\text{тс/м}^2$ ).

3. Группа 3 — параметры материала для задачи «Фильтрация».

- 3.1.  $K_f$  — коэффициент фильтрации (м/с).
- 3.2.  $R_0$  — плотность фильтрующейся жидкости ( $\text{тс/м}^3$ ).
- 3.3.  $e$  — коэффициент пористости.

Пример:

```
( 41/
  * грунты плоской деформации /
  3 1  1.5 2 2 0.5 30 1 3 10 : 1 /
  3 3  0.00011667 1 0.6 : 1 /

  * грунты объемной задачи /
  3 2  4 2 0.5 30 3 1 2 3 10 0 : 7 /
  3 3  0.00011667 1 0.6 : 7 /
)
```

## Спецэлементы (раздел 4 41-го документа)

Раздел 4 описывает характеристики спецэлементов (табл. А.11). Каждая группа относится к определенному типу спецэлементов.

Таблица А.11 Группы 4-го раздела 41-го документа

Номер раздела	Номер группы	Типы элементов			Описание
		Одноузловые	Стержни	Пластины	
4	2	263	264	–	Элементы трения
4	4	56	55	94, 97	Упругая связь
4	6	256	255	–	Упругая связь с учетом предельных усилий
4	8	266	265	–	Односторонняя упругая связь
4	9	54	53	–	Законтурные элементы упругого основания
4	10	151	168	162, 163	Коэффициент теплообмена для задачи «Теплопроводность»
4	11	–	178	172, 173	Коэффициент фильтрации экранирующего слоя для задачи «Фильтрация»
4	12	–	–	194, 197	Пластина неупругой связи

Для группы 1 раздела 4 (упругая связь КЭ 51 по одному направлению) необходимыми параметрами являются:

1. Направление (1 — X, 2 — Y, 3 — Z, 4 — UX, 5 — UY, 6 — UZ).

2. Погонная жесткость связи (на растяжение-сжатие вдоль глобальных осей для первых трех направлений (тс/м) или на поворот вокруг глобальных или локальных осей узла для последних трех направлений (тс\*м)).

Раздел существует только для текстового файла (через графическую систему задать нельзя).

Для группы 2 раздела 4 (элементы трения) необходимыми параметрами являются:

1. R — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие (тс/м).

2. Q — погонная жесткость сцепления (тс/м).

3.  $\gamma$  — коэффициент трения покоя.

4. 1 — работа на растяжение, –1 — работа на сжатие;

5. b — зазор (м).

6. Направление (для одноузлового элемента: 1 — X, 2 — Y, 3 — Z, для двухузлового всегда 0).

Для группы 4 раздела 4 (упругая связь) необходимыми параметрами являются:

1. Rx — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль оси X (тс/м).

2. Ry — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль оси Y (тс/м).

3. Rz — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль оси Z (тс/м).

4. Rux — погонная жесткость связи на поворот вокруг оси UX (тс\*м).

5. Ruy — погонная жесткость связи на поворот вокруг оси UY (тс\*м).

6. Ruz — погонная жесткость связи на поворот вокруг оси UZ (тс\*м).

Для *группы 5 раздела 4* (упругая связь с учетом предельных усилий КЭ 251, 252 по одному направлению) необходимыми параметрами являются:

1. R — погонная жесткость связи (на растяжение-сжатие вдоль глобальных осей для первых трех направлений (тс/м) или на поворот для последних трех направлений (тс\*м)).
2. N- — предельное усилие для отрицательного значения (тс).
3. N+ — предельное усилие для положительного значения (тс).
4. Направление (1 — X, 2 — Y, 3 — Z, 4 — UX, 5 — UY, 6 — UZ).

Раздел существует только для текстового файла (через графическую систему задать нельзя).

Для *группы 6 раздела 4* (упругая связь с учетом предельных усилий) необходимыми параметрами являются (для каждой степени свободы по 3 числа):

1. R — погонная жесткость связи (на растяжение-сжатие вдоль глобальных осей для первых трех направлений (тс/м) или на поворот для последних трех направлений (тс\*м)).
2. N- — предельное усилие для отрицательного значения (тс).
3. N+ — предельное усилие для положительного значения (тс).

Для *группы 8 раздела 4* (односторонняя упругая связь) необходимыми параметрами являются (для каждой степени свободы по 3 числа):

1. R — погонная жесткость связи (на растяжение-сжатие вдоль глобальных осей для первых трех направлений (тс/м) или на поворот для последних трех направлений (тс\*м)).
2. 0 — на растяжение и сжатие, 1 — на растяжение, -1 — на сжатие.
3. Зазор (для линейных направлений — в метрах, для поворотных — в радианах).

Для *группы 9 раздела 4* (законтурные элементы упругого основания) необходимым параметром является только список элементов.

Для *группы 10 раздела 4* (коэффициент теплообмена для задачи «Теплопроводность») необходимыми параметрами являются

1. Kt — коэффициент теплообмена тс/(м\*с\*°С),
2. H — ширина для стержневого элемента или площадь для одноузлового элемента (см, см<sup>2</sup>).

Для *группы 11 раздела 4* (коэффициент фильтрации экранирующего слоя для задачи «Фильтрация») необходимыми параметрами являются

1. R0 — коэффициент фильтрации экранирующего слоя (м/с)/(тс/м<sup>2</sup>).
2. H — Ширина для стержневого элемента (см).

Для *группы 12 раздела 4* (пластина неупругой связи) число параметров переменной длины

1. Количество чисел графика по X.
2. График парами: деформация-реакция (тс/м<sup>2</sup>).
3. Количество чисел графика по Y.
4. График парами: деформация-реакция (тс/м<sup>2</sup>).
5. Количество чисел графика по Z.
6. График парами: деформация-реакция (тс/м<sup>2</sup>).
7. Количество чисел графика по UX.

8. График парами: деформация-реакция (( $t\sigma^*m$ )/м).
9. Количество чисел графика по UY.
10. График парами: деформация-реакция (( $t\sigma^*m$ )/м).
11. Количество чисел графика по UZ.
12. График парами: деформация-реакция (( $t\sigma^*m$ )/м).

Если по какому-то направлению работает упруго, то количество чисел графика равно единице, за которой следует значение реакции, если же это график, то минимальное количество чисел равняется четырем.

Пример задания *групп 4-го раздела*:

( 41/

\* Одноузловой элемент трения /  
4 2 100 30 0.3 1 0.01 3 : 2 /

\* Элемент трения стержень /  
4 2 100 30 0.3 -1 0.012 0 : 3 /

\* Упругая связь /  
4 4 1000 1100 750 560 300 150 : 4 /

\* Упругая связь с учетом предельных усилий по направлению Y /  
4 6 100 -15 10 2 : 5 /

\* Упругая связь с учетом предельных усилий /  
4 6 100 -15 10 150 -14 12 130 -13 11 95 -4 5 75 -8 7 55 -3 6 : 6 /

\* Односторонняя упругая связь по направлению Z /  
4 8 100 -1 0 3 : 7 /

\* Односторонняя упругая связь /  
4 8 100 -1 0.005 150 1 0.005 240 0 0.01 50 0 0.17 45 0 0.26  
75 0 0.44: 8 /

\* Законтурные элементы упругого основания /  
4 9 : 9 10 /

\* Законтурные элементы упругого основания /  
4 10 0.0008055758083: 11 /  
4 10 0.0008055758083 100 : 12 /  
4 10 0.0008055758083 10000 : 13 /

\* Коэффициент фильтрации экранирующего слоя для задачи «Фильтрация» /  
4 11 0.0034 100 : 14 /

\* пластина неупругой связи (при упругой работе по линейным направлениям)  
4 12 1 10000 1 10000 1 10000 1 0 1 0 1 0 : 2 / 4 15

\* пластина неупругой связи (при неупругой работе) по линейным направлениям)

```

4 12 8 -1 -10000 -0.6 -900 0.6 900 1 10000 8 -1 -10000 -0.6 -900 0.6
900 1 10000 8 -1 -10000 -0.6 -900 0.6 900 1 10000 1 0 1 0 1 0 : 16 /
)
    
```

### Дополнительные характеристики (раздел 5 41-го документа)

Таблица А.12 Группы 5-го раздела 41-го документа

Номер раздела	Номер группы	Описание
5	1	Плоская деформация
5	2	Нить
5	3	Мембрана
5	4	Большие перемещения
5	5	Коэффициенты температурного расширения
5	6	Толстая плита и оболочка
5	7	Учет сдвига в стержнях
5	9	Предельное усилие троса

Для групп 1, 2, 3, 4, 6 и 7 раздела 5 задается только список элементов, без дополнительных характеристик.

Группа 5 раздела 5 задает коэффициенты температурного расширения:

- для стержня достаточно одного коэффициента;
- для пластины — 2;
- для объемного элемента — 3.

Группа 9 раздела 5 задает предельное усилие троса:

- для домкрата — на сжатие (тс);
- для фаркопа — на растяжение (тс).

Пример задания групп 5-го раздела:

```

( 41/
* Плоская деформация /
5 1 : 1-10 /

* Нить /
5 2 : 11-20 /

* Мембрана /
5 3 : 21-30 /

* Элементы больших перемещений (Ландау-Лифшица) /
5 4 : 31-40 /

* Коэффициенты температурного расширения /
5 5 1E-05 1E-05 1E-05 : 41-50 /
    
```

\* Толстая плита и оболочка /

5 6 : 31-40 /

\* Учет сдвига в стержнях /

5 7 : 31-40 /

\* Предельное усилие на сжатие для домкрата /

5 9 -150 : 1 /

\* Предельное усилие на растяжение для фаркопа /

5 9 100 : 2 /

)

## Произвольные нелинейные сечения (раздел 6 41-го документа)

Таблица А.13 Группы 6-го раздела 41-го документа

Номер раздела	Номер группы	Описание
6	2	Плоская деформация
6	3	Нить

*Группа 2 раздела 6* задает координаты вершин для описания геометрии сечения:

- массив вершин (по 2 координаты на вершину ( $Y_1$  и  $Z_1$ ));
- двоеточие;
- список элементов.

*Группа 2 раздела 6* задает топологию элементарных площадок сечения:

- количество вершин;
- материал (в версии 10.12 не используется);
- список вершин;
- сечение или площадь для площадок с 2 или одной вершиной (в версии 10.12 не используется);
- двоеточие;
- список элементов.

Пример задания *групп 6-го раздела*:

( 41/

\* Двутавр №18 по ГОСТ 8239-72\* Двутавры с непараллельными гранями полок /

6 2 0 0.09 -0.045 0.09 -0.045 0.087947 -0.0448287 0.0868654 -0.0443316  
0.0858897 -0.0435572 0.0851154 -0.0425816 0.0846183 -0.01155 0.0803043  
-0.0087688 0.0798638 -0.0062599 0.0785855 -0.0042688 0.0765944 -0.0029905  
0.0740855 -0.00255 0.0713043 -0.00255 0 0 0 -0.0225 0.09 0 0.045 -0.0270658  
0.0824613 -0.03375 0.09 -0.01125 0.09 -0.00255 0.03565215 0 0.0675  
-0.0348237 0.0835398 0 0.0225 -0.00255 0.053478225 0 0.07875 -0.00255  
0.017826075 0 0.03375 0 0.05625 -0.00255 0.0445651875 -0.00255 0.0623912625  
0 0.073125 0 0.01125 -0.00255 0.0267391125 0 0.039375 0 0.050625 0 0.061875  
-0.00255 0.05793474375 -0.00255 0.06684778125 0 0.0703125 -0.00255  
0.0089130375 0 0.016875 0 0.028125 -0.00255 0.02228259375 -0.00255  
0.03119563125 -0.00255 0.04010866875 0 0.0365625 -0.00255 0.04902170625 0  
0.0534375 0 0.0590625 0 0.005625 -0.00255 0.01336955625 0 0.0309375

```

-0.00255 0.00445651875 0 0.0084375 0 0.0140625 -0.039375 0.09 -0.043 0.09
-0.0427440067524424 0.0877499313223989 -0.00936665440422799
0.0850892351327154 -0.03870265 0.08407905 -0.0363049813339083
0.0871053180386393 -0.0397776310979338 0.0869556303074345 -0.005625 0.09
-0.0084375 0.09 0 0.086 -0.002 0.09 -0.03094475 0.08300055 -0.028125 0.09
-0.0324403585712807 0.086463008905759 -0.0253125 0.0865514012807248
-0.0288695340660628 0.0859511825858023 -0.0193079 0.0813828
-0.0207894634964795 0.0857338096420981 -0.02318685 0.08192205 -0.016875 0.09
-0.0196875 0.09 -0.0157366953517825 0.0850265805013637
-0.0184414868057635 0.0841055712153729 -0.01542895 0.08084355
-0.0125377838057684 0.0836456147902513 -0.0129696170181917
0.0870408145409351 -0.0046683178929942 0.0853902560879769
-0.00714384444035359 0.0872119464329603 -0.00685665495540432
0.0827294915765957 0 0.082375 -0.00317974095113341 0.0805625 0 -0.09 -0.045
-0.09 -0.045 -0.087947 -0.0448287 -0.0868654 -0.0443316 -0.0858897
-0.0435572 -0.0851154 -0.0425816 -0.0846183 -0.01155 -0.0803043 -0.0087688 -
0.0798638 -0.0062599 -0.0785855 -0.0042688 -0.0765944 -0.0029905
-0.0740855 -0.00255 -0.0713043 -0.0225 -0.09 0 -0.045 -0.0270658 -0.0824613
-0.03375 -0.09
-0.01125 -0.09 -0.00255 -0.03565215 0 -0.0675 -0.0348237 -0.0835398 0
-0.0225 -0.00255
-0.053478225 0 -0.07875 -0.00255 -0.017826075 0 -0.03375 0 -0.05625
-0.00255 -0.0445651875 -0.00255 -0.0623912625 0 -0.073125 0 -0.01125
-0.00255 -0.0267391125 0 -0.039375 0
-0.050625 0 -0.061875 -0.00255 -0.05793474375 -0.00255 -0.06684778125 0
-0.0703125 -0.00255 -0.0089130375 0 -0.016875 0 -0.028125 -0.00255
-0.02228259375 -0.00255 -0.03119563125 -0.00255 -0.04010866875 0 -0.0365625
-0.00255 -0.04902170625 0 -0.0534375 0 -0.0590625 0 -0.005625 -0.00255
-0.01336955625 0 -0.0309375 -0.00255 -0.00445651875 0 -0.0084375 0
-0.0140625 -0.039375 -0.09 -0.043 -0.09 -0.0427440067524424
-0.0877499313223989 -0.00936665440422799 -0.0850892351327154 -0.03870265
-0.08407905 -0.0363049813339083 -0.0871053180386393 -0.0397776310979338
-0.0869556303074345 -0.005625 -0.09 -0.0084375 -0.09 0 -0.086 -0.002 -0.09 -
0.03094475 -0.08300055 -0.028125 -0.09 -0.0324403585712807
-0.086463008905759 -0.0253125 -0.0865514012807248 -0.0288695340660628
-0.0859511825858023 -0.0193079 -0.0813828 -0.0207894634964795
-0.0857338096420981 -0.02318685 -0.08192205 -0.016875 -0.09 -0.0196875
-0.09 -0.0157366953517825 -0.0850265805013637 -0.0184414868057635
-0.0841055712153729 -0.01542895 -0.08084355 -0.0125377838057684
-0.0836456147902513 -0.0129696170181917 -0.0870408145409351
-0.0046683178929942 -0.0853902560879769 -0.00714384444035359
-0.0872119464329603 -0.00685665495540432 -0.0827294915765957 0 -0.082375
-0.00317974095113341 -0.0805625 0.045 0.09 0.045 0.087947 0.0448287 0.0868654
0.0443316 0.0858897 0.0435572 0.0851154 0.0425816 0.0846183 0.01155 0.0803043
0.0087688 0.0798638 0.0062599 0.0785855 0.0042688 0.0765944 0.0029905
0.0740855 0.00255 0.0713043 0.00255 0 0.0225 0.09 0.0270658 0.0824613 0.03375
0.09 0.01125 0.09 0.00255 0.03565215 0.0348237 0.0835398 0.00255 0.053478225
0.00255 0.017826075 0.00255 0.0445651875 0.00255 0.0623912625 0.00255
0.0267391125 0.00255 0.05793474375 0.00255 0.06684778125 0.00255 0.0089130375
0.00255 0.02228259375 0.00255 0.03119563125 0.00255 0.04010866875 0.00255
0.04902170625 0.00255 0.01336955625 0.00255 0.00445651875 0.039375 0.09 0.043
0.09 0.0427440067524424 0.0877499313223989 0.00936665440422799
0.0850892351327154 0.03870265 0.08407905 0.0363049813339083
0.0871053180386393 0.0397776310979338 0.0869556303074345 0.005625 0.09
0.0084375 0.09 0.002 0.09 0.03094475 0.08300055 0.028125 0.09
0.0324403585712807 0.086463008905759 0.0253125 0.0865514012807248
0.0288695340660628 0.0859511825858023 0.0193079 0.0813828 0.0207894634964795
0.0857338096420981 0.02318685 0.08192205 0.016875 0.09 0.0196875 0.09
0.0157366953517825 0.0850265805013637 0.0184414868057635 0.0841055712153729

```



0.01542895      0.08084355      0.0125377838057684      0.0836456147902513  
 0.0129696170181917 0.0870408145409351 0.0046683178929942 0.0853902560879769  
 0.00714384444035359      0.0872119464329603      0.00685665495540432  
 0.0827294915765957 0.00317974095113341 0.0805625 0.045 -0.09 0.045 -0.087947  
 0.0448287 -0.0868654 0.0443316 -0.0858897 0.0435572  
 -0.0851154 0.0425816 -0.0846183 0.01155 -0.0803043 0.0087688 -0.0798638  
 0.0062599 -0.0785855 0.0042688 -0.0765944 0.0029905 -0.0740855 0.00255  
 -0.0713043 0.0225 -0.09 0.0270658 -0.0824613 0.03375 -0.09 0.01125 -0.09  
 0.00255 -0.03565215 0.0348237 -0.0835398 0.00255 -0.053478225 0.00255  
 -0.017826075 0.00255 -0.0445651875 0.00255 -0.0623912625 0.00255  
 -0.0267391125 0.00255 -0.05793474375 0.00255 -0.06684778125 0.00255  
 -0.0089130375 0.00255 -0.02228259375 0.00255 -0.03119563125 0.00255  
 -0.04010866875 0.00255 -0.04902170625 0.00255 -0.01336955625 0.00255  
 -0.00445651875 0.039375 -0.09 0.043 -0.09 0.0427440067524424  
 -0.0877499313223989 0.00936665440422799 -0.0850892351327154 0.03870265  
 -0.08407905 0.0363049813339083 -0.0871053180386393 0.0397776310979338  
 -0.0869556303074345 0.005625 -0.09 0.0084375 -0.09 0.002 -0.09 0.03094475  
 -0.08300055 0.028125 -0.09 0.0324403585712807 -0.086463008905759 0.0253125 -  
 0.0865514012807248 0.0288695340660628 -0.0859511825858023 0.0193079  
 -0.0813828 0.0207894634964795 -0.0857338096420981 0.02318685 -0.08192205  
 0.016875 -0.09 0.0196875 -0.09 0.0157366953517825 -0.0850265805013637  
 0.0184414868057635      -0.0841055712153729      0.01542895      -0.08084355  
 0.0125377838057684 -0.0836456147902513 0.0129696170181917  
 -0.0870408145409351      0.0046683178929942      -0.0853902560879769  
 0.00714384444035359 -0.0872119464329603 0.00685665495540432  
 -0.0827294915765957 0.00317974095113341 -0.0805625 : 2 3 /

6 3 3 0 3 59 58 3 0 25 29 38 3 0 9 60 8 3 0 18 75 71 3 0 39 37 22 3 0 5 6  
 59 3 0 59 6 7 3 0 33 41 55 3 0 36 48 17 3 0 5 59 4 3 0 58 2 3 3 0 61 23 62 3  
 0 68 72 70 3 0 70 69 19 3 0 67 64 83 3 0 46 17 30 3 0 34 43 45 3 0 32 26 12  
 3 0 66 83 86 3 0 74 16 71 3 0 26 87 11 3 0 26 11 12 3 0 24 27 42 3 0 76 78  
 82 3 0 27 24 44 3 0 46 21 47 3 0 29 25 49 3 0 13 32 12 3 0 37 39 31 3 0 32  
 13 40 3 0 51 54 15 3 0 28 45 53 3 0 46 47 35 3 0 30 17 48 3 0 38 50 31 3 0  
 37 31 50 3 0 22 40 39 3 0 13 39 40 3 0 41 33 52 3 0 27 52 42 3 0 43 34 24 3  
 0 44 24 34 3 0 45 28 21 3 0 35 17 46 3 0 47 21 28 3 0 48 36 25 3 0 49 25 36  
 3 0 50 38 29 3 0 14 15 54 3 0 56 42 52 3 0 53 45 43 3 0 54 51 41 3 0 55 41  
 51 3 0 56 52 33 3 0 61 63 7 3 0 62 23 70 3 0 4 59 3 3 0 59 57 58 3 0 26 86  
 87 3 0 60 65 20 3 0 62 19 57 3 0 57 59 63 3 0 57 63 62 3 0 59 7 63 3 0 61 62  
 63 3 0 64 65 84 3 0 83 66 67 3 0 60 84 65 3 0 67 66 1 3 0 72 69 70 3 0 19 62  
 70 3 0 70 23 68 3 0 72 18 71 3 0 8 60 81 3 0 71 16 69 3 0 68 18 72 3 0 71 69  
 72 3 0 74 79 76 3 0 74 75 73 3 0 74 77 16 3 0 8 81 80 3 0 74 71 75 3 0 79 74  
 73 3 0 77 74 76 3 0 82 81 60 3 0 73 80 79 3 0 78 76 79 3 0 20 82 60 3 0 78  
 79 80 3 0 78 80 81 3 0 20 76 82 3 0 82 78 81 3 0 85 83 84 3 0 11 87 10 3 0  
 60 85 84 3 0 83 64 84 3 0 85 60 9 3 0 9 10 85 3 0 86 83 87 3 0 85 87 83 3 0  
 87 85 10 3 0 90 144 143 3 0 110 114 123 3 0 96 145 95 3 0 103 160 156 3 0  
 124 122 107 3 0 92 93 144 3 0 144 93 94 3 0 118 126 140 3 0 121 133 102 3 0  
 92 144 91 3 0 143 89 90 3 0 146 108 147 3 0 153 157 155 3 0 155 154 104 3 0  
 152 149 168 3 0 131 102 115 3 0 119 128 130 3 0 117 111 99 3 0 151 168 171 3  
 0 159 101 156 3 0 111 172 98 3 0 111 98 99 3 0 109 112 127 3 0 161 163 167 3  
 0 112 109 129 3 0 131 106 132 3 0 114 110 134 3 0 100 117 99 3 0 122 124 116  
 3 0 117 100 125 3 0 136 139 15 3 0 113 130 138 3 0 131 132 120 3 0 115 102  
 133 3 0 123 135 116 3 0 122 116 135 3 0 107 125 124 3 0 100 124 125 3 0 126  
 118 137 3 0 112 137 127 3 0 128 119 109 3 0 129 109 119 3 0 130 113 106 3 0  
 120 102 131 3 0 132 106 113 3 0 133 121 110 3 0 134 110 121 3 0 135 123 114  
 3 0 14 15 139 3 0 141 127 137 3 0 138 130 128 3 0 139 136 126 3 0 140 126  
 136 3 0 141 137 118 3 0 146 148 94 3 0 147 108 155 3 0 91 144 90 3 0 144 142  
 143 3 0 111 171 172 3 0 145 150 105 3 0 147 104 142 3 0 142 144 148 3 0 142  
 148 147 3 0 144 94 148 3 0 146 147 148 3 0 149 150 169 3 0 168 151 152 3 0  
 145 169 150 3 0 152 151 88 3 0 157 154 155 3 0 104 147 155 3 0 155 108 153 3


ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФОРМАТ ВХОДНОГО ФАЙЛА РАСЧЕТНОГО ПРОЦЕССОРА

0 157 103 156 3 0 95 145 166 3 0 156 101 154 3 0 153 103 157 3 0 156 154 157  
3 0 159 164 161 3 0 159 160 158 3 0 159 162 101 3 0 95 166 165 3 0 159 156  
160 3 0 164 159 158 3 0 162 159 161 3 0 167 166 145 3 0 158 165 164 3 0 163  
161 164 3 0 105 167 145 3 0 163 164 165 3 0 163 165 166 3 0 105 161 167 3 0  
167 163 166 3 0 170 168 169 3 0 98 172 97 3 0 145 170 169 3 0 168 149 169 3  
0 170 145 96 3 0 96 97 170 3 0 171 168 172 3 0 170 172 168 3 0 172 170 97 3  
0 174 208 207 3 0 192 29 197 3 0 180 209 179 3 0 187 223 219 3 0 198 37 22 3  
0 176 177 208 3 0 208 177 178 3 0 33 199 55 3 0 36 203 17 3 0 176 208 175 3  
0 207 173 174 3 0 210 191 211 3 0 216 220 218 3 0 218 217 188 3 0 215 213  
231 3 0 202 17 194 3 0 196 43 201 3 0 32 26 183 3 0 66 231 86 3 0 222 186  
219 3 0 26 234 182 3 0 26 182 183 3 0 24 193 42 3 0 224 226 230 3 0 193 24  
200 3 0 202 190 47 3 0 29 192 49 3 0 184 32 183 3 0 37 198 195 3 0 32 184 40  
3 0 51 205 15 3 0 28 201 53 3 0 202 47 35 3 0 194 17 203 3 0 197 50 195 3 0  
37 195 50 3 0 22 40 198 3 0 184 198 40 3 0 199 33 204 3 0 193 204 42 3 0 43  
196 24 3 0 200 24 196 3 0 201 28 190 3 0 35 17 202 3 0 47 190 28 3 0 203 36  
192 3 0 49 192 36 3 0 50 197 29 3 0 185 15 205 3 0 56 42 204 3 0 53 201 43 3  
0 205 51 199 3 0 55 199 51 3 0 56 204 33 3 0 210 212 178 3 0 211 191 218 3 0  
175 208 174 3 0 208 206 207 3 0 26 86 234 3 0 209 214 189 3 0 211 188 206 3  
0 206 208 212 3 0 206 212 211 3 0 208 178 212 3 0 210 211 212 3 0 213 214  
232 3 0 231 66 215 3 0 209 232 214 3 0 215 66 1 3 0 220 217 218 3 0 188 211  
218 3 0 218 191 216 3 0 220 187 219 3 0 179 209 229 3 0 219 186 217 3 0 216  
187 220 3 0 219 217 220 3 0 222 227 224 3 0 222 223 221 3 0 222 225 186 3 0  
179 229 228 3 0 222 219 223 3 0 227 222 221 3 0 225 222 224 3 0 230 229 209  
3 0 221 228 227 3 0 226 224 227 3 0 189 230 209 3 0 226 227 228 3 0 226 228  
229 3 0 189 224 230 3 0 230 226 229 3 0 233 231 232 3 0 182 234 181 3 0 209  
233 232 3 0 231 213 232 3 0 233 209 180 3 0 180 181 233 3 0 86 231 234 3 0  
233 234 231 3 0 234 233 181 3 0 236 269 268 3 0 253 114 258 3 0 242 270 241  
3 0 248 284 280 3 0 259 122 107 3 0 238 239 269 3 0 269 239 240 3 0 118 260  
140 3 0 121 264 102 3 0 238 269 237 3 0 268 235 236 3 0 271 252 272 3 0 277  
281 279 3 0 279 278 249 3 0 276 274 292 3 0 263 102 255 3 0 257 128 262 3 0  
117 111 245 3 0 151 292 171 3 0 283 247 280 3 0 111 295 244 3 0 111 244 245  
3 0 109 254 127 3 0 285 287 291 3 0 254 109 261 3 0 263 251 132 3 0 114 253  
134 3 0 246 117 245 3 0 122 259 256 3 0 117 246 125 3 0 136 266 15 3 0 113  
262 138 3 0 263 132 120 3 0 255 102 264 3 0 258 135 256 3 0 122 256 135 3 0  
107 125 259 3 0 246 259 125 3 0 260 118 265 3 0 254 265 127 3 0 128 257 109  
3 0 261 109 257 3 0 262 113 251 3 0 120 102 263 3 0 132 251 113 3 0 264 121  
253 3 0 134 253 121 3 0 135 258 114 3 0 185 15 266 3 0 141 127 265 3 0 138  
262 128 3 0 266 136 260 3 0 140 260 136 3 0 141 265 118 3 0 271 273 240 3 0  
272 252 279 3 0 237 269 236 3 0 269 267 268 3 0 111 171 295 3 0 270 275 250  
3 0 272 249 267 3 0 267 269 273 3 0 267 273 272 3 0 269 240 273 3 0 271 272  
273 3 0 274 275 293 3 0 292 151 276 3 0 270 293 275 3 0 276 151 88 3 0 281  
278 279 3 0 249 272 279 3 0 279 252 277 3 0 281 248 280 3 0 241 270 290 3 0  
280 247 278 3 0 277 248 281 3 0 280 278 281 3 0 283 288 285 3 0 283 284 282  
3 0 283 286 247 3 0 241 290 289 3 0 283 280 284 3 0 288 283 282 3 0 286 283  
285 3 0 291 290 270 3 0 282 289 288 3 0 287 285 288 3 0 250 291 270 3 0 287  
288 289 3 0 287 289 290 3 0 250 285 291 3 0 291 287 290 3 0 294 292 293 3 0  
244 295 243 3 0 270 294 293 3 0 292 274 293 3 0 294 270 242 3 0 242 243 294  
3 0 171 292 295 3 0 294 295 292 3 0 295 294 243 : 2 3 /  
)

Если по этим данным построить сечение, то получится двутавр с непараллельными гранями полок № 18 (рис. А.15).

*Документ 44* — описывает эквивалентные элементы. В строке документа задаются:

- номер эквивалентного элемента или список номеров эквивалентных элементов;
- двоеточие;
- список номеров элементов, с которых собирать усилия в эквивалентные элементы.

 Списки элементов в строках 44-го документа могут быть заданы с помощью символа «-» для номеров, идущих подряд.

Пример:

```
( 44/
  15 : 10 /
  16 : 1-9 /
  43-48 : 19-42 /
)
```

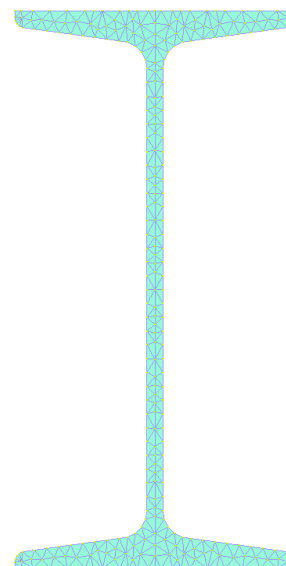


Рис. А.15. Двутавр с непараллельными гранями полков № 18

*Документ 48* — описывает несогласованные сети. В строке документа задаются:

- тип сети (для версии 10.12 всегда равен 1);
- битовое представление степеней свободы, по которым происходит объединение (X — 1; Y — 2; Z — 4; UX — 8; UY — 16; UZ — 32; W — 64; Теп1 — 128; Filtr — 256 — остальные комбинации степеней свободы получаются суммированием требуемых);
- номер узла;
- номер элемента.

Пример:

```
( 48/
  * объединение по X степени свободы /
  1 1 131 42/
  * объединение по X и Y степеням свободы /
  1 3 130 38/
  * объединение по линейным степеням свободы /
  1 7 133 41/
  * объединение по угловым степеням свободы /
  1 56 132 37/
  * объединение по всем степеням свободы для признака системы 5 /
  1 63 135 34/
  * объединение по всем степеням свободы для признака системы 7 /
  1 127 134 30/
  * объединение по всем степеням свободы для признака системы 7 +
  теплопроводность/
  1 255 136 27/
  * объединение по всем степеням свободы для признака системы 7 +
  теплопроводность + фильтрация /
  1 511 137 23/
)
```

## А.5 НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

Документ 6 описывает задание загрузений и нагрузок. Каждая строка документа 6 состоит из 5 чисел:

1. Принимает значение в зависимости от кода нагрузки:
  - 1.1. Номер элемента (для нагрузок на элемент).
  - 1.2. Номер узла (для нагрузок на узел).
  - 1.3. Номер загрузки (для формирования матрицы масс или правой части (ДИНАМИКА+)).
2. Код нагрузки (табл. А.14–А.22).
3. Направление нагрузки.
4. Номер строки в документе 7 (параметры нагрузки).
5. Номер загрузки, в которое входит данная нагрузка.

Документ 7 описывает задание параметров (величин) нагрузок, которые заданы в документе 6. Параметры нагрузок зависят от конкретной нагрузки (табл. А.14–А.22). В строке документа 7 задаются:

1. Номер строки.
2. Параметры нагрузки.

Таблица А.14 Нагрузки на узел

Нагрузка	Код нагрузки	Возможные направления	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)
1	2	3	4
Сосредоточенная сила	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс)
Сосредоточенный момент	0	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки M (тс*м)
Заданное смещение	60	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки d (м)
Заданный поворот	60	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки D (рад)
Сосредоточенный бимомент	0	7 — W	1. Величина нагрузки B (тс*м <sup>2</sup> )
Депланация	60	7 — W	1. Величина нагрузки W (рад*1e-3/мм)
Вес динамической массы	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс)
Импульс	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Дополнительная узловaя масса (тс) 2. Величина силы импульса (тс) 3. Форма импульса (табл. А.15) 4. Время действия одного импульса (с) 5. Период повторения (с) 6. Количество повторений

## Продолжение таблицы А.14

1	2	3	4
Удар	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Вес ударяющего тела (тс) 2. Величина силы удара (тс) 3. Форма удара (табл. А.15) 4. Время действия одного удара (с) 5. Период повторения (с) 6. Количество повторений
Гармоническая	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Дополнительная масса (тс) 2. Амплитуда воздействия (тс) 3. Закон нагрузки (0 — SIN, 1 — COS) 4. Сдвиг фазы (рад)
Ломаная с произвольным шагом	0	1 — X 2 — Y 3 — Z 4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Должен быть равен 0 2. Тип нагрузки: 1 — ломаная с произвольным шагом 3. Время (с) 4. Величина нагрузки (тс) Пункты 3–4 повторяются для каждой точки графика
Синусоидальная	0	1 — X 2 — Y 3 — Z 4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Должен быть равен 0 2. Тип нагрузки: 2 — синусоидальная 3. Амплитуда (тс) 4. Частота (рад/с) 5. Сдвиг фазы (рад) 6. Время начала (с) 7. Время окончания (с)
Акселерограмма	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Должен быть равен 0 2. Тип нагрузки: 3 — акселерограмма 3. Время начала (с) 4. Шаг во времени (с) 5. Коэффициент перевода 6. Величина нагрузки (м/с <sup>2</sup> ) Пункт 6 повторяется для каждой точки графика
Ломаная с равномерным шагом	0	1 — X 2 — Y 3 — Z 4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Должен быть равен 0 2. Тип нагрузки: 4 — ломаная с равномерным шагом 3. Время начала (с) 4. Шаг во времени (с) 5. Коэффициент перевода 6. Величина нагрузки (тс) Пункт 6 повторяется для каждой точки графика
Сейсмограмма	0	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Должен быть равен 0 2. Тип нагрузки: 6 — сейсмограмма 3. Время начала (с) 4. Шаг во времени (с) 5. Коэффициент перевода 6. Величина нагрузки (м) Пункт 6 повторяется для каждой точки графика
Заданная температура	760	0	Величина нагрузки T (°C)
Сосредоточенный тепловой поток	700	0	Величина нагрузки Q (т*м/с)
Заданное давление жидкости	860	0	Величина нагрузки F (тс/м <sup>2</sup> )


 Все нагрузки на узел задаются в локальной системе координат. Одни и те же коды нагрузок, заданные для разных типов загрузжений, могут соответствовать разным нагрузкам.

Таблица А.15

Идентификатор	Форма импульса/удара	Описание формы импульса/удара
1	2	3
1		Прямоугольная
2		Треугольная
3		Треугольная
4		Синусоидальная
5		Треугольная
6		Другая

Пример задания 6-го документа (нагрузки на узел):

( 6/

\* Сосредоточенная сила /

1 0 3 1 1 /

\* Сосредоточенный момент /

2 0 5 2 1 /

\* Заданное смещение /

3 60 2 3 1 /

\* Заданный поворот /

4 60 4 4 1 /

\* Сосредоточенный бимомент /

5 0 7 5 1 /

\* Депланация /

6 60 7 6 1 /

\* Вес динамической массы /

7 0 3 7 2 /

\* Импульс /  
8 0 2 8 2 /

\* Удар /  
9 0 2 9 3 /

\* Гармоническая нагрузка /  
10 0 2 10 4 /

\* Ломаная с произвольным шагом /  
1 0 3 11 5 /

\* Синусоидальная нагрузка /  
2 0 3 12 3 /

\* Акселерограмма /  
3 0 3 13 3 /

\* Ломаная с равномерным шагом /  
4 0 3 14 3 /

\* Сейсмограмма /  
5 0 3 15 3 /

)

Пример задания 7-го документа (параметры нагрузок на узел):

( 7/  
\* Параметры сосредоточенной силы /  
1 1.5 /

\* Параметры сосредоточенного момента /  
2 2 /

\* Параметры заданного смещения /  
2 0.02 /

\* Параметры заданного поворота /  
3 0.5235987756 /

\* Параметры сосредоточенного бимоменты /  
5 0.1 /

\* Параметры депланации /  
6 1.5 /

\* Параметры веса динамической массы /  
7 3 /

\* Параметры импульса /  
8 2.2 5 6 3 10 15 /

\* Параметры удара /  
9 5 10 1 3 5 10 /

```

* Параметры гармонической нагрузки /
10 5 10 0 45 /

* Параметры ломаной с произвольным шагом /
11 0 1 1 5.5 2 7.5 3 4.6 4 5.1 5 1.2 /

* Параметры синусоидальной нагрузки /
12 0 2 1 2.1 0.7853981634 3 10 /

* Параметры акселерограммы /
13 0 3 3 0.01 1.1 1.3 5.3 4.6 7.8 1.2 /

* Параметры ломаной с равномерным шагом /
14 0 4 5 0.01 1.2 1.3 3.3 7.5 4 1.1 /

* Параметры сейсмограммы /
15 0 6 5 0.01 1.2 0.001 0.003 0.01 0.007 0.0003 /
    )
    
```

Таблица А.16 Нагрузки на одноузловой элемент

Нагрузка	Код нагрузки	Возможные направления	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)
1	2	3	4
Температура окружающей среды	726	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки T (°C)

Пример задания 6-го документа (нагрузки на одноузловой элемент):

```

( 6/
* Температура окружающей среды /
64 726 0 1 1 /
)
    
```

Пример задания 7-го документа (параметры нагрузок на одноузловой элемент):

```

( 7/
* Параметры Температура окружающей среды /
1 34 /
)
    
```

Таблица А.17 Нагрузки на стержень

Нагрузка	Код нагрузки	Система координат	Возможные направления	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)
1	2	3	4	5
Сосредоточенная сила	5	Вычисления усилий	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс)
	15	Глобальная		2. Привязка нагрузки A (м) 3. Эксцентриситет dY (м) 4. Эксцентриситет dZ (м)




Продолжение таблицы А.17

1	2	3	4	5
Сосредоточенный момент	5	Вычисления усилий	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки М (тс*м) 2. Привязка нагрузки А (м) 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
	15	Глобальная		
Равномерно распределенная сила	6	Вычисления усилий	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки Р (тс/м) 2. Параметр учета жесткой вставки (0 или 1) 3. Эксцентриситет dY (м) 4. Эксцентриситет dZ (м)
	16	Глобальная		
	26	Проекционная		
Равномерно распределенный момент	6	Вычисления усилий	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки М ((тс*м)/м) 2. Параметр учета жесткой вставки (0 или 1) 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
	16	Глобальная		
	26	Проекционная		
Трапецевидная распределенная сила	7	Вычисления усилий	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки Р1 (тс/м) 2. Привязка нагрузки А1 (м) 3. Величина нагрузки Р2 (тс/м) 4. Привязка нагрузки А2 (м) 5. Эксцентриситет dY (м) 6. Эксцентриситет dZ (м)
	17	Глобальная		
	27	Проекционная		
Трапецевидный распределенный момент	7	Вычисления усилий	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки М1 ((тс*м)/м) 2. Привязка нагрузки А1 (м) 3. Величина нагрузки М2 ((тс*м)/м) 4. Привязка нагрузки А2 (м) 5. Должен быть равен 0 6. Должен быть равен 0
	17	Глобальная		
	27	Проекционная		
Равномерный нагрев	18	—	Должно быть равным 1	1. Величина нагрузки Т (°С)
Температурный изгиб	18	—	5 — направление перепада вдоль местной оси Z1 6 — направление перепада вдоль местной оси Y1	1. Величина нагрузки Т1 (°С) 2. Величина нагрузки Т2 (°С) 3. Привязка нагрузки (м)
Сосредоточенный бимомент	5	—	Должно быть равным 7	1. Величина нагрузки В (тс*м <sup>2</sup> ) 2. Привязка нагрузки (м) 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
Равномерно распределенный бимомент	6	—	Должно быть равным 7	1. Величина нагрузки В (тс*м) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
Трапецевидный распределенный бимомент	7	—	Должно быть равным 7	1. Величина нагрузки В1 (тс*м) 2. Привязка нагрузки А1 (м) 3. Величина нагрузки В2 (тс*м) 4. Привязка нагрузки А2 (м) 5. Должен быть равен 0 6. Должен быть равен 0
Вес динамической массы	4	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Р (тс/м) 2. 0 — нагрузка действует на жесткую вставку, если ее проекция удлиняет гибкую часть и 1 — в противном случае

Продолжение таблицы А.17

1	2	3	4	5
Натяжение фаркопа/домкрата	9	—	Должно быть равным 1	1. Величина нагрузки Р (тс)
Сосредоточенный тепловой поток	705	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Q (т*м/с) 2. Привязка нагрузки А (м)
Равномерно распределенный тепловой поток	706	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Q (т/с)
Трапециевидный распределенный тепловой поток	707	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Q1 (т/с) 2. Привязка нагрузки А1 (м) 3. Величина нагрузки Q2 (т/с) 4. Привязка нагрузки А2 (м)
Температура окружающей среды	726	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Т (градус) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0

 В нагрузках на стержень все привязки указываются относительно первого узла в локальных осях стержня.

Пример задания 6-го документа (нагрузки на стержень):

( 6/

\* Сосредоточенная сила /

1 5 3 1 1 /

1 15 3 1 1 /

\* Сосредоточенный момент /

2 5 5 2 1 /

2 15 5 2 1 /

\* Равномерно распределенная сила /

3 6 2 3 1 /

3 16 2 3 1 /

3 26 2 3 1 /

\* Равномерно распределенный момент /

4 6 4 4 1 /

4 16 4 4 1 /

4 26 4 4 1 /

\* Трапециевидная распределенная сила /

5 7 3 5 1 /

5 17 3 5 1 /

5 27 3 5 1 /

\* Трапециевидный распределенный момент /

6 7 6 6 1 /

6 17 6 6 1 /

6 27 6 6 1 /

\* Равномерный нагрев /

7 18 1 7 1 /

\* Температурный изгиб /

8 18 5 8 1 /

\* Вес динамической массы /

9 4 0 9 2 /

\* Сосредоточенный бимомент /

10 5 7 10 1 /

\* Равномерно распределенный бимомент /

11 6 7 11 1 /

\* Трапециевидный распределенный бимомент /

12 7 7 12 1 /

\* Натяжение фаркопа, домкрата /

13 9 1 13 3 / )

**Пример задания 7-го документа (параметры нагрузок на стержень):**

( 7/

\* Параметры сосредоточенной силы /

1 5 1 0.2 0.1 /

\* Параметры сосредоточенного момента /

2 5 1 0 0 /

\* Параметры равномерно распределенной силы /

3 5 0 0.2 0.1 /

\* Параметры равномерно распределенного момента /

4 7.5 0 0 0 /

\* Параметры трапециевидной распределенной силы /

5 5 0.5 7 1.5 0.2 0.1 /

\* Параметры трапециевидного распределенного момента /

6 6 0.5 10 1.5 0 0 /

\* Параметры равномерного нагрева /

7 55 /

\* Параметры температурного изгиба /

8 55 85 0.1 /

\* Параметры веса динамической массы /

9 10 0 /

\* Параметры сосредоточенного бимомента /

10 11 1 0 0 /

\* Параметры равномерно распределенного бимомента /

11 12 0 0 0 /

\* Параметры трапециевидного распределенного бимомента /

12 10 0.5 20 1.5 0 0 /

\* Параметры натяжения фаркопа, домкрата /  
13 10 /

)

Таблица А.18 Нагрузки на пластину

Нагрузка	Код нагрузки	Система координат	Возможные направления	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)
1	2	3	4	5
Сосредоточенная сила	5	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс) 2. Привязка нагрузки A по оси X от 1-го узла (м) 3. Привязка нагрузки B по оси Y от 1-го узла (м) 4. Эксцентриситет приложения dZ
	15	Глобальная		
	45	Выравнивания		
Сосредоточенный момент	5	Локальная	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки M (тс*м) 2. Привязка нагрузки A по оси X от 1-го узла (м) 3. Привязка нагрузки B по оси Y от 1-го узла (м)
	15	Глобальная		
	45	Выравнивания		
Равномерно распределенная сила	6	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс/м <sup>2</sup> ) 2. Эксцентриситет приложения dZ
	16	Глобальная		
	26	Проекционная		
	46	Выравнивания		
Равномерно распределенный момент	6	Локальная	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки M ((тс*м)/м <sup>2</sup> )
	16	Глобальная		
	26	Проекционная		
	46	Выравнивания		
Трапецевидная распределенная сила	7	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P1 (тс/м <sup>2</sup> ) 2. Величина нагрузки P2 (тс/м <sup>2</sup> ) 3. Величина нагрузки P3 (тс/м <sup>2</sup> ) 4. Величина нагрузки P4 (тс/м <sup>2</sup> ) 5. Эксцентриситет приложения dZ
	17	Глобальная		
	27	Проекционная		
	47	Выравнивания		
Трапецевидный распределенный момент	7	Локальная	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки M1 ((тс*м)/м <sup>2</sup> ) 2. Величина нагрузки M2 ((тс*м)/м <sup>2</sup> ) 3. Величина нагрузки M3 ((тс*м)/м <sup>2</sup> ) 4. Величина нагрузки M4 ((тс*м)/м <sup>2</sup> )
	17	Глобальная		
	27	Проекционная		
	47	Выравнивания		
Произвольная трапецевидная распределенная сила	5	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P1 в 1-й точке нагрузки 2. Привязка 1-й точки нагрузки по оси X от 1-го узла (м) 3. Привязка 1-й точки нагрузки по оси Y от 1-го узла (м) Пункты 1–3 повторяются по числу точек произвольной нагрузки. Если точек две, то размерность нагрузки тс/м, если более 2 — тс/м <sup>2</sup> .
	15	Глобальная		
	25	Проекционная		
	45	Выравнивания		
Произвольная трапецевидный распределенный момент	5	Локальная	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Величина нагрузки M1 в 1-ой точке нагрузки 2. Привязка 1-й точки нагрузки по оси X от 1-го узла (м) 3. Привязка 1-й точки нагрузки по оси Y от 1-го узла (м)
	15	Глобальная		
	25	Проекционная		


## Продолжение таблицы А.18

1	2	3	4	5
	45	Выравнивания		Пункты 1–3 повторяются по числу точек произвольной нагрузки. Если точек две, то размерность нагрузки (тс*м)/м, если более 2 — (тс*м)/м <sup>2</sup> .
Равномерный нагрев (охлаждение)	18	—	0 — действие во всех направлениях 1 — направление перепада вдоль оси ортотропии X1 2 — направление перепада вдоль оси ортотропии Y1	1. Величина нагрузки T (Δ°C) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0
Температурный изгиб	18	—	0 — действие во всех направлениях 1 — направление перепада вдоль оси ортотропии X1 2 — направление перепада вдоль оси ортотропии Y1	1. Величина нагрузки (T1+T2)/2 (°C) 2. Величина нагрузки T1-T2 (°C) 3. Должен быть равен 0
Равномерно распределенная сила по линии	9	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Номер 1-го узла (локальный) 2. Номер 2-го узла (локальный) 3. Величина нагрузки P (тс/м) 4. Эксцентриситет приложения dZ
	19	Глобальная		
	29	Проекционная		
	49	Выравнивания		
Равномерно распределенный момент по линии	9	Локальная	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Номер 1-го узла (локальный) 2. Номер 2-го узла (локальный) 3. Величина нагрузки M ((тс*м)/м)
	19	Глобальная		
	29	Проекционная		
	49	Выравнивания		
Трапецевидная распределенная сила по линии	10	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Номер 1-го узла (локальный) 2. Номер 2-го узла (локальный) 3. Величина нагрузки P1 (тс/м) 4. Величина нагрузки P2 (тс/м) 5. Эксцентриситет приложения dZ
	20	Глобальная		
	30	Проекционная		
	50	Выравнивания		
Трапецевидный распределенный момент по линии	10	Локальная	4 — UX 5 — UY 6 — UZ	1. Номер 1-го узла (локальный) 2. Номер 2-го узла (локальный) 3. Величина нагрузки M1 ((тс*м)/м) 4. Величина нагрузки M2 ((тс*м)/м)
	20	Глобальная		
	30	Проекционная		
	50	Выравнивания		

Вес динамической массы	4	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Р (тс/м <sup>2</sup> ) 2. Должен быть равен 0
------------------------	---	---	----------------------	---

Продолжение таблицы А.18

1	2	3	4	5
Сосредоточенный тепловой поток	705	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Р (т*м/с) 2. Привязка нагрузки А по оси Х от 1-го узла (м) 3. Привязка нагрузки В по оси Y от 1-го узла (м)
Равномерно распределенный тепловой поток	706	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Q (т/(м*с))
Трапецевидная распределенная тепловой поток	707	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Q1 (т/(м*с)) 2. Величина нагрузки Q2 (т/(м*с)) 3. Величина нагрузки Q3 (т/(м*с)) 4. Величина нагрузки Q4 (т/(м*с))
Равномерно распределенный тепловой поток по линии	709	—	Должно быть равным 0	1. Номер 1-го узла (локальный) 2. Номер 2-го узла (локальный) 3. Величина нагрузки Q1 (т/(м*с))
Трапецевидный распределенный тепловой поток по линии	710	—	Должно быть равным 0	1. Номер 1-го узла (локальный) 2. Номер 2-го узла (локальный) 3. Величина нагрузки Q1 (т/(м*с)) 4. Величина нагрузки Q2 (т/(м*с))
Температура окружающей среды	726	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Т (градус)

 В нагрузках по линии на пластину локальные номера узлов должны соответствовать порядку их подачи в I-м документе.

Пример задания 6-го документа (нагрузки на пластину):

( 6/

\* Сосредоточенная сила /

1 5 3 1 1 /

1 15 3 1 1 /

\* Сосредоточенный момент /

2 5 6 2 1 /

2 15 6 2 1 /

\* Равномерно распределенная сила /

3 6 3 3 1 /

3 16 3 3 1 /

3 26 3 3 1 /

\* Равномерно распределенный момент /

4 6 6 4 1 /

4 16 6 4 1 /

4 26 6 4 1 /

\* Трапецевидная распределенная сила /

5 7 3 5 1 /  
 5 17 3 5 1 /  
 5 27 3 5 1 /  
 \* Трапециевидный распределенный момент /  
 6 7 6 6 1 /  
 6 17 6 6 1 /  
 6 27 6 6 1 /  
  
 \* Равномерный нагрев /  
 7 18 0 7 1 /  
  
 \* Температурный изгиб /  
 8 18 0 8 1 /  
  
 \* Равномерно распределенная сила по линии /  
 9 9 3 9 1 /  
 9 19 3 9 1 /  
 9 29 3 9 1 /  
  
 \* Равномерно распределенный момент по линии /  
 10 9 6 10 1 /  
 10 19 6 10 1 /  
 10 29 6 10 1 /  
  
 \* Трапециевидная распределенная сила по линии /  
 11 10 3 11 1 /  
 11 20 3 11 1 /  
 11 30 3 11 1 /  
  
 \* Трапециевидный распределенный момент по линии /  
 12 10 6 12 1 /  
 12 20 6 12 1 /  
 12 30 6 12 1 /  
  
 \* Вес динамической массы /  
 13 4 0 13 2 /  
 )

**Пример задания 7-го документа (параметры нагрузок на пластину):**

( 7/  
 \* Параметры сосредоточенной силы /  
 1 10 1 0.3 /  
  
 \* Параметры сосредоточенного момента /  
 2 10 1 0.5 /  
  
 \* Параметры равномерно распределенной силы /  
 3 12 /  
  
 \* Параметры равномерно распределенного момента /  
 4 17 /  
  
 \* Параметры трапециевидной распределенной силы /  
 5 10 11 12 13 /

\* Параметры трапециевидного распределенного момента /  
 6 14 15 16 17 /

\* Параметры равномерного нагрева /  
 7 70 0 0 /

\* Параметры температурного изгиба /  
 8 65 -30 0 /

\* Параметры равномерно распределенной силы по линии /  
 9 1 2 15 /

\* Параметры равномерно распределенного момента по линии /  
 10 2 4 22 /

\* Параметры трапециевидной распределенной силы по линии /  
 11 4 3 10 20 /

\* Параметры трапециевидного распределенного момента по линии /  
 12 1 2 17 19 /

\* Параметры веса динамической массы /  
 13 10 /

)

Таблица А.19 Нагрузки на объемный элемент


Нагрузка	Код нагрузки	Система координат	Возможные направления	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)
1	2	3	4	5
Сосредоточенная сила	5	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс) 2. Привязка нагрузки A по оси X (м) 3. Привязка нагрузки B по оси Y (м) 4. Привязка нагрузки C по оси Z (м)
	15	Глобальная		
	45	Выравнивания		
Равномерно распределенная сила	6	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс/м <sup>3</sup> ) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
	16	Глобальная		
	46	Выравнивания		
Равномерно распределенная сила на грань	6	Локальная	1 — X 2 — Y 3 — Z	1. Величина нагрузки P (тс/м <sup>2</sup> ) 2. Номер грани (табл. А.20) 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
	16	Глобальная		
	46	Выравнивания		
Равномерный нагрев (охлаждение)	18	—	0 — действие во всех направлениях 1 — направление перепада вдоль оси ортотропии X1 2 — направление перепада вдоль оси ортотропии Y1 3 — направление перепада вдоль оси ортотропии Z1	1. Величина нагрузки T (Δ°С) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0





Продолжение таблицы А.19

1	2	3	4	5
Вес динамической массы	4	—	Должно быть равным 0	1. Величина нагрузки Р (тс/м <sup>2</sup> ) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
Сосредоточенный тепловой поток	705	—		1. Величина нагрузки Q (т*м/с) 2. Привязка нагрузки А по оси X (м) 3. Привязка нагрузки В по оси Y (м) 4. Привязка нагрузки С по оси Z (м)
Равномерно распределенный тепловой поток	706	—		1. Величина нагрузки Q (т/(м <sup>2</sup> *с)) 2. Должен быть равен 0 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0
Равномерно распределенный тепловой поток на грань	706	—		1. Величина нагрузки Q (т/(м*с)) 2. Номер грани (табл. А.20) 3. Должен быть равен 0 4. Должен быть равен 0

 При задании сосредоточенной силы на объемный элемент привязки задаются относительно 1-го узла в локальной системе элемента.

Пример задания 6-го документа (нагрузки на объемный элемент):

```
( 6/
  * Сосредоточенная сила /
  1 5 3 1 1 /
  1 15 3 1 1 /

  * Равномерно распределенная сила /
  2 6 3 2 1 /
  2 16 3 2 1 /

  * Равномерно распределенная сила на грань /
  3 6 3 3 1 /
  3 16 3 3 1 /
  * Равномерный нагрев /
  4 18 3 4 1 /

  * Вес динамической массы /
  5 4 0 5 2 /
)
```

Пример задания 7-го документа (параметры нагрузок на объемный элемент):

```
( 7/
  * Параметры сосредоточенной силы /
  1 10 1 1 -1 /

  * Параметры равномерно распределенной силы /
  2 20 0 0 0 /
```

\* Параметры равномерно распределенной силы на грань /

3 18 1 0 0 /

\* Параметры равномерного нагрева /

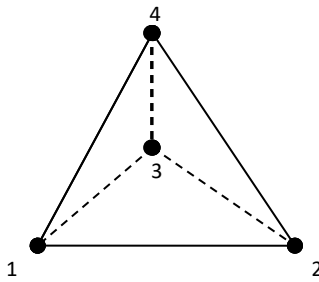
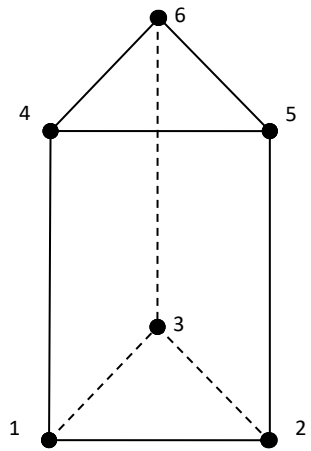
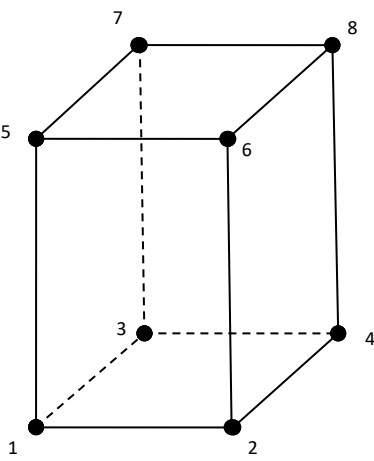
7 70 0 0 0 /

\* Параметры веса динамической массы /

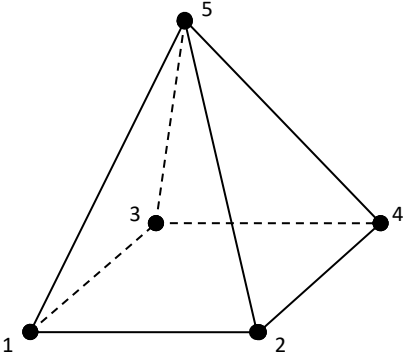
8 25 0 0 0 /

)

Таблица А.20 Номера граней объемных элементов для задания нагрузки на грань

Форма элемента	Схематическое изображение	Номера граней
1	2	3
Тетраэдр		<p>Грани образуются такими узлами:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1, 3, 4</li> <li>2. 1, 2, 4</li> <li>3. 2, 3, 4</li> <li>4. 1, 2, 3</li> </ol>
Произвольная треугольная призма		<p>Грани образуются такими узлами:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1, 3, 4, 6</li> <li>2. 1, 2, 4, 5</li> <li>3. 2, 3, 5, 6</li> <li>4. 1, 2, 3</li> <li>5. 4, 5, 6</li> </ol>
Произвольный гексаэдр		<p>Грани образуются такими узлами:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1, 3, 5, 7</li> <li>2. 2, 4, 6, 8</li> <li>3. 1, 2, 5, 6</li> <li>4. 3, 4, 7, 8</li> <li>5. 1, 2, 3, 4</li> <li>6. 5, 6, 7, 8</li> </ol>

Продолжение таблицы А.20

1	2	3
Произвольная пирамида		Грани образуются такими узлами: 1. 1, 3, 5 2. 1, 2, 5 3. 2, 4, 5 4. 3, 4, 5 5. 1, 2, 3, 4 6. 5, 6, 7, 8

Пример задания 6-го документа (формирование матрицы масс):


```
( 6/
  1 4 1 1 2 /
  1 4 2 2 3 /
)
```

Пример задания 7-го документа (формирование матрицы масс):

```
( 7/
  1 1 /
  1 1.2 /
)
```

Таблица А.21 Формирование матрицы масс

Код нагрузки	Направление	Формирование матрицы масс	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)
4	1	Из загрузки	Коэффициент преобразования
4	2	Из плотности	Коэффициент преобразования

 При формировании матрицы масс из загрузки первое число в 6-м документе является номером загрузки, с которого будут собраны массы, а последнее число — номер загрузки, для которого будут собраны массы.

Пример задания 6-го документа (правая часть для динамической нагрузки):

```
( 6/
  * Равномерный шаг ломаной /
  5 4 4 1 3 /

  * Произвольный шаг ломаной /
  6 4 4 2 3 /
)
```


Пример задания 7-го документа (правая часть для динамической нагрузки):

```
( 7/
  * Параметры равномерного шага ломаной /
  1  0 4  2  0.89  1.1  0.909  0.25  -0.594  -0.999  -0.665
                                     0.161  0.867  0.933  0.309  -0.544 /

  * Параметры произвольного шага ломаной /
  2  0 1  0 1.1  2 2  3 1.5  4 2.4  5 1 /
)
```

Таблица А.22 Правая часть (динамическая нагрузка)


Код нагрузки	Направление	Параметры нагрузки и порядок их подачи (7-й документ)	
4	Должно быть равным 4	1. Должен быть равен 0 2. Шаблон закона может принимать значения: 2.1. 1 — произвольный шаг ломаной 2.2. 4 — равномерный шаг ломаной	
		Для произвольного шага ломаной	Для равномерного шага ломаной
		3. Время (с) 4. Коэффициент к правой части  Пункты 3–4 повторяются для каждой точки графика	3. Время начала приложения (с) 4. Шаг дискретизации (с) 5. Масштабный множитель к закону 6. Коэффициент к правой части  Пункт 6 повторяется для каждой точки графика

 При задании правой части в 6-м документе первым числом является номер загрузки с правой частью, а последним — номер загрузки с узловыми силами для динамической нагрузки.

Документ 10 описывает задание коэффициентов к стадиям монтажа и задается в такой последовательности:

1. Номер 17-й строки 0-го документа (см. п. А.1), в которой задаются номера групп и соответствующие им списки элементов.
2. Коэффициент к модулю деформации.
3. Коэффициент к прочности бетона.

Пункты 2–3 повторяются для каждой стадии монтажа/демонтажа. Количество строк в 10-м документе должно быть равным количеству групп в 17-й строке 0-го документа.

 Коэффициенты для стадий монтажа, которые относятся к еще не смонтированным группам элементов, должны иметь такие же значения, что и коэффициенты для стадии, на которой эти элементы монтируются.

Пример:

```
( 10/
  1  0.75  0.8  0.95  0.9 /
  2  0.95  0.9  0.95  0.9 /
)
```

Документ 15 описывает задание динамических воздействий и задается в такой последовательности:

1. Номер загрузки.
2. Номер модуля динамики (табл. А.23).
3. Количество форм.
4. Номер сопутствующего загрузки (используется только для средней составляющей ветрового воздействия, в остальных случаях должен быть равен нулю).
5. Тип матрицы масс (1 — согласованная, 0 — диагональная).
6. Должно быть равным нулю для всех модулей динамики.
7. Суммировать формы с кратными частотами (1 — суммировать, 0 — не выполнять суммирование).
8. Должно быть равным нулю для всех модулей динамики.

Восемь вышеперечисленных пунктов являются обязательными для каждой строки 15-го документа. После следуют параметры, характерные для конкретного модуля динамики (3-й столбец табл. А.23).

Таблица А.23 Модули динамики

Номер модуля динамики	Название модуля динамики	Описание параметров модуля динамики и порядок подачи
1	2	3
21	Пульсационная составляющая ветрового воздействия по СНиП 2.01.07-85*	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Расстояние (Н) между поверхностью земли и минимальной аппликацией расчетной схемы (м)</li> <li>4. Должно быть равным нулю</li> <li>5. Ветровой район (табл. 5) может принимать значения:               <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 0 — Ia</li> <li>5.2. 1 — I</li> <li>5.3. 2 — II</li> <li>5.4. 3 — III</li> <li>5.5. 4 — IV</li> <li>5.6. 5 — V</li> <li>5.7. 6 — VI</li> <li>5.8. 7 — VII</li> </ol> </li> <li>6. Размер здания (а) вдоль оси X (м)</li> <li>7. Размер здания (b) вдоль оси Y (м)</li> <li>8. Тип местности (п. 6.5) может принимать значения:               <ol style="list-style-type: none"> <li>8.1. 1 — А (открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра)</li> <li>8.2. 2 — В (городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10м)</li> <li>8.3. 3 — С (городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м)</li> </ol> </li> <li>9. Многоэтажное здание с постоянной по высоте жесткостью, массой и шириной наветренной поверхности (0 — нет, 1 — да)</li> <li>10. Логарифмический декремент колебаний</li> <li>11. Должно быть равным нулю.</li> </ol>
22	Импульсное воздействие	1. Коэффициент неупругого сопротивления материала
23	Ударное воздействие	1. Коэффициент неупругого сопротивления материала

24	Гармоническое воздействие	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коэффициент неупругого сопротивления материала</li> <li>2. Вынужденная частота внешнего воздействия (рад/с)</li> <li>3. Не учитывать собственные частоты, предшествующие вынужденной частоте (0 — нет, 1 — да)</li> </ol>
25	Пульсационная составляющая ветрового воздействия по СП 20.13330.2011	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Расстояние (H) между поверхностью земли и минимальной аппликатой (м)</li> <li>4. Должно быть равным нулю</li> <li>5. Эквивалентная высота может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — для башенных сооружений, мачт, труб и зданий с постоянной формой поперечного сечения</li> <li>5.2. 2 — для прочих зданий</li> </ol> </li> <li>6. Ветровой район (табл. 11.1) может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. 0 — Ia</li> <li>6.2. 1 — I</li> <li>6.3. 2 — II</li> <li>6.4. 3 — III</li> <li>6.5. 4 — IV</li> <li>6.6. 5 — V</li> <li>6.7. 6 — VI</li> <li>6.8. 7 — VII</li> </ol> </li> <li>7. Тип местности (табл. 11.1.6) может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>7.1. А (открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра)</li> <li>7.2. 2 — В (городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м)</li> <li>7.3. 3 — С (городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м)</li> </ol> </li> <li>8. Многоэтажное здание высотой до 40 м либо одноэтажное производственное здание высотой до 36 м при отношении высоты к пролету менее 1.5, размещаемое в местностях типа А и В (0 — нет, 1 — да)</li> <li>9. Размер здания (а) вдоль оси Х (м)</li> <li>10. Размер здания (b) вдоль оси Y (м)</li> <li>11. Размер здания (d) перпендикулярно расчетному направлению ветра</li> <li>12. Логарифмический декремент</li> <li>13. Учитывать изменение №1 к СП 20.13330.2016, вступившее в силу 6 января 2019 года (0 — нет, 1 — да)</li> </ol>
27	Сейсмическое воздействие по однокомпонентной акселерограмме	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>2. Должно быть равным нулю</li> <li>3. Относительное демпфирование</li> <li>4. Масштабный множитель к акселерограмме</li> <li>5. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>6. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>7. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>8. Шаг дискретизации (с)</li> <li>9. Время интегрирования (с)</li> </ol> <p>Далее следуют ускорения (<math>m/c^2</math>), количество точек которых равно времени интегрирования, деленному на шаг дискретизации (дополнительная первая точка со временем 0)</p>

28	Гармоническое воздействие с учетом частотных зон	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коэффициент неупругого сопротивления материала</li> <li>2. Вынужденная частота внешнего воздействия (рад/с)</li> <li>3. Погрешность вычисления собственных частот и возможное изменение их в процессе эксплуатации сооружения (границы частотных зон)</li> </ol>
29	Сейсмическое воздействие по трехкомпонентной акселерограмме	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>2. Должно быть равным нулю</li> <li>3. Относительное демпфирование</li> <li>4. Масштабный множитель к акселерограмме (радиальная компонента)</li> <li>5. Масштабный множитель к акселерограмме (тангенциальная компонента)</li> <li>6. Масштабный множитель к акселерограмме (вертикальная компонента)</li> <li>7. Направляющий косинус радиальной компоненты сейсмического воздействия в ГСК — СХ</li> <li>8. Направляющий косинус тангенциальной компоненты сейсмического воздействия в ГСК — СУ</li> <li>9. Направляющий косинус вертикальной компоненты сейсмического воздействия в ГСК — CZ (всегда равен 1.0)</li> <li>10. Шаг дискретизации (с)</li> <li>11. Время интегрирования (с)</li> </ol> <p>Далее следуют ускорения (<math>m/s^2</math>) для радиальной, тангенциальной и вертикальной компоненты, количество точек которых равно времени интегрирования, деленному на шаг дискретизации (дополнительная первая точка со временем 0) для каждой компоненты</p>
30	Сейсмическое воздействие по СНиП II-7-81* издания 01.01.1996г. (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</li> <li>4.2. 2 — транспортные</li> <li>4.3. 3 — гидротехнические</li> <li>4.4. 4 — мостовые</li> </ol> </li> <li>5. Категория грунта может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 10 — I категория</li> <li>5.2. 20 — II и III категории, слой <math>\leq 30</math> метров</li> <li>5.3. 21 — II и III категории, слой <math>\geq 30</math> метров</li> </ol> </li> <li>6. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. 7 — 7 баллов</li> <li>6.2. 8 — 8 баллов</li> <li>6.3. 9 — 9 баллов</li> </ol> </li> <li>7. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 3, который может получать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>7.1. 1 — остаточные деформации и локальные повреждения не допускаются (<math>K_1 = 1.00</math>)</li> <li>7.2. 2 — могут быть допущены остаточные деформации, трещины, повреждения отдельных элементов и т.п., затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования (<math>K_1 = 0.25</math>)</li> <li>7.3. 3 — могут быть допущены значительные остаточные деформации, трещины, повреждения отдельных элементов, их смещение и т.п., временно приостанавливающие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей (<math>K_1 = 0.12</math>)</li> </ol> </li> </ol>



		<p>8. Коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 4 или указаниям разд. 5, который может получать значения:</p> <p>8.1. 1 — здания каркасные, крупноблочные, со стенами комплексной конструкции и числом <math>n</math> этажей свыше 5 (<math>K_2 = 1 + 0.1 * (n - 5)</math>)</p> <p>8.2. 2 — здания крупнопанельные или со стенами из монолитного железобетона и числом этажей до 5 (<math>K_2 = 0.9</math>)</p> <p>8.3. 3 — здания крупнопанельные или со стенами из монолитного железобетона и числом <math>n</math> этажей свыше 5 (<math>K_2 = 0.9 + 0.075 * (n - 5)</math>)</p> <p>8.4. 4 — здания с одним или несколькими каркасными нижними этажами и вышележащими этажами с несущими стенами, диафрагмами или каркасом с заполнением, если заполнение в нижних этажах отсутствует или незначительно влияет на их жесткость (<math>K_2 = 1.5</math>)</p> <p>8.5. 5 — здания с несущими стенами из кирпичной или каменной кладки, выполняемой вручную без добавок, повышающих сцепление (<math>K_2 = 1.3</math>)</p> <p>8.6. 6 — каркасные одноэтажные здания, высота которых до низа балок или ферм не более 8 м и с пролетами не более 18 м (<math>K_2 = 0.8</math>);</p> <p>8.7. 7 — сельскохозяйственные здания на сваях-колоннах, возводимые на грунтах III категории согласно табл. 1* (<math>K_2 = 0.5</math>)</p> <p>8.8. 8 — здания, не указанные в пп. 1–7 (<math>K_2 = 1.0</math>)</p> <p>9. Коэффициент повышения расчетной сейсмичности площадки строительства, принимаемый по табл. 5, который может получать значения:</p> <p>9.1. 1 — жилые, общественные и производственные здания и сооружения, за исключением указанных в пп. 2–4</p> <p>9.2. 2 — особо ответственные здания и сооружения</p> <p>9.3. 3 — здания и сооружения, повреждение которых связано с особенно тяжелыми последствиями (большие и средние вокзалы, крытые стадионы и т.п.)</p> <p>9.4. 4 — здания и сооружения, функционирование которых необходимо при ликвидации последствий землетрясений (системы энерго- и водоснабжения, пожарное депо, системы пожаротушения, некоторые сооружения связи и т.п.)</p> <p>10. Коэффициент, принимаемый по табл. 6 или в соответствии с указаниями разд.5, который может получать значения:</p> <p>10.1. 1 — высокие сооружения небольших размеров в плане: башни, мачты, дымовые трубы, отдельно стоящие шахты лифтов и т.п. сооружения (<math>K_\psi = 1.5</math>)</p> <p>10.2. 2 — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на его деформативность при отношении высоты стоек <math>h</math> к поперечному размеру <math>b</math> в направлении действия расчетной сейсмической нагрузки, равном или более 25 (<math>K_\psi = 1.5</math>)</p> <p>10.3. 3 — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на его деформативность при отношении высоты стоек <math>h</math> к поперечному размеру <math>b</math> в направлении действия расчетной сейсмической нагрузки, равном или более 15 (<math>K_\psi = 1.0</math>)</p> <p>10.4. 4 — здания и сооружения, не указанные в пп. 1–3 (<math>K_\psi = 1.0</math>)</p> <p>11. Количество этажей</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ</p> <p>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ</p>
--	--	--

		<p>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
<p>31</p>	<p>Сейсмическое воздействие по СП 31-114-2004 (Российская Федерация)</p>	<p>1. Поправочный коэффициент к сейсмическим силам                  2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)                  3. Должно быть равным нулю                  4. Категория грунта может принимать значения:                  4.1. 1 — I категория                  4.2. 2 — II категория                  4.3. 3 — III категория                  5. Относительное ускорение грунта может принимать значения:                  5.1. 0.1 — 7 баллов                  5.2. 0.2 — 8 баллов                  5.3. 0.4 — 9 баллов                  6. Коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания, который может принимать значения:                  6.1. <math>K_1 = 1.00</math> — повреждения или неупругие деформации не допускаются                  6.2. <math>K_1 = 0.22</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в крупнопанельных или монолитных конструкциях, возводимых из ж/б                  6.3. <math>K_1 = 0.25</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых со стальным каркасом без вертикальных диафрагм или связей                  6.4. <math>K_1 = 0.22</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых со стальным каркасом с вертикальными диафрагмами или связями                  6.5. <math>K_1 = 0.35</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых с железобетонным каркасом без вертикальных диафрагм или связей                  6.6. <math>K_1 = 0.25</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых со железобетонным каркасом с вертикальными диафрагмами или связями                  6.7. <math>K_1 = 0.35</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых из кирпичной или каменной кладки                  6.8. <math>K_1 = 0.12</math> — могут быть допущены значительные деформации, временно приостанавливающие нормальную эксплуатацию при обеспечении безопасности людей                  7. Коэффициент рассеивания энергии может принимать значения:                  7.1. <math>K_\psi = 1.5</math> — высокие сооружения небольших размеров в плане                  7.2. <math>K_\psi = 1.3</math> — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на их деформативность                  7.3. <math>K_\psi = 1.0</math> — здания и сооружения, не указанные в пп. 1–2                  8. Наименьший размер сооружения в плане (м)                  9. Способ суммирования вклада форм:                  9.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)                  9.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)                  10. Направляющий косинус вектора вращения грунтового основания в ГСК — CUX                  11. Направляющий косинус вектора вращения грунтового основания в ГСК — CUY                  12. Направляющий косинус вектора вращения грунтового основания в ГСК — CUZ</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>13. Направляющий косинус вектора ускорения поступательного движения в ГСК — CX</li> <li>14. Направляющий косинус вектора ускорения поступательного движения в ГСК — CY</li> <li>15. Направляющий косинус вектора ускорения поступательного движения в ГСК — CZ</li> </ul>
32	Сейсмическое воздействие по СНРА II-6.02-2006 (Армения)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Категория грунта может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — I категория</li> <li>4.2. 2 — II категория</li> <li>4.3. 3 — III категория</li> <li>4.4. 4 — IV категория</li> </ul> </li> <li>5. Сейсмическая зона может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — 1 сейсмическая зона</li> <li>5.2. 2 — 2 сейсмическая зона</li> <li>5.3. 3 — 3 сейсмическая зона</li> </ul> </li> <li>6. Коэффициент, учитывающий грунтовые условия площадки строительства, принимаемый по табл. 4</li> <li>7. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 7</li> <li>8. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 8</li> <li>9. Коэффициент взаимодействия основания с сооружением, принимаемый согласно п.6.8</li> <li>10. Отношение вертикального ускорения грунта к горизонтальному</li> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ul>
33	Сейсмическое воздействие по КМК 2.01.03-96 издания 01.04.2004 (Узбекистан)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 2.3</li> <li>3. Коэффициент, учитывающий повторяемость землетрясений, принимаемый по табл. 2.4</li> <li>4. Коэффициент этажности сооружений, принимаемый по табл. 2.10</li> <li>5. Коэффициент регулярности, принимаемый по табл. 2.12</li> <li>6. Коэффициент сейсмичности площадки, принимаемый по табл. 2.7</li> <li>7. Индекс региона может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>7.1. 1 — I регион</li> <li>7.2. 2 — II регион</li> <li>7.3. 3 — III регион</li> <li>7.4. 4 — IV регион</li> </ul> </li> <li>8. Категория грунта может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>8.1. 1 — I категория</li> <li>8.2. 2 — II категория</li> <li>8.3. 3 — III категория</li> </ul> </li> <li>9. Декремент колебаний, принимаемый по табл. 2.9</li> <li>10. Учет изменений от 01.04.2004 г. (0.0 — нет, 1.0 — да)</li> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ul>

34	Сейсмическое воздействие по МГСН 4.19-05 (ГСН г. Москва)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Признак материала сооружения может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — железобетон</li> <li>4.2. 2 — сталь</li> </ol> </li> <li>5. Сейсмичность площадки строительства (5 или 6 баллов)</li> <li>6. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый согласно п.5.2.11</li> <li>7. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ</li> <li>8. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ</li> <li>9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
35	Сейсмическое воздействие по СНиП II-7-81* издания 01.01.2000г. (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</li> <li>4.2. 2 — транспортные</li> <li>4.3. 3 — гидротехнические</li> <li>4.4. 4 — мостовые</li> </ol> </li> <li>5. Категория грунта может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — I категория</li> <li>5.2. 2 — II категория</li> <li>5.3. 3 — III категория</li> </ol> </li> <li>6. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. 7 — 7 баллов</li> <li>6.2. 8 — 8 баллов</li> <li>6.3. 9 — 9 баллов</li> </ol> </li> <li>7. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 3</li> <li>8. Коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 4 или указаниям разд. 5</li> <li>9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ</li> <li>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ</li> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
36	Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2014 (Украина)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</li> <li>4.2. 2 — транспортные</li> <li>4.3. 3 — гидротехнические</li> <li>4.4. 4 — мостовые</li> <li>4.5. 5 — устойчивость склонов (ДБН В.1.1-12:2014, приложение К)</li> </ol> </li> <li>5. Категория грунта может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — I категория</li> <li>5.2. 2 — II категория</li> <li>5.3. 3 — III категория</li> </ol> </li> <li>6. Относительное ускорение грунта</li> <li>7. Коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания, принимаемый по табл. 6.3</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 6.4</li> <li>9. Коэффициент, учитывающий нелинейное деформирование грунта при интенсивных сейсмических колебаниях, принимаемый по табл. 6.6</li> <li>10. Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному</li> <li>11. Коэффициент этажности сооружений, принимаемый по формуле 6.2</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ</li> <li>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — С</li> </ol>
37	Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2006, прил. В (Украина)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Должно быть равным единице</li> <li>5. Категория грунта может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — I категория</li> <li>5.2. 2 — II категория</li> <li>5.3. 3 — III категория</li> </ol> </li> <li>6. Относительное ускорение грунта</li> <li>7. Коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания, принимаемый по табл. 2.3</li> <li>8. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 2.4</li> <li>9. Коэффициент, учитывающий нелинейное демпфирование грунта при интенсивных сейсмических колебаниях, принимаемый по табл. 2.6</li> <li>10. Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному</li> <li>11. Длина (L) здания вдоль оси XL (м)</li> <li>12. Ширина (B) пятна здания вдоль оси YL (м)</li> <li>13. Скорость распространения поперечных волн в грунте (м/с)</li> <li>14. Признак учета вертикальной ординаты поля колебаний (0 — не учитывать, 1 — учитывать)</li> <li>15. Угол между осями X и XL (градусы)</li> <li>16. Коэффициент этажности сооружений, принимаемый по формуле 2.2</li> <li>17. Коэффициент податливости по приложению Г</li> <li>18. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ</li> <li>19. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ</li> <li>20. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
38	Сейсмическое воздействие по СНиП II-7-81* издания 01.01.2000г. с учетом кручения (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Аппликата контура опорной системы здания (м)</li> <li>4. Тип сооружения может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</li> <li>4.2. 2 — транспортные</li> <li>4.3. 3 — гидротехнические</li> <li>4.4. 4 — мостовые</li> </ol> </li> <li>5. Категория грунта может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — I категория</li> <li>5.2. 2 — II категория</li> <li>5.3. 3 — III категория</li> </ol> </li> </ol>

		<p>6. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:</p> <p>6.1. 7 — 7 баллов</p> <p>6.2. 8 — 8 баллов</p> <p>6.3. 9 — 9 баллов</p> <p>7. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 3, который может получать значения:</p> <p>7.1. <math>K_1 = 1.00</math> — повреждения или неупругие деформации не допускаются</p> <p>7.2. Возводимых из ж/б крупнопанельных или монолитных конструкций</p> <p>7.3. <math>K_1 = 0.22</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей</p> <p>7.4. <math>K_1 = 0.25</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых со стальным каркасом без вертикальных диафрагм или связей</p> <p>7.5. <math>K_1 = 0.22</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых со стальным каркасом с вертикальными диафрагмами или связями</p> <p>7.6. <math>K_1 = 0.35</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых с железобетонным каркасом без вертикальных диафрагм или связей</p> <p>7.7. <math>K_1 = 0.25</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых со железобетонным каркасом с вертикальными диафрагмами или связями</p> <p>7.8. <math>K_1 = 0.35</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей в конструкциях, возводимых из кирпичной или каменной кладки</p> <p>7.9. <math>K_1 = 0.12</math> — могут быть допущены значительные деформации, временно приостанавливающие нормальную эксплуатацию при обеспечении безопасности людей</p> <p>8. Коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений принимаемый по табл. 4 или указаниям разд. 5, который может принимать значения:</p> <p>8.1. <math>K_\psi = 1.5</math> — высокие сооружения небольших размеров в плане</p> <p>8.2. <math>K_\psi = 1.3</math> — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на их деформативность</p> <p>8.3. <math>K_\psi = 1.0</math> — здания и сооружения, не указанные в пп. 1–2, кроме гидротехнических сооружений</p> <p>9. Меньший размер сооружений в плане (м)</p> <p>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ (должен быть равен 0.0 при автоматическом учете опасного направления сейсмического воздействия)</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ (должен быть равен 0.0 при автоматическом учете опасного направления сейсмического воздействия)</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ (должен быть равен 0.0 при автоматическом учете опасного направления сейсмического воздействия)</p>
--	--	---

39	Сейсмическое воздействие по TGN 2.01.08-99 (Туркменистан)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Категория грунта может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 10 — I категория</li> <li>4.2. 20 — II и III категории, слой <math>\leq 30</math> метров</li> <li>4.3. 21 — II и III категории, слой <math>\geq 30</math> метров</li> </ol> </li> <li>5. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 7 — 7 баллов</li> <li>5.2. 8 — 8 баллов</li> <li>5.3. 9 — 9 баллов</li> </ol> </li> <li>6. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 3</li> <li>7. Коэффициент конструктивных решений, принимаемый по табл. 4</li> <li>8. Коэффициент, учитывающий повторяемость землетрясений, принимаемый по табл. 5</li> <li>9. Коэффициент демпфирующих свойств конструкции, принимаемый по табл. 6</li> <li>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
41	Сейсмическое воздействие по спектру реакции одномассового осциллятора	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тип графика спектра может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. 0 — ускорения</li> <li>1.2. 1 — скорости</li> <li>1.3. 2 — перемещений</li> </ol> </li> <li>2. Масштабный множитель к акселерограмме</li> <li>3. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>4. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>5. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>6. Частота (рад/с)</li> <li>7. Значение спектра (<math>m/c^2</math>)</li> </ol> <p>Пункты 6–7 повторяются столько раз, сколько точек на графике</p>
42	Сейсмическое воздействие по IBC-2012: ASCE 7-10 (США)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип местности (категория грунта) табл. 20.3-1 может принимать значения: <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — A</li> <li>4.2. 2 — B</li> <li>4.3. 3 — C</li> <li>4.4. 4 — D</li> <li>4.5. 5 — E</li> </ol> </li> <li>5. Ускорение за короткий период времени <math>S_s</math> п.11.4.1 (в % от «g»)</li> <li>6. Ускорение за 1-секундный период времени <math>S_1</math> п.11.4.1 (в % от «g»)</li> <li>7. Коэффициент модификации отклика R табл. 12.2-1</li> <li>8. Коэффициент важности сооружения <math>I_e</math> табл. 1.5-2</li> <li>9. Длинный период <math>T_L</math> задается по региональным картам США (22-12)-(22-16) в секундах</li> <li>10. Приблизительный основной период сооружения в направлении (с)</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Коэффициент увеличения упругой деформации <math>C_d</math> табл. 122-1, 15.4-1</li> <li>12. Должно быть равным нулю</li> <li>13. Признак контроля сейсмического воздействия по сдвигу в основании может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>13.1. 0 — не использовать</li> <li>13.2. 1 — использовать заданное значение эквивалентной боковой силы в основании</li> <li>13.3. 2 — использовать вычисленное по <math>T_a</math> значение эквивалентной боковой силы в основании</li> </ol> </li> <li>14. Величина эквивалентной боковой силы в основании (<math>t_c</math>)</li> <li>15. Способ суммирования вклада форм:             <ol style="list-style-type: none"> <li>15.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</li> <li>15.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> </ol> </li> <li>16. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>17. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>18. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
43	Сейсмическое воздействие по СНиП РК 2.03-30-2006 (Казахстан)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 7 — 7 баллов</li> <li>4.2. 8 — 8 баллов</li> <li>4.3. 9 — 9 баллов</li> <li>4.4. 10 — 10 баллов</li> </ol> </li> <li>5. Категория грунта может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — I категория</li> <li>5.2. 2 — II категория</li> <li>5.3. 3 — III категория</li> </ol> </li> <li>6. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 5.2</li> <li>7. Коэффициент редукции, учитывающий конструктивные решения здания, принимаемый по табл. 5.3 и 5.4</li> <li>8. Коэффициент, учитывающий высоту зданий, принимаемый по формуле 5.3</li> <li>9. Коэффициент, учитывающий способность здания к рассеиванию энергии колебаний по табл. 5.7, который может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>9.1. <math>K_\psi = 1.2</math> — сооружения типа этажерок без заполнения</li> <li>9.2. <math>K_\psi = 1.0</math> — здания и сооружения, не указанные в п. 1 табл. 5.7</li> </ol> </li> <li>10. Коэффициент, учитывающий грунтовые условия площадки строительства, принимаемый по табл. 5.6</li> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
44	Сейсмическое воздействие по EN 1998-1:2004 (Eurocode 8)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Уровень фундамента (жесткого основания)</li> <li>4. Должно быть равным нулю</li> <li>5. Расчетное ускорение грунта (<math>m/c^2</math>)</li> <li>6. Признак расчета             <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. Спектральный</li> <li>6.2. Сдвигающая сила равномерное распределение</li> </ol> </li> </ol>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>6.3. Сдвигающая сила треугольное распределение</li> <li>6.4. Сдвигающая сила по форме собственных колебаний</li> <li>7. Использование национального спектра может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>7.1. 0 — спектр берется из EN</li> <li>7.2. 1 — спектр по национальному приложению</li> </ul> </li> <li>8. Тип расчета может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>8.1. 1 — упругий</li> <li>8.2. 2 — проектный</li> </ul> </li> <li>9. Тип спектра может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>9.1. 1 — I тип</li> <li>9.2. 2 — II тип</li> </ul> </li> <li>10. Тип грунта может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>10.1.1 — А</li> <li>10.2.2 — В</li> <li>10.3.3 — С</li> <li>10.4.4 — D</li> <li>10.5.5 — E</li> </ul> </li> <li>11. Горизонтальный коэффициент поведения</li> <li>12. Вертикальный коэффициент поведения</li> <li>13. Коэффициент демпфирования</li> <li>14. Нижний показатель границы для горизонтального расчетного спектра</li> <li>15. Количество этажей для вычисления поправочного коэффициента <math>\lambda</math></li> <li>16. Номер формы</li> <li>17. Способ суммирования вклада форм: <ul style="list-style-type: none"> <li>17.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</li> <li>17.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> </ul> </li> <li>18. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>19. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>20. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>21. Если выбран спектр из EN, <b>то это последнее значение:</b> продлевать график для компонент упругого спектра значениями, как при <math>T = 4</math> сек. Если выбран спектр из национального приложения, то это масштабный множитель к горизонтальному графику</li> <li>22. Масштабный множитель к вертикальному графику</li> <li>23. Количество пар горизонтального графика <math>N_x</math></li> <li>24. Количество пар вертикального графика <math>N_z</math></li> <li>25. <math>N_x</math> пар <math>(T_i; S_{ah,i})</math></li> <li>26. <math>N_z</math> пар <math>(T_i; S_{av,i})</math></li> <li>27. Граничное значение между короткими и средними периодами горизонтального спектра, сек.</li> <li>28. Продлевать график для компонент упругого спектра значениями, как при <math>T = 4</math> сек.</li> </ul>
45	Сейсмическое воздействие по RPA 99 / Version 2003 (Алжир)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Сейсмическая зона может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — I</li> <li>4.2. 2 — IIa</li> <li>4.3. 3 — IIb</li> <li>4.4. 4 — III</li> </ul> </li> <li>5. Группа ответственности может принимать значения: <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — 1A</li> <li>5.2. 2 — 1B</li> <li>5.3. 3 — 2</li> </ul> </li> </ul>

		<p>5.4. 4 — 3</p> <p>6. Категория грунта может принимать значения:</p> <p>6.1. 1 — S1</p> <p>6.2. 2 — S2</p> <p>6.3. 3 — S3</p> <p>6.4. 4 — S4</p> <p>7. Коэффициент поведения, принимаемый по табл. 4.3</p> <p>8. Коэффициент качества, принимаемый по табл. 4.4</p> <p>9. Коэффициент коррекции затухания, принимаемый по формуле 4.3</p> <p>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
46	Сейсмическое воздействие по ДБН В.1.1-12:2006, прил. Г (Украина)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Аппликата контура опорной системы здания (м)</p> <p>4. Тип сооружения может принимать значения:</p> <p>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</p> <p>4.2. 2 — транспортные</p> <p>4.3. 3 — гидротехнические</p> <p>4.4. 4 — мостовые</p> <p>5. Категория грунта может принимать значения:</p> <p>5.1. 1 — I категория</p> <p>5.2. 2 — II категория</p> <p>5.3. 3 — III категория</p> <p>6. Относительное ускорение грунта</p> <p>7. Коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания, принимаемый по табл. 2.3</p> <p>8. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 2.4</p> <p>9. Коэффициент, учитывающий нелинейное демпфирование грунта при интенсивных сейсмических колебаниях, принимаемый по табл. 2.6</p> <p>10. Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному</p> <p>11. Меньший размер сооружений в плане (м)</p> <p>12. Коэффициент этажности сооружений, принимаемый по формуле 2.2</p> <p>13. Коэффициент податливости <math>\mu</math></p> <p>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX (должен быть равен 0.0 при автоматическом учете опасного направления сейсмического воздействия)</p> <p>15. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY (должен быть равен 0.0 при автоматическом учете опасного направления сейсмического воздействия)</p> <p>16. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ (должен быть равен 0.0 при автоматическом учете опасного направления сейсмического воздействия)</p>
47	Сейсмическое воздействие по НП-031-01 (Российская Федерация)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:</p> <p>4.1. 7 — 7 баллов</p>

		<p>4.2. 8 — 8 баллов 4.3. 9 — 9 баллов</p> <p>5. Логарифмический декремент колебаний по табл. П.3.2 6. Коэффициент условий эксплуатации АС по п.4 прил.4 7. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ 8. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ 9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
48	Сейсмическое воздействие по МКС ЧТ 22-07-2007 (Таджикистан)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам 2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3) 3. Должно быть равным нулю 4. Категория грунта может принимать значения: 4.1. 1 — I категория 4.2. 2 — II категория 4.3. 3 — III категория 5. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения: 5.1. 7 — 7 баллов 5.2. 8 — 8 баллов 5.3. 9 — 9 баллов 5.4. 10 — &gt; 9 баллов 6. Тип сооружения может принимать значения: 6.1. 1 — жилые, общественные и производственные 6.2. 2 — транспортные 6.3. 3 — гидротехнические 7. Коэффициент, учитывающий степень ответственности зданий и сооружений принимаемый по табл. 4.2 8. Коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 4.3 9. Коэффициент, учитывающий высоту зданий, принимаемый по формуле 4.3 10. Коэффициент, учитывающий способность к рассеиванию энергии колебаний по табл. 4.4 11. Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному 12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СХ 13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — СУ 14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
49	Сейсмическое воздействие по ДБН В.2.2-24:2009 (Украина)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам 2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3) 3. Должно быть равным нулю 4. Относительное ускорение грунта 5. Относительный вклад ж/б элементов здания в потенциальную энергию 1-й формы собственных колебаний 6. Коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания, принимаемый согласно п. 4.16 7. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый согласно п. 4.16 8. Коэффициент, учитывающий нелинейное демпфирование грунта при интенсивных сейсмических колебаниях, принимаемый согласно п. 4.16 9. Коэффициент этажности сооружений, принимаемый по формуле 4.2 10. Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному</p>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
<p>50</p>	<p>Сейсмическое воздействие по AzDTN 2.3-1-2010 (Азербайджан) с изменениями от 01.01.2014г.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</li> <li>4.2. 2 — транспортные</li> <li>4.3. 3 — мостовые</li> </ol> </li> <li>5. Категория грунта может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. 1 — I категория</li> <li>5.2. 2 — II категория</li> <li>5.3. 3 — III категория</li> <li>5.4. 4 — IV категория</li> </ol> </li> <li>6. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. 7 — 7 баллов</li> <li>6.2. 8 — 8 баллов</li> <li>6.3. 9 — 9 баллов</li> </ol> </li> <li>7. Коэффициент ответственности сооружений, принимаемый по табл. 4, может получать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>7.1. K1 = 2.00 — особо ответственные здания и сооружения, повреждение которых связано с гибелью людей и ущербом для окружающей среды</li> <li>7.2. K1 = 1.50 — здания и сооружения государственной важности (административные здания)</li> <li>7.3. K1 = 1.40 — здания и сооружения с массовым пребыванием людей (вокзалы, стадионы, метро, театры, музеи, торговые центры, рынки и т.д.)</li> <li>7.4. K1 = 1.20 — здания и сооружения, функционирование которых необходимо при ликвидации последствий землетрясений</li> <li>7.5. K1 = 1.20 — школы, детские сады, больницы, дома престарелых и инвалидов, казармы, общежития</li> <li>7.6. K1 = 1.00 — здания и сооружения, не указанные в пп.1–5 и 7 табл. 4</li> <li>7.7. K1 = 0.50 — малоответственные здания и сооружения, остаточные деформации и повреждения которых не несут опасности для людей и не вызывают прекращения непрерывных технологических процессов</li> </ol> </li> <li>8. Коэффициент конструктивных решений, принимаемый по табл. 5, может принимать значения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>8.1. K2 = 1.00 — повреждения или неупругие деформации не допускаются</li> <li>8.2. K2 = 0.25 — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях, возводимых со стальным каркасом</li> <li>8.3. K2 = 0.35 — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях, возводимых с железобетонным каркасом без вертикальных диафрагм или связей</li> <li>8.4. K2 = 0.30 — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях, возводимых с железобетонным каркасом с вертикальными диафрагмами или связями</li> <li>8.5. K2 = 0.25 — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях,</li> </ol> </li> </ol>

		<p>возводимых из ж/б крупнопанельных или монолитных конструкций</p> <p>8.6. <math>K_2 = 0.40</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях, возводимых из крупных каменных блоков</p> <p>8.7. <math>K_2 = 0.45</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях, возводимых из кирпичной или каменной кладки</p> <p>8.8. <math>K_2 = 0.60</math> — на несущих опорах систем сейсмоизоляции</p> <p>8.9. <math>K_2 = 0.25</math> — могут быть допущены остаточные деформации и повреждения в зданиях и сооружениях, возводимых этажностью не более 5 этажей независимо от конструктивного решения каркаса</p> <p>8.10. <math>K_2 = 0.15</math> — малоответственные здания и сооружения, остаточные деформации и повреждения которых не несут опасности для людей и не вызывают прекращения непрерывных технологических процессов</p> <p>9. Коэффициент этажности сооружений, принимаемый по формуле 2</p> <p>10. Коэффициент рассеивания энергии может принимать значения:</p> <p>10.1. <math>K_\psi = 1.30</math> — высокие сооружения небольших размеров в плане (башни, мачты, дымовые трубы, отдельно стоящие шахты лифтов и т.п. сооружения)</p> <p>10.2. <math>K_\psi = 1.20</math> — при отношении высоты сооружения к его ширине <math>\geq 4</math> и большепролетные здания и сооружения (<math>L \geq 24</math> м)</p> <p>10.3. <math>K_\psi = 1.30</math> — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на его деформативность при отношении высоты стоек <math>h</math> к поперечному размеру <math>b</math> в направлении действия расчетной сейсмической нагрузки, равном или более 25</p> <p>10.4. <math>K_\psi = 1.00</math> — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на его деформативность при отношении высоты стоек <math>h</math> к поперечному размеру <math>b</math> в направлении действия расчетной сейсмической нагрузки, равном или более 15</p> <p>10.5. <math>K_\psi = 1.00</math> — здания и сооружения, не указанные в пп. 1–4 табл. 6;</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
51	Сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2014 (Российская Федерация)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Тип сооружения может принимать значения:</p> <p>4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</p> <p>4.2. 2 — транспортные</p> <p>4.3. 3 — гидротехнические</p> <p>4.4. 4 — мостовые</p> <p>5. Категория грунта может принимать значения:</p> <p>5.1. 1 — I категория</p> <p>5.2. 2 — II категория</p> <p>5.3. 3 — III категория</p> <p>6. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:</p> <p>6.1. 7 — 7 баллов</p> <p>6.2. 8 — 8 баллов</p> <p>6.3. 9 — 9 баллов</p>

		<p>7. K0 — коэффициент, определяющий назначение сооружения, принимаемый по табл. 3</p> <p>8. K1 — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений по табл. 5</p> <p>9. K2 — коэффициент для подпорных сооружений всех типов</p> <p>10. Kψ — коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии по табл. 6</p> <p>11. Коэффициент к вертикальной составляющей сейсмического воздействия</p> <p>12. Способ суммирования вклада форм: 12.1.0 — по формуле 8 (SRSS) 12.2.1 — по формуле 9</p> <p>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>15. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
52	Сейсмическое воздействие по Turkish Earthquake Code 2007 (Турция)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Коэффициент поведения сооружения R (табл. 2.5, разд. 3.5)</p> <p>5. Тип грунта может принимать значения: 5.1. 1 — Грунт Z1 5.2. 2 — Грунт Z2 5.3. 3 — Грунт Z3 5.4. 4 — Грунт Z4</p> <p>6. Сейсмическая зона может принимать значения: 6.1. 1 — 1 сейсмическая зона 6.2. 2 — 2 сейсмическая зона 6.3. 3 — 3 сейсмическая зона 6.4. 4 — 4 сейсмическая зона</p> <p>7. Коэффициент важности сооружения (табл. 2.3) может принимать значения: 7.1. 1 = 1.5 — здания, которые должны использоваться после землетрясения, и строения, содержащие опасные материалы 7.2. 1 = 1.4 — долгосрочные интенсивно используемые здания и сооружения для хранения ценных товаров 7.3. 1 = 1.2 — краткосрочные интенсивно используемые здания 7.4. 1 = 1.0 — другие здание</p> <p>8. Способ суммирования вклада форм: 8.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares) 8.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</p> <p>9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
53	Сейсмическое воздействие по PN 01.01-09 (Грузия)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Категория грунта может принимать значения: 4.1. 1 — I категория 4.2. 2 — II категория 4.3. 3 — III категория</p> <p>5. Относительное ускорение грунта</p> <p>6. Коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания по табл. 3, может принимать значения:</p>

		<p>6.1. <math>K_1 = 1.00</math> — сооружения, в которых не допускаются повреждения или деформации</p> <p>6.2. <math>K_1 = 0.25</math> — несущая стальная рама</p> <p>6.3. <math>K_1 = 0.35</math> — бетонный каркас</p> <p>6.4. <math>K_1 = 0.30</math> — монолитные ж/б несущие стены, стены из ж/б панелей</p> <p>6.5. <math>K_1 = 0.40</math> — несущие стены из камня и кирпича</p> <p>6.6. <math>K_1 = 0.60</math> — здания и сооружения на несущих опорах систем сейсмоизоляции</p> <p>6.7. <math>K_1 = 0.50</math> — элементы зданий для «местных» сейсмических нагрузок</p> <p>7. Коэффициент конструктивного решения здания по табл. 4</p> <p>8. Коэффициент ответственности по табл. 5 может принимать значения:</p> <p>8.1. <math>K_3 = 1.0</math> — жилые, общественные и промышленные здания</p> <p>8.2. <math>K_3 = 1.4</math> — вокзалы, театры, стадионы, торговые центры, учебные заведения, больницы</p> <p>8.3. <math>K_3 = 0.5</math> — прочие здания</p> <p>9. Коэффициент, учитывающий нелинейное деформирование грунта при интенсивных сейсмических колебаниях, принимаемый по табл. 4.1</p> <p>10. Коэффициент, принимаемый по табл. 6, может получать значения:</p> <p>10.1. <math>K_\psi = 1.5</math> — высотные здания (замки, башни, каменные трубы)</p> <p>10.2. <math>K_\psi = 1.5</math> — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на их деформативность при (<math>h/b = 25</math>)</p> <p>10.3. <math>K_\psi = 1.0</math> — каркасные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на их деформативность при (<math>h/b = 15</math>)</p> <p>10.4. <math>K_\psi = 1.0</math> — здания, которые не указаны выше</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
54	Сейсмическое воздействие по IS 1893(Part 1):2002 [2007] (Индия)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Коэффициент уменьшения отклика</p> <p>5. Тип грунта может принимать значения:</p> <p>5.1. 1 — I. Скальный</p> <p>5.2. 2 — II. Средней твердости</p> <p>5.3. 3 — III. Мягкий</p> <p>6. Сейсмическая зона может принимать значения:</p> <p>6.1. 2 — 2 сейсмическая зона</p> <p>6.2. 3 — 3 сейсмическая зона</p> <p>6.3. 4 — 4 сейсмическая зона</p> <p>6.4. 5 — 5 сейсмическая зона</p> <p>7. Значение типа землетрясения (в зависимости от зоны сейсмичности)</p> <p>8. Коэффициент важности здания</p> <p>9. Коэффициент демпфирования</p> <p>10. Способ суммирования вклада форм:</p> <p>10.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</p> <p>10.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</p> <p>11. Относительное демпфирование для способа CQC</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p>

		<p>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
55	Сейсмическое воздействие по СТО МГСУ (Российская Федерация)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Категория грунта может принимать значения:</p> <p>4.1. 1 — I категория</p> <p>4.2. 2 — II категория</p> <p>4.3. 3 — III категория</p> <p>5. Относительное ускорение грунта может принимать значения:</p> <p>5.1. 0.08 – 6(A) – 7(B) баллов</p> <p>5.2. 0.10 — 7(A) – 7(B) баллов</p> <p>5.3. 0.15 — 7(A) – 8(B) баллов</p> <p>5.4. 0.20 — 8(A) – 8(B) баллов</p> <p>5.5. 0.30 — 8(A) – 9(B) баллов</p> <p>5.6. 0.40 — 9(A) – 9(B) баллов</p> <p>6. Должно быть равным единице</p> <p>7. Параметр затухания в % от критического (табл. 5.4)</p> <p>8. Способ суммирования вклада форм:</p> <p>8.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</p> <p>8.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</p> <p>9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
56	Сейсмическое воздействие по SI 413 Am.3 от 09.2009 (Израиль)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Тип местности (категория грунта) табл. 1 SI 413 Am.3 может принимать значения:</p> <p>4.1. 1 — A</p> <p>4.2. 2 — B</p> <p>4.3. 3 — C</p> <p>4.4. 4 — D</p> <p>4.5. 5 — E</p> <p>5. Ускорение за короткий период времени Ss п.11.4.1 (в о.е. «g»)</p> <p>6. Ускорение за 1-секундный период времени S1 п.11.4.1 (в о.е. «g»)</p> <p>7. Коэффициент уменьшения сил</p> <p>8. Коэффициент важности сооружения I табл. 4 SI 413 Am.3</p> <p>9. Длинный период TL (с)</p> <p>10. Приблизительный основной период колебаний сооружения в направлении (с)</p> <p>11. Коэффициент ожидаемого горизонтального ускорения грунта (в о.е. «g»)</p> <p>12. Тип сооружения может принимать значения:</p> <p>12.1. 0 — обычное</p> <p>13. Признак контроля сейсмического воздействия по сдвигу в основании может принимать значения:</p> <p>13.1. 0 — не использовать</p> <p>13.2. 1 — использовать заданное значение эквивалентной боковой силы в основании</p> <p>13.3. 2 — использовать вычисленное по Ta значение эквивалентной боковой силы в основании</p> <p>14. Величина эквивалентной боковой силы в основании (тс)</p> <p>15. Регулярность сооружения может принимать значения:</p> <p>15.1.0 — нерегулярное</p>



		<p>15.2. 1 — регулярное</p> <p>16. Способ суммирования вклада форм:</p> <p>16.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</p> <p>16.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</p> <p>17. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>18. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>19. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
57	Сейсмическое воздействие по IRANIAN CODE, Standart No.2800, 3 - rd Edition, 2007	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Должно быть равным нулю</p> <p>4. Коэффициент прочностных свойств сооружения R (табл. 6, 8)</p> <p>5. Тип местности (категория грунта) табл. 3</p> <p>6. Сейсмическая зона табл. 2</p> <p>7. Коэффициент важности сооружения I табл. 5</p> <p>8. Способ суммирования вклада форм:</p> <p>8.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</p> <p>8.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</p> <p>9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p>
58	Сейсмическое воздействие по СНиП КР 20-02:2009 (Кыргызская республика)	<p>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</p> <p>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</p> <p>3. Аппликата контура опорной системы здания (приложение E)</p> <p>4. Тип сооружения</p> <p>5. Категория грунта</p> <p>6. Исходная сейсмичность площадки строительства</p> <p>7. Расчетная сейсмичность площадки строительства</p> <p>8. Коэффициент, учитывающий степень ответственности здания или сооружения, табл. 5.3 (для гидротехнических сооружений — коэффициент, отражающий степень недопустимости в сооружении повреждений)</p> <p>9. Коэффициент редукции, зависящий от особенностей конструктивного решения здания или сооружения, табл. 5.4 (для гидротехнических сооружений — коэффициент, учитывающий вероятность сейсмического события за назначенный срок службы)</p> <p>10. Количество этажей в сооружении (для гидротехнических сооружений = 5)</p> <p>11. Коэффициент, учитывающий способность здания или сооружения к рассеиванию энергии, табл. 5.6 (для гидротехнических сооружений — коэффициент, учитывающий демпфирующие свойства конструкции)</p> <p>12. Меньший размер сооружений в плане (приложение E)</p> <p>13. Признак учета вертикальной составляющей п.5.3.5</p> <p>14. Признак равенности 5 произведения коэффициента динамичности на коэффициент, зависящий от формы</p> <p>15. Признак учета крутильной сейсмической нагрузки (приложение E)</p> <p>16. Признак Автоматического учета опасного направления</p> <p>17. Должно быть равным нулю</p> <p>18. Должно быть равным нулю</p> <p>19. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>20. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p>

		21. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ
--	--	--

59	Сейсмическое воздействие по СП РК 2.03-30-2017 (Казахстан)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип грунтовых условий</li> <li>5. Расчетное горизонтальное ускорение на площадке строительства (в о.е. «g»)</li> <li>6. Коэффициент ответственности здания или сооружения при определении горизонтальных сейсмических нагрузок</li> <li>7. Коэффициент ответственности здания или сооружения при определении вертикальных сейсмических нагрузок</li> <li>8. Коэффициент поведения</li> <li>9. Показатель нижней границы для горизонтального расчетного спектра</li> <li>10. Должно быть равным нулю</li> <li>11. Признак продлевающий график для вертикальной компоненты расчетного спектра значениями, как при <math>T = 2</math>сек.</li> <li>12. Способ суммирования вклада форм: <ol style="list-style-type: none"> <li>12.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</li> <li>12.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> </ol> </li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>15. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>16. Признак регулярности здания по высоте (в случае, если регулярное, то это <b>последнее значение</b>): <ol style="list-style-type: none"> <li>16.1. 0 — не регулярное</li> <li>16.2. 1 — регулярное</li> </ol> </li> <li>17. Коэффициент поведения по Y</li> <li>18. Коэффициент поведения по Z</li> <li>19. Массив отметок для повышающих коэффициентов п. 7.6.6</li> <li>20. Массив значений повышающих коэффициентов п. 7.6.6 (должны быть <math>\geq 1</math>)</li> </ol>
60	Сейсмическое воздействие по трехкомпонентным графикам коэффициента динамичности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Относительное ускорение грунта</li> <li>3. Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному</li> <li>4. Масштабный множитель к графику коэффициента динамичности для оси X</li> <li>5. Масштабный множитель к графику коэффициента динамичности для оси Y</li> <li>6. Масштабный множитель к графику коэффициента динамичности для оси Z</li> <li>7. Способ суммирования вклада форм: <ol style="list-style-type: none"> <li>7.1. 0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares)</li> <li>7.2. 1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> </ol> </li> <li>8. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>9. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>10. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>11. Количество точек для оси X</li> <li>12. Количество точек для оси Y</li> <li>13. Количество точек для оси Z</li> </ol> <p>Далее следуют пары точек (период (с); коэффициент), сначала для оси X, Y и Z</p>

61	Сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2018 (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения</li> <li>5. Категория грунта</li> <li>6. Ускорение в уровне основания (м/с)</li> <li>7. Коэффициент, определяющий назначение сооружения k0 табл. 4.2</li> <li>8. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений k1 табл. 5.2</li> <li>9. Коэффициент всех типов водонапорных сооружений k2</li> <li>10. Коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии, табл. 5.3</li> <li>11. Коэффициент к вертикальной составляющей сейсмической нагрузки</li> <li>12. Способ суммирования вклада форм: 12.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares) 12.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>15. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
62	Сейсмическое воздействие по СП 268.1325800.2016 (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения</li> <li>5. Категория грунта</li> <li>6. Ускорение в уровне основания (в о.е. «g»)</li> <li>7. Коэффициент, учитывающий влияние снижения жесткости сооружения и увеличения рассеивания энергии колебаний из-за появления трещин и пластических деформаций</li> <li>8. Коэффициент, уточняющий исходную сейсмичность по данным о сейсмическом режиме местности</li> <li>9. Коэффициент инженерно-геологической обстановки на участке строительства</li> <li>10. Коэффициент рельефа местности, определяемый расчетом по данным изысканий</li> <li>11. Коэффициент, учитывающий отклонение декремента колебаний объекта от стандартного значения, в том числе за счет работы демпферов</li> <li>12. Коэффициент к вертикальной составляющей сейсмической нагрузки</li> <li>13. Способ суммирования вклада форм: 13.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares) 13.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> <li>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>15. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>16. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> </ol>
63	Сейсмическое воздействие по СП 267.1325800.2016 (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения</li> <li>5. Категория грунта</li> <li>6. Ускорение в уровне основания (в о.е. «g»)</li> <li>7. Коэффициент надежности по ответственности рассчитываемого сооружения</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений</li> <li>9. Коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии</li> <li>10. Способ суммирования вклада форм: 10.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares) 10.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> <li>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>14. Количество точек в графике коэффициентов динамичности (если 0 — график не задается и это <b>последнее значение</b>)</li> <li>15. Массив точек (период (с) — коэффициент динамичности), описывающий график</li> </ol>
64	Сейсмическое воздействие по СН КР 20-02:2018 (Кыргызская республика)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип грунтовых условий</li> <li>5. Расчетное горизонтальное ускорение на площадке строительства (в о.е. «g»)</li> <li>6. Коэффициент ответственности здания или сооружения при определении горизонтальных сейсмических нагрузок</li> <li>7. Коэффициент ответственности здания или сооружения при определении вертикальных сейсмических нагрузок</li> <li>8. Коэффициент поведения</li> <li>9. Показатель нижней границы для горизонтального расчетного спектра</li> <li>10. Должно быть равным нулю</li> <li>11. Признак, продлевающий график для вертикальной компоненты расчетного спектра значениями, как при T = 2сек.</li> <li>12. Способ суммирования вклада форм: 12.1.0 — SRSS (Square Root of the Sum of Squares) 12.2.1 — CQC (Complete Quadratic Combination)</li> <li>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</li> <li>14. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</li> <li>15. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</li> <li>16. Признак регулярности здания по высоте (в случае, если регулярное, то это <b>последнее значение</b>): 16.1.0 — не регулярное 16.2.1 — регулярное</li> <li>17. Коэффициент поведения по Y</li> <li>18. Коэффициент поведения по Z</li> <li>19. Массив отметок для повышающих коэффициентов</li> <li>20. Массив значений повышающих коэффициентов (должны быть <math>\geq 1</math>)</li> </ol>
65	Сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2018 с изменением №1 (Российская Федерация)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поправочный коэффициент к инерционным силам</li> <li>2. Признак ориентации высоты здания (должен быть равен 3)</li> <li>3. Должно быть равным нулю</li> <li>4. Тип сооружения может принимать значения: 4.1. 1 — жилые, общественные и производственные</li> <li>5. Категория грунта может принимать значения: 5.1. 1 — I категория 5.2. 2 — II категория 5.3. 3 — III категория 5.4. 4 — По результатам сейсмического микрорайонирования</li> </ol>

		<p>6. Сейсмичность площадки строительства может принимать значения:          6.1. 7 — 7 баллов          6.2. 8 — 8 баллов          6.3. 9 — 9 баллов</p> <p>7. K0 — коэффициент, определяющий назначение сооружения, принимаемый по табл. 3</p> <p>8. K1 — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений по табл. 5.3</p> <p>9. Kψ — коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии по табл. 6</p> <p>10. Способ суммирования вклада форм:          10.1.0 — по формуле 8 (SRSS)          10.2.1 — по формуле 9</p> <p>11. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CX</p> <p>12. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CY</p> <p>13. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК — CZ</p> <p>14. Наличие графика:          14.1. 0 — график отсутствует и тогда это <b>последнее значение</b>          14.2. 1 — масштабный коэффициент, но только в категории грунта должно стоять <b>По результатам сейсмического микрорайонирования</b></p> <p>15. График парами (период (с) — значение)</p>
100	Модальный анализ	Параметры отсутствуют

**Пример:**

( 15/

\* Пульсационные составляющие ветровых воздействий/

2 21 10 3 1 0 0 0 1.00000 3 0.000 0 1 12.000 8.000 1 0 0.300 0 /  
 4 25 10 5 1 0 0 0 1.00000 3 0.000 0 2 1 1 0 12.000 8.000 12.000 0.300 0  
 /

\* Импульсное воздействие /

6 22 10 0 1 0 0 0 0.05000 /

\* Ударное воздействие /

7 23 10 0 1 0 0 0 0.05000 /

\* Гармонические воздействия /

8 24 10 0 1 0 0 0 0.05000 10.00000 0 /

9 28 10 0 1 0 0 0 0.05000 10.00000 0.05 /

\* Сейсмические воздействия /

10 27 10 0 1 0 0 0 3 0 0.05000 1.00000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.78540  
 12.56637 0.000000  
 0.707107 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107 0.000000  
 0.707107  
 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107 0.000000 0 /  
 11 29 10 0 1 0 0 0 3 0 0.05000 1.00000 1.00000 0.70000 1.0000000 0.0000000  
 1.0000000 0.78540  
 12.56637 0.000000 0.707107 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -  
 0.707107  
 0.000000 0.707107 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107  
 0.000000

```

0.000000 0.707107 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107
0.000000
0.707107 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107 0.000000
0.000000
0.707107 1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107 0.000000
0.707107
1.000000 0.707107 0.000000 -0.707107 -1.000000 -0.707107 0.000000 0 /
12 30 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 10 7 2 3 1 4 5 1.0000000 0.0000000 0.0000000
/
13 31 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0.0 1 0.10000 1.00000 1.50000 25 0 0.0000000
1.0000000 0.000000
1.0000000 0.0000000 0.0000000 /
14 32 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 1.100 0.500 1.200 1.000 1.000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
15 33 10 0 1 0 0 0 1.000000 0.800 1.000 0.750 1.000 0.500 1 1 0.150 0.000
1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
16 34 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 5 0.22000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 /
17 35 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 7 1.000 1.500 1.0000000 0.0000000 0.0000000
/
18 36 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 0.050 0.200 0.500 1.000 0.700 1.000
1.0000000 0.0000000 0.0000000 /
19 37 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 0.050 0.200 0.500 1.000 0.500 12.000 8.000
500.000 0 0.000 1.000
1.000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 /
20 38 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0.000 1 1 7 1.000 1.500 25.000 1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
21 39 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 10 7 1.000 1.000 0.8500 1.000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
22 41 10 0 1 0 0 0 0 1.000000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 1.000000
0.628319 2.313146
1.256637 2.603593 1.884956 0.814000 2.513274 0.800000 213.000000 0.800000 /
23 42 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 2 40.000 8.000 5.000 1.000 4.000 2.000 2.000
0 0 0.000 1 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
24 43 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 7 1 1.000 0.250 1.000 1.200 1.000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
25 44 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 0 0.780 0 0 1 1 1 1.000 1.000 1.000 0.200
1.000 1 0 1.0000000 0.0000000
0.0000000 1 /
26 45 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 1 2.00000 1.00000 0.70000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
27 46 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0.000 1 1 0.050 0.200 0.500 1.000 0.700 25.000
1.000 1.000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
28 47 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 7 0.03000 1.000 1.0000000 0.0000000 0.0000000
/
29 48 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 7 1 1.000 1.000 1.000 1.000 0.700 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
30 49 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 0.025 1.000 0.300 1.100 1.000 1.200 0.700
1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
31 50 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 7 0.500 0.150 1.000 1.000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
32 51 10 0 1 0 0 0 1.000000 3 0 1 1 7 0.750 0.120 1.000 1.500 1.000 0 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /

```

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФОРМАТ ВХОДНОГО ФАЙЛА РАСЧЕТНОГО ПРОЦЕССОРА

```
33 52 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.0 2.00000 1 1 1.50000 0 1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
34 53 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.0 1 0.05000 1.00000 0.50000 1.00000 0.75000
1.50000 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
35 54 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.0 1.50000 1 2 0.05000 1.50000 1.00000 1 0.05000
1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
36 55 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.0 1 0.10000 1.00000 5.00000 1 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
37 56 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0 2 0.500 0.200 1.000 1.000 4.000 2.000 0.100 0
2 0.000 0 1 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
38 57 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0 3.500 1 1 1.400 1 1.0000000 0.0000000 0.0000000
/
39 58 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.00000 1 1 7 7 1.00000 0.25000 5 1.00000
25.00000 0 0 0 0 0 0 1.0000000
0.0000000 0.0000000 /
40 59 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.0 1 0.10000 0.50000 0.50000 1.50000 0.20000 0
1 1 1.0000000 0.0000000
0.0000000 1 /
41 60 10 0 1 0 0 0 1.00000 0.10000 0.70000 1.00000 1.00000 1.00000 1 1.0000000
0.0000000
0.0000000 6 6 6
0.00000 1.00000 0.40000 2.50000 1.20000 2.50000 1.40000 2.00000 2.50000
0.80000 10.00000 0.80000
0.00000 1.00000 0.40000 2.50000 1.20000 2.50000 1.40000 2.00000
2.50000 0.80000 10.00000 0.80000
0.00000 1.00000 0.40000 2.50000 1.20000 2.50000 1.40000
2.00000 2.50000 0.80000 10.00000 0.80000 /
42 61 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0 1 1 1.00000 1.000 0.120 1.000 1.500 1.000 0
1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
43 62 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0 1 1 0.10000 0.200 1.000 1.000 1.000 1.000 0.5
0 1.0000000 0.0000000
0.0000000 /
44 63 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0 1 1 0.10000 1.000 0.220 1.800 0 1.0000000
0.0000000 0.0000000 0 /
45 64 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0.0 1 0.19000 0.50000 0.50000 1.50000 0.20000 0
1 1 1.0000000 0.0000000
0.0000000 1 /
46 65 10 0 1 0 0 0 1.00000 3 0 1 1 7 1.000 0.300 1.300 0 1.0000000 0.0000000
0.0000000 0.0000000 /
)
```

*Документ 16* описывает задание нелинейных загрузений, а также стадий монтажа/демонтажа. Каждая строка 16-го документа отвечает за параметры конкретного загрузения.

Задание 16-го документа имеет отличия для:

- нелинейных загрузений;
- стадий возведения сооружений (линейный монтаж);
- стадий возведения сооружений (нелинейный монтаж);
- спектра несущей способности (в системе PUSHOVER).



*Строка 16-го документа* для стадий нелинейных загрузений задается в таком порядке:

1. Номер загрузки.
2. Метод приложения нагрузки может принимать значение:
  - 2.1. 1 — равномерное приложение нагрузки;
  - 2.2. 3 — автоматический выбор шага с поиском новых форм равновесия;
  - 2.3. 4 — автоматический выбор шага.
3. Количество задаваемых коэффициентов (для 3-го и 4-го методов должно быть равным 4).
4. Должно быть равным нулю.
5. Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов.
6. Управление предысторией (для каждой первой стадии нелинейного загрузения в истории должно быть задано число 0, для всех остальных — 1).

Далее указываются коэффициенты к нагрузке по шагам для 1-го метода в количестве, заданном в пункте 3, или 4 коэффициента для 3-го и 4-го методов (автоматический выбор шага), а именно:

1. Суммарный коэффициент.
2. Допускаемая погрешность в выборе шага.
3. Стартовый шаг.
4. Шаг сохранений результатов.

Пример:

```
( 16/
  1  1 10 0 1000 1  0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1  /
  3  3 4  0 1000 1  1 2E-06 2E-05 0.2  /
  4  4 4  0 1000 0  1 1E-05 1E-05 0.1  /
)
```

*Строка 16-го документа* для стадий возведения сооружений (линейный монтаж) задается в таком порядке:

1. Номер загрузки.
2. Метод приложения нагрузки: должен быть равным единице.
3. Количество задаваемых коэффициентов: должно быть равным единице.
4. Должно быть равным нулю.
5. Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов: должно быть равным 1000.
6. Обнулить перемещения (0 — да, 1 — нет), для 1-й стадии всегда 0.
7. Суммарный коэффициент: должен быть равным единице;

Пример:

```
( 16/
  1  1 1 0 1000 0 1  /
  2  1 1 0 1000 0 1  /
  3  1 1 0 1000 1 1  /
)
```

```
4 1 1 0 1000 1 1 /
)
```

Строка 16-го документа для стадий возведения сооружений (нелинейный монтаж) задается в таком порядке:

1. Номер загрузки.
2. Метод приложения нагрузки может принимать значение:
  - 2.1. 1 — равномерное приложение нагрузки;
  - 2.2. 4 — автоматический выбор шага;
3. Количество задаваемых коэффициентов (для 4-го метода должно быть равным 4).
4. Управление печатью может принимать значение:
  - 4.1. 0 — окончательный результат;
  - 4.2. 1 — перемещения после каждого шага;
  - 4.3. 2 — усилия после каждого шага;
  - 4.4. 3 — перемещения и усилия после каждого шага.
5. Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов.
6. Обнулить перемещения (0 — да, 1 — нет), для 1-й стадии всегда 0.

Далее указываются коэффициенты к нагрузке по шагам для 1-го метода (равномерное приложение нагрузки) в количестве, заданном в пункте 3, или 4 коэффициента для 4-го методов (автоматический выбор шага), а именно:

1. Суммарный коэффициент.
2. Допускаемая погрешность в выборе шага.
3. Стартовый шаг.
4. Шаг сохранений результатов.

Пример:

```
( 16/
1 1 10 0 1000 0 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 /
2 1 20 1 1000 1 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05
0.05 0.05 0.05 0.05 0.05
0.05 0.05 0.05 0.05 0.05
0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 /
3 4 4 2 1000 0 1 1E-08 1E-05 0.1 /
4 1 10 3 1000 1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 /
)
```

Строка 16-го документа для спектра несущей способности (в системе PUSHOVER) задается в таком порядке:

1. Номер загрузки.
2. Метод приложения нагрузки (должен быть равен 104).
3. Количество задаваемых коэффициентов (должно быть равным 4).
4. Управление печатью может принимать значение:
  - 4.1. 0 — окончательный результат;
  - 4.2. 1 — перемещения после каждого шага;
  - 4.3. 2 — усилия после каждого шага;

4.4. 3 — перемещения и усилия после каждого шага.

5. Минимальное количество итераций для физически нелинейных итерационных элементов;

6. Должно быть равным единице.

7. Предельный коэффициент к загрузению.

8. Допускаемая погрешность в выборе шага.

9. Стартовый шаг.

10. Шаг сохранений результатов.

Пример:

```
( 16/
   8 104 4 3 1000 1 10 1.5E-05 1E-05 0.1 /
)
```

*Документ 20* описывает данные для расчета устойчивости. В *документе* может быть не более двух строк:

1. Для расчета устойчивости по загрузениям.

2. Для расчета устойчивости по расчетным сочетаниям нагрузок.

*Строка документа 20* задается в такой последовательности:

1. Количество загрузений/расчетных сочетаний нагрузок в *строке*.

2. Тип расчета, может принимать значения:

2.1. 0 — для загрузений;

2.2. 1 — для расчетных сочетаний нагружений.

3. Номер загрузения/расчетного сочетания.

4. Количество форм потери устойчивости.

5. Выполнять расчет устойчивости:

5.1. 0 — по продольной силе;

5.2. 1 — с учетом влияния всех усилий.

Пункты 3–5 повторяются в одной *строке* для каждого загрузения / расчетного сочетания нагружения, для которого нужно выполнить расчет устойчивости в количестве, указанном в пункте 1.

Пример:

```
( 20/
   3 0   1 10 0   2 10 0   3 10 1 /
   2 1   1 10 0   2 10 1 /
)
```

В *1-й строке* задан расчет устойчивости для загрузений (1, 2 по продольной силе и 3 по продольной силе с учетом влияния моментов), а во *2-й строке* задан расчет устойчивости для расчетных сочетаний нагружений (1 по продольной силе и 2 по продольной силе и с учетом влияния моментов).

*Документ 22* описывает задание ползучести. Строка документа 22 задается в такой последовательности:

1. Номер истории нелинейного нагружения.
2. Общее количество временных промежутков.

Далее указываются дни, прошедшие с момента нагружения конструкции в количестве, указанном в пункте 2.

Пример:

```
( 22/
  1 3 100 200 300 /
  2 2 100 200 /
)
```

*Документ 23* описывает эксцентриситеты этажей для нагружений. Строка документа 23 задается в такой последовательности:

1. Номер этажа:  
0 — для всей схемы.
2. Номер нагружения.
3. Эксцентриситет этажа вдоль X.
4. Эксцентриситет этажа вдоль Y.

Пример:

```
( 23/
  0 2 1 1 /
  1 3 0.1 0.1 /
  2 3 0.2 0.2 /
  3 3 0.3 0.3 /
  4 3 0.4 0.4 /
  5 3 0.5 0.5 /
)
```

*Документ 24* описывает дополнительные статические нагружения на стадиях монтажа. Строка документа 24 задается в такой последовательности:

1. Номер стадии возведения сооружения.
2. Номер дополнительного статического нагружения на стадии возведения.
3. Коэффициент.

Пункты 2–3 повторяются для каждого дополнительного нагружения, в котором участвует стадия возведения, указанная в пункте 1.

Пример:

```
( 24/
  1 5 1.1 6 1.1 /
  2 6 1.2 /
  3 6 1.3 /
)
```

В примере описаны два дополнительных статических нагружения на стадии монтажа:

1. 5-е нагружение, которое входит в 1-ю стадию возведения с коэффициентом 1.1.
2. 6-е нагружение, которое входит в 1-ю стадию возведения с коэффициентом 1.1, во 2-ю стадию возведения с коэффициентом 1.2 и в 3-ю стадию возведения с коэффициентом 1.3.

*Документ 28* описывает задание параметров системы ДИНАМИКА+. Допустимо задание только одной *строки* в такой последовательности:

1. Номер нагружения.
2. Результаты расчета, могут принимать значения:
  - 2.1. 0 — только перемещения;
  - 2.2. 1 — перемещения и усилия;
  - 2.3. 2 — перемещения, усилия и РСУ;
  - 2.4. 3 — перемещения, усилия, РСУ и напряжения;
  - 2.5. 4 — только поле температур.
3. Должен быть равен 0.
4. Скорость распространения сейсмического воздействия (м/с).
5. Время интегрирования (с).
6. Шаг интегрирования (с).
7. Коэффициент  $\alpha$  к матрице масс для получения матрицы демпфирования.
8. Коэффициент  $\beta$  к матрице жесткости для получения матрицы демпфирования.
9. Учет демпфирующих свойств материала.

Пример:

```
( 28/
  3 2 0 300 35 0.001 0.1 0.01 0 / )
```

*Документ 30* описывает задание поверхностей/линий влияния для системы МОСТ. *Строка документа 30* задается в такой последовательности:

1. Номер поверхности/линии влияния (уровня), который требуется для многоуровневых мостов.
2. Номера двух или трех узлов для описания элементарного участка линии или поверхности влияния.

Пример:

```
( 30/
  1   518 528 534   /* 1 /
  1   576 591 594   /* 2 /
  1   573 534 591   /* 3 /
  1   486 597 522   /* 4 /
  1   517 527 533   /* 5 /
 )
```

*Документ 31* описывает траектории (маршруты) движения для системы МОСТ. *Строка документа 31* задается в такой последовательности:

1. Номер маршрута.

2. Номер поверхности/линии влияния (уровня) из 30-го документа.
3. Опция начала и конца траектории, может принимать значение:
  - 3.1. 0 — нагрузка заезжает на траекторию и выезжает с траектории;
  - 3.2. 10 — нагрузка полностью находится на траектории и выезжает с траектории;
  - 3.3. 1 — нагрузка заезжает на траекторию и доезжает до конца траектории;
  - 3.4. 11 — нагрузка полностью находится на траектории и доезжает до конца траектории;
4. Массив трехмерных координат маршрута (X, Y, Z).

Пример:

```
( 31/
  1 1 1 0.0 0.7125 21.6 308.0 0.7125 21.6 /
  2 1 0 0.0 3.75 21.6 308.0 3.75 21.6 /
  3 1 11 0.0 7.25 21.6 308.0 7.25 21.6 /
  4 1 10 0.0 12.4 21.6 308.0 12.4 21.6 /
  5 1 1 0.0 15.9 21.6 308.0 15.9 21.6 /
)
```

*Документ 34* описывает типы подвижных нагрузок (привязка подвижных нагрузок к маршруту) для системы МОСТ. *Строка документа 34* задается в такой последовательности:

1. Тип подвижной нагрузки может принимать значение:
  - 1.1. 1 — пешеходы;
  - 1.2. 2 — АК;
  - 1.3. 5 — трамвай или трамвайные поезда;
  - 1.4. 6 — метрополитен;
  - 1.5. 7 — НК.
2. Номер строки 35-го документа.
3. Номер строки 36-го документа.
4. Номера маршрутов из 31-го документа (максимум 20 маршрутов).


Пример:

```
( 34/
  1 1 5 1 /
  2 2 6 2 3 4 5 /
  7 3 7 4 /
)
```

*Документ 35* описывает параметры подвижных нагрузок. *Строка документа 35* задается в такой последовательности:

1. Номер строки.
2.  $v$  — нормативная распределенная нагрузка (тс/м<sup>2</sup> — для пешеходов, тс/м — для АК).
3. Ширина тротуара (м), только для пешеходов.
4.  $c$  — размер колеса вдоль направления движения (м).
5.  $w$  — размер колеса поперек направления движения (м).
6. Количество колес на оси (шт).

7. Массив расстояний между колесами (м), в количестве на единицу меньше, чем указано в пункте 6.
  8. Количество осей подвижных нагрузок (шт).
  9. Привязка оси (м), нулевая для первой оси.
  10. Р — нормативная нагрузка на ось (тс).
  11. Р\* — порожняя нормативная нагрузка на ось (тс) для метро или трамвая.
- Пункты 9–11 повторяются в количестве на единицу меньше, чем указано в пункте 8.
12. Количество вагонов или поездов (для метро или трамвая).
  13. Длина вагона или расстояние между головами поездов (м).

 В 0-й строке задаются коэффициенты S1 к полосам движения для нагрузки АК (пары: распределенная — тандем по первой полосе, распределенная — тандем по второй полосе, по количеству маршрутов для нагрузки АК в 34 документе).

Пример:

```
( 35/
  * Пешеходы /
  1 0.20394 1.5 /

  * АК /
  2 1.4276 0 0.2 0.6 2 1.9 2 0 14.276 0 1.5 14.276 0 /


  * НК /
  3 0 0 0.2 0.8 2 2.7 4 0 25.7 0 1.2 25.7 0 2.4 25.7 0 3.6 25.7 0 /

  * Нулевая строка /
  0 1 1 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6
    0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6
    0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 /
)
```

Документ 36 описывает коэффициенты для сочетаний усилий в системе МОСТ. Строка документа 36 задается в такой последовательности:

1. Номер загрузки.
2. Коэффициенты, в зависимости от типа загрузки:
  - 2.1. Для статических загрузок задаются 3 коэффициента:
    - 2.1.1. Коэффициент приведения к нормативным значениям.
    - 2.1.2. Коэффициент приведения к расчетным при  $\gamma_f > 1$ .
    - 2.1.3. Коэффициент приведения к расчетным при  $\gamma_f < 1$ .
  - 2.2. Для пешеходов задается 1 коэффициент приведения к расчетным значениям;
  - 2.3. Для АК задаются 8 коэффициентов:
    - 2.3.1. Коэффициент приведения к расчетным значениям для распределенной нагрузки.
    - 2.3.2. Коэффициент приведения к расчетным значениям для тандема по полосе, дающей наибольший вклад.

- 2.3.3. Коэффициент приведения к расчетным значениям для тандема по остальным полосам.
- 2.3.4. Коэффициент приведения к значениям для расчета выносливости для распределенной нагрузки.
- 2.3.5. Коэффициент приведения к значениям для расчета выносливости для тандема по полосе, дающей наибольший вклад.
- 2.3.6. Коэффициент приведения к значениям для расчета выносливости для тандема по остальным полосам.
- 2.3.7. Понижающий коэффициент к двум тандемам (можно не задавать, если не учитываются два тандема).
- 2.3.8. Расстояние между двумя тандемами (можно не задавать, если не учитываются два тандема).
- 2.4. Для трамвая, трамвайного поезда или метрополитена задаются 2 коэффициента:
  - 2.4.1. Коэффициент приведения к расчетным значениям.
  - 2.4.2. Коэффициент приведения к значениям для расчета выносливости.
- 2.5. Для НК задаются 4 коэффициента:
  - 2.5.1. Коэффициент приведения к расчетным значениям.
  - 2.5.2. Понижающий коэффициент при учете двух экипажей.
  - 2.5.3. Расстояние между последней осью первого и передней осью второго экипажа.
  - 2.5.4. Понижающий коэффициент для расчета по второму предельному состоянию.

 В 0-й строке задаются 2 коэффициента  $K1$  и  $S2$ ,  $K1$  — коэффициент сложения пешеходной нагрузки с нагрузкой  $AK$  ( $Sum = K1 \cdot \Pi + AK$ ),  $S2$  — коэффициент к временной нагрузке, которая оказывает меньшее воздействие при одновременном загрузении полос автомобильного движения (совместно с тротуарами) и рельсовых путей (железных дорог, метрополитена или трамвая).

Наличие нулевой строки свидетельствует о том, что будут вычислены сочетания усилий для статических загрузений и подвижной нагрузки.

Пример:

```
( 36/
* Статические загрузения /
1 1 1.1 0.9 /
2 1 1.1 0.9 /
3 1 1.1 0.9 /

* Пешеходы /
5 1.2 /

* АК /
6 1.15 2.1 2.1 1 1.2667 1.2667 /

* НК /
7 1.1 0.75 12 0.8 /
```



```
* Нулевая строка /
0 1 0.8 /
)
```

*Документ 40* описывает задание параметров для выполнения PushOver расчета. Параметры одного нагружения PushOver задаются двумя строками. Первая строка задается в следующем порядке:

1. Номер нагружения PushOver.
2. Номер предшествующей предыстории нагружения (не может быть равным нулю).
3. Тип нагружения:
  - 3.1. 0 — статическое нагружение;
  - 3.2. 1 — модуль динамики.
4. Если в предыдущем пункте задано статическое нагружение, то номер статического нагружения, если модуль динамики, то номер строки динамического нагружения в документе 15.
5. Номер формы (0 — для статического нагружения).
6. Коэффициент к нагружению.
7. Предельное перемещение контролируемого узла.
8. Номер контролируемого узла.

Вторая строка задается в следующем порядке:

1. Номер нагружения PushOver.
2. Должно быть нулем — продолжение блока нагружения PushOver.
3. Тип нагружения (если в первой строке номер статического нагружения был 0, то 1 — модуль динамики).
4. Если в предыдущем пункте задан модуль динамики, то номер строки динамического нагружения в документе 15, иначе — 0.
5. Если в предыдущем пункте задан модуль динамики, то номер формы.
6. Коэффициент к нагружению (дублирование).
7. Предельное перемещение контролируемого узла (дублирование).
8. Номер контролируемого узла (дублирование).

Пример:

```
( 40/
  1 1 0 0 0 0 0.2 5 /
  1 0 1 1 3 1.2 0.2 5 /
)
```

*Документ 43* описывает задание конденсации масс. Каждая строка документа 43 задает данные для одной группы сбора масс и задается в такой последовательности:

1. Список элементов, с которых нужно собрать массы.
2. Символ «:».
3. Список узлов, в которые необходимо преобразовать собранную с элементов массу.

Списки элементов и узлов, которые идут подряд, могут быть заданы через символ «-».

Пример:

```
( 43/
  31-99   : 91-97 102 103 108 109 114-120 /
  130-198 : 61-67 72 73 78 79 84-90 /
)
```

*Документ 47* описывает параметры обобщенных загрузжений. После вычисления перемещений и усилий в обычных (статических и динамических) загрузжениях выполняется вычисление перемещений и усилий в обобщенных загрузжениях, описанных выражением ( $S_1 \dots S_i$  — уже обработанные загрузжения):

$$S = k_0 * \sqrt[p_0]{k_1 * S_1^{p_1} + \dots + k_i S_i^{p_i}}$$

Обобщенное загрузжение описывается следующей информацией:

1. Номер обобщенного загрузжения.
2. Коэффициент к результату обобщения —  $k_0$ .
3. Показатель степени к результату обобщения —  $p_0$ .
4. Количество обобщаемых загрузжений (каждое загрузжение описывается 3 числами).
5. Номер обобщаемого загрузжения.
6. Коэффициент к обобщаемому загрузжению —  $k_i$ .
7. Показатель степени к обобщаемому загрузжению —  $p_i$ .

Пример:

```
( 47/
  47   1 0.5   4   3 1 2   5 1 2   7 1 2   10 1 2 /
)
```

*Документ 49* описывает начальную температуру в узлах. В каждой *строке документа 49* записана начальная температура узла, порядковый номер строки соответствует номеру узла. Начальная температура должна быть задана для всех узлов.

Пример:

```
( 49/
  20 /* 1 /
  20 /* 2 /
  20 /* 3 /
  20 /* 4 /
)
```

## А.6 СОЧЕТАНИЯ

Документ 8 описывает задание расчетных сочетаний усилий. Каждая строка документа 8 отвечает за характеристики РСУ для конкретного нагружения и задается в такой последовательности:

1. Тип нагружения может принимать значение:
  - 1.1. 0 — постоянное нагружение;
  - 1.2. 1 — временное длительнодействующее нагружение;
  - 1.3. 2 — кратковременное нагружение;
  - 1.4. 3 — крановое вертикальное нагружение;
  - 1.5. 4 — крановое тормозное нагружение;
  - 1.6. 5 — сейсмическое нагружение;
  - 1.7. 6 — особое нагружение;
  - 1.8. 7 — мгновенное нагружение;
  - 1.9. 8 — преднапряжение (только для норм Еврокода);
  - 1.10. 9 — неопределенное (неактивное) нагружение (в том числе и средняя составляющая ветрового воздействия).
2. Номер группы объединения (0 — если объединение отсутствует).
3. Знакопеременность (0 — отсутствует, 1 — присутствует).
4. Номер группы взаимоисключения (0 — если взаимоисключение отсутствует).
5. Номера сопутствующих нагружений (6 обязательных чисел, заполняются нулями, если сопутствие отсутствует).
6. Коэффициент перевода к нормативным значениям усилий.
7. Коэффициент длительного действия.
8. Коэффициенты перевода к расчетным значениям усилий (6 чисел, которые используются в Еврокоде, в нормах СНиП, СП и ДБН используется только первое).
9. Коэффициенты для РСУ (15 чисел) к:
  - 9.1. 1-му основному сочетанию;
  - 9.2. 2-му основному сочетанию;
  - 9.3. сейсмическому сочетанию;
  - 9.4. особому сочетанию;
  - 9.5. 5-му сочетанию;
  - 9.6. 6-му сочетанию;
  - 9.7. 7-му сочетанию;
  - 9.8. 8-му сочетанию;
  - 9.9. 9-му сочетанию;
  - 9.10. 10-му сочетанию;
  - 9.11. 11-му сочетанию;
  - 9.12. 12-му сочетанию;
  - 9.13. 13-му сочетанию;
  - 9.14. 14-му сочетанию;
  - 9.15. 15-му сочетанию.

Количество строк 8-го документа должно быть равным количеству нагружений в задаче, при этом очередность строк соответствует номерам нагружений в задаче.

Пример:

```
( 8/
0 0 0 1 2 0 0 0 0 0 1 1 1.1 1 1 0.9 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 /
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1.1 1 1 0.9 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 /
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1.1 1 1 0.9 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 /
2 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0.35 1.2 1 0.9 0.5 0.8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 /
5 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 /
)
```

Документ 29 описывает задание коэффициентов сочетаний по степени влияния (табл. 24). В документе 29 допустимо задание только одной строки.

Таблица А.24 Коэффициенты по степени влияния

Загрузка	Основное			Сейсмическое			Особое		
	$\Psi_{11}^g$	$\Psi_{12}^g$	$\Psi_{13}^g$	$\Psi_{11}^s$	$\Psi_{12}^s$	$\Psi_{13}^s$	$\Psi_{11}^o$	$\Psi_{12}^o$	$\Psi_{13}^o$
Временное длительнодействующее	$\Psi_{11}^g$	$\Psi_{12}^g$	$\Psi_{13}^g$	$\Psi_{11}^s$	$\Psi_{12}^s$	$\Psi_{13}^s$	$\Psi_{11}^o$	$\Psi_{12}^o$	$\Psi_{13}^o$
Кратковременное	$\Psi_{t1}^g$	$\Psi_{t2}^g$	$\Psi_{t3}^g$	$\Psi_{t1}^s$	$\Psi_{t2}^s$	$\Psi_{t3}^s$	$\Psi_{t1}^o$	$\Psi_{t2}^o$	$\Psi_{t3}^o$
Крановое вертикальное/ Крановое тормозное*	$\Psi_{k1}^g$	$\Psi_{k2}^g$	$\Psi_{k3}^g$	$\Psi_{k1}^s$	$\Psi_{k2}^s$	$\Psi_{k3}^s$	$\Psi_{k1}^o$	$\Psi_{k2}^o$	$\Psi_{k3}^o$
Мгновенное	$\Psi_{m1}^g$	$\Psi_{m2}^g$	$\Psi_{m3}^g$	$\Psi_{m1}^s$	$\Psi_{m2}^s$	$\Psi_{m3}^s$	$\Psi_{m1}^o$	$\Psi_{m2}^o$	$\Psi_{m3}^o$

\* — для крановых загрузок логика несколько иная: если в сочетание попадает одна крановая, то берется, в зависимости от сочетания, коэффициент  $\Psi_{k1}^g$  или  $\Psi_{k1}^s$ , или  $\Psi_{k1}^o$ , если две крановые, то коэффициенты  $\Psi_{k2}^g$  или  $\Psi_{k2}^s$ , или  $\Psi_{k2}^o$ , а если три и более крановых —  $\Psi_{k3}^g$  или  $\Psi_{k3}^s$ , или  $\Psi_{k3}^o$ .

В 29-м документе коэффициенты задаются в таком порядке:

1. 12 коэффициентов, которые относятся к основному сочетанию.
2. 12 коэффициентов, которые относятся к сейсмическому сочетанию.
3. 12 коэффициентов, которые относятся к особому сочетанию.

Пример:

```
( 29/
Psi11g Psi12g Psi13g Psi_t1g Psi_t2g Psi_t3g Psi_k1g Psi_k2g Psi_k3g Psi_m1g Psi_m2g Psi_m3g
Psi11s Psi12s Psi13s Psi_t1s Psi_t2s Psi_t3s Psi_k1s Psi_k2s Psi_k3s Psi_m1s Psi_m2s Psi_m3s
Psi11o Psi12o Psi13o Psi_t1o Psi_t2o Psi_t3o Psi_k1o Psi_k2o Psi_k3o Psi_m1o Psi_m2o Psi_m3o /
)
```

Документ 37 описывает задание коэффициентов к загрузкам, которые учитываются при расчете РСН. Каждая строка документа 37 задает коэффициенты для одного нагружения в таком порядке:

1. Номер нагружения.
2. Коэффициент перевода к нормативным нагрузкам.
3. Коэффициент перевода к расчетным нагрузкам.
4. Коэффициент длительного действия.

Пример:

```
( 37/
  1  1.00  1.10  1.00 /
  2  1.00  1.10  1.00 /
  3  1.00  1.10  1.00 /
  4  1.00  1.20  0.35 /
  5  1.00  1.00  0.00 /
)
```

*Документ 38* описывает задание расчетных сочетаний нагрузок. Каждая строка отвечает за одно расчетное сочетание и задается в следующем порядке:

1. Тип расчетного сочетания (0 — пользовательское, 1 — автоматическое). Понятно, что при создании текстового документа вручную единственно допустимый тип расчетного сочетания — пользовательский.

2. Номер загрузки.

3. Коэффициент, с которым загрузка будет учтено в данном сочетании.

Пункты 2–3 в одной строке повторяются для каждого загрузки, которое участвует в данном расчетном сочетании.

Пример:

```
( 38/
  0  1  1.0  3  1.0      /* в 1-е сочетание входят загрузки 1 и 3 /
  0  2  1.0  4  1.0  5  1.0/* во 2-е сочетание входят загрузки 2, 4 и 5 /
)
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ИМПОРТ/ЭКСПОРТ ДАННЫХ О РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

### Б.1 ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ ФОРМАТЫ ИМПОРТА И ЭКСПОРТА

#### Б.1.1 Общие сведения


Обмен данными с другими программными комплексами — один из важнейших функционалов ПК ЛИРА 10. Реализовано две стратегии обмена данными: интеграция программного модуля во внешний программный комплекс, например в Revit, и использование встроенных функций импорта и экспорта данных в промежуточные файлы.

ПК ЛИРА 10.12 предоставляет возможность проводить импорт или экспорт исходных данных и результатов расчета в ряд распространенных форматов:

- **\*.msh** — файлы генератора КЭ сетей Gmsh.
- **\*.stl;\*.stlA;\*.stlB** — файлы для передачи данных о 3D-геометрии конструкции из программы STL (3D-стереолитография).
- **\*.obj** — файлы для передачи данных о геометрии из программы Wavefront.
- **\*.mesh** — файлы для передачи данных о 3D-геометрии конструкции из программы INRIA.
- **\*.off** — файлы для передачи данных из программ моделирования моделей RoffView, Java Off Viewer, MeshLab, GLC\_Player.
- **\*.poly** — файлы для передачи данных из программ полигонального моделирования.
- **\*.dxf** — открытый формат файлов для обмена графической информацией между приложениями САПР. В частности, используется системой автоматизированного проектирования AutoCAD для создания расчетных схем программного комплекса ЛИРА 10.
- **\*.igs, \*.iges** — нейтральный формат файлов, предназначенный для обмена 2D- и 3D-данными графических редакторов между разнородными системами САПР. Для импорта в ПК ЛИРА 10 реализован импорт/экспорт геометрических моделей, состоящих из примитивов: узел (Node), стержень (Beam), пластина (Linear Triangle, Linear Quadrilateral).
- **\*.3ds** — файлы, используемые Autodesk 3ds Max 3D для моделирования, анимации и рендеринга. В ПК ЛИРА 10 импортируется геометрия модели.
- **\*.neu** — текстовый формат FEMAP Neutral File Format, предназначенный для хранения данных о модели (данный формат удобнее всего использовать для передачи КЭ модели между ПК ЛИРА 10 и ПК Scad Office).
- **\*.sdnf** — (Steel Detailing Neutral File — нейтральный файл детализовки металлоконструкций) применяется для импорта/экспорта 3D-моделей при работе с такими САПР, как AutoCAD, Vocad-3D, Tekla Structures и др. Описывает такие конструктивные элементы, как стержни и пластины, а также нагрузки на них, информацию о материалах и т.д.
- **\*.byu** — используется для визуализации 3D полигональной сетки в САД-системах и других приложениях. Представляет 3D-объекты в виде набора многоугольников-примитивов.
- **\*.ifc** — нейтральный файловый формат, позволяющий обмениваться информацией между различными системами САПР и другими системами управления строительством.
- **\*.docx, \*.xlsx** — серия форматов файлов для хранения электронных документов пакетов офисных приложений.
- **\*.bmp** — формат хранения растровых изображений.

- **\*.dwg** — бинарный формат файла, применяется для хранения двухмерных (2D) и трёхмерных (3D) моделей при работе с такими САПР, как AutoCAD, Advance Steel, CorelCAD, BricsCAD и др.
- **\*.gif** — формат графических изображений, способен хранить сжатые данные без потери качества в формате не более 256 цветов.
- **\*.png** — растровый формат хранения графической информации, использующий сжатие без потерь по алгоритму Deflate.
- **\*.tiff** — формат хранения растровых графических изображений.
- **\*.jpeg** — графический формат, применяемый для хранения фотоизображений и подобных им изображений.
- **\*.html** — теговый язык разметки документов.
- **\*.pptx** — стандартный формат программы PowerPoint, может содержать слайды с изображениями, текстом, анимацией, аудио, видео, спецэффектами, графиками, диаграммами и прочими данными.
- **\*.avi** — мультимедийный контейнер для аудио- и видеоданных.

### Б.1.2 Добавить импортированный фрагмент

Для добавления импортированного фрагмента к расчетной схеме можно воспользоваться командой меню **Схема ⇒ Импортировать фрагмент** (одноименной командой на вкладке **Добавить** ленты или кнопкой  на панели инструментов). В результате отобразится панель активного режима **Импортировать** (рис. Б.1), где на вкладке **Доступные форматы** можно выбрать формат, из которого требуется выполнить импорт фрагмента. В поле ввода **Масштабный множитель** указывается масштабный множитель к координатам импортируемой модели.

При нажатии на кнопку **Импортировать** откроется стандартное окно открытия файла, где нужно указать путь к файлу, в котором сохранен импортируемый фрагмент. Если в процессе чтения и импорта файла ПК ЛИРА 10 не обнаружит ошибок, можно выполнять позиционирование импортированного фрагмента в окне расчетной схемы.

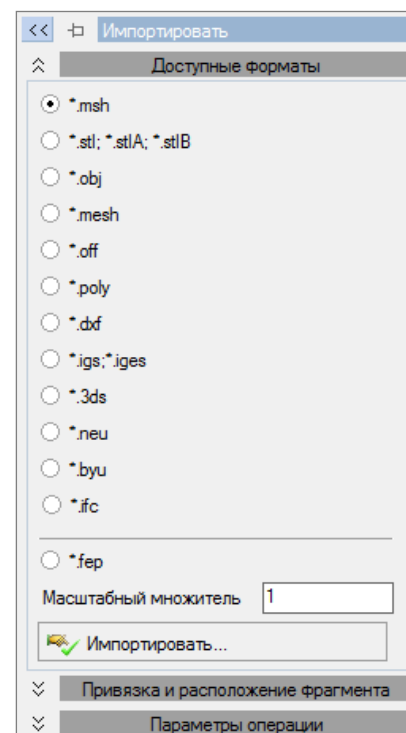



Рис. Б.1. Диалоговое окно **Импортировать**

### Б.1.3 Импорт файлов общего формата DXF


Файлы общего формата DXF (импорт плоских элементов пространственной ориентации) импортируются в программу ЛИРА 10 в виде набора плоских граней (оболочек) и стержневых элементов. Для корректной передачи данных в ПК ЛИРА 10 объекты DXF вычерчиваются следующими примитивами:

- LINE — стержневой КЭ 10;
- POLYLINE — стержневой КЭ 10;
- 3DFACE — оболочечный 3-узловой КЭ 42, 4-узловой КЭ 44.

 *Грань 3DFACE определяется четырьмя или тремя точками, лежащими в одной плоскости. Для трехточечной грани третья и четвертая точка должны совпадать.*

Импортированным объектам могут быть присвоены параметры сечения и материала. Для этого в описании слоя в скобках указываются ключевые слова (идентификатор) соответствующего сечения и материала. В табл. Б.1 приведены идентификаторы реализованных типов параметрических сечений. В табл. Б.2 — стальные прокатные сечения. В табл. Б.3 — идентификаторы материалов: изотропного, а также материалов в соответствии с базой материалов ПК ЛИРА 10. Для сечений и материалов, не указанных в таблицах, передача данных не предусмотрена.

Также в ПК ЛИРА 10 передается цвет слоя, который назначается материалу и группе элементов. Объекты DXF, вычерченные одним цветом, будут входить в одну группу элементов. Тип линий, ширина полилиний при этом игнорируются.

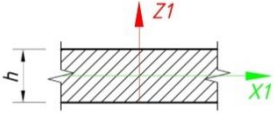
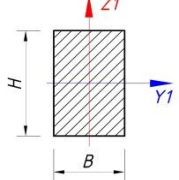
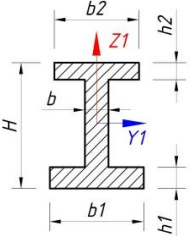
 *При импорте из файлов общего формата DXF в среду ПК ЛИРА 10 единица dxf геометрии модели равна одному метру.*

*Дугообразные отрезки в ПК ЛИРА 10 не импортируются. Их нужно заменять на ломаные (чем меньше длины отрезков ломаной, тем выше будет точность импортирования).*

*Важно:*

1. Идентификаторы сечения и материала записываются через пробел.
2. В качестве числового разделительного знака используется «.» (точка) — символ, доступный в Имени слоя.

Таблица Б.1. Параметрические сечения

Тип сечения	Эскиз	Идентификатор формы сечения	Примечание
Пластина		PLATE h-□	□ – численное значение, задается в метрах
Брус		BEAM H-□ B-□	□ – численное значение, задается в метрах
Двутавр		I_BEAM b-□ b1-□ b2-□ H-□ h1-□ h2-□	□ – численное значение, задается в метрах



## Продолжение таблицы Б.1

Тип сечения	Эскиз	Идентификатор формы сечения	Примечание
Швеллер		CHANNEL B-□ b-□ H-□ h-□	□ – численное значение, задается в метрах
Коробка		BOX B-□ b-□ H-□ h-□	□ – численное значение, задается в метрах
Кольцо		RING D-□ d-□	□ – численное значение, задается в метрах
Симметричный тавр с верхней полкой		T_BEAM_SYM_T B-□ b-□ h-□ H-□	□ – численное значение, задается в метрах
Несимметричный тавр с верхней полкой		T_BEAM_NONSYM_T B-□ b-□ b1-□ H-□ h-□	□ – численное значение, задается в метрах
Симметричный тавр с нижней полкой		T_BEAM_SYM_L B-□ b-□ h-□ H-□	□ – численное значение, задается в метрах
Несимметричный тавр с нижней полкой		T_BEAM_NONSYM_L B-□ b-□ b1-□ H-□ h-□	□ – численное значение, задается в метрах

Продолжение таблицы Б.1

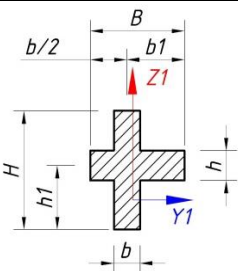
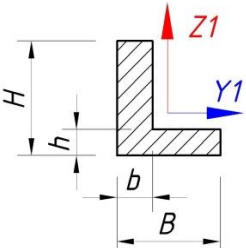
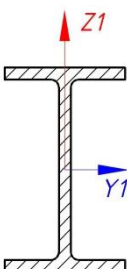
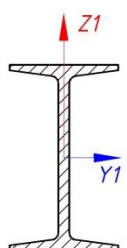
Тип сечения	Эскиз	Идентификатор формы сечения	Примечание
Крест		CROSS B-□ b-□ b1-□ H-□ h-□ h1-□	□ – численное значение, задается в метрах
Угол		ANGLE B-□ b-□ H-□ h-□	□ – численное значение, задается в метрах

Таблица Б.2. Прокатные стальные сечения

Тип сечения	Эскиз	Идентификатор формы сечения	Нормы	Имя профиля	Примечание
Двутавр с параллельными гранями полков		STT_I_SU N-□	ГОСТ 26020-83 (тип Б)	10Б1	где: □ – имя профиля
			ГОСТ 26020-83 (тип Б дополнительные серии)	10ДБ1	
			ГОСТ 26020-83 (тип К)	20К1	
			ГОСТ 26020-83 (тип Ш)	20Ш1	
			ASTM А6М (Узкополочные)	31УЗА	
			ASTM А6М (Нормальные)	31Б1А	
			ASTM А6М (Среднеполочные)	20Д1А	
			ASTM А6М (Широкополочные)	30Ш2С	
			ASTM А6М (Колонные)	12КС	
			СТО АСЧМ 20-93 (Балочные)	10Б1	
			СТО АСЧМ 20-93 (Широкополочные)	20Ш1	
			СТО АСЧМ 20-93 (Широкополочные)	20К1	
			ОСТ-16 (Нормальный метрический)	12	
			ОСТ-10016-39 (Балки двутавровые)	14	
ОСТ-16-1926 (Грей-Пейнера)	14				
Балки двутавровые (Германский нормальный сортамент)	11				
Двутавр с непараллельными гранями полков		STT_I_SU_NPRL N-□	ГОСТ 8239-72*	10	где: □ – имя профиля
			ГОСТ 8239-89	10	
			ГОСТ 5157-53 (Специальные)	18М	
			ГОСТ 8239-56 (с изменениями 1959)	10	
			ГОСТ 8239-56 (взамен ОСТ-10016-39)	10	



Продолжение таблицы Б.2

Тип сечения	Эскиз	Идентификатор формы сечения	Нормы	Имя профиля	Примечание
Швеллер с параллельными гранями полок		STT_C_SU N-□	ГОСТ 8240-72* (с параллельными гранями полок)	5П	где: □ – имя профиля
			ГОСТ 8240-97 (с параллельными гранями полок)	5П	
			ГОСТ 8240-97 (экономичные)	5Э	
			ГОСТ 8240-97 (легкой серии)	5Л	
Швеллер с непараллельными гранями полок		STT_C_SU_NPRL N-□	ГОСТ 8240-72 (с уклоном внутренних граней полок)	5	где: □ – имя профиля
Тавр с непараллельными гранями полок		STT_T_SU_NPRL N-□	ГОСТ 8239-72*	1/2 от двут. 10	где: □ – имя профиля. Наличие в имени символа «/» (косая черта) заменить на « » (нижнее подчеркивание). Имя профиля прописывается без пробелов Пример: l_2отдвут.10
Тавр с параллельными гранями полок		STT_T_SU N-□	ТУ 14-2-24-72 (тип Б)	10БТ*	где: □ – имя профиля. Наличие в имени символа «*» (звездочка) заменить на «^» (Степень)
			ТУ 14-2-24-72 (тип К)	10КТ*	
			ТУ 14-2-24-72 (тип Ш)	10ШТ*	
			ТУ 14-2-24-72 (тип КУ)	10КУТ1	
Уголок равнополочный		STT_L_EQUAL_SU N-□	ГОСТ 8509-86	20x20x3	где: □ – имя профиля
Уголок неравнополочный		STT_L_SU N-□	ГОСТ 8510-72	25x16x3	где: □ – имя профиля

## Продолжение таблицы Б.2

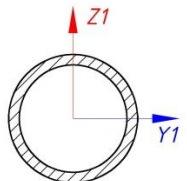
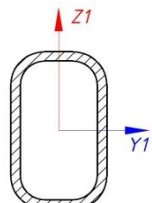
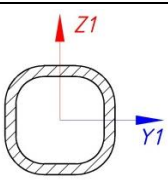
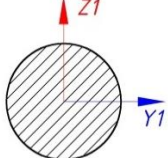
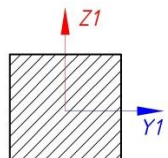
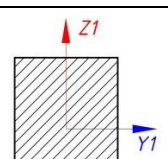
Тип сечения	Эскиз	Идентификатор формы сечения	Нормы	Имя Профиля	Примечание
Труба		STT_PIPE_SU N-□	ГОСТ 10704-76	83x3	где: □ – имя профиля
			ГОСТ 8732-78	28x3	
			ТУ 1381-020-00186654-2011	530x7	
Коробка прямоугольная		STT_PIPE_RECT_SU N-□	ГОСТ 30245-2003	50x25x2	где: □ – имя профиля
			ТУ 67-2287-80	100x60x3	
Коробка квадрат		STT_PIPE_SQR_SU N-□	ГОСТ 30245-2003	40x40x2	где: □ – имя профиля
			ГОСТ 8639-82	10x10x1	
			ТУ 36-2287-80	80x80x3	
Круг		STT_CIRCLE_SU N-□	ГОСТ 2590-88, ТУ 14-136-347-2001	8	где: □ – имя профиля
Квадрат		STT_FOURSQUARE_SU N-□	ГОСТ 2591-88, ТУ 14-1-4492-88	28	где: □ – имя профиля
Прямоугольник		STT_RECT_SU N-□	ГОСТ 103-76	90x9	где: □ – имя профиля

Таблица Б.3. Материалы

Наименование	Нормы	Идентификатор материала	Примечание
Изотропный	—	R-□ E-□ V-□ A-□	R – удельный вес материала, т/м <sup>3</sup> E – модуль упругости, т/м <sup>2</sup> V – коэффициент Пуассона A – коэффициент температурного расширения, 1/С □ – численное значение
Тяжелый бетон	СНиП 2.03.01-84	SNP-□	где: □ – класс бетона. Наличие в имени символа «/» (косая черта) заменить на «_» (нижнее подчеркивание)
Тяжелый бетон	ДБН В2.6-98:2009	DBN-□	
Тяжелый бетон	СП-52-101-2003(63-13330-2012)	SP-□	
Тяжелый бетон	Еврокод	EC-□	

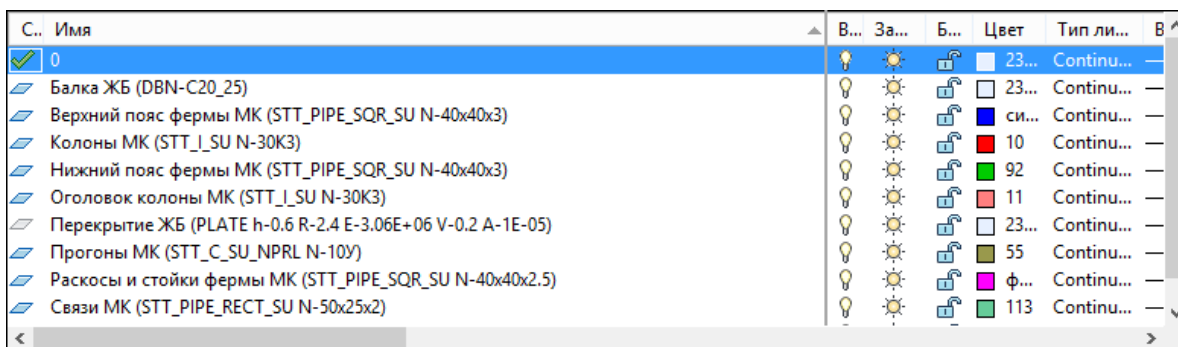


Рис. Б.2. Пример оформления слоя для импорта файлов DXF общего формата


### Б.1.4 Экспорт конечно-элементной модели в файл общего формата DXF

В ПК ЛИРА 10 реализован экспорт конечно-элементной модели в файл DXF общего формата. В файл DXF экспортируются следующие виды конечных элементов:

Таблица Б.4

Объект ЛИРА 10	Объект DXF
Сваи (одноузловые КЭ)	Point
Стержневые конечные элементы	LINE
Пластинчатые конечные элементы	3DFACE
Объемные конечные элементы	Каждая грань объемного элемента состоит из 3DFACE
Нагрузки	см. табл. Б.6

В DXF-файл можно передать не только конечно-элементную модель, но и данные о расчетной схеме (текстовые атрибуты представления, примененные к элементам), а также результаты расчета (деформированная схема, мозаики результатов прочностного или конструирующего расчета).

 Экспортируются только те данные, которые визуализируются в момент выполнения функции экспорта.

## Б.2 ОСОБЕННОСТИ ИМПОРТА ПОЭТАЖНЫХ ПЛАНОВ ИЗ ФАЙЛОВ DXF

### Б.2.1 Общие сведения

ПК ЛИРА 10 импортирует из текстовых DXF-файлов стены, плиты, колонны и балки, которые должны быть представлены соответствующими объектами и принадлежать слою с предопределенным именем.

В табл. Б.5 описывается, как должен быть задан объект в DXF-файле и в какой объект модели ПК ЛИРА 10 он преобразуется при импорте.

В ПК ЛИРА 10 при импорте поэтажных планов, наряду с геометрией схемы, могут быть сгенерированы также *сечения, материалы и нагрузки*, заданные на элемент. В табл. Б.6 указаны идентификаторы всех нагрузок, для которых предусмотрена передача данных.

Таблица Б.5. Слои для поэтажного импорта

Наименование	Представление в DXF	Имя слоя	Объект DXF	Объект ЛИРА 10
Фундаментная плита / Плита перекрытия	Контур срединной плоскости	SLABS	P-Line	Архитектурный контур пластины
Отверстия (фундаментная плита / плита перекрытия)	Контур	SLABS_HOLES	P-Line	Вычитается из контура пластины
Стена	Проекция срединной плоскости в плане	WALLS	Line	Архитектурный контур пластины
Двери	Проекция в плане	DOORS	Line	Вычитается из контура пластины
Окно	Проекция в плане	WINDOWS	Line	Вычитается из контура пластины
Свая	Центральная точка проекции на плоскость	PILES	Point	Одноузловой КЭ 56
Колонна	Центральная точка проекции на плоскость	COLUMNS	Point	Архитектурный стержень
Балка	Центральная ось	BEAMS	Line	Архитектурный стержень

Таблица Б.6. Нагрузки

Наименование	Идентификатор загрузки	Идентификатор нагрузки	Объект DXF	Примечание
Статическая нагрузка, равномерно распределенная по площади. Учитывается только для слоя SLABS	LC- {произвольное имя}	A_Load-□	P-Line	где: □ – численное значение
Статическая нагрузка, равномерно распределенная по линии. Учитывается только для слоя BEAMS		L_Load-□	Line	
Произвольная нагрузка в точке. ARB_POINT_LOAD (LC- {name} FX(□))		FX(□), FY(□), FZ(□), MX(□), MY(□), MZ(□)	Point	
Произвольная нагрузка на линию. ARB_LINE_LOAD (LC- {name} QY(□))		QX(□), QY(□), QZ(□)	P-Line	
Произвольная нагрузка на поверхность. ARB_AREA_LOAD (LC- {name} PZ(□))		PX(□), PY(□), PZ(□)	P-Line	

 **Важно!**

1. Не импортируются строительные оси, перегородки и нагрузки, не указанные в таблице Б.5.
2. Линия стен не должна прерываться в дверных и оконных проемах.
3. Контур плит и отверстий, заданных полилинией, должен быть замкнут.
4. Закругления полилинии не допускаются.

5. Наложение контуров плит и отверстий не допускается.

6. Имена слоев, указанных в таблице Б.5, могут иметь как идентификаторы сечений (см. табл. Б.1 и Б.2), так и материалов (см. табл. Б.3).

7. Имена слоев дверных проемов, которым не заданы параметры идентификаторов, импортируются по умолчанию, высота дверного проема  $H = 2.1$  м.

8. Имена слоев оконных проемов, которым не заданы параметры идентификаторов, импортируются по умолчанию, отступ от низа перекрытия  $h = 0.8$  м, высота окна  $H = 1.5$  м.

9. Имя слоя **PILES**, как для общего формата \*.dxf, так и поэтажных планов, может иметь следующие параметры ( $R_x$ -□  $R_{ix}$ -□  $R_y$ -□  $R_{iy}$ -□  $R_z$ -□  $R_{iz}$ -□):

- $R_x$  — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль глобальной оси  $X$ ;
- $R_y$  — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль глобальной оси  $Y$ ;
- $R_z$  — погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль глобальной оси  $Z$ ;
- $R_{ix}$  — погонная жесткость связи на поворот вокруг глобальной оси  $X$ ;
- $R_{iy}$  — погонная жесткость связи на поворот вокруг глобальной оси  $Y$ ;
- $R_{iz}$  — погонная жесткость связи на поворот вокруг глобальной оси  $Z$ ;
- □ — численное значение жесткости.

Численные значения идентификаторов, указанных в табл. Б.1 и Б.3 для поэтажного импорта, могут быть в произвольных единицах измерения. Эти единицы будут присвоены в диалоговом окне **Импорт поэтажных планов**.

10. В Имени слоя идентификаторы должны быть набраны в следующей форме: Имя слоя (идентификатор сечения; идентификатор материала; идентификатор загрузки; идентификатор нагрузки).

С.. Имя	В...	За...	Б...	Цвет	Тип ли...	Вес
0	☹	☼	🔗	□ 6е...	Continu...	—
BEAMS (T_BEAM_SYM_T B-400 b-200 h-200 H-600 DBN-C20_25 LC-Постоянная L_Load 1.5)	☹	☼	🔗	■ 160	Continu...	—
COLUMNS (STT_I_SU N-12KC)	☹	☼	🔗	■ 40	Continu...	—
DOORS (H-1700)	☹	☼	🔗	■ 161	Continu...	—
PILES (Rz-9000 Ruz-1000)	☹	☼	🔗	■ 222	Continu...	—
PILES (Rz-9000)	☹	☼	🔗	■ 104	Continu...	—
SLABS (PLATE h-200 SNP-B30 LC-Постоянная A_Load 0.25 LC-Длительная A_Load 0.15)	☹	☼	🔗	■ 12	Continu...	—
SLABS (SNP-B30 LC-Длительная A_Load 0.15)	☹	☼	🔗	■ 130	Continu...	—
SLABS_HOLES	☹	☼	🔗	■ 91...	Continu...	—
WINDOWS (h-500 H-1800)	☹	☼	🔗	■ 50	Continu...	—


Рис. Б.3. Пример оформления слоя для поэтажного импорта файлов формата DXF

## Б.2.2 Подготовка DXF-файла в среде AutoCAD

- Создайте необходимые слои при помощи команд в среде **AutoCAD** ⇨ **Создать слой**.
- Наполните слои объектами LINE, POINT, POLYLINE, согласно вышеприведенным табл. Б.1–Б.3, Б.5, Б.6.
- Сохраните полученный файл в DXF-формате. Имена DXF-файлов могут иметь суффикс ( $_h□$ ), где □ — высота этажа (пример:  $0\_h3000.dxf$ ). При указании в имени файла численного значения высоты этажа нужно учитывать единицы измерения геометрии модели.



• Для каждого поэтажного плана многоэтажного здания повторите операции, указанные ранее в отдельном файле.

 *Файл DXF версии ниже 2000 и R12/LT2 заменяет пробелы и скобки в именах слоев символами подчеркивания, уничтожая свойства слоя.*

При импорте только одного этажа DXF-файл должен иметь имя **0.dxf**.

При импорте нескольких поэтажных планов план каждого этажа должен сохраняться в отдельном файле. Имена файлов задаются только числами. Имена файлов можно задавать в двух последовательностях:

- **Первая:** **0.dxf** — для первого этажа, **1.dxf** — для второго, **2.dxf** — для третьего и так далее.
- **Вторая:** **-1.dxf** — для первого этажа, **0.dxf** — для второго, **1.dxf** — для третьего и так далее.

Для любой последовательности наличие файла **0.dxf** обязательно, без данного файла импорт невозможен. Создаваемые файлы поэтажных планов должны находиться в одной и той же папке.

Координаты создаваемых поэтажных планов должны быть согласованы. Используется мировая система координат.

В процессе импорта в диалоговом окне **Импорт поэтажных планов** (рис. Б.4) пользователь может задать единицы измерения для геометрии модели, сечения, жесткости сваи и величины нагрузки. Указанные единицы измерения будут применены при вычислении значений параметров в описании слоя.

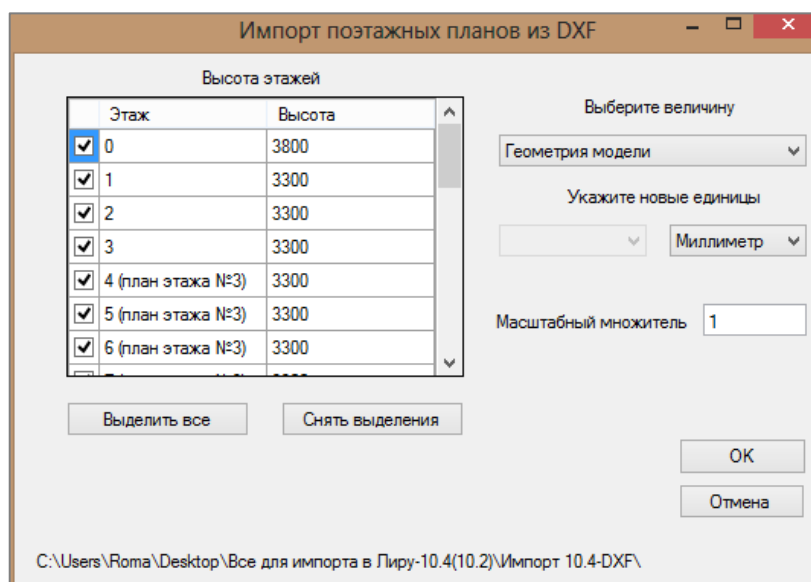



Рис. Б.4. Диалоговое окно **Импорта поэтажных планов из DXF**

 *При импорте поэтажных планов одна единица измерения dxf равна одной единице, указанной пользователем в диалоговом окне **Импорт поэтажных планов из DXF** ⇨ **Геометрия модели**.*

### Б.3 ОСОБЕННОСТИ ИМПОРТА ФАЙЛОВ С РАСШИРЕНИЕМ (\*.IFC)

#### Импорт

При импорте файлов формата IFC реализована поддержка версии IFC2x3.

ПК ЛИРА 10 импортирует стержневые и пластинчатые элементы.

Для стержневых элементов передаются данные о геометрии и сечении. Реализован импорт стандартных параметрических сечений.

Для пластинчатых элементов передаются данные о геометрии (включая отверстия) и толщине.

Список основных реализованных классов формата IFC:

- Стержни:
  - IfcColumn, IfcBeam, IfcMember;
- Пластины:
  - IfcWall, IfcWallStandardCase, IfcPlate, IfcOpeningElement, IfcBuildingElementProx, IfcSlab.

Для IFC-файлов, созданных в Tekla Structures или AVEVA Vocab Steel, реализовано автоматическое сопоставление сечений стального проката. При обработке импортируемого сечения стального проката, описанного в файле формата IFC, ПК ЛИРА 10 проверяет наличие такого профиля в собственных базах сортиментов.

Если совпадений нет, пользователю предлагается самостоятельно сопоставить название импортируемого профиля с выбранным сечением в окне **Форма сопоставления сечений** (рис. Б.5).

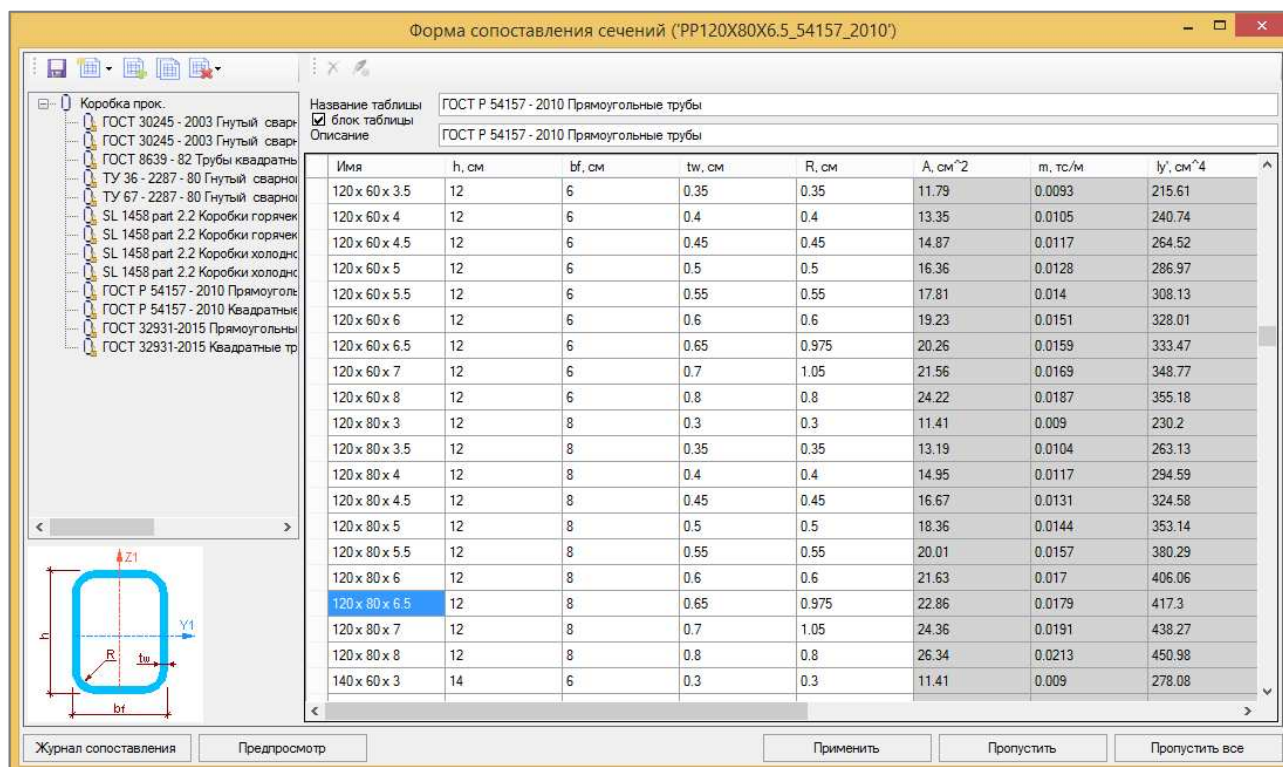


Рис. Б.5. Диалоговое окно **Форма сопоставления сечений**

Для сопоставления сечений пользователю необходимо выбрать нужное сечение из таблицы стального проката и нажать на кнопку **Применить**. Это сечение будет автоматически назначено всем импортированным стержневым элементам с аналогичным описанием сечения в формате IFC.

Данные о сопоставлении сохраняются в журнале соответствий, который размещен в каталоге баз данных ПК ЛИРА 10. При последующем импорте файла IFC система импорта автоматически будет сверять неизвестные ей профили с сечениями, сохраненными в журнале соответствий.

При нажатии кнопки **Предпросмотр** стальной профиль будет показан как аналогичный ему параметрический.

Для просмотра журнала соответствий нажмите кнопку **Журнал сопоставления**, после чего появится диалоговое окно **Журнал сопоставления сечений** (рис. Б.6).

Для удаления из журнала строки соответствия выберите ее и нажмите кнопку **Удалить**.

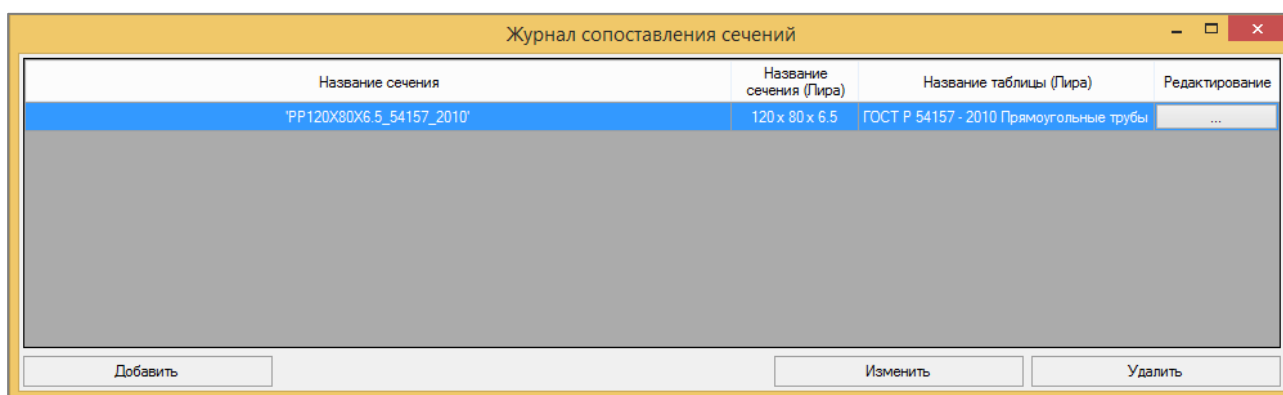




Рис. Б.6. Диалоговое окно **Журнал сопоставления сечений**

 *Механизм сопоставления всегда использует только тот журнал, который размещен в каталоге баз данных ПК ЛИРА 10 и который имеет название **JournalOfComparisonSectionIfc**. Чтобы использовать другой журнал сопоставлений, нужно имеющийся в каталоге баз данных заменить другим и переименовать его на **JournalOfComparisonSectionIfc**.*

При нажатии на кнопку **Пропустить** ПК ЛИРА 10 попытается преобразовать текущий профиль в параметрическое или пользовательское сечение стержня. Кнопка **Пропустить все** сделает то же самое для всех сечений, т.е. в текущей сессии сопоставление больше не будет запущено.

 *Все стержни с непрообразованным профилем IFC будут импортированы без сечения, т.е. стержневым архитектурным элементам не будут присвоены сечения.*

По такому же алгоритму, с использованием журнала сопоставления, реализован импорт материалов с IFC.

### Экспорт

В ПК ЛИРА 10 реализован экспорт модели в формат IFC версии 2x3 только для архитектурной модели.

Архитектурные элементы, в зависимости от их положения в пространстве модели, экспортируются в формате IFC как:

- IfcBeam — для архитектурного стержня горизонтального или занимающего произвольное положение в пространстве.
- IfcColumn — для архитектурного стержня вертикального положения.
- IfcWall — для архитектурной пластины вертикального положения.
- IfcSlab — для архитектурной пластины горизонтального положения.
- IfcPlate — для архитектурной пластины произвольного положения.

Для пластинчатых элементов передается информация о геометрии и толщине.

Для стержневых элементов передается информация о координатах начала и конца стержня, а также экспортируются назначенные параметрические сечения.

Стальные прокатные сечения экспортируются в формат IFC в виде параметрических сечений, аналогичных по форме стальному прокату. Для стержней с поперечными сечениями, которые несовместимы с форматом IFC (например, численное описание сечения), создается фиктивное поперечное сечение в виде квадрата со стороной 0.2 м.

Информация о положении этажей описана в группах элементов.

В формат IFC не экспортируются:

- конечные элементы;
- нагрузки;
- физические свойства материалов.

## Б.4 ИНТЕГРАЦИЯ ADVANCE STEEL — ЛИРА 10

В ПК ЛИРА 10 предусмотрен обмен данными базы сечений с Advance Steel. Связка между программами реализована плагином, встраиваемым в Advance Steel.

 *Плагин реализован для Advance Steel 2020 и Advance Steel 2021.*

На основную ленту Advance Steel была добавлена вкладка **ЛИРА 10** с кнопками импорта и экспорта модели и кнопкой, запускающей синхронизацию баз данных сечений стального проката (рис. Б.7).

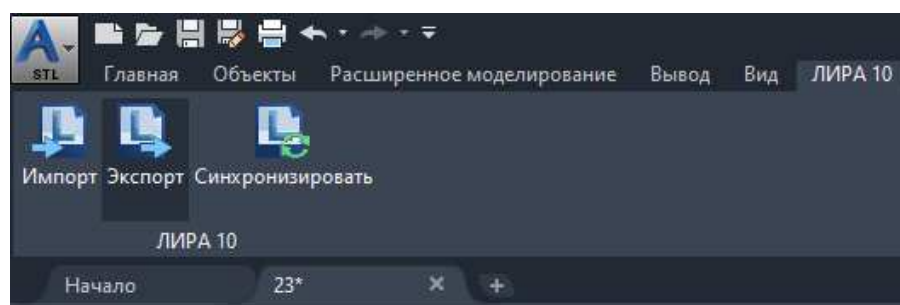


Рис. Б.7. Внешние инструменты

Импорт и экспорт осуществлен для основных структурных типов элементов, которые хранятся в файлах DWG-формата, а также их сечений и материалов.

Форма синхронизации баз данных стальных сечений осуществляет импорт и экспорт, замену и объединение таблиц в базу данных AstorProfiles.

 Реализовано для AstorProfiles 2020 и AstorProfiles 2021.

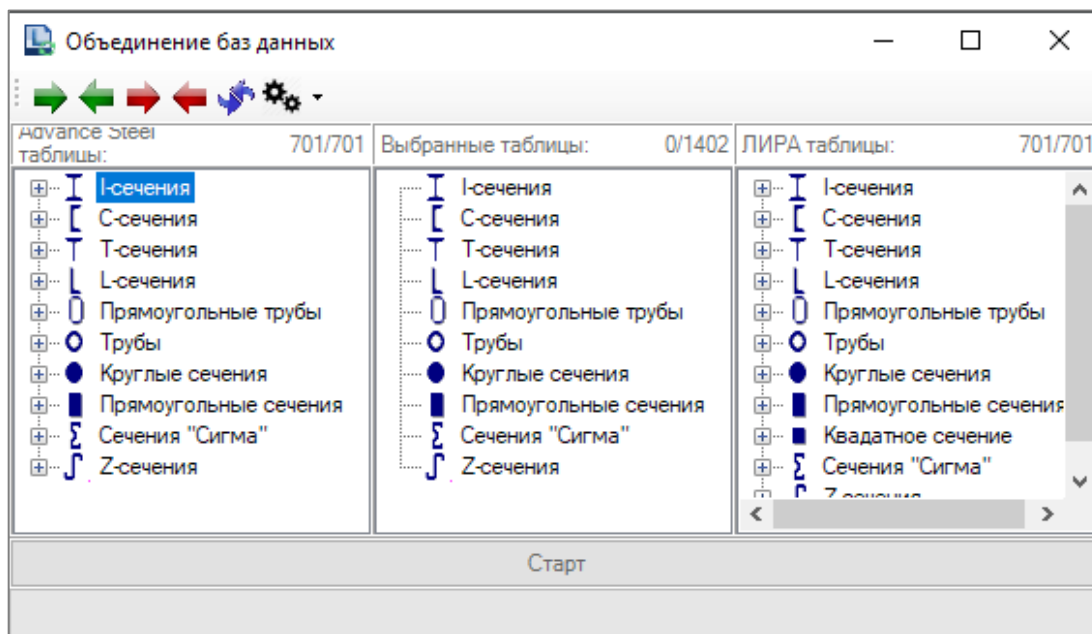








Рис. Б.8. Диалоговое окно **Объединение баз данных**

Перед тем как экспортировать модель из Advance Steel в ПК ЛИРА 10, необходимо синхронизировать базы данных. Для этого нажмите на кнопку **Синхронизировать** на панели **ЛИРА 10**, после чего откроется диалоговое окно **Объединения баз данных** (рис. Б.8). Двойным щелчком левой кнопки мыши выберите нужные сечения, они отобразятся в средней колонке **Выбранные таблицы**, затем нажмите кнопку **Старт**. Теперь сечения станут доступны в ЛИРА 10. После этого можно экспортировать модель, нажав на кнопку **Экспорт** на панели **ЛИРА 10** (рис. Б.7).

Импорт из ЛИРА 10 в Advance Steel осуществляется аналогичным образом. Данные по сечениям выберите двойным щелчком мыши из **ЛИРА таблицы** и нажмите кнопку **Старт**. После этого можно импортировать модель, нажав на кнопку **Импорт** на панели **ЛИРА 10**.

Также есть возможность манипулировать всеми недостающими сечениями сразу с помощью кнопок:

-  — Выбрать отличающиеся таблицы и заменить в ЛИРА 10;
-  — Выбрать отличающиеся таблицы и заменить в Advance Steel;
-  — Выбрать повторяющиеся таблицы и заменить в ЛИРА 10;
-  — Выбрать повторяющиеся таблицы и заменить в Advance Steel;
-  — Выбрать повторяющиеся таблицы и совместить;
-  — Настройки пользовательского режима, где в раскрывающемся списке **При повторениях** нужно выбрать синхронизировать данные или заменить.

## Б.5 ЭКСПОРТ ИЗ RENGA

Предусмотрен экспорт BIM-модели из Renga в ПК ЛИРА 10 при помощи плагина, встраиваемого в Renga.

На основную панель программы размещена кнопка экспорта модели в файл FEP-формата (рис. Б.9).



Рис. Б.9. Внешние инструменты экспорта

При экспорте отображается форма с информацией о прогрессе процесса экспорта (рис. Б.10). Экспорт осуществляется для основных структурных типов элементов.

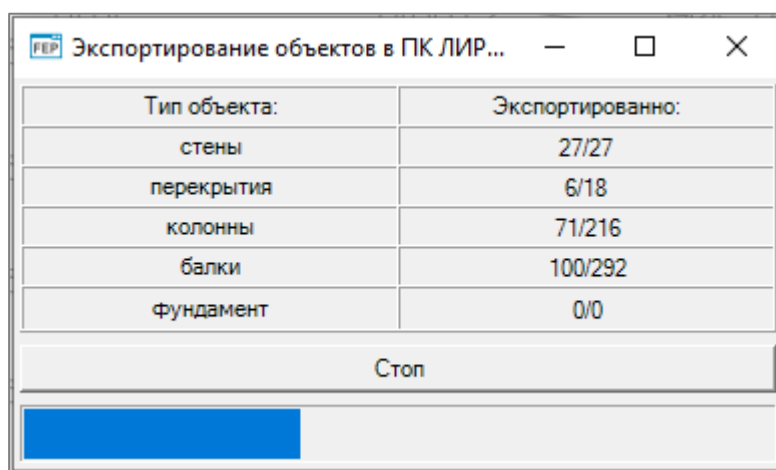


Рис. Б.10. Диалоговое окно прогресса

## Б.6 ИНТЕГРАЦИЯ REVIT — ЛИРА 10

В ПК ЛИРА 10 предусмотрен обмен данными о модели и результатах расчета с Revit. Связка между программами реализована плагином, встраиваемым в Revit.

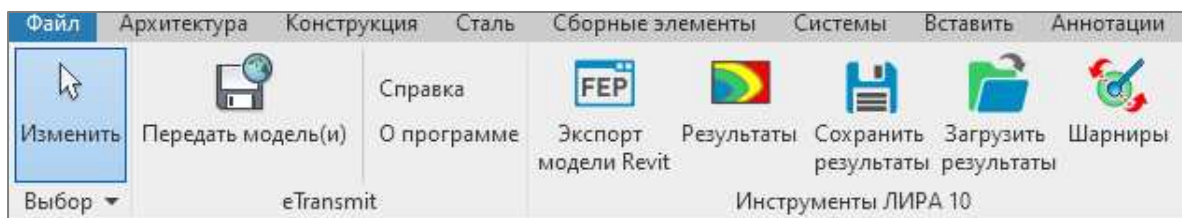


Рис. Б.11. Внешние инструменты

*Дополнительный плагин устанавливается в процессе инсталляции ПК ЛИРА 10 при наличии ранее установленной программы Revit.*

После запуска Revit данное дополнение будет отображаться на вкладке **Надстройки** (рис. Б.11). Плагин состоит из следующих команд:

- **Экспорт модели Revit** (экспортировать в ЛИРА 10) — экспортирует аналитическую модель Revit в ПК ЛИРА 10.
- **Результаты** (показать результаты расчета ЛИРА 10) — визуализация результатов расчета и обновление результатов.
- **Сохранить результаты** — сохраняет результаты.
- **Загрузить результаты** — есть возможность подгрузить из файла результаты подбора арматуры в формате \*.lrr.
- **Шарниры** — отображение шарниров на аналитической модели Revit (рис. Б.12).

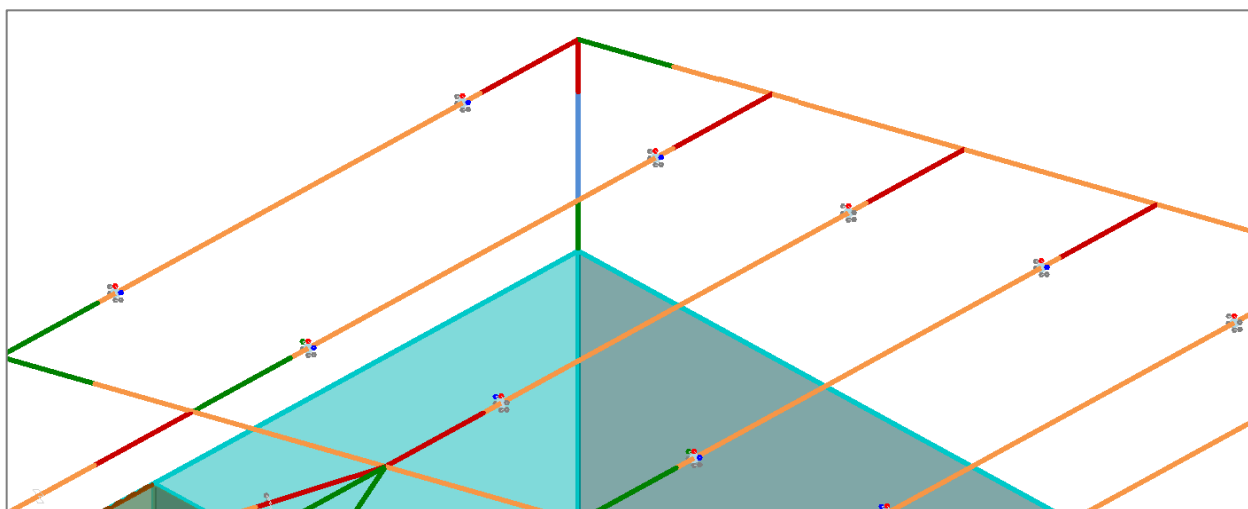


Рис. Б.12. Визуализация шарниров

### Экспорт модели

Для передачи аналитической модели Revit в ПК ЛИРА 10 воспользуйтесь кнопкой **Экспорт модели Revit**. После нажатия кнопки активизируется диалоговое окно **Мастер импорта** (рис. Б.14).


Данное окно позволяет управлять импортируемыми параметрами, просматривать журналы сопоставления сечений и материалов, задавать дополнительные параметры импорта. Также есть возможность выбрать язык интерфейса (английский, русский, украинский).

Флажки **Сечение**, **Материал**, **Закрепление**, **Загружение** указывают на то, будут ли импортироваться отмеченные параметры в \*.fer-файл.

С помощью флажка **Привязка**, кнопки **Выберите модель для привязки** и команды меню **Привязать модель** можно связать модель ПК ЛИРА 10 с текущей моделью Revit. Путем повторного вызова команды меню или снятия флажка связь моделей можно отменить. Привязка будет полезна в тех случаях, когда модель в Revit была немного изменена, и ее параметры нужно передать в ранее созданный файл ПК ЛИРА 10, с которым также были совершены манипуляции.

В случае экспорта с учетом привязки обновляются следующие параметры элементов:

- геометрия контура перекрытия, плит, стен, отверстий;
- геометрия и размещение в пространстве балок и стержней.

 Под обновлением геометрии контуров пластинчатых элементов подразумевается выделение изменений красными линиями на текущем контуре элемента (рис. Б.13).

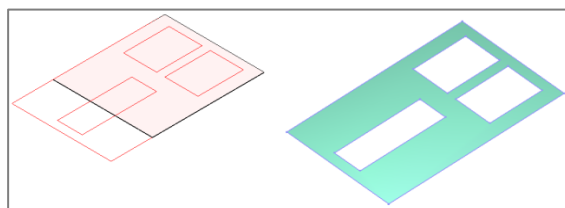


Рис. Б.13. Выделение изменений красными линиями

Флажок **Триангуляция** позволяет применить параметры, заданные на панели триангуляции (рис. Б.15). Данную панель можно вызвать, нажав на кнопку **Настройки**, находящуюся справа от флажка.

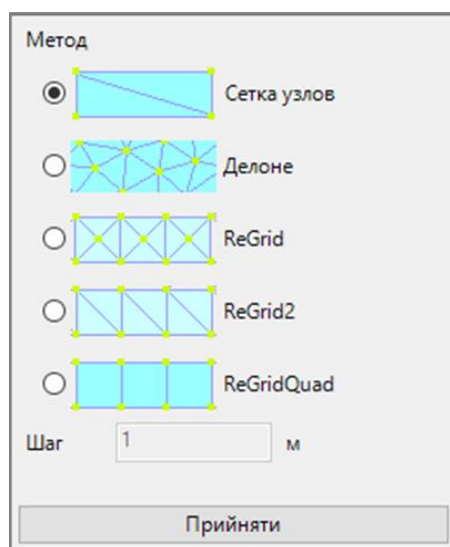


Рис. Б.15. Панель параметров триангуляции

Флажок **Собственный вес** позволяет назначить собственный вес по материалам. Панель выбора загрузки для назначения собственного веса можно вызвать, нажав на кнопку **Настройки**, находящуюся справа от флажка. Данная панель содержит список материалов, загрузки и коэффициенты собственного веса (рис. Б.16).

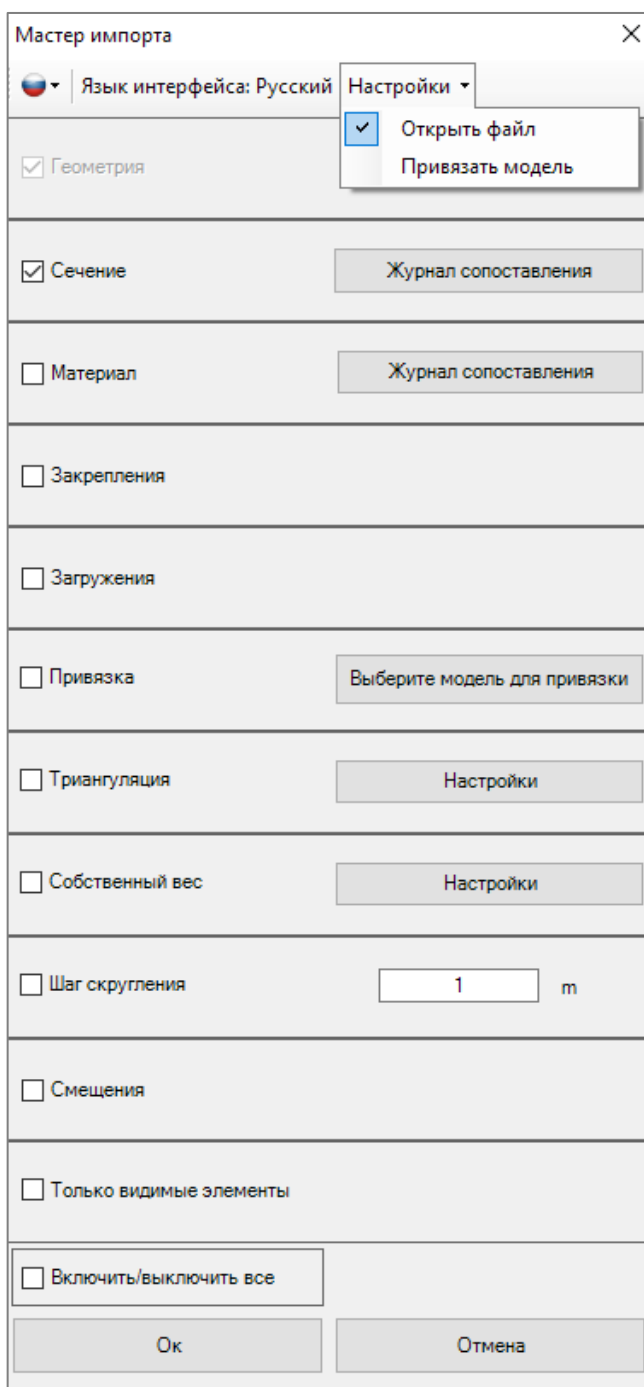


Рис. Б.14. Диалоговое окно **Мастер импорта**



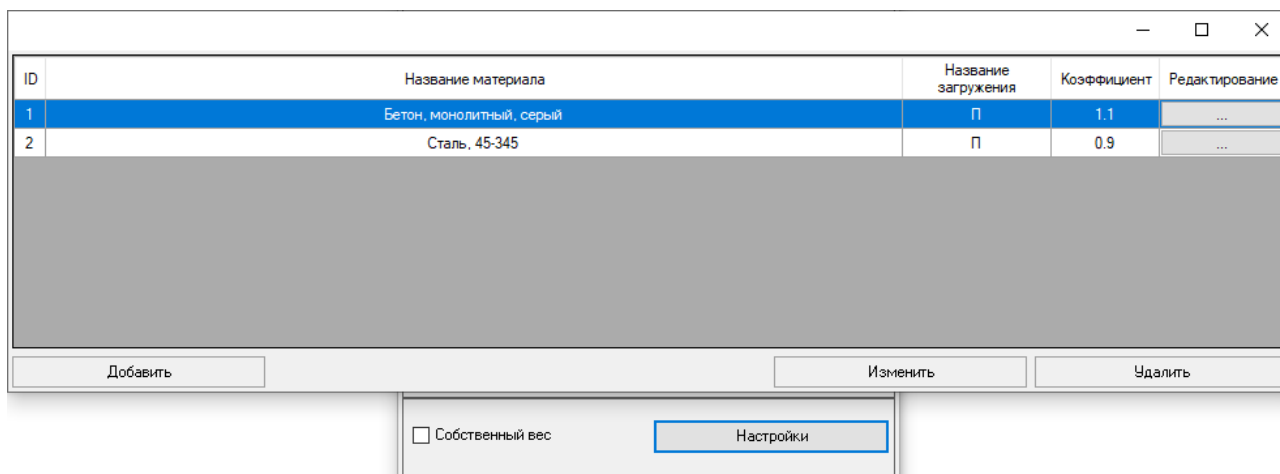



Рис. Б.16. Панель настройки собственного веса

Флажок **Шаг скругления** используется для криволинейных элементов типа скругленных стен и перекрытий, где задается шаг разбивки кривой прямыми линиями.

Флажок **Смещения** служит для задания смещения модели при импорте.

Флажок **Только видимые элементы** позволяет импортировать только элементы, которые не скрыты в текущем виде Revit.


Флажок **Включить/выключить все** активизирует и деактивирует все флажки.

 В ПК ЛИРА 10 экспортируются только те элементы, которые имеют аналитическую модель представления. Для элементов, не имеющих аналитической модели, передача данных не предусмотрена.

При экспорте передаются следующие исходные данные о модели:

- Для стержневых элементов:
  - информация о геометрии;
  - сечение;
  - материал (физические характеристики изотропного/ортотропного материала);
  - граничные условия — закрепления;
  - шарниры.
- Для пластинчатых элементов:
  - информация о геометрии (включая данные об отверстиях);
  - сечение (толщина);
  - материал (физические характеристики изотропного/ортотропного материалов);
  - граничные условия — закрепления;
  - дверные и оконные проемы с аналитической моделью.

Сопоставление материалов и стального проката реализовано с помощью журналов сопоставления. Работа журналов сопоставления в связке с Revit осуществляется по той же схеме, что и с IFC. Подробное описание импорта стального проката приведено в п. Б.3.

 Журнал сопоставления стального проката Revit также размещен в каталоге баз данных ПК ЛИРА 10 и имеет название **JournalOfComparisonSectionRevit**. Чтобы использовать другой журнал сопоставлений, нужно текущий журнал в каталоге баз данных заменить другим и переименовать его как **JournalOfComparisonSectionRevit**.

Импортируются как все загрузки (с сохранением имени), так и их комбинации. В каждом загрузении реализован импорт следующих типов нагрузок, заданных в глобальной системе координат:


- сосредоточенные узловые нагрузки;
- равномерно распределенные и трапециевидные нагрузки на стержни;
- распределенные по линии равномерные и трапециевидные нагрузки на пластины;
- распределенные и трапециевидные нагрузки на пластины.

### Экспорт результатов расчета в Revit Structure

Для обновления модели и загрузки результатов расчета из ПК ЛИРА 10 в Revit Structure воспользуйтесь кнопкой **Результаты**. После нажатия кнопки **Обновить** на экране появится диалоговое окно **Укажите файл**. Выбрав нужный файл \*.fer, нажмите на кнопку **Открыть**.

Если в процессе чтения и экспорта результатов система не обнаружит ошибок, то на экране появится диалоговое окно **Визуализация результатов** (рис. Б.17). В диалоговом окне доступны инструменты управления параметрами отображения результатов.

Выбрав нужные для визуализации результаты подбора арматуры, нажмите на кнопку **Отобразить**. После чего следует выделить элементы, для которых необходимо показать мозаику, и нажать кнопку **Готово**.

 Если выбраны несколько флажков продольных арматурных включений, то отображаться будут их суммарные значения.

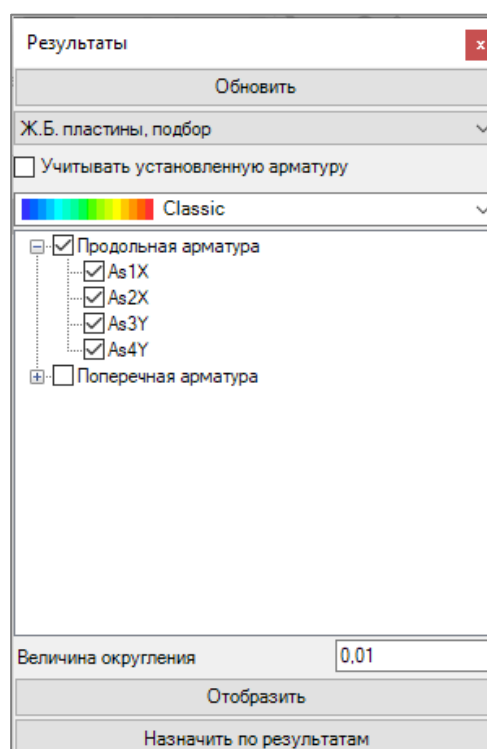


Рис. Б.17. Визуализация результатов

При экспорте результатов возможно отображение проверки металлоконструкций. Настройка отображаемых результатов происходит через “дерево” проверок. Результаты отображаются в виде эпюр для стержневых аналитических элементов (рис. Б.18).

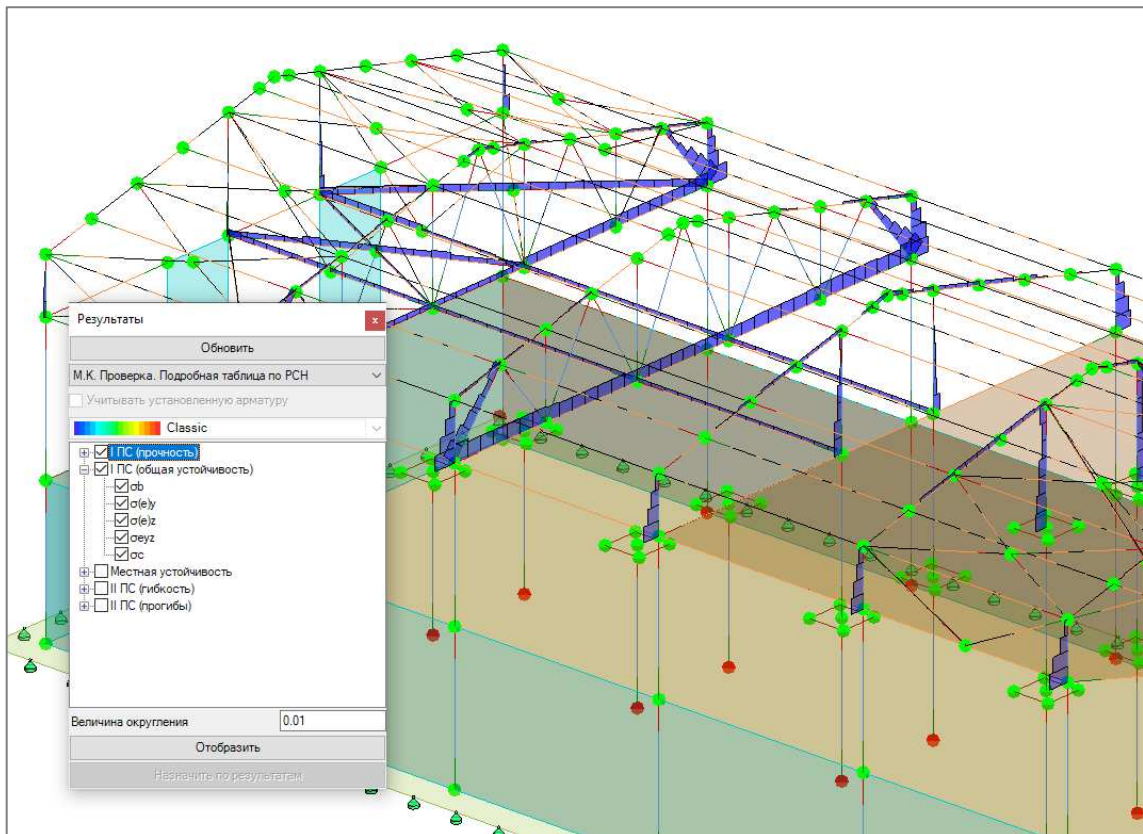


Рис. Б.18. Результаты проверки металлоконструкций

Есть возможность учитывать установленную арматуру, заданную на элементы в Revit. Для этого нужно активизировать флажок **Учитывать установленную арматуру**. После чего в результатах будет отображаться разница подобранной и установленной арматуры (рис. Б.19).

*✍ Если при активизированном флажке **Учитывать установленную арматуру** значения армирования на шкале отрицательные, то изначально установленная арматура (инструментами Revit) имеет запас прочности больше, чем посчитанная в ПК ЛИРА 10.*

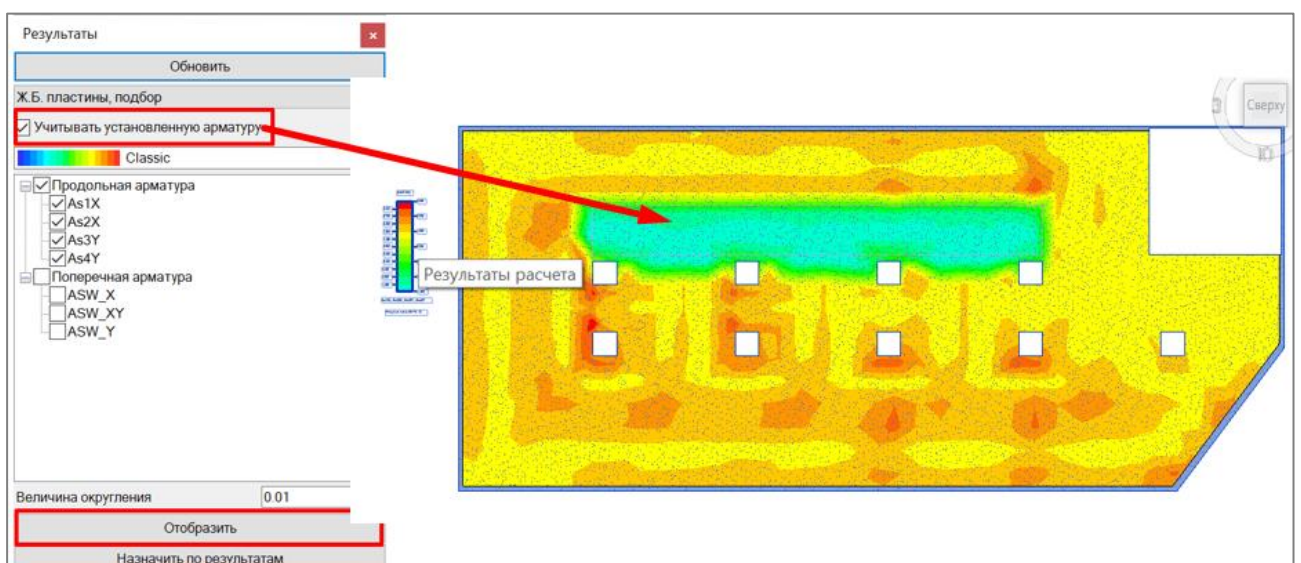


Рис. Б.19. Результаты подбора арматуры с учетом существующей

Кнопка **Назначить по результатам** позволяет создать арматурные сетки в пластинчатых элементах по результатам подбора арматуры (рис. Б.20). Корректировать положение создаваемых арматурных сеток можно с помощью параметров:

- **Фоновая арматура** — определяет минимальное значение подобранной арматуры, для которого необходима установка дополнительного элемента армирования.
- **Максимальное расстояние между узлами** (конечно-элементной модели) — определяет расстояние, по которому результаты конечных элементов будут объединяться в группы для построения элементов арматуры.
- **Минимальная площадь армирования** — позволяет ограничить создание арматурных элементов для маленьких площадей.
- **Расстояния между стержнями** — позволяет задать расстояние между армирующими элементами.

Из списка ниже можно выбрать конкретный диаметр и класс арматуры или включить несколько типов, среди которых программа будет подбирать армирования.

Включенный флажок **Простые контуры арматуры** будет упрощать контуры площадок армирования к прямоугольнику.

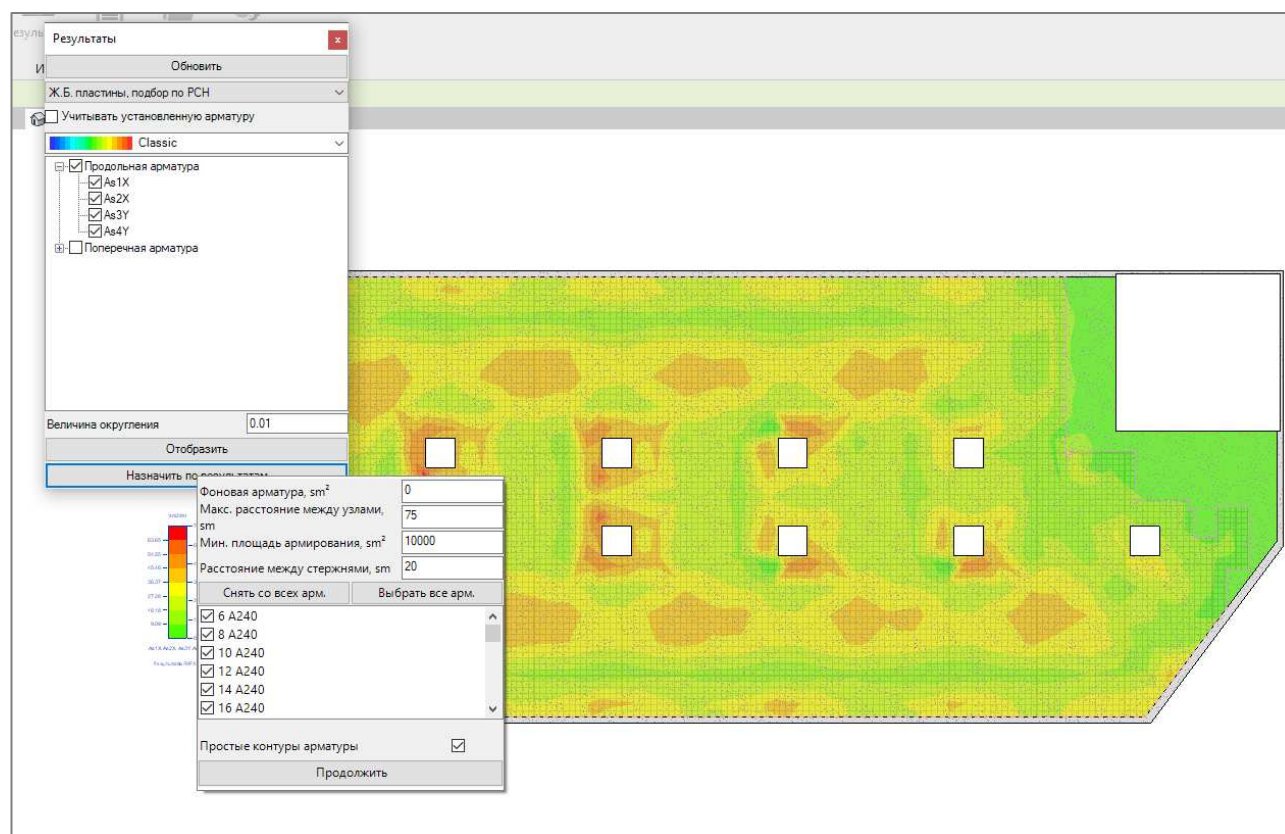


Рис. Б.20. Армирование по результатам расчета

Также возможно экспортировать результаты расчета продавливания в виде контура продавливания и подобранной поперечной арматуры (рис. Б.21).

При экспорте элементов колонн (рис. Б.22) можно:

- их экспортировать как сваи;
- задавать приложение нагрузок на поверхность, не привязанных к элементу;
- указывать, будут ли создаваться АТТ при триангуляции.

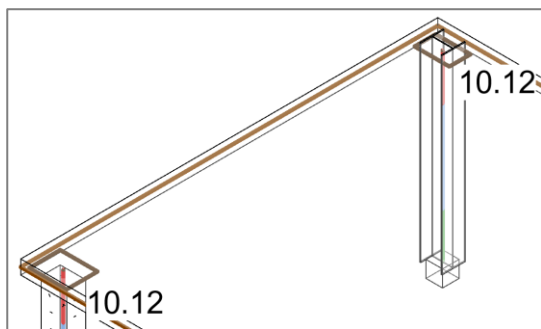


Рис. Б.21. Контур продавливания

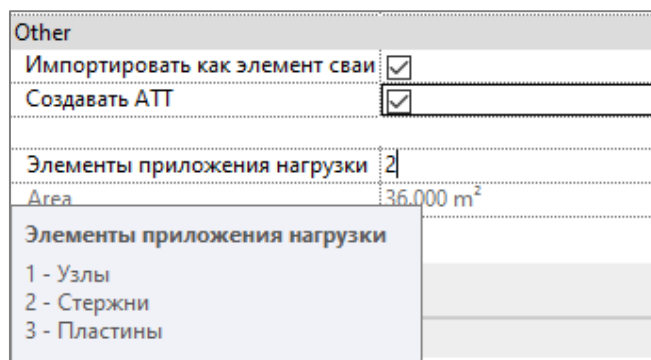



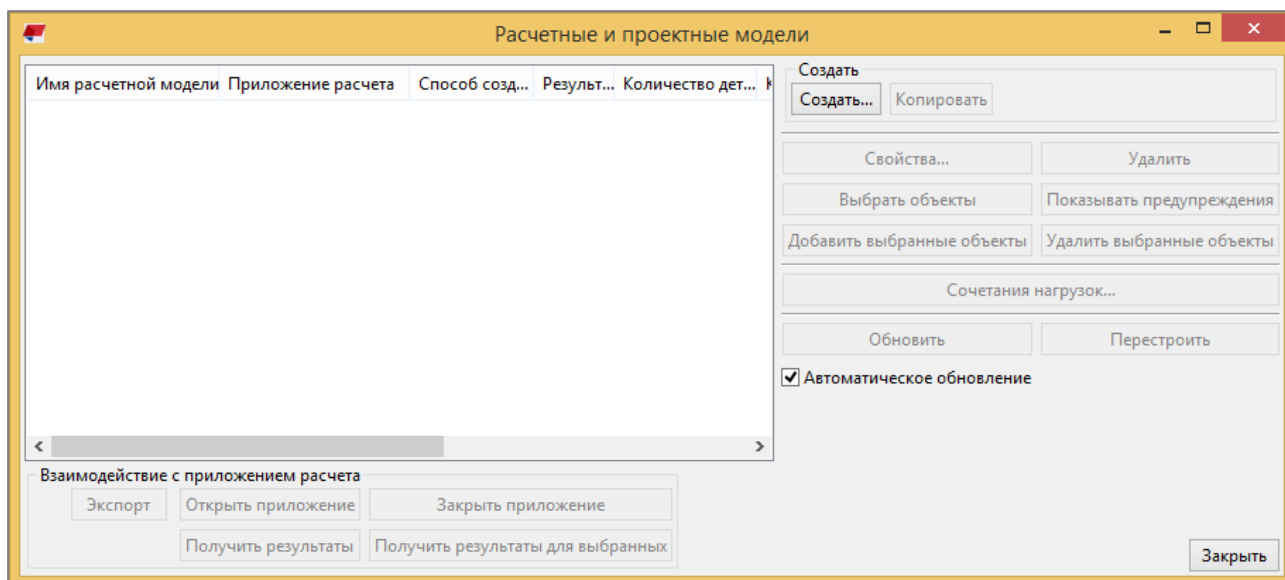
Рис. Б.22. Экспорт элементов колонн

## Б.7 ИНТЕГРАЦИЯ TEKLA STRUCTURES — ЛИРА 10

В ПК ЛИРА 10 предусмотрен обмен данными о модели с Tekla Structures. Связка между программами реализована плагином, встраиваемым в Tekla Structures.

 *Дополнительный плагин устанавливается в процессе инсталляции ПК ЛИРА 10 при наличии ранее установленной программы Tekla Structures.*

Чтобы запустить связку, в первую очередь нужно создать аналитическую модель в Tekla Structures. Для этого следует открыть подменю **Расчет и проектирование** и вызвать диалоговое окно **Расчетные и проектные модели** (рис. Б.23) с помощью одноименной кнопки.

Рис. Б.23. Диалоговое окно **Расчетные и проектные модели**

В раскрывшемся окне нажмите кнопку **Создать**, чтобы вызвать диалоговое окно **Свойства расчетной модели** (рис. Б.24). Далее выберите LIRA 10 в качестве приложения расчета, настройте остальные параметры и нажмите кнопку **ОК**.

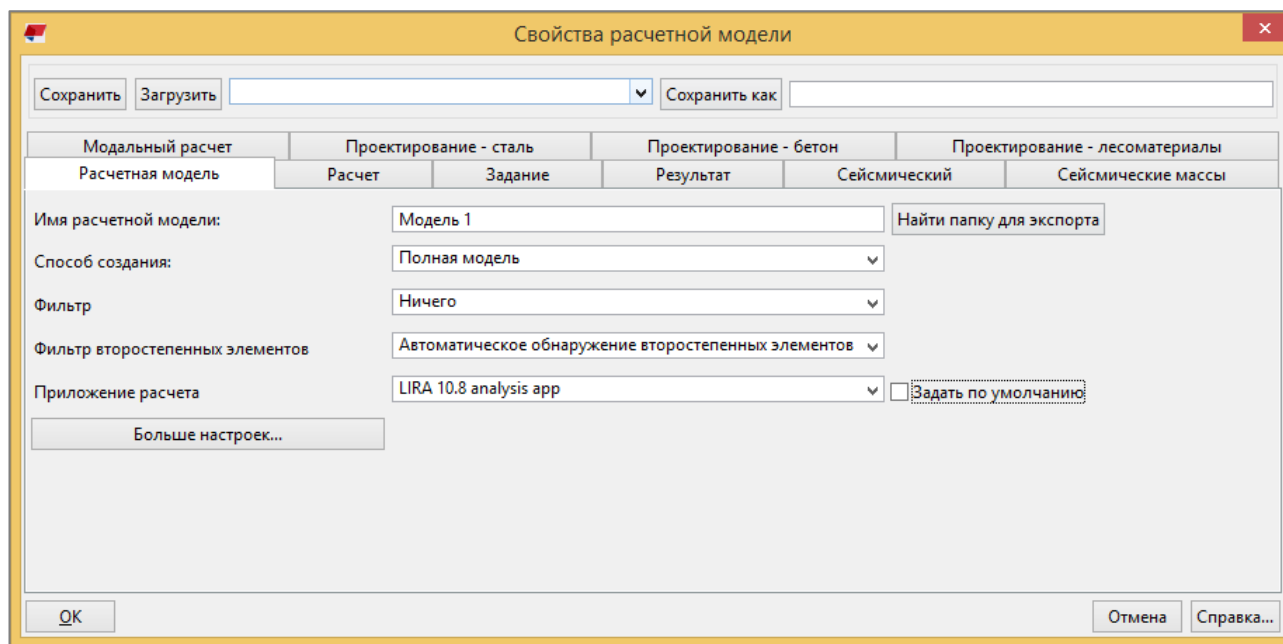



Рис. Б.24. Диалоговое окно **Свойства расчетной модели**

В список может быть добавлено несколько разных аналитических моделей. Выберите подходящую вам аналитическую модель. После чего станут активными кнопки на панели **Взаимодействие с приложением расчета**.


Кнопки **Экспорт** и **Открыть приложение** служат для экспорта выбранной аналитической модели Tekla Structures в ПК ЛИРА 10. Если экспорт осуществляется с использованием кнопки **Открыть приложение**, сразу после экспорта модель будет открыта с помощью ПК ЛИРА 10.

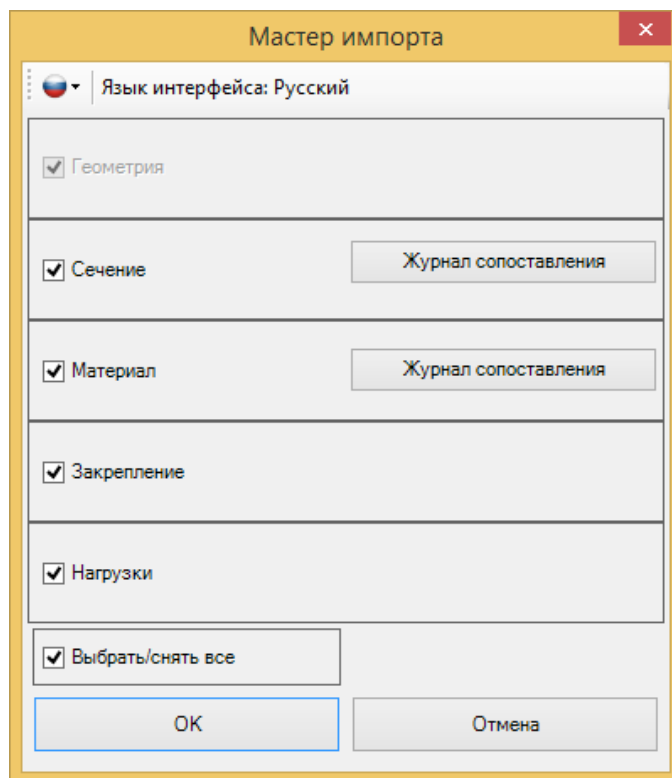
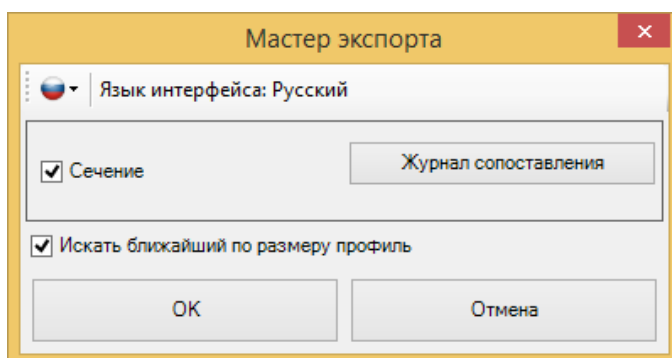
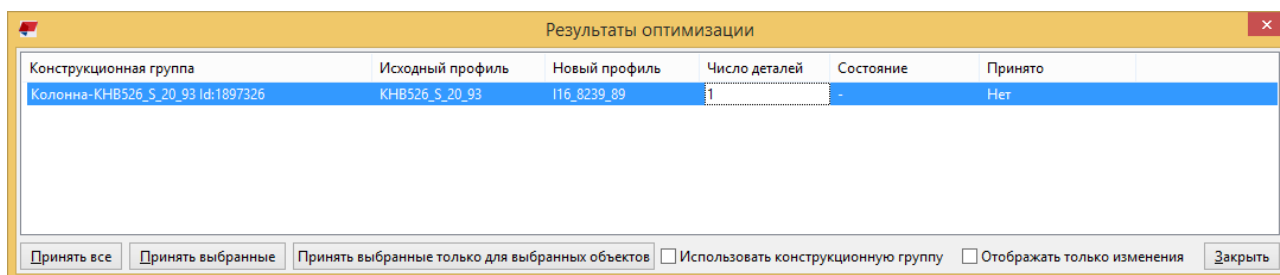
После запуска экспорта будет открыто промежуточное диалоговое окно **Мастер импорта** (рис. Б.25). С его помощью можно настроить импортируемые параметры и просмотреть журналы сопоставлений.

Кнопки **Получить результаты** и **Получить результаты для выбранных** позволяют получить из ПК ЛИРА 10 сечения стального профиля и обновить информацию о нагрузках. После нажатия указанных кнопок раскроется диалоговое окно **Мастер экспорта** (рис. Б.26). С его помощью можно настроить параметры экспорта и просмотреть журнал сопоставлений. Если установлен флажок **Искать ближайший по размеру профиль**, ПК ЛИРА 10 будет искать в сортаментах Tekla Structures ближайший по характеристикам профиль, иначе будут подобраны только полностью соответствующие друг другу профили.

 Чтобы подобрать стальные сечения в ПК ЛИРА 10 и обновить информацию о них в Tekla Structures, после подбора нужно воспользоваться режимом **Преобразовать результаты в исходные данные**.

По завершении экспорта результатов все предлагаемые для замены профили можно будет просмотреть в окне **Результаты оптимизации** (рис. Б.27).

 Сечения в модели Tekla Structures будут заменены только в случае принятия изменений в окне **Результаты оптимизации** (рис. Б.27).

Рис. Б.25. Диалоговое окно **Мастер импорта**Рис. Б.26. Диалоговое окно **Мастер экспорта**Рис. Б.27. Диалоговое окно **Результаты оптимизации**

## Б.8 ИМПОРТ/ЭКСПОРТ ИЗ КОМАНДНОЙ СТРОКИ

Через командную строку может быть открыт любой файл. Такая возможность поддерживается в ПК ЛИРА 10.12. Для этого в командной строке нужно прописать путь к файлу приложения ПК ЛИРА 10 и через пробел добавить путь к расчетному файлу.

### Пример

Допустим, в корневом каталоге диска D имеется файл 1.fer (рис. Б.28). Его нужно экспортировать в 2.dxf.

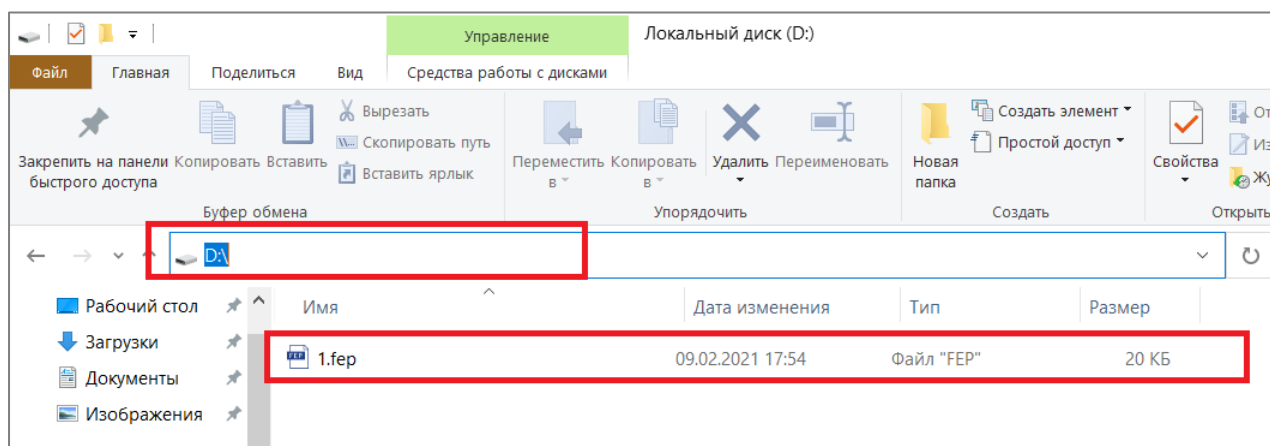
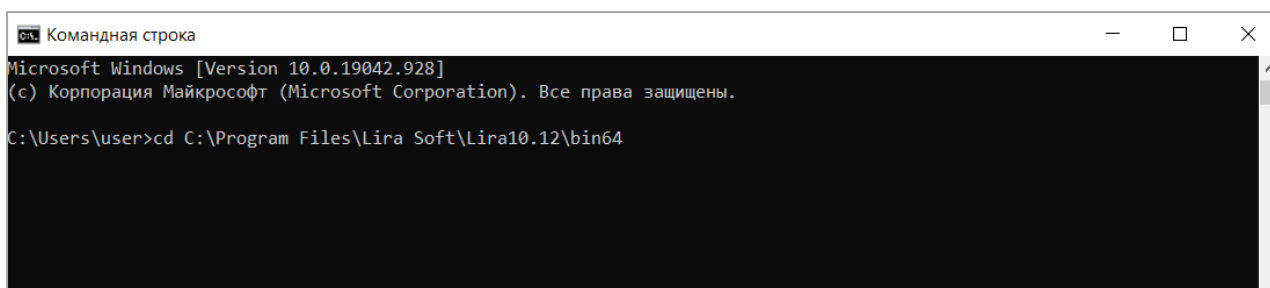


Рис. Б.28. Путь к файлу

В командной строке переходим в каталог, где размещен \*.exe-файл ЛИРА 10 (рис. Б.29):

```
cd C:\Program Files\Lira Soft\Lira10.12\bin64.
```



Enter:

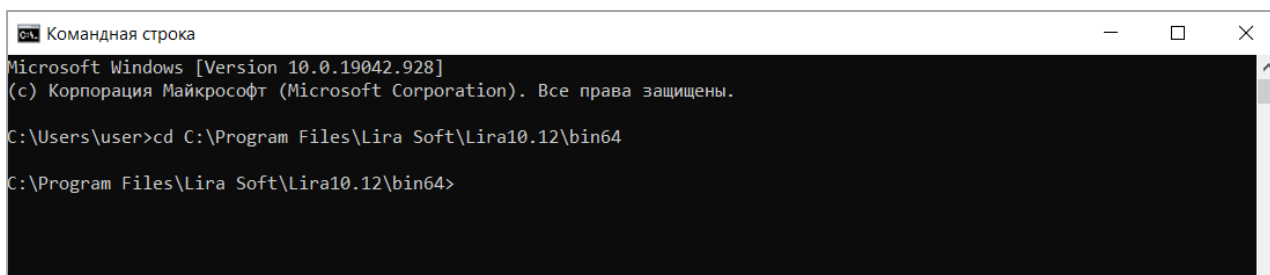


Рис. Б.29. Пример ввода пути в командной строке

Открываем файл D:\1.fer (txt, dxf и т.д. — возможен любой импортируемый ПК ЛИРА 10 формат) и экспортируем его в D:\2.dxf.



Если прописать и применить *lira.exe "D:\1.fep"*, то файл ЛИРА 10 откроется.

Кроме открытия файла, в командной строке опционно через пробел можно прописать такие команды:

- **CALCULATION** — запуск файла на расчет.
- **"Export=B"** — экспорт файла в поддерживаемый в ПК ЛИРА 10 формат. Здесь **B** — это полный путь к файлу, в который будет экспортирована модель. Например: "Export=D:\2.dxf".
- **"RUNAPI=ApiName"** — вызов приложения API, где **ApiName** — это имя приложения, которое зарегистрировано в списке приложений ПК ЛИРА 10, установленной на компьютере пользователя.
- **EXIT** — закрытие открытого файла.

Рассмотрим некоторые примеры записи командной строки:

**Пример 1:**

*lira.exe "D:\1.fep" "Export=D:\2.dxf"*

После нажатия клавиши Enter файл ЛИРА 10 откроется и будет экспортирован в D:\2.dxf (рис. Б.30).

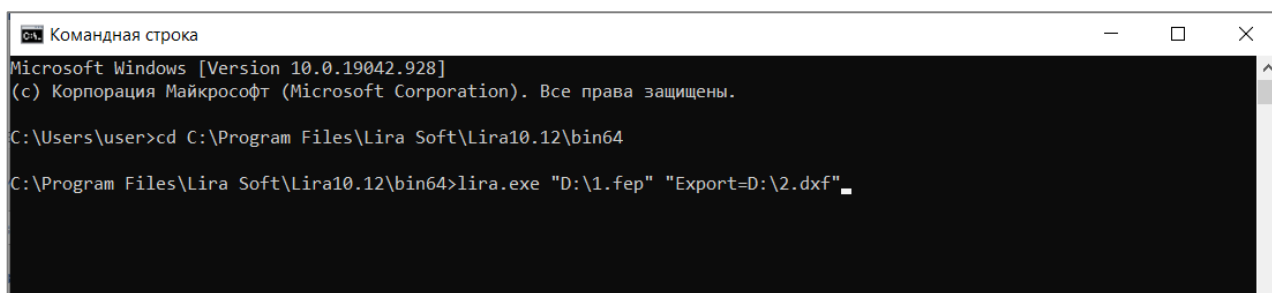


Рис. Б.30. Пример 1

**Пример 2:**

*lira.exe "D:\1.fep" "Export=D:\2.dxf" EXIT*

После нажатия клавиши Enter файл ЛИРА 10 откроется, будет экспортирован в D:\2.dxf, затем закроется.

**Пример 3:**

*lira.exe "D:\1.fep" "Export=D:\2.dxf" CALCULATION EXIT*

После нажатия клавиши Enter файл ЛИРА 10 откроется, будет экспортирован в D:\2.dxf, будет посчитан и закроется.

**Пример 4:**

*lira.exe "D:\1.fep" "Export=D:\2.dxf" CALCULATION*

После нажатия клавиши Enter файл ЛИРА 10 откроется, будет экспортирован в D:\2.dxf, затем будет посчитан.

**Пример 5:**

*lira.exe "D:\1.fep" CALCULATION "RUNAPI=SampleLiraAPI" "Export= D:\2.neu" EXIT*

После нажатия клавиши Enter файл ЛИРА 10 откроется, будет посчитан, запустится зарегистрированное приложение API с именем *SampleLiraAPI*, произведется экспорт модели в D:\2.neu, затем файл закроется.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О LIRA API

### Общие сведения

Если при работе с ПК ЛИРА 10.12 вам требуется выполнить экспорт исходных данных или результатов расчета в нестандартный формат или произвести дополнительные расчеты, используя уже существующие данные, и при этом вы обладаете навыками программирования, то приведенная ниже информация будет вам полезной.

Для добавления расширения ПК ЛИРА 10.12 потребуется выполнить два действия:

1. Разработать расширение, опираясь на возможности.
2. Зарегистрировать разработанное расширение в среде ПК ЛИРА 10.12.

После успешного выполнения этих действий в главном меню ПК ЛИРА 10.12 появится пункт меню **Расширения**, включающий подпункты для вызова реализованных вами расширений (рис. В.1).

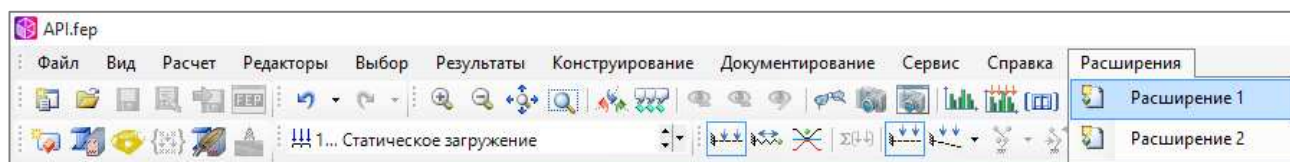



Рис. В.1. Дополнительное меню **Расширения**

 Вы можете реализовать и зарегистрировать много расширений, для каждого из них будет сгенерирован отдельный подпункт меню.

### Регистрация расширения

При первом запуске ЛИРА 10.12 создает файл с глобальными настройками:

```
[ApplicationData]+"\\Lira Soft\\Lira10.12\\VariableEnvironment_x86.xml"
[ApplicationData]+"\\Lira Soft\\Lira10.12\\VariableEnvironment_x64.xml"
```

Среди прочих настроек в этом файле есть параметр `AddinsPath`, содержащий путь к папке, в которой должны находиться xml-файлы регистрации расширений. По умолчанию это `[ApplicationData]+"\\Lira Soft\\Lira10.12\\Addins"`.

Файлы регистрации расширения должны иметь следующую структуру:

```
<?xml version="1.1" encoding="utf-12"?>
<LiraAddIns>
  <AddIn Type="PROLONGATION">
    <AssemblyPath>путь к dll</AssemblyPath>
    <CommandName>Имя команды</CommandName>
    <CommandDescription>Описание команды</CommandDescription>
    <ImagePath>Путь к изображению</ImagePath>
    <Vendor>Название организации</Vendor>
    <VendorDescription>описание</VendorDescription>
  </AddIn>
</LiraAddIns>
```

AddIn содержит атрибут `Type`, который может принимать одно из трех значений: `PRIME`, `PROLONGATION` или `ALL`. Этот атрибут указывает, в каком режиме будет доступна команда этого расширения: в режиме редактирования исходных данных, в режиме анализа результатов расчета или в обоих режимах. В текущей версии доступно только значение `PROLONGATION`.

`AssemblyPath` — абсолютный путь к файлу расширения \*.dll.

`ImagePath` — абсолютный путь к файлу, содержащему изображение для иконки в меню (стандартный размер `Width=24`, `Height=20`).

`CommandName` — имя команды в меню ЛИРА 10.12.

`Vendor` и `VendorDescription` — информация о разработчике расширения.

При запуске ЛИРА 10.12 добавляет пункт меню для каждого найденного и успешно прочитанного xml-файла регистрации расширений.

## Разработка расширения

Рекомендуемой средой разработки расширений ЛИРА 10.12 является **Microsoft Visual Studio 2010**. К проекту расширения нужно добавить как минимум две `References` — ссылки на библиотеки из установочного дистрибутива ЛИРА 10.12 (`LiraAPI.dll` и `FEModel.dll`).

В проекте расширения должен быть реализован один `class`, наследованный от интерфейса `LiraAPI.ILiraAPI`, который описан в динамической библиотеке `LiraAPI.dll`:

```
public ref class CSampleLiraAPI : public LiraAPI::ILiraAPI
{
    public: virtual LiraAPI::ReturnCodes ExecuteProgram_Result
        (LiraAPI::IResultLiraAPI ^pResultLiraAPI,
         int NodesNumber, int ElementsNumber ,
         List<List<FEModel::Results_Key^>^>^ pAllCases,
         FEModel::Results_Key ^pCurentCase);
}
```

`NodesNumber` и `ElementsNumber` — количество узлов и элементов в расчетной схеме.

`pCurentCase` — информация о текущем нагружении.

`pAllCases` — информация обо всех доступных в задаче нагружениях.

`pResultLiraAPI` — объект, позволяющий получить таблицы результатов расчета.

Объект, описывающий нагружение, имеет следующий вид:

```
ref class FEModel::Results_Key
{
    //индекс нагружения, истории нагружений, номер РСН,...
    long m_IndexLoadingCase;
    // индекс сопутствующего нагружения, номер варианта РСН,...
    short m_SubIndexLoadingCase;
    // индекс формы, шага нелинейного нагружения, момента времени,...
    long m_IndexForm;
};
```

Объект `List<List<FEModel::Results_Key^>>^` `pAllCases` содержит до 5 массивов вида `List<FEModel::Results_Key^>^`, каждый из которых описывает перечень доступных загрузений для различных типов таблиц.

- `pAllCases[0]` — загрузки и составляющие.
- `pAllCases[1]` — формы собственных колебаний.
- `pAllCases[2]` — формы потери устойчивости от загрузений.
- `pAllCases[3]` — расчетные сочетания нагрузок (РСН).
- `pAllCases[4]` — формы потери устойчивости от РСН.

Интерфейс `LiraAPI::IResultLiraAPI` в ПК ЛИРА 10.12 имеет вид:

```
public interface class IResultLiraAPI
{
virtual int getLiraApiVersion();
virtual DataTable ^get_TableResult(FEModel::e_Results_TableType rtt,
    System::Collections::Generic::List<int> ^pObjArr,
    System::Collections::Generic::List<FEModel::Results_Key ^> ^pKeyArr,
    array<e_Results_ColumnType> ^%pTypeColumns,
    array<System::String ^> ^%pNameColumns);
};
```

Функция `getLiraApiVersion()` возвращает номер версии текущего объекта `LiraApi`.

Функция `get_TableResult(...)` имеет три входных параметра: `FEModel::e_Results_TableType rtt`, `System::Collections::Generic::List<int> ^pObjArr`, `System::Collections::Generic::List<FEModel::Results_Key ^> ^pKeyArr` и три выходных: `array<e_Results_ColumnType> ^%pTypeColumns`, `array<System::String ^> ^%pNameColumns` и `DataTable` с результатами запроса.

`System::Collections::Generic::List<int> ^pObjArr` — массив индексов узлов или элементов (начиная от 0).

`System::Collections::Generic::List<FEModel::Results_Key ^> ^pKeyArr` — массив объектов `FEModel::Results_Key`, описывающих загрузки.

`FEModel::e_Results_TableType rtt` — тип таблицы. Подробную информацию о доступных типах таблиц вы можете найти в файле *LiraAPIHelp.pdf*, который копируется на жесткий диск в папку `[INSTALLDIR] + "\\LiraAPI"` в момент установки ПК ЛИРА 10.12.

### Пример расширения

В процессе установки ПК ЛИРА 10.12 на жесткий диск в папку `[INSTALLDIR] + "\\LiraAPI"` копируется архивный файл с проектом Visual Studio, в котором продемонстрированы примеры с объектами `LiraAPI`.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г. НЕКОТОРЫЕ ВЕРИФИКАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

## Г.1 ЛИНЕЙНАЯ СТАТИКА

Балка на упругом горизонтальном основании под действием сосредоточенных вертикальных сил

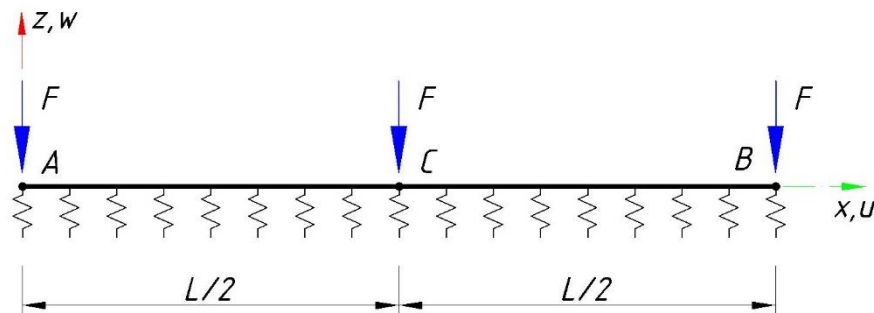


Рис. Г.1

Таблица Г.1

<b>Источник</b>	М. Courtand et P. Lebel, Formulaire du beton arme, t.2, Paris, Eyrolles, 1976, p. 382
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская плита или ростверк ( $Z, UX, UY$ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 0.5\pi\sqrt{10}$ м, $I = 1 \times 10^{-4}$ м <sup>4</sup> , $GI_x = 1$ Н·м <sup>4</sup> , $b = 1$ м — ширина основания балки
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11}$ Па.
<b>Граничные условия</b>	Вариант 1: упругое основание — $C_1 = 8.4 \times 10^5$ Н/м <sup>3</sup> ; все узлы — $\theta_x = 0$ ; Вариант 2: упругие опоры, в узлах А и В — $R_z = 173855$ Н/м, в промежуточных узлах — $R_z = 347711$ Н/м; все узлы — $\theta_x = 0$ .
<b>Нагрузка</b>	$F = 1 \times 10^4$ Н
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 3) и одноузловым КЭ упругой связи (тип КЭ 56)

Таблица Г.2 Результаты расчета

Искомая величина	Теория	Результаты расчета ЛИРА 10		Отклонение, %	
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2
$w_{L/2}$ , мм	- 6.844	- 6.843	- 6.844	0.015	0.00
$w_A$ , мм	- 7.854	- 7.859	- 7.845	0.064	0.11
$\theta_{yA}$ , рад	$-7.06 \times 10^{-4}$	$-7.06 \times 10^{-4}$	$-6.944 \times 10^{-4}$	0.000	1.64
$M_{L/2}$ , Нм	- 5759	- 5758.7	- 5742.6	0.005	0.28

Плоская ферма

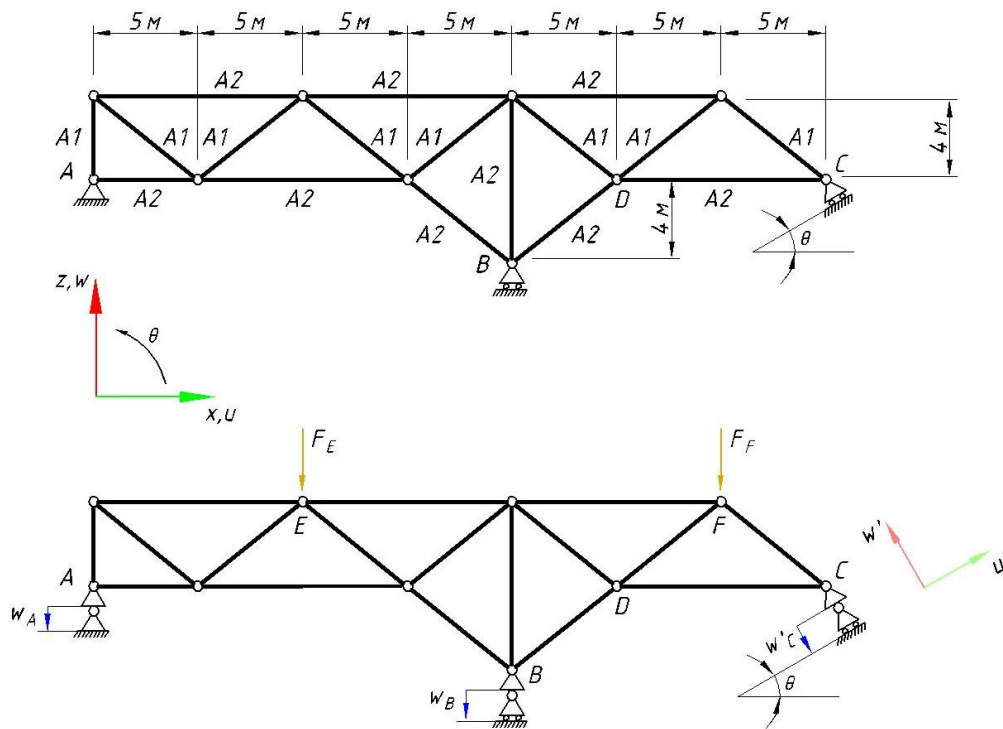


Рис. Г.2

Таблица Г.3

<b>Источник</b>	M. Laredo, Résistance des matériaux, Paris, Dunod, 1970, p. 579
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская ферма или балка стенка (X, Z)
<b>Исходные данные</b>	$A_1 = 1.41 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ , $A_2 = 2.82 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ , $\theta = 30^\circ$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}$ ; Коэффициент температурного расширения $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ C}^{-1}$
<b>Граничные условия</b>	В точке А: $u = w = 0$ ; В точке В и С: $w_B = w'_C = 0$
<b>Нагрузка</b>	Сосредоточенная сила: $F_E = 150 \text{ кН}$ , $F_F = 100 \text{ кН}$ ; Заданное смещение: $w_A = -0.02 \text{ м}$ , $w_B = -0.03 \text{ м}$ , $w'_C = -0.015 \text{ м}$ ; Все стержни нагреты до $+150 \text{ C}^\circ$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 4)

Таблица Г.4 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$N_{BD}$ , Н	43633	43633	0
$w_D$ , м	-0.01618	-0.01618	0

## Тор под внутренним давлением

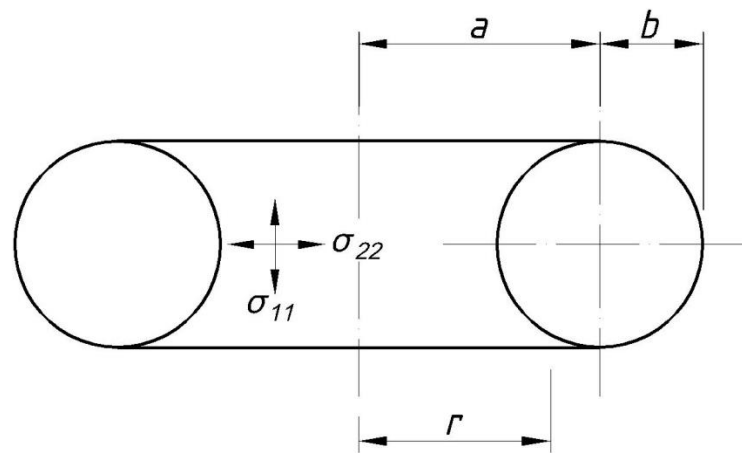


Рис. Г.3

Таблица Г.5

<b>Источник</b>	R.J. Roark et W.C. Young, Formulas for stress and strain, 5e edition, New York, McGraw-Hill, 1975
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$t = 2 \times 10^{-2} \text{ м}$ — толщина стенки тора; $a = 2 \text{ м}$ , $b = 1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}$ ; $\mu = 0.3$
<b>Граничные условия</b>	Без закреплений
<b>Нагрузка</b>	Внутреннее давление: $q = 10000 \text{ Па}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась оболочечными конечными элементами (тип КЭ 44); Разбивка: шаг по длине тора — 90; шаг по окружности тора — 80

Таблица Г.6 Результаты расчета

Точка	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$\square \forall r$	$\sigma_{22}$ , Па	$2.5 \times 10^5$	$2.4927 \times 10^5$	0.29
$r = a - b$	$\sigma_{11}$ , Па	$7.5 \times 10^5$	$7.4889 \times 10^5$	0.15
	$\Delta_r$ , м	$1.1905 \times 10^{-7}$	$1.1601 \times 10^{-7}$	2.55
$r = a + b$	$\sigma_{11}$ , Па	$4.166 \times 10^5$	$4.1685 \times 10^5$	0.06
	$\Delta_r$ , м	$1.7857 \times 10^{-6}$	$1.7741 \times 10^{-6}$	0.65

**Чистый изгиб призматического бруса**

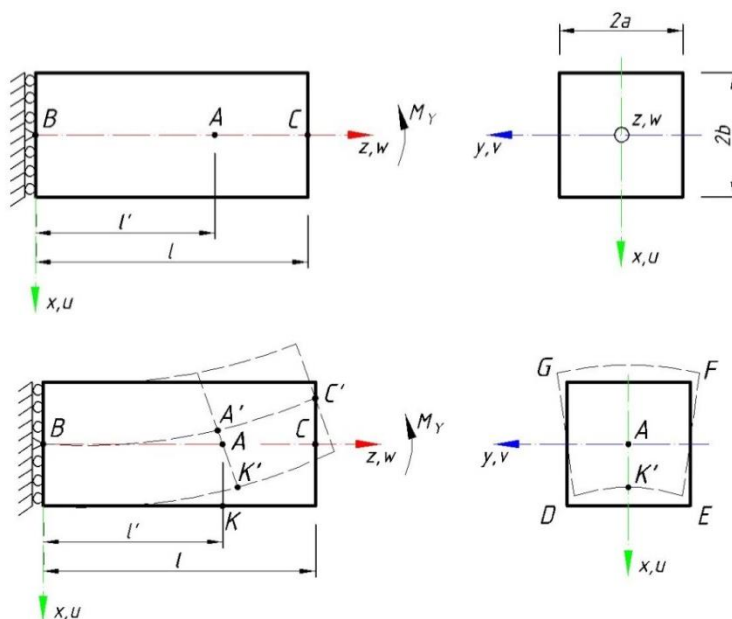


Рис. Г.4

Таблица Г.7

<b>Источник</b>	S. Timoshenko, Théorie de l'élasticité, Paris, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1961, pages 284–289
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 6 \text{ м}, L' = 4 \text{ м}, a = b = 1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}; \mu = 0.3$
<b>Граничные условия</b>	Плоскость XOY, проходящая через точку В и элемент оси Z: $w = 0$ ; Точка В: $w_B = u_B = v_B = 0$
<b>Нагрузка</b>	Изгибаемый момент: $M_y = 4/3 \times 10^7 \text{ Нм}$
<b>Описание задачи</b>	В силу симметрии рассчитывается одна вторая часть конструкции. Система моделировалась объемными восьмиузловыми конечными элементами (тип КЭ 36). Разбивка: $4 \times 8 \times 12 \text{ КЭ}$ — классический расчет, $2 \times 4 \times 6 \text{ КЭ}$ — расчет с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне

Таблица Г.8 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10		Отклонение, %	
		$4 \times 8 \times 12 \text{ КЭ}$	$2 \times 4 \times 6 \text{ КЭ}$	$4 \times 8 \times 12 \text{ КЭ}$	$2 \times 4 \times 6 \text{ КЭ}$
$u_A, \text{ м}$	$-4 \times 10^{-4}$	-3.836	-3.9376	4.1	1.56
$w_K, \text{ м}$	$2 \times 10^{-4}$	1.918	1.9699	4.1	1.51
$v_F, \text{ м}$	$0.15 \times 10^{-4}$	0.14456	0.14837	3.6	1.09
$v_E, \text{ м}$	$-0.15 \times 10^{-4}$	-0.14456	-0.14837	3.6	1.09



## Г.2 ДИНАМИКА. СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ

## Собственные частоты круговой цилиндрической оболочки, заземленной по торцам

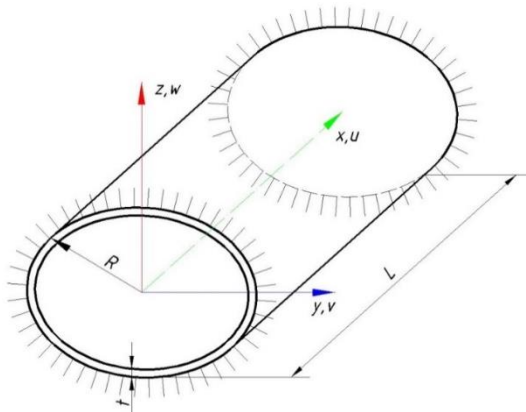


Рис. Г.5

Таблица Г.9

<b>Источник</b>	И. А. Биргер, Я. Г. Пановко, Прочность, устойчивость, колебания, Справочник в трех томах, Том 3, Москва, Машиностроение, 1968, стр. 437
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ$ ).
<b>Исходные данные</b>	$L = 0.305$ м, $R = 0.076$ м, $t = 0.25 \times 10^{-3}$ м
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 1.96 \times 10^{11}$ Па, $\mu = 0.3$ , $\gamma = 7700$ кг/м <sup>3</sup>
<b>Граничные условия</b>	Плоскость $XOY$ , проходящая через точку В и элемент оси $Z$ : $w = 0$ ; Точка В: $w_B = u_B = v_B = 0$
<b>Нагрузка</b>	На торцах: $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечными элементами тонкой оболочки (тип КЭ 44). Разбивка: $R100 \times L64$ КЭ — классический расчет, $R50 \times L32$ КЭ — расчет с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне. Для решения задачи выполнен модальный анализ

Таблица Г.10 Результаты расчета

№ формы	Частота, Гц			Отклонение, %	
	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10		$R100 \times L64$ КЭ	$R50 \times L32$ КЭ
		$R100 \times L64$ КЭ	$R50 \times L32$ КЭ		
1	533	522.06	521.43	2.05	2.17
2	533	522.37	521.69	1.99	2.12
3	574	567.04	565.35	1.21	1.51
4	574	567.04	565.92	1.21	1.41
5	593	578.69	578.55	2.41	2.44
6	593	578.69	578.90	2.41	2.38
7	717	699.77	700.35	2.40	2.32
8	717	699.94	700.52	2.38	2.30

Собственные частоты балки переменного сечения

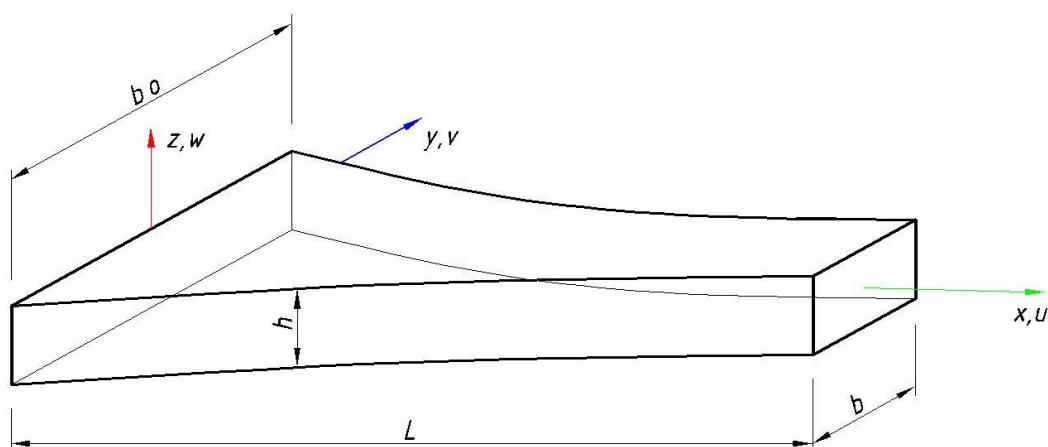


Рис. Г.6

Таблица Г.11

<b>Источник</b>	Société Française des Mécaniciens – Commission Validation de Progiciels de Calcul de Structures, Groupe de travail Dynamique, Paris, 1989
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$b_0 = 0.03 \text{ м}$ , $b = b_0 \times e^{-2x} \text{ м}$ , $h = 0.01 \text{ м}$ , $L = 0.6 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 1.96 \times 10^6 \text{ psi}$ , $\mu = 0.3$ , $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$
<b>Граничные условия</b>	Оба конца стержня жестко закреплены
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 10). Для решения задачи выполнен модальный анализ

Таблица Г.12 Результаты расчета

№ формы	Частота, Гц		Отклонение, %
	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	
1	143.303	145.856	1.78
2	396.281	400.086	0.96
3	779.425	782.379	0.38
4	1289.577	1291.22	0.12

## Г.3 Устойчивость

## Устойчивость оболочки

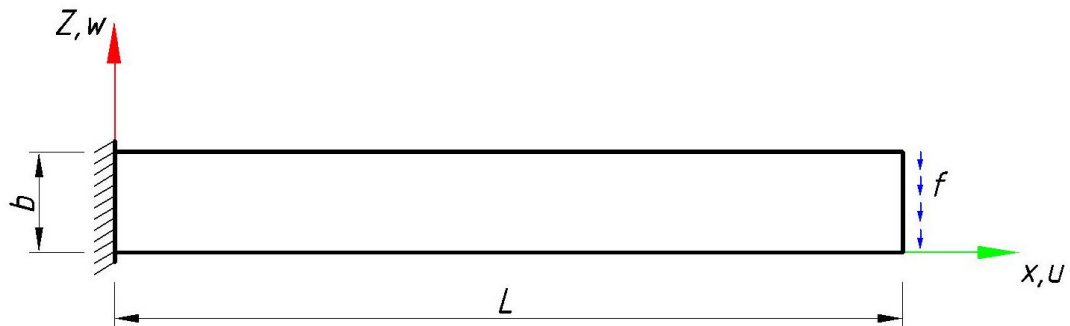


Рис. Г.7

Таблица Г.13

<b>Источник</b>	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. В 10 т. Т. VII. Теория упругости. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: «Наука», 1987, стр. 123
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 10 \text{ м}$ , $b = 0.5 \text{ м}$ , $h = 0.1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2 \times 10^7 \text{ т/м}^2$ $\mu = 0.3$
<b>Граничные условия</b>	Левая сторона закреплена
<b>Нагрузка</b>	$f = 20 \text{ т/м}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечными элементами тонкой оболочки (тип КЭ 44). Разбивка: $5 \times 100 \text{ КЭ}$

Таблица Г.14 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
Коэффициент запаса	4.1479	4.1638	0.38

Устойчивость круговой арки

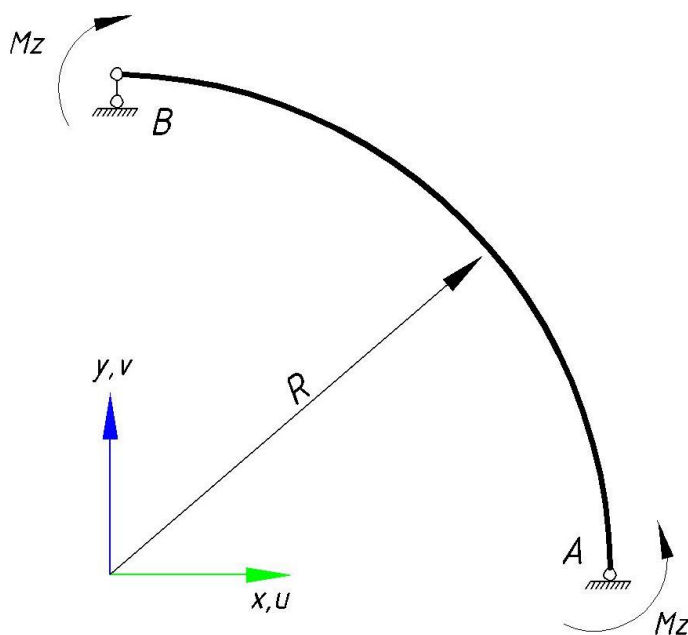


Рис. Г.8

Таблица Г.15

<b>Источник</b>	С. П. Тимошенко, «Устойчивость упругих систем», М.: Гостехтеориздат, 1955, 576 с
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$R = 1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $EA = 2 \times 10^5 \text{ т}$ , $EI_y = EI_z = 166.7 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ , $GI_x = 133.3 \text{ т} \cdot \text{м}^2$
<b>Граничные условия</b>	В точке А: $u = v = w = \theta_y = 0$ . В точке В: $v = w = \theta_x = 0$
<b>Нагрузка</b>	Вар.1: $M_{Az} = -10 \text{ т}$ , $M_{Bz} = 10 \text{ т}$ . Вар.2: $M_{Az} = 10 \text{ т}$ , $M_{Bz} = -10 \text{ т}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 10)

Таблица Г.16 Результаты расчета

Искомая величина		Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
Вар. 1	Коэффициент запаса	14.8626	14.8605	0.014
Вар. 2	Коэффициент запаса	44.8715	44.8651	0.014

## Г.4 ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ, ФИЗИЧЕСКАЯ И КОНСТРУКТИВНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

## Нить с разновысокими опорами

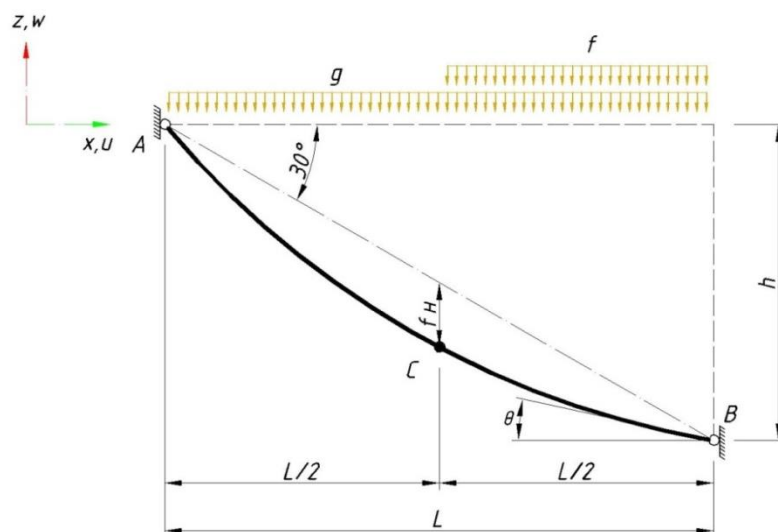


Рис. Г.9

Таблица Г.17

<b>Источник</b>	«Справочник проектировщика расчетно-теоретический», под ред. доктора тех. наук, проф. А.А. Уманского, – М.: «Стройиздат», 1960, стр. 325
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$L = 100 \text{ м}$ , $F = 15.96 \text{ см}^2$ . $f_n = 8.94 \text{ м}$ — стрела провеса при равномерно распределенной нагрузке измеряется в середине пролета от наклонной хорды АВ по направлению Z
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 1.6 \times 10^7 \text{ т/м}^2$
<b>Граничные условия</b>	Точки А и В закреплены от смещений
<b>Нагрузка</b>	$q = 0.5 \text{ т/м}$ , $f = 0.42 \text{ т/м}$
<b>Описание задачи</b>	Определяется распор, максимальное усилие в канате, угол наклона каната у опоры В и ордината линии равновесия в середине пролета. Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 304). Для решения нелинейной задачи организован автоматический выбор шага приложения нагрузки

Таблица Г.18 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$H$ , т	89.142	88.889	0.28
$N_{\max}$ , т	120.93	120.61	0.26
$\theta$ , рад	1.0345	1.0358	0.13
$Z_{L/2}$ , м	-38.824	-38.785	0.1

**Сильный изгиб консоли**



Рис. Г.10

Таблица Г.19

<b>Источник</b>	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. В 10 т. Т. VII. Теория упругости. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: «Наука», 1987, стр. 106
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( $X, Z, UY$ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 10 \text{ м}$ , $A = 0.05 \text{ м}^2$ , $I = 5 \times 10^{-6} \text{ м}^4$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2 \times 10^7 \text{ т/м}^2$
<b>Граничные условия</b>	Точка А закреплена
<b>Нагрузка</b>	$F = 4 \text{ т}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 309). Для решения нелинейной задачи организован автоматический выбор шага приложения нагрузки

Таблица Г.20 Результаты расчета

Искомая величина		Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
Точка В	$u_B, \text{ м}$	- 3.29	- 3.2898	0.006
	$w_B, \text{ м}$	- 6.70	- 6.7056	0.084
Точка А	$M_A, \text{ тм}$	26.8	26.857	0.213

## Квадратная мембрана с податливым контуром

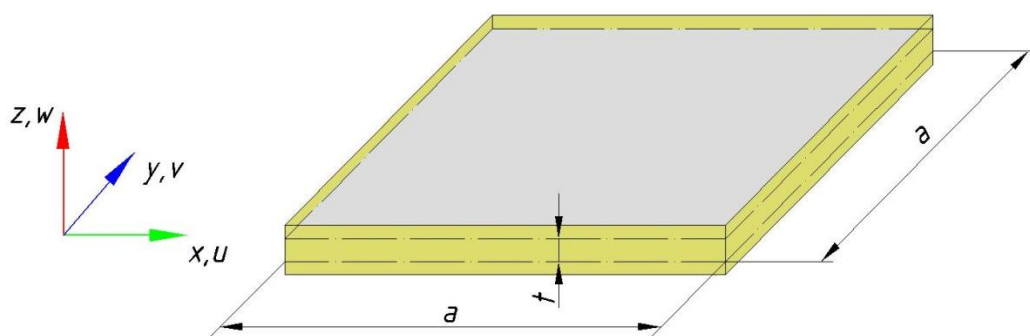


Рис. Г.11

Таблица Г.21

<b>Источник</b>	Еремеев П.Г., Присяжной В.Б., «Экспериментальные исследования квадратных мембран с податливым контуром» // Строительная механика и расчет сооружений, стр. 58–61
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$a = 1.1 \text{ м}$ , $t = 0.5 \text{ мм}$
<b>Характеристики материала</b>	Мембрана: $E = 7 \times 10^6 \text{ т/м}^2$ , $\mu = 0.3$ . Стержень опорного контура: $EA = 1280 \text{ т}$ , $EI_y = EI_z = 0.075 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ , $GI_x = 0.1 \text{ т} \cdot \text{м}^2$
<b>Граничные условия</b>	Вертикальные перемещения контура запрещены
<b>Нагрузка</b>	Равномерно распределенная нагрузка по площади мембраны: $q = 0.6 \text{ т/м}^2$
<b>Описание задачи</b>	В силу симметрии рассчитывается одна четвертая часть конструкции. Система моделировалась конечными элементами мембраны (тип КЭ 344) и стержневыми элементами (тип КЭ 309). Разбивка: $40 \times 40 \text{ КЭ}$ — классический расчет, $20 \times 20 \text{ КЭ}$ — расчет с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне. Для решения нелинейной задачи организован автоматический выбор шага приложения нагрузки

Таблица Г.22 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10		Отклонение, %	
		$40 \times 40 \text{ КЭ}$	$20 \times 20 \text{ КЭ}$	$40 \times 40 \text{ КЭ}$	$20 \times 20 \text{ КЭ}$
$w_{L/2}$ , мм	- 38.8	- 39.74	- 37.949	2.42	2.19
$N_{\max}$ , т (в контуре)	- 1.1	- 1.1384	- 0.995	3.49	9.54

**Жесткая балка на подвесках**

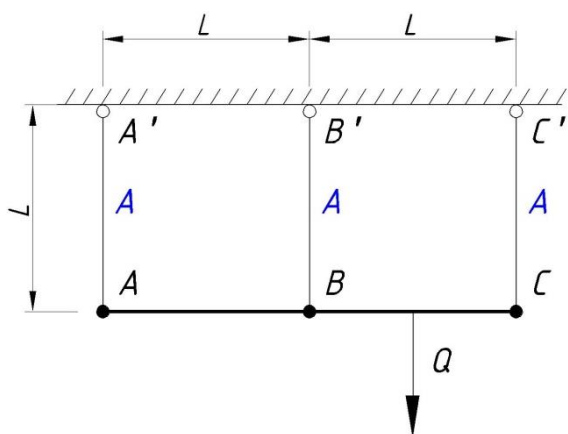


Рис. Г.12

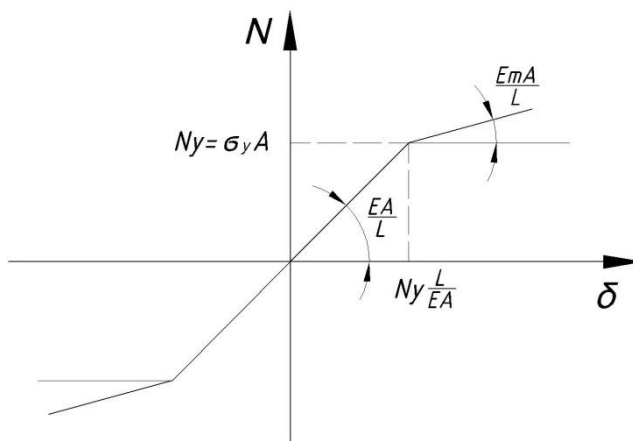


Рис. Г.13

Таблица Г.23

<b>Источник</b>	B. Halphen et J. Salencon, Elastoplasticité, Presses de l'ENPC
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$L = 1 м, A = 1 \times 10^{-4} м^2$
<b>Характеристики материала</b>	Нелинейно упругий: $\sigma_y = 400 МПа, E = 2.1 \times 10^{11} Па, E_m = 0.25 \times 10^{11} Па$ . Стержень AC: $EA = 1 \times 10^{11} Па, EI_y = 1 \times 10^{11} Па$
<b>Граничные условия</b>	Шарниры в точках A', B', C'
<b>Нагрузка</b>	Сосредоточенная сила $Q = (13/7)\sigma_y A$ приложена в центре пролета BC
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 210) — для подвесок, (тип КЭ 10) — для балки. Для решения нелинейной задачи организован шаговый процесс приложения нагрузки (количество шагов 100)

Таблица Г.24 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$N_{AA'}$ , кН	4.160	4.515	8.54
$N_{BB'}$ , кН	28.762	28.113	2.26
$N_{CC'}$ , кН	41,333	41.658	0.79
$w_A$ , см	-0.01995	-0.02150	7.80
$w_B$ , см	-0.13696	-0.133866	2.26
$w_C$ , см	-0.25397	-0.246226	3.05



## Система с односторонними пружинами

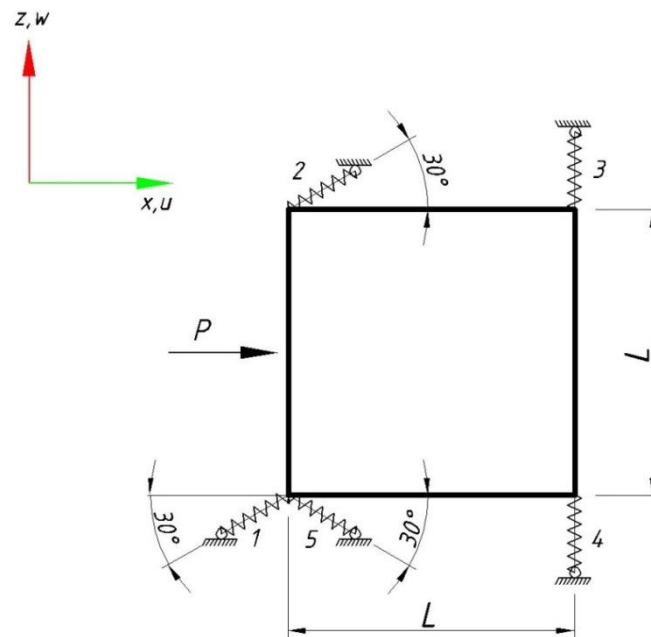


Рис. Г.14

Таблица Г.25

<b>Источник</b>	А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер, Расчетные модели сооружений и возможность их анализа, Киев: «Сталь», 2002, стр. 123
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская ферма или балка стенка ( X, Z )
<b>Исходные данные</b>	$L = 20 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	$E = 2 \times 10^7 \text{ т/м}^2$ . Жесткость пружины: $k = EA/L = 1 \times 10^8 \text{ т/м}$
<b>Граничные условия</b>	Балка-стенка прикреплена к опорам пятью пружинами, работающими только на растяжение
<b>Нагрузка</b>	$P = 10 \text{ т}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась одним конечным элементом типа КЭ 24 (плоского напряжения «балка-стенка») и пятью стержневыми конечными элементами типа КЭ 265. Для решения нелинейной задачи организован шаговый итерационный процесс (количество шагов 1, минимальное число итераций 300)

Таблица Г.26 Результаты расчета

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$R_1, \text{ т}$	12.44	12.4407	0.006
$R_2, \text{ т}$	0.893	0.8934	0.045
$R_3, \text{ т}$	5.77	5.7738	0.066
$R_4 = R_5, \text{ т}$	0.00	0.0000	0.000

**Квадратная плита на одностороннем жестком основании**

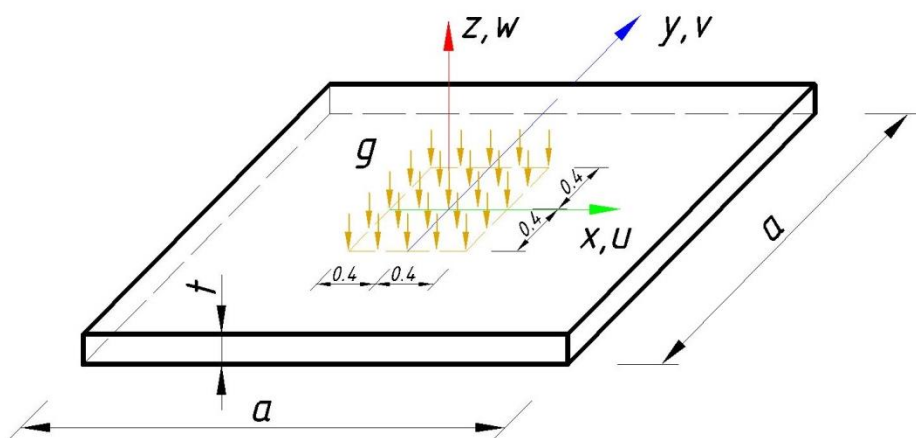


Рис. Г.15

Таблица Г.27

<b>Источник</b>	П. Панагиотопулос. Неравенства в механике и их приложения, Москва: «Мир», 1989, стр. 367
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская плита или ростверк ( Z, UX, UY )
<b>Исходные данные</b>	$a = 3 \text{ м}, t = 0.05 \text{ м}.$
<b>Характеристики материала</b>	$E = 4.5 \times 10^6 \text{ т/м}^2, \mu = 0.2$
<b>Граничные условия</b>	Одностороннее жесткое основание
<b>Нагрузка</b>	В центре плиты по квадрату со стороной 0.8 м приложена нагрузка $g = 50 \text{ т/м}^2$
<b>Описание задачи</b>	В силу симметрии рассчитывается одна четвертая часть конструкции. Система моделировалась плитными конечными элементами (тип КЭ 19). Разбивка: $30 \times 30$ КЭ — классический расчет, $15 \times 15$ КЭ — расчет с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне. Для решения нелинейной задачи организован шаговый итерационный процесс (количество шагов 1, минимальное число итераций 2334)

Таблица Г.28 Результаты расчета

Искомая величина	Численное решение	Результаты расчета ЛИРА 10		Отклонение, %	
		30×30 КЭ	15×15 КЭ	30×30 КЭ	15×15 КЭ
область контакта	квадрат со стороной 0.9 м	квадрат со стороной 0.9 м	квадрат со стороной 0.9 м	0	0

## Г.5 ДИНАМИКА ПЛЮС. ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

## Динамическая задача при импульсном воздействии

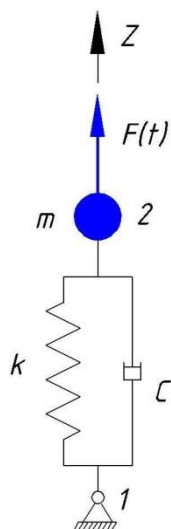


Рис. Г.16. Схема

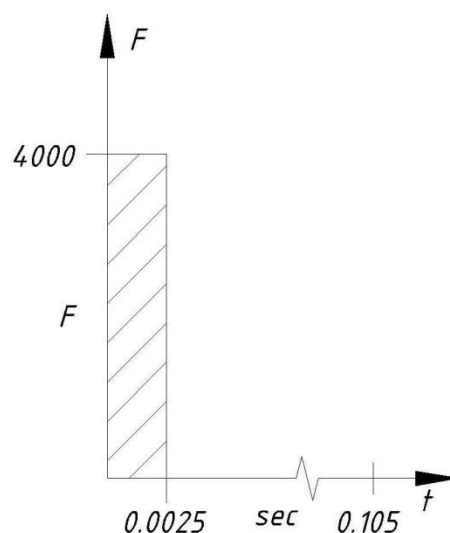


Рис. Г.17. Нагрузка

Таблица Г.29

<b>Источник</b>	W. T. Thomson, Vibration Theory and Applications, 2nd Printing, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1965, pg. 99, article 4.1
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$a = 3 \text{ м}, t = 0.05 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	$k = EA/L = 200 \text{ т/м}, m = 0.5 \text{ т} \cdot \text{с}^2 / \text{м}$
<b>Граничные условия</b>	Точка 1: $u_1 = w_1 = 0$ ; Точка 2: $u_2 = 0$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечным элементом типа КЭ 10. Для решения задачи выполнен расчет динамики во времени (шаг интегрирования $2e - 07 \text{ с}$ )

Таблица Г.30 Результаты расчета

Время	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$T = 0.0025 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0$ )	$w, \text{ м}$	0.024995	0.025	0.02
$T = 0.08 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0$ )	$w_{max}, \text{ м}$	0.999896	0.999888	0.001
$T = 0.1 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0$ )	$w, \text{ м}$	0.91932	0.919315	0.001
$T = 0.1 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0.7$ )	$w, \text{ м}$	0.34180	0.346883	1.49

Динамическая задача при действии гармонической возмущающей силы

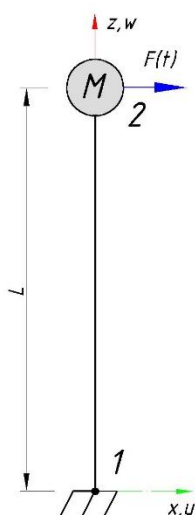


Рис. Г.18. Схема

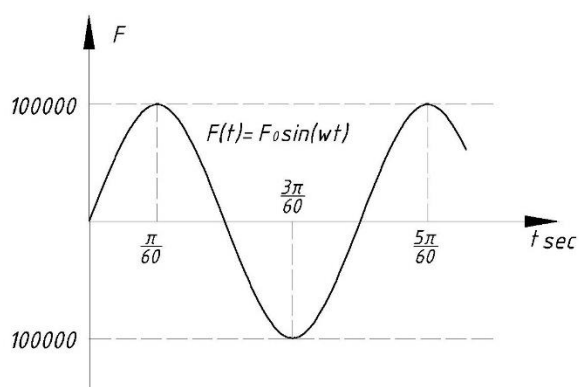


Рис. Г.19. Нагрузка

Таблица Г.31

<b>Источник</b>	Paz, Mario, Structural Dynamics; Theory and Computation, 3rd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991, pp. 84~87, EX. 4-5, 4-6
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$L = 100 \text{ in}$ , $I_y = 1666.667 \text{ in}^4$
<b>Характеристики материала</b>	$E = 2 \times 10^7 \text{ lb/in}^2$ , $M = 100 \text{ lb} \cdot \text{sec}^2 / \text{in}$
<b>Граничные условия</b>	Точка 1: $u_1 = w_1 = \theta_{y1} = 0$ ; Точка 2: $w_2 = 0$
<b>Нагрузка</b>	$F(t) = 100000 \cdot \sin(30t) \text{ lb} \cdot \text{sec}$ , $\omega = 30 \text{ rad/sec}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечным элементом типа КЭ 10. Для решения задачи выполнен расчет динамики во времени (время интегрирования 0.3 sec, шаг интегрирования 0.001 sec)

Таблица Г.32 Результаты расчета

Искомая величина		Аналитическое решение	Результаты расчета ЛИРА 10	Отклонение, %
$t = 0.1 \text{ sec}$	$u, \text{ in}$	1.608	1.6097	0.106
$t = 0.2 \text{ sec}$		- 3.187	- 3.1968	0.307
$t = 0.3 \text{ sec}$		4.742	4.7334	0.18

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### Глава 4

- 4.1. Дарков А.В. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов. — 8-е изд., перераб. и доп. / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. — Москва: Высш. шк., 1986. — 607 с.
- 4.2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ. / Р. Галлагер. — Москва: Мир, 1984. — 428 с.

### Глава 5

- 5.1. Державні будівельні норми України. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. ДБН В.2.1-10:2009. — Київ.: Мінрегіонбуд, 2009.
- 5.2. Е.А. Сорочан. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. — М.: Стройиздат, 1985. — 480 с.
- 5.3. П.Л. Пастернак. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. — М.: Госстройиздат, 1954. — 56 с.
- 5.4. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). — М.: Стройиздат, 1986. — 415 с.
- 5.5. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. СП 50-101-2004. — М.: 2005.
- 5.6. Свод правил. Основания зданий и сооружений. СП 22.13330. — М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011.
- 5.7. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.01-83. — М.: Стройиздат, 1984.
- 5.8. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения под ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова, 1985.
- 5.9. Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980.

### Глава 8

- 8.1. ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary. 2011.
- 8.2. DIN EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. — Brussels: CEN, 2004.
- 8.3. Wood R.H.: The reinforcement of slabs in accordance with a pre-determined field of moments, Concrete, February 1968, August 1968 (correspondence), 319-320
- 8.4. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. ДБН В.2.6-98:2009 / Мінрегіонбуд України. — Київ.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011.
- 8.5. Державні стандарти України. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. Технічні умови. ДСТУ-Н Б.В.2.6-185:2012 / Мінрегіонрозвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України — Київ.: ТОВ НВП "БудКонструкція", 2012.

- 8.6. Державні стандарти України. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 / Мінрегіонбуд України. — Київ.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011.
- 8.7. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат, 1976. — 208 с.
- 8.8. Научно-технический отчет по теме: Разработка методики расчета и конструирования монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, фундаментов плит и ростверков на продавливание. Под ред. Залесова А. С. — М., ГОССТРОЙ России Государственное унитарное предприятие Научно-Исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона ГУП НИИИЖБ, 2002.
- 8.9. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84 / ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР). — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. — 192 с.
- 8.10. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. СП 63-13330 / Министерство регионального развития Российской федерации, — М.: ФАУ «ФЦС», 2012. — 156 с.
- 8.11. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 2.03.01-84 / Госстрой СССР — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. — 80 с.

## Глава 9

- 9.1. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Том. 1. — М.: Машиностроение, 1968. — 831 с.
- 9.2. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Том. 3. — М.: Машиностроение, 1968. — 568 с.
- 9.3. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. — М.: Наука, 1967.
- 9.4. Динник А.Н. Устойчивость упругих систем. — Москва; Ленинград: ОНТИ НКТП СССР, 1935. — 184 с.
- 9.5. ДБН В.1.2-2 2006 Навантаження і впливи.
- 9.6. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.
- 9.7. ДСТУ Б В.1.2-3 2006 Прогини і переміщення.
- 9.8. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\* Стальные конструкции) ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. — 148 с.
- 9.9. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия.
- 9.10. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции. Нормы проектирования.
- 9.11. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная версия СНиП II-23-81\*.
- 9.12. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
- 9.13. СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования.
- 9.14. EN 1993-1-1-2009 Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- 9.15. EN 1993-1-5-2009 Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-5: Plated structural elements.

9.16. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, 1993-1-3, EN 1993-1-8: пер. с англ. / Л. Гарднер, Д.А. Нетеркот; ред. серии Х. Гульванесян; Минобрнауки России, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т»; науч. ред. пер. А.И. Данилов. — М: МГСУ, 2012. — 224 с.

9.17. Руководство по расчёту и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров. — Москва: Стройиздат, 1983. — 200 с.

9.18. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Том 2. — М.: Наука, 1965. — 484 с.

9.19. Лейтес С.Д. Справочник по определению свободных длин элементов стальных конструкций. — Москва, 1963. — 162 с.

9.20. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчёт, проектирование, строительство). — Москва: Стройиздат, 2018.

9.21. Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. и др. Металлические конструкции. В 3 томах. Том. 1. Элементы конструкций. Учебник для строительных вузов. — 3-е изд., стер. Высшая школа, Москва, 2004.

## Глава 10

10.1. Розин Л.А. Задачи теории упругости и численные методы их решения / Л.А. Розин. — Санкт-Петербург: Издательство СПбГТУ, 1998. — 532 с.

10.2. Кошелев А.И. Механика деформируемого твердого тела / А.И. Кошелев, М.А. Нарбут. — Санкт-Петербург: Электронный учебник, 2002. — 286 с.

10.3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. — Москва: Машиностроение, 1975. — 400 с. — (Изд. 2-е, перераб. и доп.).

10.4. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. — Киев: Наукова думка, 1988. — 736 с.

## Глава 14

14.1. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. — 83 с.

14.2. СНиП 2.05.03-84\*. Мосты и трубы // Госстрой России. — Москва: ФГУП ЦПП, 2004. — 239 с.

14.3. EN 1991-2:2003. Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges. — Brussels: CEN, 2003. — 165 p.

14.4. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. — Москва: Стандартинформ, 2008 — 9 с.

14.5. ДБН В.2.3-22-2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. — 52 с.

14.6. ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003). — Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. — 217 с

14.7. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. — Москва: ОАО ЦПП, 2011. — 340 с.

## Главы 18 и 19

- 18.1. Болотин В.В. О вариационных принципах теории упругой устойчивости // Проблемы механики твердого деформируемого тела. — Л.: Судостроение, 1973. — С. 83-88.
- 18.2. Болотин В.В. О понятии устойчивости в строительной механике // Проблемы устойчивости в строительной механике. — М.: Стройиздат, 1965. — С. 6-27.
- 18.3. Быковцев Г.И., Ивлев Д.Д. Теория пластичности. — Владивосток: Дальнаука, 1998. — 528 с.
- 18.4. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. М.: Физматгиз, 1959. — 407 с.
- 18.5. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. — М.: Гостехтеориздат, 1956. — 419 с.
- 18.6. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем. — М.: Физматгиз, 1967. — 984 с.
- 18.7. Ворович И.И. Математические проблемы нелинейной теории пологих оболочек. — М.: Наука, 1989. — 373 с.
- 18.8. Гаевский Х., Грегер К., Захариас К. Нелинейные операторные уравнения и операторные дифференциальные уравнения. — М.: Мир, 1978. — 336 с.
- 18.9. Гловински Р., Лионс Ж.-Л., Трёмольер Р. Численное исследование вариационных неравенств. — М.: Мир, 1979. — 574 с.
- 18.10. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. — М.: Наука, 1973. — 439 с.
- 18.11. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. — М.: Наука, 1976. — 465 с.
- 18.12. Горбовец А.В., Евзеров И.Д. Приближенные схемы для стационарных и нестационарных задач с односторонними ограничениями // Вычислительные технологии. — 2000. Т.5. №6. — С. 33-35.
- 18.13. Городецкий А.С., Евзеров И.Д., Карпиловский В.С. Исследование методов решения систем уравнений нелинейной теории упругости. — Киев, 1981. — 49 с. Деп. УкрНИИИТИ 04.09.81, № 2193.
- 18.14. Гришин А.В., Федорова Е.Ю. Нелинейная динамика ограждающих сооружений. — Одесса: ОНМУ, 2002. — 240 с.
- 18.15. Деклу Ш. Метод конечных элементов. М.: Мир, 1976. — 95 с.
- 18.16. Дюво Г., Лионс Ж.-Л. Неравенства в механике и физике. — М.: Наука, 1980. — 383 с.
- 18.17. Евзеров И.Д. Сходимость МКЭ в случае не принадлежащих энергетическому пространству базисных функций // Вычисления с разреженными матрицами. — Новосибирск: ВЦСО АН СССР. — 1981. — С. 54-61.
- 18.18. Евзеров И.Д. Оценки погрешности по перемещениям при использовании несовместных конечных элементов // Численные методы механики сплошной среды. — Новосибирск: ВЦСО АН СССР. — 1981. — С. 54-61.
- 18.19. Евзеров И.Д. Оценки погрешности полудискретных несовместных аппроксимаций при решении нестационарных задач. — Киев, 1983. — 9 с. — Деп. УкрНИИИТИ 15.09.83, № 2395к-Д83.
- 18.20. Евзеров И.Д. Неконформные конечные элементы в задаче на собственные значения // Численные методы механики сплошной среды. — 1984. Т.15. — №5 — С. 84-90.
- 18.21. Евзеров И.Д., Здоренко В.С. Сходимость прямолинейных конечных элементов при расчете криволинейных стержней // Сопротивление материалов и теория сооружений. — Киев: Будивельник. — 1983. — вып.42. — С. 99-101.



- 18.22. Евзеров И.Д., Здоренко В.С. Сходимость плоских конечных элементов тонкой оболочки // Строительная механика и расчет сооружений. — 1984. — №1. — С. 35-40.
- 18.23. Евзеров И.Д. Неконформные конечные элементы для нелинейных уравнений с монотонными операторами // Численные методы механики сплошной среды. — 1985. — Т.16. — №5. — С. 49-56.
- 18.24. Евзеров И.Д. Аппроксимация по частям в методе конечных элементов // Моделирование в механике. — Новосибирск, 1988. Т.2(19). — №5. — С. 73-83.
- 18.25. Евзеров И.Д. Приближенная схема для задачи о нелинейных колебаниях тонких пластин // Моделирование в механике. — Новосибирск, 1989. Т.3(20). — №2. — С. 54-63.
- 18.26. Евзеров И.Д. Неконформные конечные элементы для гиперболического уравнения с длительной памятью // Дифференциальные уравнения. — 1990. Т.26.— №7. — С. 1272-1274.
- 18.27. Евзеров И.Д. Задачи устойчивости для стержней и пластин // Инженерно-строительный журнал. — 2014. Т. — №. — С. 4-12.
- 18.28. Зенкевич О.К., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. — М.: Мир, 1986. — 318 с.
- 18.29. Ильющин А.А. Механика сплошной среды. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 310 с.
- 18.30. Иосида К. Функциональный анализ. — М.: Мир, 1967. — 624 с.
- 18.31. Канторович Л.В. Функциональный анализ и прикладная математика // УМН. — 1948. Т.3 — С. 89-185.
- 18.32. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. — М.: Наука, 1980. — 742 с.
- 18.33. Карпиловский В.С. Методы конструирования конечных элементов. — Киев, 1980. — 50 с. — Деп. УкрНИИНТИ 23.06.80, № 2153.
- 18.34. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. — М.: Наука, 1969. — 318 с.
- 18.35. Качуровский Р.И. Нелинейные монотонные операторы в банаховых пространствах // — УМН. — 1968. Т.23 — №1. — С. 121-168.
- 18.36. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. — М.: Стройиздат, 1979. — 320 с.
- 18.37. Красносельский М.А. и др. Приближенное решение операторных уравнений. — М.: Наука, 1969. — 455 с.
- 18.38. Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики. — М.: Наука, 1969. — 407 с.
- 18.39. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т.7. Теория упругости. — М.: Наука, 1987. — 246 с.
- 18.40. Лионс Ж.-Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. — М.: Мир, 1972. — 587 с.
- 18.41. Лурье А.И. Теория упругости. — М.: Наука, 1970. — 547 с.
- 18.42. Марчук Г.И., Агошков В.И. Введение в проекционно-сеточные методы. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
- 18.45. Морозов Н.Ф. О нелинейных колебаниях тонких пластин с учетом инерции вращения // ДАН СССР. — 1967. Т.176. — №3. — С. 522–525.
- 18.44. Митчел Э., Уэйт Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. — М.: Мир, 1981. — 216 с.
- 18.45. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. — М.: Наука, 1970. — 412 с.

- 18.46. Михлин С.Г. Вариационно-сеточная аппроксимация // Записки научн. семин. — ЛОМИ. — 1974. Т.48. — С. 32-188.
- 18.47. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. — Л.: ГСИСП, 1962. — 401 с.
- 18.48. Новожилов В.В. Основы нелинейной теории упругости. — М.: Гостехтеориздат, 1948. — 333 с.
- 18.49. Обен Ж.-П. Приближенное решение эллиптических краевых задач. — М.: Мир, 1977. — 383 с.
- 18.50. Оганесян Л.А., Руховец Л.А. Вариационно-разностный метод решения эллиптических уравнений. — Ереван.: Изд-во АрмССР, 1979. — 238 с.
- 18.51. Ортега Дж., Рейнболдт В. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными. — М.: Мир, 1975. — 558 с.
- 18.52. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. — М.: СКАД СОФТ, 2009. — 704 с.
- 18.53. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. — М.: Мир, 1988. — 411 с.
- 18.54. Розин Л.А. Задачи теории упругости и численные методы их решения. — С-Пб.: Изд-во С-ПбГТУ, 1998. — 418 с.
- 18.55. Скрыпник И.В. Нелинейные эллиптические уравнения высшего порядка. — Киев: Наукова думка, 1973. — 217 с.
- 18.56. Сливкер В.И. Строительная механика. Вариационные принципы. — М.: АСВ, 2005. — 708 с.
- 18.57. Соболев С.Л. Некоторые применения функционального анализа в математической физике. — М.: Наука, 1988. — 333 с.
- 18.58. Стрельченко А.И. Внешние аппроксимации в задачах о спектре // Вычисления с разреженными матрицами. — Новосибирск, Изд-во ВЦСОАН СССР. — 1981. — С. 142-149.
- 18.59. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач. — М.: Мир, 1980. — 512 с.
- 18.60. Сьярле Ф., Рабье П. Уравнения Кармана. — М.: Мир, 1983. — 172 с.
- 18.61. Темам Р. Уравнения Навье — Стокса. Теория и численный анализ. — М.: Мир, 1981. — 408 с.
- 18.62. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. — М.: Гостехиздат, 1948. — 460 с.
- 18.63. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. — М.: Недра, 1987. С.168-174
- 18.64. Arnold D.N., Brezzi F. Mixed and nonconforming finite element methods: implementation, postprocessing and error estimates. — “MAN”, ser. RAIRO Anal. Numer. J., 1985, 19, №1, 7-32.
- 18.65. Arnold D.N., Babuska I., Osborn J. Finite element methods: principles for their selection. — Comput. Meth. Appl. Mech., Eng., 1984, 45, №1-3.
- 18.66. Axelrad E.L., Emmerling F.A. ed., Flexible shells: theory and applications. — Berlin: Springer, 1984.
- 18.67. Aziz A. ed., The mathematical foundation of finite element method. — N.Y: Acad. Press, 1973.
- 18.68. Browder F.E. Nonlinear elliptic boundary value problem. — Bull. Amer. Math. Soc., 1963, v. 69, 862-874.
- 18.69. Ciarlet P. Numerical analysis of the finite element method. — Semin. Math. Super., Univ. de Montreal, Canada, 1975.

- 18.70. Ciarlet P., Raviart P. General Lagrange and Hermite interpolation in  $R_n$  with applications to finite element method. — Arch. Ration. Mech., Anal., 1972, 46, №3, 117-179.
- 18.71. Ciarlet P., Paumier J.-C. Une justification des equations de Marquerre von Karman pour les coques peu profondes. — C.R. Acad. Sci., 1985, ser 1., v. 301, №18, 857-860.
- 18.72. Courant R. Variable methods for the solution of problem of equilibrium and vibration. — Bull. Amer. Math. Soc., 1943, №1.
- 18.73. Cea J. Approximation variationnelle des problemes aux limites. — Ann. I inst. Fourier., 1964, 14, 345-444.
- 18.74. Clough R.W., Bathe K.I. Finite element analysis of dynamic response. — The Univ. of Alabama in Huntsville Press, 1972, 153-159.
- 18.75. Destuynder P. A classification of thin shell theories. — Acta appl. math., 1985, 4, №1, 15-63.
- 18.76. Fraeijns de Vebeke B. Variational principles and the patch test. — Int. J. Numer. Eng., 1974, 8, №4, 783-801.
- 18.77. Jonson C. On finite element method for curved shells using flat elements. — in: Numerische Behandlung von Differentialgleichungen, Int. Ser. Numer. Math., Basel-Stuttgart, Birkhauser Verlag, 1975, 147-154.
- 18.78. Janovsky V., Prohazka P. The nonconforming finite element method in the problem of clamped plate with ribs. — Appl. Math., 1976, 21, №4, 273-289.
- 18.79. von Karman T. Festigkeitsprobleme im Mashinenbau. — Encyklopadie der Mathematischen Wissenschaften, Vol IV/4C, pp. 311-385, Leipzig, 1911.
- 18.80. Lesaint P. On the convergence of Wilson nonconforming element for solving the elastic problem. — Comput. Meth. Appl. Mech., Engrg., 1976, 7, №1, 1-16.
- 18.81. Lascaux P., Lesaint P. Some nonconforming finite elements for the plate bending problem. — Rev. Francaise Automat. Inform Recherche Operationelle, Ser. Rouge Anal. Numer. R-1, 1975, 9-53.
- 18.82. Miyoshi T. Convergence of finite element solution, represented by a nonconforming basis. — Kumamoto J. Sci. (Math.), 1972, 9, №1, 11-20.
- 18.83. Nitsche J. Ein Kriterium fur die Quasioptimalitat des Ritzchen Verfahrens. — Numer. Math., 1968, 11, 346-349.
- 18.84. Nitsche J. Convergence of nonconforming methods in: Mathematical aspects of finite element in partial differential equations. — N.-Y.: 1974, 11-54.
- 18.85. Oden J., Reddy J. An introduction to the mathematical theory of finite elements. — N.-Y.: Willey, 1976.
- 18.86. Raviart P. Methode des elements finis. — Cours 1971-72 a l'Univ. de Paris VI, 1972.
- 18.87. Ritz W. Uber eine Methode zur Losung gewissen Variations — Probleme der mathematischen Physik. — J. Reine Angew. Math., 1909, 135, 1-61.
- 18.88. Strang G., Fix G. A Fourier analysis of the finite element method. — Proc. SIME summer school, Italy, 1971.
- 18.89. Ciarlet Ph. Mathematical elasticity. — N.Y.: Elsevier, 1997. — 497 p.
- 18.90. Wilson EL, Ibragimbegovic. Thick shell and solid elements with independent rotation fields. — Int. J. Num. Meth. End. — 1991. — 31. — P. 1393-1414.