

Министерство образования и науки Российской Федерации

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

## Введение в программный комплекс ЛИРА 10.4

*Учебное пособие*

© ООО «ЛИРА софт», 2015

© Оформление. НИУ МГСУ, 2015

ISBN978-5-7264-1094-4

Москва 2015

УДК 624.04  
ББК 38.5  
В24

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.Г. Дмитриев*,  
зав. кафедрой зданий и сооружений на транспорте  
ФГБОУ «Московский государственный университет путей сообщения»;  
кандидат технических наук *Ю.Д. Гераймович*,  
исполнительный директор ООО «ПРАЙМ КАД»;  
кандидат технических наук, доцент *Г.А. Джинчелашвили*,  
профессор кафедры сопротивления материалов НИУ МГСУ

Авторы:

О.А. Ковальчук, А.В. Колесников, Е.М. Русанова, Р.Н. Суворов

В24 **Введение** в программный комплекс ЛИРА 10.4 [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.А. Ковальчук, А.В. Колесников, Е.М. Русанова [и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (10 Мб). — Москва : НИУ МГСУ, 2015. — Режим доступа: <http://lira-soft.com/wiki/manuals/>. — Загл. с тит. экрана.

ISBN 978-5-7264-1093-7 (локальное)  
ISBN 978-5-7264-1094-4 (сетевое)

Содержится серия заданий, поясняющих порядок выполнения расчетов на прочность типовых элементов строительных конструкций с помощью программного комплекса ЛИРА версии 10.4. Задания демонстрируют основные возможности данного комплекса, рациональные приемы моделирования и расчета.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Промышленное и гражданское строительство», а также для студентов бакалавриата направлений подготовки 15.03.03 «Прикладная механика» и 01.03.04 «Прикладная математика». Будет полезно и для инженеров-проектировщиков, аспирантов и научных работников, занимающихся моделированием и расчетом зданий и сооружений и заинтересованных в приобретении профессионального опыта работы в ПК ЛИРА 10.4.

*Учебное электронное издание*

Редактор, корректор *Т.Н. Донина*  
Компьютерная правка, верстка *О.В. Суховой*  
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2007, Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 24.08.2015. И-157. Уч.-изд. л. 15.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»  
(НИУ МГСУ).  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.  
Издательство МИСИ — МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95

## Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
1. НАЧАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ .....	9
2. ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ КОМАНДЫ .....	17
3. ДИАГНОСТИКА ОШИБОК.....	26
4. ПОДГОТОВКА ОТЧЕТА.....	29
5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ .....	35
Задание 1. Расчет консольной балки .....	35
Задание 2. Расчет многопролетной статически определимой балки .....	51
Задание 3. Расчет плоской фермы.....	64
Задание 4. Расчет плоской рамы .....	76
Задание 5. Расчет железобетонной плиты .....	91
Задание 6. Расчет балки-стенки .....	111
Задание 7. Подбор арматуры и конструирование железобетонных элементов .....	119
Задание 8. Конструирование сечений стальных элементов.....	129
6. КУРСОВАЯ РАБОТА. РАСЧЕТ РАМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ .....	139
Библиографический список .....	184

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время расчет строительных конструкций и сооружений можно выполнить с помощью многофункциональных программных комплексов, одним из которых является программный комплекс ЛИРА (ПК ЛИРА).

ПК ЛИРА предназначен для расчета, исследования и проектирования конструкций различного назначения, причем не только в строительстве, но и в машино-, мостостроении, атомной энергетике, нефтедобывающей промышленности и в других областях техники, базирующихся на методах строительной механики.

Первые варианты программных комплексов семейства ЛИРА были разработаны более 50 лет назад. За прошедшее время расчетные возможности комплекса развивались и совершенствовались с целью наиболее полного охвата конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров объектов исследования и расширения перечня функциональных возможностей для пользователей. Процесс развития ПК ЛИРА естественным образом опирался на новые операционные системы и способы графической визуализации. Современным представителем семейства ЛИРА является ПК ЛИРА 10.4.

Спектр функциональных возможностей ПК ЛИРА 10.4 предусматривает:

- выполнение расчетов на прочность исследуемых моделей конструкций с учетом статических, динамических, температурных и деформационных воздействий;
- общий анализ устойчивости;
- проверку прочности по различным теориям пластичности и разрушения;
- автоматизацию ряда этапов проектирования, связанных с заданием расчетных сочетаний усилий, подбором сечений стальных и железобетонных (армируемых) элементов конструкций.

Для выполнения операций, связанных с заданием и корректировкой исходных данных задачи, ПК ЛИРА 10.4 использует встроенные в программу редакторы:

- начальной загрузки;
- расчетной схемы;
- сечений;
- материалов;
- загружений;
- грунта;
- параметров конструирования.

Математическую модель объекта исследования ПК ЛИРА формирует автоматически на основе законов механики сплошной среды. В связи с громоздкостью и сложностью визуального представления решаемой системы уравнений вывод ее аналитического образа на экран монитора не производится, но предусмотрен локальный режим работы с элементами схемы, где можно в формульном виде отобразить процесс анализа предельных состояний.

Получить аналитическое решение уравнений механики, отражающих напряженно-деформированное состояние многочисленных элементов конструкции, практически не реально. Поэтому подобные системы уравнений решаются приближенно с помощью численных методов. С этой целью в ПК ЛИРА 10.4 используется метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях. Соответствующая универсальная программа формирования уравнений состояния и их численного решения имеет развитую систему контроля входной информации и диагностики ошибок, рассчитанную на то, что применяемый пользователем компьютер обладает высокой скоростью выполнения математических операций и значительными объемами оперативной памяти для хранения получаемой информации.

Конструирующие редакторы ПК ЛИРА позволяют проектировать металлические и железобетонные конструкции, могут работать как в режиме проверки прочности стержневых элементов с заданным пользователем форматом сечений, так и в режиме подбора минимально необходимых размеров сечений стальных элементов, а также минимально необходимой площади армирования железобетонных элементов. Для некоторых типов задач в ПК ЛИРА имеется возможность получить полный набор используемых формул, в символьном и числовом изображении, что дает пользователям возможность проверять полученные результаты и сопоставлять их с теоретическими законами механики.

С помощью конструирующих редакторов результаты расчета и подбора оптимальных параметров отображаются в виде деформированных схем, мозаик, изолиний, изополей перемещений и напряжений, эпюр внутренних усилий, как для всей схемы, так и для любого ее фрагмента. Каждое изображение или таблицу результатов можно сохранить в графическом виде в отдельном файле, вывести на печать с помощью принтера или сохранить в разделе «Отчет».

Умение использовать современные программные комплексы является необходимым условием успешной работы специалиста. Чем раньше студент приступит к изучению основных команд ПК, тем эффективнее будет его профессиональная работа в будущем в качестве специалиста.

С помощью данного учебного пособия можно приступать к решению задач с использованием ПК ЛИРА уже на этапе освоения дисциплины

«Соппротивление материалов», «Строительная механика», «Теория упругости», «Техническая механика», «Численные методы» и др., а также при изучении дисциплин «Программные комплексы расчета конструкций» и «Основы автоматизированного проектирования объектов».

ПК ЛИРА применяется не только для численного решения сложных задач, но и для проверки самостоятельных аналитических решений студенческих задач.

Первые демонстрационные задания № 1 и 2 данного пособия посвящены расчету балок. Ознакомившись с ними, читатель обнаружит новые, сравнительно мало затратные и «легкие» способы решения задач дисциплины «Соппротивление материалов».

Задания № 3 и 4 посвящены расчету плоских ферм и рам и относятся к дисциплинам «Соппротивление материалов» и «Строительная механика» соответственно. Результаты компьютерного расчета позволяют быстро выявить возможные ошибки, допущенные в ходе самостоятельного аналитического решения задач.

Задания № 5 и 6, посвященные расчету плит и балок-стенок, являются образцами решения классических задач теории упругости.

В последних заданиях № 7 и 8 даны начальные рекомендации по методике подбора размеров сечения для стальных стержневых элементов, а также подбора площади армирования для железобетонных элементов. Эти сведения необходимы при работе над курсовыми проектами по дисциплинам «Металлические конструкции» и «Железобетонные конструкции».

Задания в пособии достаточно просты и наглядны. Причем для первых пяти заданий несложно самостоятельно получить аналитические решения и по ним протестировать результаты численных решений задач, выдаваемых программой ЛИРА. Используемое число элементов в них не превышает 500, что дает возможность пользователю практически освоить основные этапы расчета даже на основе демонстрационной версии ПК ЛИРА 10.4.

Задания подобраны таким образом, чтобы вооружить начинающего пользователя минимальными начальными теоретическими знаниями и практическими навыками, достаточными для самостоятельного выполнения курсовых и дипломных проектов.

Для облегчения восприятия и простоты усвоения практических навыков работы с ПК ЛИРА порядок выполнения каждого задания излагается в единой, логически обоснованной последовательности.

Основными этапами решения задачи расчета сооружения являются:

- 1) создание задачи;
- 2) создание геометрической расчетной схемы;
- 3) задание граничных условий;
- 4) задание сечений;

- 5) задание материала;
- 6) задание параметров конструирования;
- 7) назначение сечений, материалов и параметров конструирования элементам расчетной схемы;
- 8) формирование загружений;
- 9) назначение нагрузок;
- 10) статический расчет конструкции;
- 11) просмотр и анализ результатов расчета;
- 12) дополнительный расчет и анализ результатов армирования или проверка и оптимизация геометрических параметров сечений стальных элементов конструкции.

В инструкциях данного пособия, сопровождающих описание этапов расчета, **жирным шрифтом** выделены используемые пункты главного меню, в скобках даны изображения кнопок-иконок на панели инструментов. Дополнительные комментарии представлены *курсивом*.

# 1. НАЧАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

## 1.1. Основные элементы пользовательского интерфейса

Рабочие области экрана монитора, дополненные словесными описаниями их назначения, показаны на рис. 1.

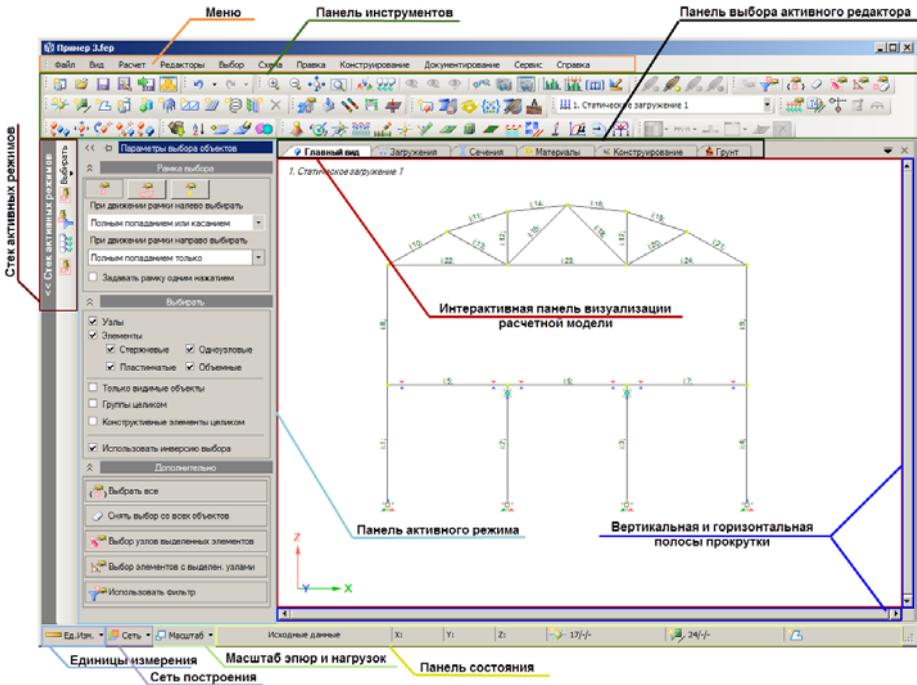


Рис. 1. Интерфейс ПК ЛИРА

Интерфейс состоит из нескольких основных и вспомогательных элементов.

### Основные элементы интерфейса:

**1.1.1. Интерактивная панель визуализации расчетной модели.** В данном окне происходит построение расчетной модели, ее корректировка и анализ. В данной области пользователь может настроить визуализацию модели при помощи атрибутов рисования (флагов рисования).

**1.1.2.** Панель инструментов. Традиционное для всех версий ПК ЛИРА представление функций для работы с моделью. Данная панель имеет другие элементы при работе с результатами расчетов. Панель инструментов можно настраивать и переносить настройки на другой компьютер.

**1.1.3.** Меню. Данный элемент интерфейса для удобства в большинстве функций дублирует Панель инструментов. В Меню также входят Справка и Настройка среды.

**1.1.4.** Панель активного режима. В данном окне будут отображаться возможности выбранного вами элемента моделирования с помощью Меню или Панели инструментов.

#### **Вспомогательные элементы интерфейса:**

**1.1.5.** Панель выбора активного редактора. В процессе моделирования приходится часто переключаться между редакторами сечений, нагрузок и главным меню. Вкладки позволят сократить время перехода между разными активными редакторами.

**1.1.6.** Стек активных режимов. При работе со схемой используется большое количество элементов моделирования — будь то копирование, создание новых элементов или задание нагрузок. Стек активных режимов запоминает не только последовательность действий, но и параметры настройки каждого из элементов моделирования. Всегда можно вернуться на любой этап последовательности действий.

**1.1.7.** Вертикальная и горизонтальная полосы прокрутки. Данная опция необходима для оперативной навигации по схеме.

**1.1.8.** Сеть построения. Начиная с версии 10.0, в ПК ЛИРА появилась сеть построения, которая никак не привязана к сети конечных элементов и узлам и которая позволяет осуществлять привязку при моделировании.

**1.1.9.** Единицы измерения. На любом этапе моделирования можно изменить единицы измерения как для нагрузок, так и для геометрии, жесткостей, результатов расчета.

**1.1.10.** Панель состояния. Данная панель носит информативный характер: показывает число элементов и узлов в схеме, число выделенных узлов и элементов. При наведении мышкой на узел на панели состояния можно посмотреть координату узла.

## **1.2. Единицы измерения**

Базовыми единицами, используемыми по умолчанию, являются: для геометрических размеров конструкции — метры, для геометрических размеров сечения — сантиметры, для нагрузки — тонны силы, для температуры — градусы Цельсия.

Чтобы изменить базовые единицы измерения ряда величин, используемых пользователем в расчете, надо навести курсор на изображение **Единицы измерения**  Ед.Изм. ▾, находящееся в левом нижнем углу экрана, и щелкнуть по левой кнопке мышки. После этого на экране появится диалоговое окно с раскрывающимся списком из трех закладок — названий системы единиц: **Пользовательская**, **СИ** и **Английская** (рис. 2).

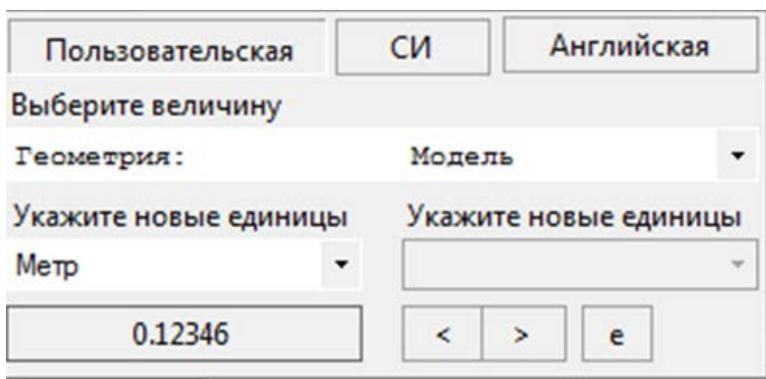


Рис. 2. Корректировка единиц измерения

Если выбрать закладку **СИ**, то на экране значения всех линейных размеров элементов конструкции или поперечных сечений будут представлены в метрах, а все нагрузки в ньютонах. Такой вариант выбора единиц измерения в ряде случаев может оказаться неудобным для пользователя. Изменять единицы измерения можно только через вход в закладку **Пользовательская** система единиц.

Выбрав закладку **Пользовательская**, надо раскрыть список с названием **Выберите величину** и выделить тот параметр, единицы измерения которого нужно изменить.

Внизу диалогового окна имеется раскрывающийся список с названием **Укажите новые единицы**, в котором можно указать новые единицы измерения данного параметра.

Нижняя строчка диалогового окна служит для изменения формы представления числового значения изменяемого параметра. При помощи символов < или > можно изменять видимое число знаков после запятой.

Нажав на кнопку , можно получить экспоненциальную форму записи числа (рис. 3).

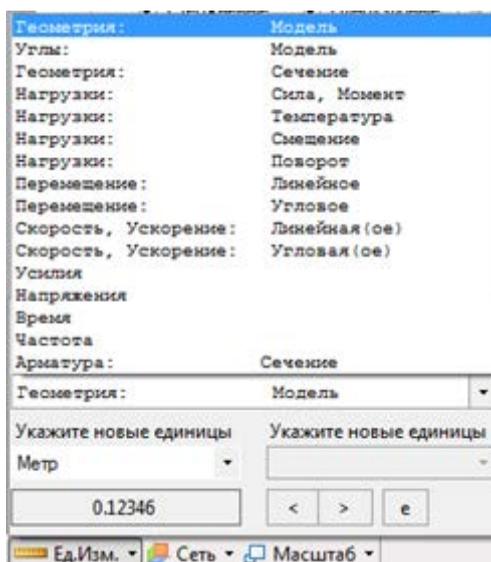


Рис. 3. Все изменяемые единицы измерения

С точки зрения современных стандартов представления технических величин желательно изменить единицы измерения для нагрузок с **тонн** на **килоньютоны**.

### 1.3. Сеть построения

В левом нижнем углу экрана находится раскрывающийся список **Сеть**, раскрыв который, можно увидеть, что сеть может быть прямоугольной и полярной. Можно выбрать плоскость построения, шаг, количество и угол сети. Чаще всего приходится изменять количество ячеек сети и плоскость построения (рис. 4).

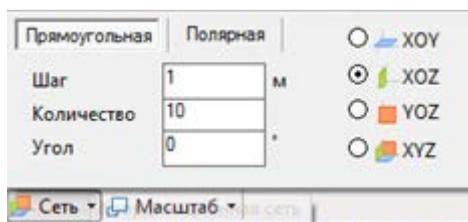


Рис. 4. Настройка сети построения

## 1.4. Масштаб изображения

Для последних версий ПК ЛИРА 10.x, кроме **Единиц измерения** и **Сети**, в левом нижнем углу находится раскрывающийся список **Масштаб** (рис. 5).

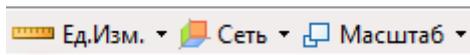
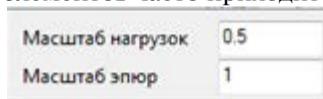


Рис. 5. Сгруппированные элементы управления

Раскрыв этот список, видим, что изменять можно **Масштаб нагрузок** и **Масштаб эпюр**. В задачах с малым количеством элементов часто приходит-

ся устанавливать **Масштаб нагрузок** равным 0.5:



В ПК ЛИРА 10.x имеется возможность увеличивать или уменьшать изображение расчетных схем на экране компьютера. Для этого надо вызвать пункт меню **Вид ► Увеличить в окне** (рис. 6).

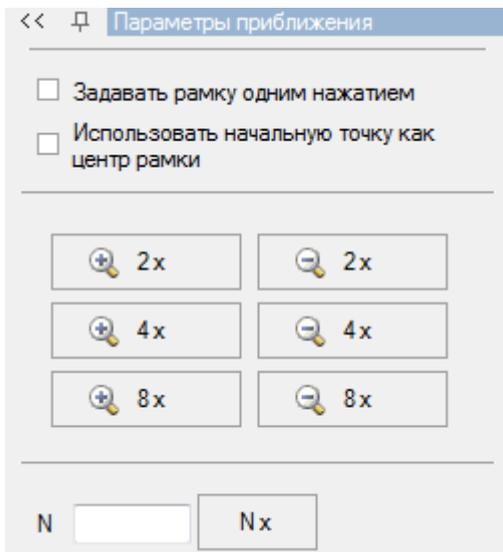


Рис. 6. Пункт меню Увеличить в окне

При незначительных изменениях масштаба конструкции можно использовать другие ветви меню **Вид: Увеличить панораму, Уменьшить панораму** или просто вращать колесико мышки.

Если изображение конструкции существенно больше экрана компьютера или его трудно отыскать с помощью полос прокрутки, можно воспользоваться пунктом меню **Вид ► Вписать в окно**.

## 1.5. Справочная система

При возникающих затруднениях пользователь может активизировать кнопку меню **Справка**. В меню **Справка** содержатся следующие операции: **Справочная система** (кнопка **F1** на клавиатуре компьютера), **Обучающие примеры** и **О программе**.

**Справочная система** — вызов всей справочной системы ПК ЛИРА 10.0. Синим цветом выделена та команда, которая присутствует на панели активного режима.

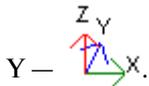
**Обучающие примеры** — вызов учебного пособия по ПК ЛИРА 10.4, содержащего примеры решения задач.

**О программе** — вызов полного названия программного комплекса и напоминание об авторских правах разработчиков.

Имеется возможность получать справочную информацию по активному режиму, нажав на кнопку **F1** клавиатуры компьютера.

## 1.6. Системы координат

ПК ЛИРА предполагает задание расчетной схемы конструкции в *глобальной декартовой* системе координат, которая изображена в левом нижнем углу экрана. Обратите внимание, что вверх направлена ось  $Z$ , а не ось



Глобальная система координат  $XYZ$  — всегда правая декартова — служит для описания координат узлов всей схемы, для определения направления степеней свободы, идентификации перемещений узлов. Расчетная схема располагается всегда в этой системе координат.

Каждый *конечный элемент* (КЭ) имеет свою местную (локальную) систему координат —  $X_1, Y_1, Z_1$  (рис. 7).

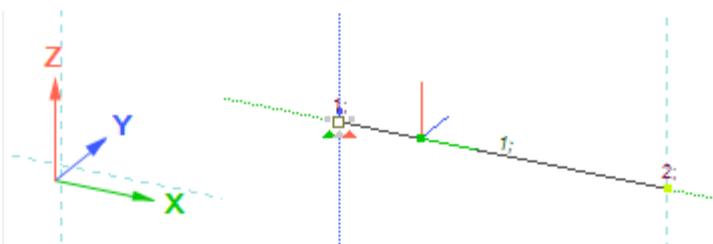


Рис. 7. Локальная система координат

Местная система координат  $X_1Y_1Z_1$  — всегда правая декартова — является атрибутом каждого конечного элемента. Общее правило ориентации местной системы координат для элементов с двумя и более узлами: ось  $X_1$  направлена от первого узла ко второму. Эта система координат необходима для задания ориентации местной нагрузки, направлений главных осей инерции сечения, усилий и напряжений, возникающих в элементе.

Для стержневых КЭ местная система координат имеет следующую ориентацию: ось  $X_1$  направлена от начала стержня (первый узел) к концу (второй узел). Оси  $Y_1$  и  $Z_1$  — это главные центральные оси инерции поперечного сечения стержня. При этом ось  $Z_1$  направлена всегда в верхнее полупространство, а ось  $Y_1$  параллельна плоскости  $XOY$ .

## 1.7. Признак схемы

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 10.4 задействованы семь признаков схемы:

признак 1 — схемы, располагаемые в плоскости  $XOZ$ ; каждый узел имеет 2 степени свободы — линейные перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Z$ . В этом признаке рассчитываются плоские фермы и балки-стенки;

признак 2 — 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 рассчитываются плоские рамы и допускается включение элементов ферм и балок-стенок;

признак 3 — 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 рассчитываются балочные ростверки и плиты, допускается учет упругого основания;

признак 4 — пространственные схемы, каждый узел которых имеет 3 степени свободы — линейные перемещения вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . В этом признаке рассчитываются пространственные фермы и объемные тела;

признак 5 — пространственные схемы общего вида с 6 степенями свободы в узле. В этом признаке рассчитываются пространственные каркасы, оболочки и допускается включение объемных тел, учет упругого основания и т.п.;

признак 7 — пространственные схемы общего вида с 7 степенями свободы в узле. В этом признаке схемы рассчитываются пространственные каркасы с использованием тонкостенного стержня, оболочки и допускается включение объемных тел, учет упругого основания и т.п.

## 1.8. Правила знаков

Статистические воздействия задаются в виде сосредоточенных сил и моментов как на узлы схемы (узловая нагрузка) по направлениям осей глобальной и локальной систем координат, так и на элементы (местная нагрузка) по направлениям местной или глобальной систем координат. Допускается произвольная кусочно-линейная нагрузка между узлами расчетной схемы, а также нагрузка-штамп по произвольному плоскому контуру, соединяющему узлы расчетной схемы. Силовые нагрузки считаются положительными, если они действуют против соответствующих осей.

Моментные нагрузки считаются положительными, когда они действуют по часовой стрелке, если смотреть с конца соответствующей оси.

Заданные смещения считаются положительными, если они направлены вдоль соответствующих осей.

Заданные повороты считаются положительными, когда они действуют против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

Вызвав пункт меню **Результаты ► Сформировать отчет** (кнопка  на панели инструментов), можно увидеть фрагменты текста, в которых представлены правила знаков для стержней, пластин, балок стенок и оболочечных элементов.

## 2. ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ КОМАНДЫ

### 2.1. Использование шаблонов при создании расчетных схем

Расчетные схемы можно создавать, добавляя узлы и конечные элементы, но гораздо удобнее пользоваться готовыми шаблонами. Например, создадим пространственную раму с помощью пункта меню **Схема ► Добавить пространственную раму** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 8).

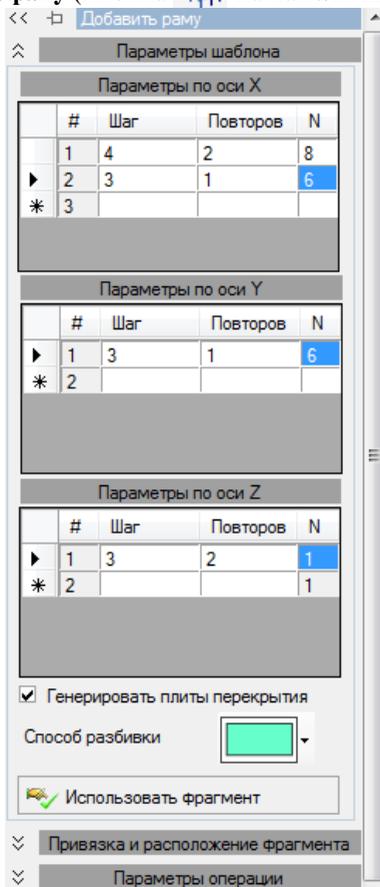


Рис. 8. Пункт меню Добавить пространственную раму

На панели активного режима **Добавить раму** в параметрах шаблона надо заполнить 3 таблицы: параметры по оси X, Y и Z.

В первом столбце таблиц указывается **Шаг разбивки** — длина фрагмента шаблона вдоль соответствующей оси X, Y или Z (в текущих единицах измерения). Для нашей расчетной схемы это расстояние между колоннами вдоль осей X и Y, а также высота этажа.

Во втором столбце таблиц указывается число **Повторов** фрагмента, например число этажей.

В третьем столбце показано число конечных элементов  $N$  в фрагменте. Длины КЭ не должны существенно отличаться друг от друга. Шаблон не допускает разбивки шага вдоль оси Z. При необходимости добавление узлов можно произвести позднее.

Если установлен флажок **Генерировать плиты перекрытия**, то происходит автоматическое формирование плит перекрытия с учетом имеющихся узлов.

Можно выбрать **Способ разбивки** на конечные элементы.

Для ввода данных необходимо нажать кнопку **Использовать фрагмент**. С помощью курсора мыши необходимо созданный **фрагмент добавить к расчетной схеме**. Для этого курсор мыши надо подвести к пересечению жирных точечных линий на сети построений (это точка  $(0;0;0)$  глобальной системы координат) и при возникновении значка  $\blacktriangle$  подтвердить щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы. Если оказалось, что вставляемая расчетная схема неверна, можно не щелкать мышкой, а вернуться к исправлению параметров шаблона. Если после вставки расчетной схемы обнаружена ошибка, можно вернуть последнее действие при помощи пиктограммы  , расположенной на панели инструментов.

Ниже представлена расчетная схема, полученная с помощью шаблона (рис. 9).

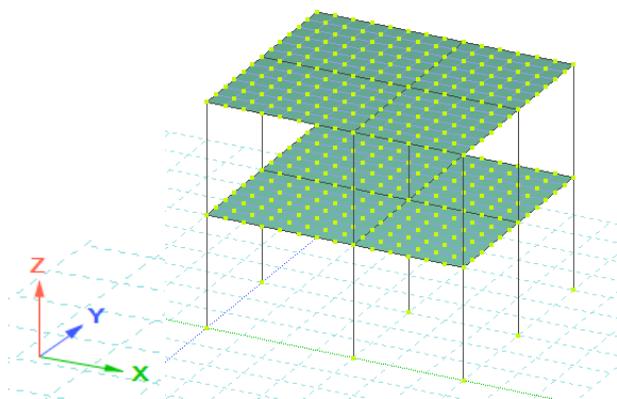
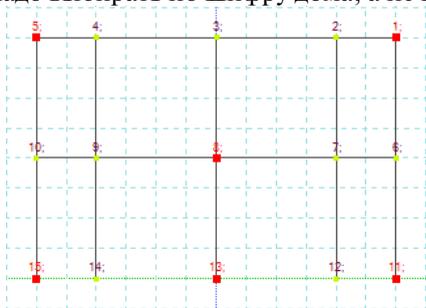


Рис. 9. Расчетная схема

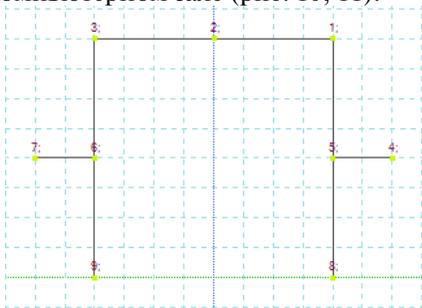
При указании курсором на узел сети внизу экрана на **Панели Состояния** изображаются координаты этой точки. Внизу рабочей области ПК ЛИРА показано число узлов и число элементов расчетной схемы.



Созданные по шаблону расчетные схемы надо корректировать, удаляя или добавляя узлы и элементы. Расчетные схемы из контрольных заданий надо выбирать по шифру дома, а не в компьютерном зале (рис. 10, 11).



**Рис. 10.** Схема, полученная по шаблону (удаляемые узлы выделены красным цветом)



**Рис. 11.** Реальная расчетная схема

## 2.2. Выбор объектов

В каждой задаче для задания связей, приложения нагрузки или назначения сечений, материалов и параметров конструирования необходимо выделять соответствующие узлы или элементы.

Панель активного режима **Параметры выбора объектов** вызывается с помощью пункта меню **Выбор ► Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов).

По умолчанию, отметка объектов выполняется растягиванием вокруг нужного узла или элемента резинового окна в виде прямоугольной рамки.

При движении рамки **налево**  элементы и узлы выделяются **полным попаданием** либо **касанием** курсора выделяемого объекта, а при движении рамки **направо**  — только **полным попаданием**.

Панель активного режима **Параметры выбора объектов** можно вызывать одновременным нажатием клавиш **Ctrl + Shift**. Преимущество этого способа отметки объектов заключается в том, что после выделения объекта, отпуская клавиши, панель активного режима предыдущей команды не пропадает, а использование пункта меню **Выбор ► Выбрать объекты** приводит к смене панели активного режима.

При необходимости выбора всех узлов и элементов можно воспользоваться командой **Выбор ► Выбрать все узлы и элементы** или одновременным нажатием клавиш **Ctrl + A**.

Выделенные объекты окрашиваются в красный цвет.

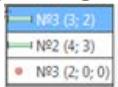
### 2.3. Получение информации об узле или элементе

Опция **Информация об узле или элементе** часто используется при решении задач. Она просто необходима при поиске ошибок, возникающих при задании исходных данных. При помощи этой команды можно легко корректировать расчетную схему.

Свойства узла	
▲ 1. Общие	
Номер	3
Выбран	Нет
Нагрузки	Есть
Связи	Z
▲ 2. Координаты	
X [м]	2
Y [м]	0
Z [м]	0
▲ 3. Абсолютно твердые тела	
Группа АТТ	нет
▲ 4. Объединения перемещения	
Группа ОП	Нет
▲ 5. Локальная система координат	
Тип	Координаты
По оси X2 [м]	0
По оси Y2 [м]	0
По оси Z2 [м]	0
Угол $\beta$ [°]	0
<b>Номер</b> Номер узла в схеме	
Применить изменения	
Выбирать	

Рис. 12. Свойства узла

Для вызова панели активного режима **Свойства элемента** или **Свойства узла** сначала надо выбрать пункт меню **Вид ► Информация об узле или элементе** (кнопка  на панели инструментов). Далее навести курсор на интересующий узел или элемент и щелкнуть левой клавишей мыши. При получении информации об узле, после наведения на него курсора, вокруг узла появляется красная рамка . После щелчка мышью может появиться

диалоговое окно , позволяющее выбрать узел  №3 (2; 0; 0) или элемент  №2 (4; 3).

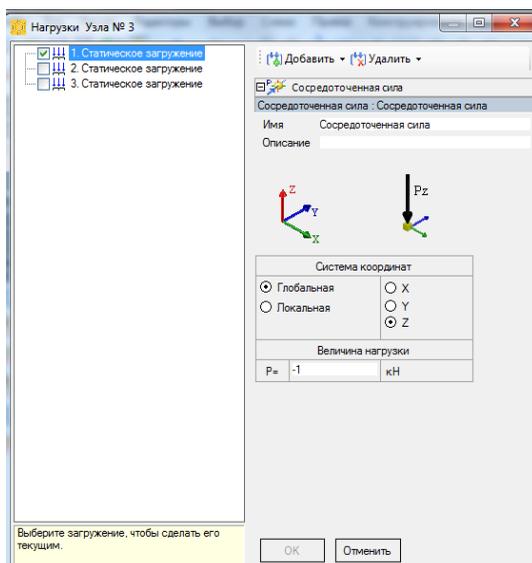
Панель активного режима **Свойства узла** включает в себя следующие вкладки (рис. 12).

Если вкладка не раскрыта, то слева от надписи имеется значок в виде контурного треугольника . Щелкнув по нему, можно увидеть содержимое вкладки, а сам значок приобретает вид заштрихованного треугольника .

Далее рассмотрим некоторые вкладки панели активного режима **Свойства узла**:

### 2.3.1. Вкладки **Общие** (общие свойства узла):

- **Номер** (указывается номер выбранного узла в схеме);
- **Выбран** (Нет — узел не выбран на схеме; Да — узел выбран на схеме);



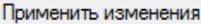
**Рис. 13.** Анализ и изменение нагрузок через свойства узла

- **Нагрузки** (при существовании в узле нагрузок в строке появится надпись **Есть**). Чтобы получить информацию о нагрузках, нужно щелкнуть курсором по кнопке **Нагрузки**. Справа появится пиктограмма . Далее нажать на кнопку , появится диалоговое окно **Нагрузки Узла № 3** (рис. 13).

В диалоговом окне **Нагрузки Узла** необходимо выбрать текущее загрузение путем установки флажка в поле слева. В правой стороне диалогового окна отображаются все нагрузки, приложенные к узлу.

При помощи нажатия на раскрывающееся окно необходимой нагрузки можно получить информацию: **Имя**, **Описание**, **Система координат**, **Величина нагрузки**.

Добавление/удаление нагрузки производится с помощью кнопки **Добавить/Удалить**.

Можно изменить направление и величину нагрузки, нажав на кнопку **ОК** в диалоговом окне **Нагрузки Узла**. После возвращения на панель активного режима **Свойства узла** надо выбрать команду **Применить изменения** . **Связи** — буквенное отображение закреплений вдоль/вокруг осей.

**2.3.2. Координаты** (координаты узла) — в соответствующих полях выводятся значения координат относительно глобальной системы координат. Можно изменить значения координат, т.е. переместить узел.

Записи **Абсолютные жесткие тела**, **Объединения перемещения** и **Локальная система координат** в данном пособии не рассматриваются.

**2.3.3. Результаты** (результаты по узлам). Изменять параметры вкладок можно только в режиме **Исходные данные**. Если расчет произведен, то панель активного режима **Свойства узла** включает в себя вкладку **Результаты** (рис. 14).

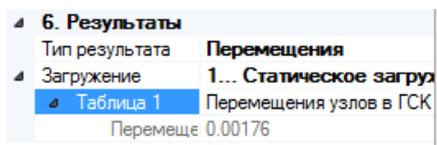


Рис. 14. Свойства узла: результаты

Чтобы увидеть результаты для выбранного узла, следует:

- раскрыть вкладку **Результаты** и выбрать **Тип результата** (например — перемещения);
- щелкнуть по кнопке **Загружение** и выбрать **Номер загрузки**;
- раскрыть вкладку **Загружение** и выбрать нужную **таблицу** (например, таблицу перемещений);

- раскрыть выбранную **таблицу**. В ней указываются имеющиеся **перемещения** узла вдоль осей X, Y и Z.

Рассмотрим теперь свойства элементов. Раскрывающаяся панель **Свойства элемента** показана на рис. 15.

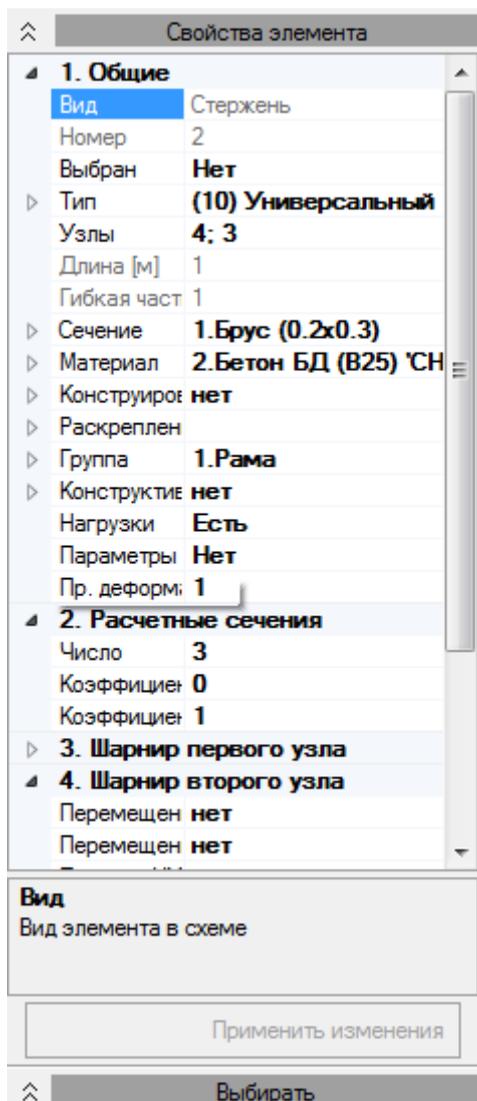


Рис. 15. Свойства элемента

### 2.3.4. Вкладка **Общие** содержит следующие элементы:

- **Вид** (вид элемента в схеме);
- **Номер** (номер элемента в схеме);
- **Выбран** (Нет — элемент в схеме не выбран; Да — элемент в схеме выбран);
- **Тип КЭ** (тип конечного элемента);
- **Узлы** (номера узлов элемента);
- **Длина** (для стержней);
- **Гибкая часть** (длина гибкой части стержня);
- **Площадь** (для пластин и объемных КЭ);
- **Сечение** (сечение элемента);
- **Материал** (материал элемента);
- **Конструирование** (дополнительные к сечениям и материалам свойства элемента);
- **Раскрепление** (раскрепление для прогибов задается по направлениям для первого и второго узлов);
- **Группа** (группа, в которую входит элемент);

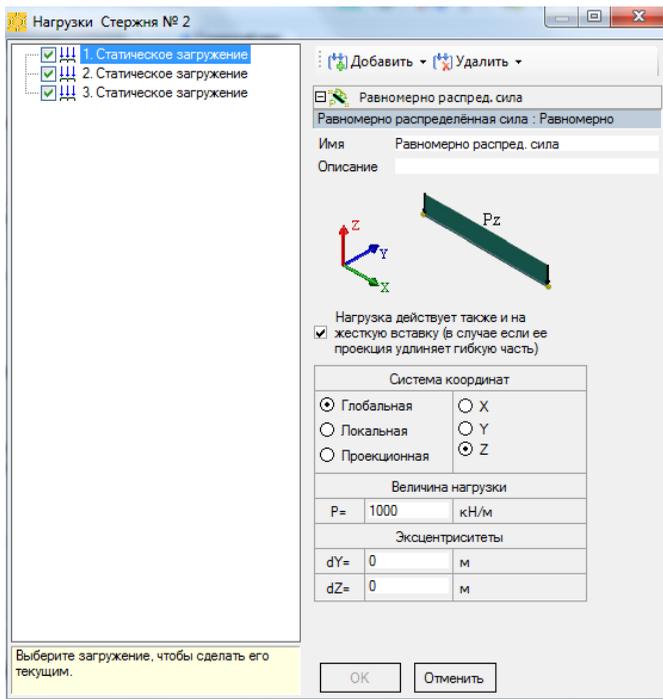


Рис. 16. Вкладка Нагрузки

- **Конструктивная группа** (конструктивная группа, в которую входит элемент);
- **Нагрузки** (нагрузки, которые заданы на элемент). Просмотр нагрузок для элементов осуществляется так же как и для узлов (рис. 16).

В диалоговом окне **Нагрузки** необходимо выбрать текущее загрузение путем установки флажка в поле слева. В правой стороне диалогового окна отображаются все нагрузки, приложенные к элементу. При помощи нажатия на раскрывающееся окно необходимой нагрузки можно получить информацию: **Имя, Описание, Система координат, Величина нагрузки**.

Добавление/удаление нагрузки производится с помощью кнопки **Добавить/Удалить**;

- **Параметры** расчета устойчивости при помощи раскрывающегося окна выбираем: Да — элемент игнорируется при расчете; Нет — элемент учитывается при расчете.

### 2.3.5. Расчетные сечения:

- Число (число расчетных сечений для стержней);
- Коэффициент нач. (начальный коэффициент для расчета переменного сечения стержня);
- Коэффициент кон. (конечный коэффициент для расчета переменного сечения стержня).

**2.3.6. Шарнир первого узла** (задаются возможные направления перемещений и поворотов шарнира первого узла вдоль осей X, Y, Z, для стержней).

**2.3.7. Шарнир второго узла** (задаются возможные направления перемещений и поворотов шарнира второго узла вдоль осей X, Y, Z, для стержней).

**2.3.8.** Если расчет произведен, то панель активного режима **Свойства элемента** включает в себя вкладку **Результаты**. Просмотр результатов элемента осуществляется по той же схеме, что и просмотр результатов узла (рис. 17).

<b>8. Результаты</b>	
Тип результата	<b>Перемещения</b>
▲ Загрузка	<b>1... Статическое загрузение</b>
▲ Таблица 1	Усилия в стержневых элементах
HC	1
M <sub>y</sub> [кН*м]	-0.5
Q <sub>z</sub> [кН]	1

Рис. 17. Свойства элемента: результаты

Опция **Информация об узле или элементе** имеет много других вкладок, которые не только носят информативный характер, но позволяют изменять расчетную схему. Более подробная информация содержится в [14].

### 3. ДИАГНОСТИКА ОШИБОК

В процессе моделирования и расчета зданий и сооружений могут возникнуть ошибки, связанные с нарушением последовательности действий или задания некорректных исходных данных. В ПК ЛИРА 10.4 предусмотрена система уведомления о возникновении ошибок с помощью **протокола расчета**. Например, вы не задали некоторым элементам сечение и запускаете на расчет вашу конструкцию, при этом ПК ЛИРА 10.4 выдаст следующее сообщение (рис. 18).

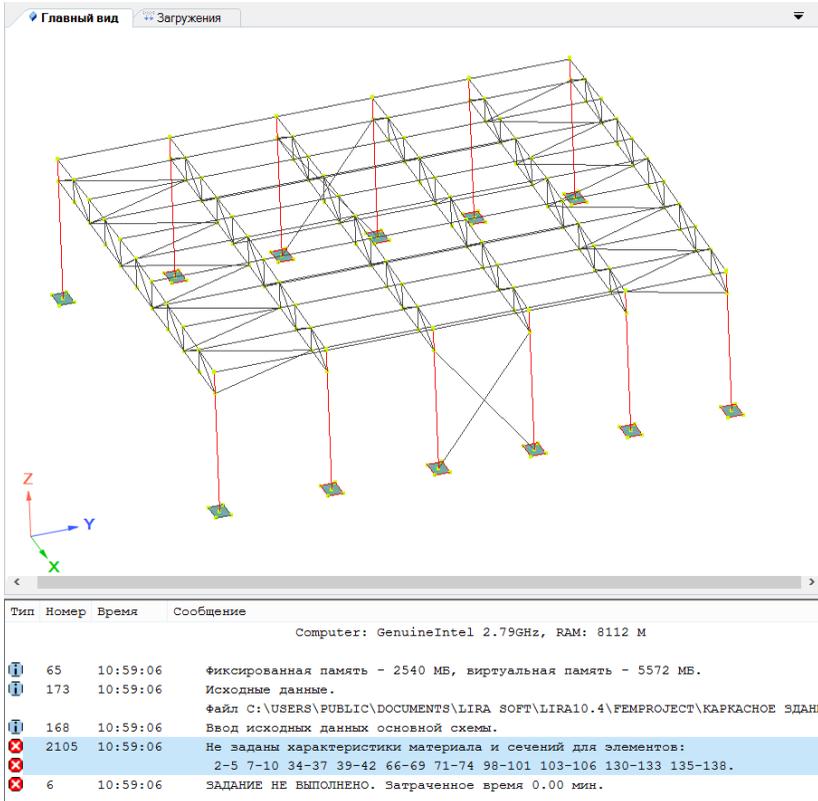


Рис. 18. Интерактивный протокол расчета

При этом можно автоматически выделить указанные элементы для устранения ошибки. Для этого нужно 2 раза нажать левой кнопкой мыши на список номеров некорректных элементов (рис. 18).

Ниже представлена сводная таблица (табл. 1) основных ошибок, возникающих при расчете.

Таблица 1

Сводная таблица типовых ошибок

№	Причина поиска	Ваши действия	Причина
1	Программа не выдает ошибки при расчете, но отсутствуют результаты расчета	Проверить: Файл ► Параметры проекта	Задан другой тип конструкции
2	Программа не производит расчет. «Геометрически изменяемая система». «Задание не выполнено»	Проверить связи в узлах: Вид ► Информация об узле или элементе (кнопка  )	Недостаточное количество связей
3	Программа не производит расчет. «Не указаны параметры сечения для элементов 1—4» «Задание не выполнено»	Конструирование ► Назначить сечение и материал	Сечение и материал выбраны, но не назначены
4	Программа не производит расчет. «Не заданы характеристики материала и сечений для элементов 5—8». «Задание не выполнено»	Правка ► Упаковать модель (кнопка  ) . Упаковка схемы проводится для сшивки совпадающих узлов и элементов	При создании расчетной схемы после нажатия кнопки Использовать фрагмент  2 раза щелкнуть по экрану и добавить 2 расчетные схемы
5	Программа не производит расчет. «Не заданы характеристики материала и сечений для элементов 5—8». «Задание не выполнено»	Правка ► Упаковать модель (кнопка  ) . Упаковка схемы проводится для сшивки совпадающих узлов и элементов	При создании расчетной схемы после нажатия кнопки Использовать фрагмент  2 раза щелкнуть по экрану в одной точке и добавить 2 расчетные схемы
6	В «Результатах расчета» при просмотре деформированной схемы нет перемещений узлов. Все узлы синие	Проверить связи в узлах: Вид ► Информация об узле или элементе (кнопка  )	Запрещены все перемещения узлов
7	На панели после нажатия на кнопку Назначить появляется надпись Ошибка при заполнении данных	Дробная часть числа отделяется от целой при помощи точки, а не запятой. Надо исправить запятую на точку при назначении нагрузок	Неправильно введено число

№	Причина поиска	Ваши действия	Причина
8	Программа не выдает ошибки при расчете, но отсутствуют результаты расчета	Дробная часть числа отделяется от целой при помощи точки, а не запятой. Надо исправить запятую на точку при задании сечения	Неправильно введено число
9	При построении расчетной схемы не используются параметры шаблона вдоль какой-либо оси	Дробная часть числа отделяется от целой при помощи точки, а не запятой. Надо исправить запятую на точку при задании параметров шаблона	Неправильно введено число
10	Нет реакции программы на команду Назначить или Закрепить	Выделить узел или элемент. Выбор ► Выбрать объекты (кнопка  или Ctrl + Shift)	Неизвестно, к какому узлу или элементу относится команда
11	Результат аналитического расчета не совпадает с результатом, полученным по ПК ЛИРА	Проверить задание исходных данных. Проверить нагрузки, связи, координаты, номера сечений, материалов и конструирования: Вид ► Информация об узле или элементе (кнопка  ) или Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка  ). Если имеется РСУ, проверить коэффициенты приведения к расчетным и нормативным нагрузкам	Ошибка во вводе исходных данных
12	Неверный масштаб изображения нагрузок на схеме	Опции ► Масштаб нагрузок	—
13	Изображение расчетной схемы пропало с экрана компьютера	Вид ► Вписать в окно	Слишком большой масштаб изображения расчетной схемы

## 4. ПОДГОТОВКА ОТЧЕТА

### 4.1. Система документирования

Система документирования помогает пользователю выполнить сквозное документирование всех этапов расчета. Она создана как для анализа результатов расчета, так и для генерирования отчета.

**4.1.1. Вызов панели активного режима *Изображение с экрана*.** Выбрать пункт меню *Документирование* ► *Изображение с экрана* (кнопка  на панели инструментов).

**4.1.2. Задание предварительных параметров изображения.** На панели активного режима *Изображение с экрана* во вкладке *Основные* задать:

- в выпадающем списке *Масштаб* коэффициент масштабирования изображения 0.25, 0.5, 1, 2, 3 или задать его вручную от 0.1 до 10. Вместо этого можно масштабировать расчетную схему с помощью пункта меню *Вид* ► *Увеличить в окне*, а в списке *Масштаб* брать коэффициент масштабирования равным единице.
- куда будет направлено изображение: в графический файл; буфер обмена; в принтер.
- тип файла, в котором будет выполнено сохранение проекта: *Png; Bmp; Jpeg; Gif; .Tiff*.

С помощью полос прокрутки расположить расчетную схему в середине экрана, так как при документировании происходит копирование экрана.

**4.1.3. Копирование текущего изображения с экрана.** На панели активного режима *Изображение с экрана* во вкладке *Основные* нажать на кнопку .

Во вкладке *Основные* отображается список фотографий (рис. 19).

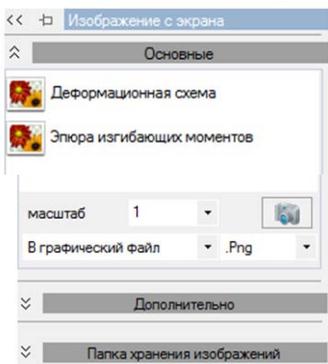


Рис. 19. Список фотографий (изображений с экрана)

Если щелкнуть по фотографии правой кнопкой мыши, будет видно контекстное меню (рис. 20).

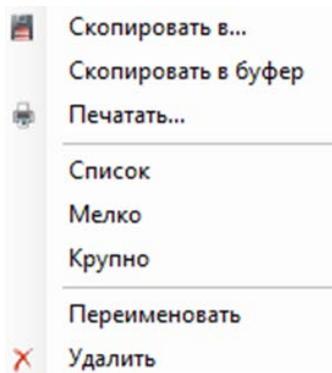


Рис. 20. Действия над фотографиями

Выбрав команду **Переименовать**, можно дать то название рисунку, которое он будет иметь в отчете.

Щелкнув два раза левой кнопкой мыши, можно просмотреть получившийся рисунок.

**4.1.4.** В раскрывающейся панели **Дополнительно** задаются параметры оформления изображения.

При постановке флажка в команду **Дописывать надпись** активизируется выпадающая строка, которая говорит о расположении надписи на изображении.

В следующей строке, поставив флажок, нужно вписать имя программы. Если флажок не поставлен или не вписано имя, то при фотографировании изображения появится окно с запросом на имя файла.

При установке флажка на команду **Дописывать дату и время** активизируется выпадающая строка снизу, сверху, которая говорит о расположении надписи на изображении.

Ставя флажок в команду **Рамка вокруг изображения**, получаем отображение рамки в текущем цвете, который можно изменить, кликнув левой кнопкой мыши по цвету.

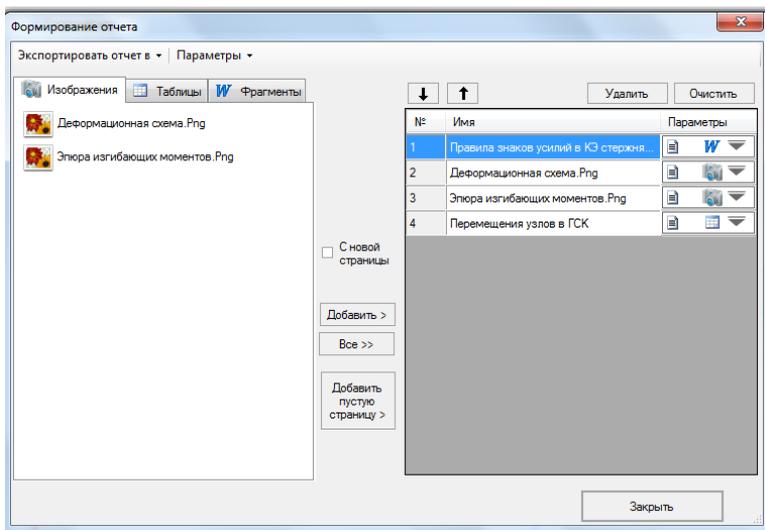
В следующих строках можно выбрать необходимый **шрифт**, **размер** и **стиль** текста.

Ставя флажок в команду **Подчеркнутый**, получаем в рамке подчеркнутый текст.

**4.1.5.** В раскрывающейся панели **Папка хранения** изображений указывается путь к каталогу сохранения файла. Если нужно другое место хранения файла, надо нажать кнопку **Изменить папку** и выбрать необходимую папку или создать новую.

**4.1.6.** Если не требуется изменять настройки панели активного режима **Изображение с экрана**, можно вместо описанных пунктов 4.1.1.—4.1.5 сразу выбрать пункт меню **Документирование ► Быстрое изображение с экрана** (правая кнопка  на панели инструментов).

**4.1.7.** Оформление отчета. Пункт меню **Результаты ► Сформировать отчет** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 21).



**Рис. 21.** Меню Формирование отчета

Выделяя нужные изображения, таблицы, а также фрагменты текста (постоянные части отчетов, которые не изменяются от отчета к отчету), переносим их с помощью кнопки **Добавить** в правую часть диалогового окна для будущего отчета.

После добавления редактирование местоположения набранных изображений, фрагментов и таблиц осуществляется с помощью кнопок



Отчеты экспортируются в Word, Excel, PowerPoint, Html.

Например, при экспорте в **Word** на экран компьютера автоматически вызывается отчет в системе **Word**. Далее можно сохранить его в любую папку.

## 4.2. Пример отчета

Ниже представлен результат автоматического формирования отчета в ПК ЛИРА 10.4 (рис. 22—24, табл. 2—3).

*Правила знаков при чтении результатов расчета:*

- Линейные перемещения положительны, если они направлены вдоль соответствующих осей глобальной системы координат или локальной системы координат узла.

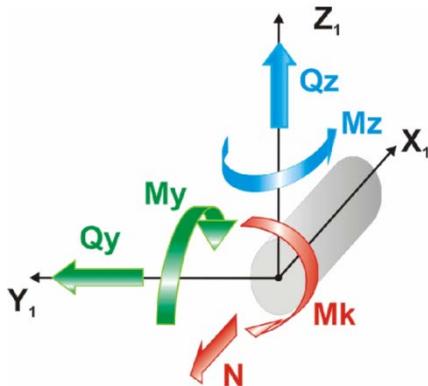
- Угловые перемещения (повороты) положительны, если они вращают узел против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующих осей глобальной или локальной систем координат.

Таблица 2

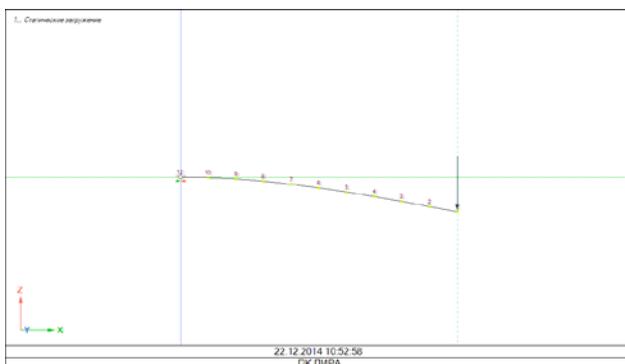
Правила знаков усилий в стержне

Индекс	Размерность	Описание	Положительный знак усилия определяет
N	F	Осевое усилие	Растяжение
M <sub>кр</sub>	FL	Крутящий момент относительно оси X <sub>I</sub>	Действие против часовой стрелки, если смотреть с конца оси X <sub>I</sub> , на сечение, принадлежащее концу стержня
M <sub>y</sub>	FL	Изгибающий момент относительно оси Y <sub>I</sub>	Растяжение нижнего волокна (относительно направления оси Z <sub>I</sub> )
Q <sub>z</sub>	F	Перерезывающая сила вдоль оси Z <sub>I</sub>	Совпадение с направлением оси Z <sub>I</sub> для сечения, принадлежащего концу стержня
M <sub>z</sub>	FL	Изгибающий момент относительно оси Z <sub>I</sub>	Действие против часовой стрелки, если смотреть с конца оси Z <sub>I</sub> , на сечение, принадлежащее концу стержня
Q <sub>y</sub>	F	Перерезывающая сила вдоль оси Y <sub>I</sub>	Совпадение с направлением оси Y <sub>I</sub> для сечения, принадлежащего концу стержня

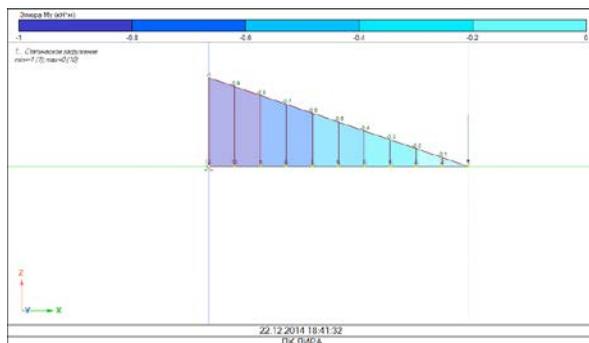
*Примечание:* F — размерность силы, L — размерность длины.



**Рис. 22.** Положительное направление внутренних усилий



**Рис. 23.** Деформационная схема



**Рис. 24.** Эпюра изгибающих моментов

Перемещения узлов в глобальной системе координат (ГСК)

Номер	Перемещение Z (мм)	Перемещение uY (рад)	Загружение
1	-0.946	0.00142	1
2	-0.805	0.00141	1
3	-0.666	0.00136	1
4	-0.533	0.00129	1
5	-0.409	0.00119	1
6	-0.296	0.00106	1
7	-0.197	0.000908	1
8	-0.115	0.000724	1
9	-0.053	0.000511	1
10	-0.0137	0.00027	1
11	0	0	1

## 5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ

В данном разделе рассматривается 8 заданий для расчета простейших конструкций с использованием ПК ЛИРА. Предполагается самостоятельная работа по каждому заданию.

### Задание 1. Расчет консольной балки

#### Пример расчета

##### Цель:

- на простейшей расчетной схеме показать **основные этапы** расчета;
- подробно представить всю **цепочку команд**, необходимых для решения задачи;
- продемонстрировать использование **шаблона** при создании геометрической расчетной схемы балки. Показать разницу между **Шагом разбивки** и **Числом конечных элементов**;
- научить пользователя задавать **связи** в заделке, **материал**, поперечное **сечение** и **силы** в узлах;
- продемонстрировать графическое и табличное представления результатов расчета.

##### Условие задания

Для балки (рис. 25) требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран деформированную схему, эпюры изгибающих моментов  $M_x$  и поперечных сил  $Q_x$ ;
- определить прогиб под силой  $P$ ;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Сечение — двутавр № 10Б1. Материал балки — стальной прокат из базы данных ГОСТ 27772—88. Сосредоточенная сила  $P = 1$  кН. Длина балки  $L = 1$  м.



Рис. 25. Расчетная схема балки

## Методические указания к выполнению задания 1

Приступим к созданию расчетной схемы.

1. Запуск программы — Пуск ► Программы ► LIRA soft ► LIRA 10.4 ► LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).

- LIRA 10.4x86 — это приложение для компьютеров на базе архитектуры x86 (32-битная адресация в оперативной памяти компьютера — до 4 ГБ\* памяти).
- LIRA 10.4x64 — это приложение для компьютеров на базе архитектуры x64 (64-битная адресация в оперативной памяти компьютера — до 192 ГБ памяти).

2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** (рис. 26) выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — Задача 1;
- описание — Расчет консольных балок;
- тип создаваемой задачи — **(2) Плоская рама (X, Z, UY)**. X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.
- нажмите кнопку **Создать**.

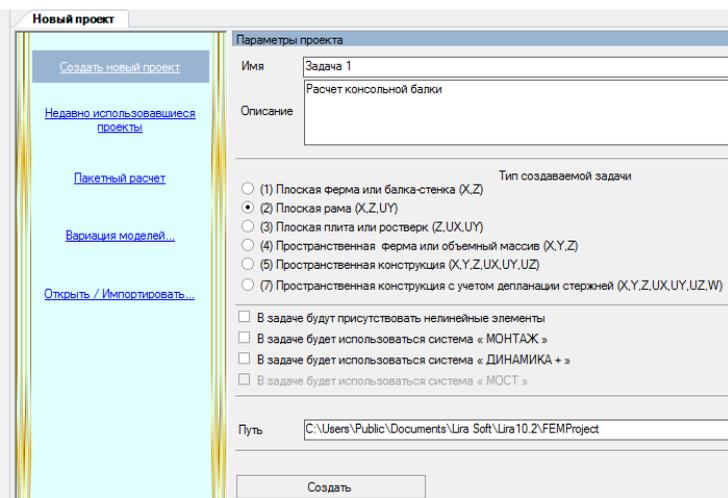


Рис. 26. Редактор начальной загрузки

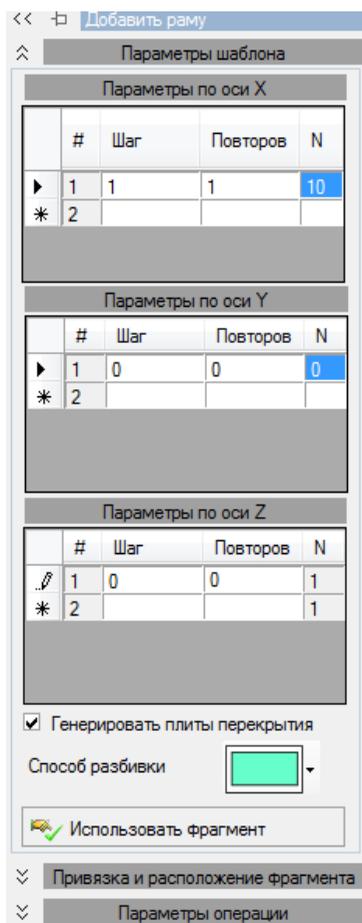
3. Настройка сети. В нижней левой части экрана нажмите на кнопку



- В раскрывающемся списке задайте: шаг — 1; количество — 2; плоскость — XOZ.

4. Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► Добавить пространственную раму (кнопка  на панели инструментов).

- Заполните параметры шаблона для создания балки. Шаг вдоль оси X — 1 м, Повторов — 1, Число конечных элементов N — 10 (рис. 27). Пояснение для параметров шаблона: 1 м — Шаг разбивки (длина фрагмента шаблона вдоль соответствующей оси X, Y или Z); 1 — число повторов с заданным шагом; 10 — число конечных элементов, на которые разбивается заданный Шаг разбивки.



Добавить раму

Параметры шаблона

Параметры по оси X

	#	Шаг	Повторов	N
▶	1	1	1	10
*	2			

Параметры по оси Y

	#	Шаг	Повторов	N
▶	1	0	0	0
*	2			

Параметры по оси Z

	#	Шаг	Повторов	N
✎	1	0	0	1
*	2			1

Генерировать плиты перекрытия

Способ разбивки 

 Использовать фрагмент

Привязка и расположение фрагмента

Параметры операции

Рис. 27. Задание параметров расчетной схемы

- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- С помощью курсора мыши необходимо созданный фрагмент добавить к расчетной схеме. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка  подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.
- Увеличение схемы. Вид ► Увеличить панораму или Вид ► Увеличить в окне ► Увеличить в 8 раз (рис. 28).

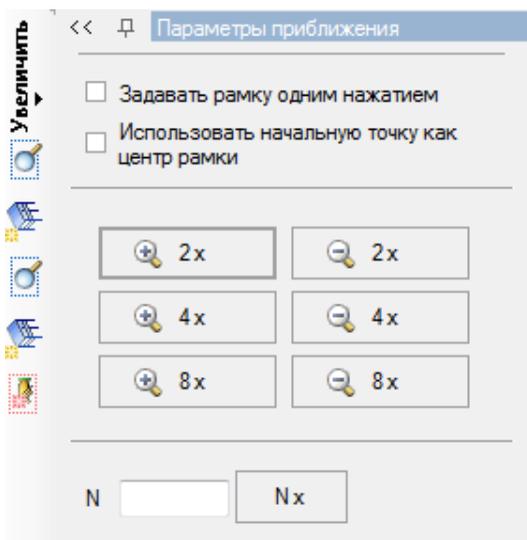


Рис. 28. Увеличение конструкции в окне

5. Вывод на экран номеров узлов. Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Узлы** установите флажок **Номер** (рис. 29).
- Уберите флажок с команды **Использовать выделенные объекты**.
- Уберите флажок с команды **Добавить префиксы к значениям**.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

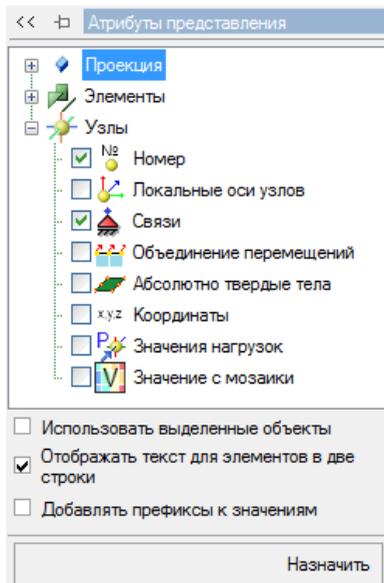


Рис. 29. Вывод на экран номеров узлов

На рис. 30 представлена полученная расчетная схема.



Рис. 30. Расчетная схема с номерами узлов

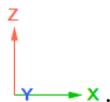
6. Выделение левого узла балки (узла № 11). **Выбор ► Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов).

- С помощью курсора выделите левый узел № 11 балки (*узел окрасится в красный цвет*). По умолчанию отметка узлов и элементов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

7. Задание граничных условий. **Схема ► Назначить связи** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима с помощью установки флажков отметьте те направления, по которым запрещены перемещения узла № 11 (**X** — перемещение в направлении оси X, **Z** — перемещение в направлении оси Z, **UY** — угол поворота вокруг оси Y) (рис. 31). *Красный цвет у узла исчезнет. Под узлом будут изображаться свя-*

зи, запрещающие линейные перемещения; над узлом — запрещающие угловые перемещения. Цвет связей соответствует цвету осей, в направлении (или вокруг) которых запрещено перемещение



- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

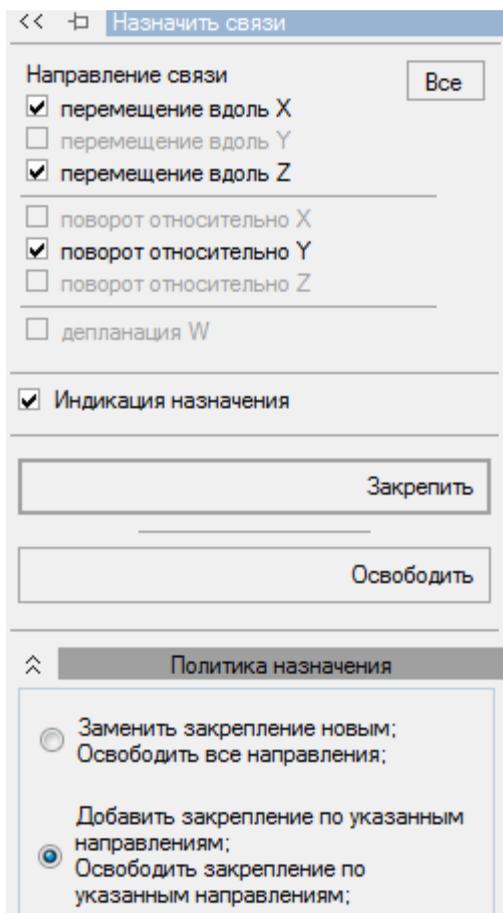


Рис. 31. Задание связей

8. Выделение элементов. **Выбор ► Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов).

- С помощью курсора выделите все конечные элементы (*элементы окрасятся в красный цвет*). Узлы и элементы можно выделять прямоугольной рамкой, а можно двойным щелчком левой кнопкой мыши по узлу или элементу.

9. Задание сечений. **Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов).

- Из категории **Стальные сечения**  **Стальные сечения** ▼ в раскрывающемся списке выберите тип сечения **Двутавр прокатный** (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения).
- На панели **Стальное сечение** вкладке **Двутавр прокатный** задайте параметры сечения (рис. 32). Таблица сортамента — ГОСТ 26020—83. Двутавр с параллельными гранями полок типа Б, Профиль 10Б1 (рис. 33).

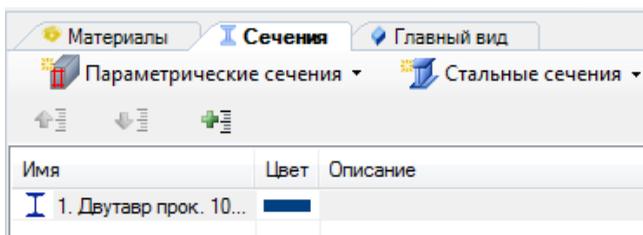


Рис. 32. Выбор вкладки Сечения

Стальные сечения стержней - Двутавр прок. : 10Б1

Имя: 10Б1 Описание: 10Б1

Страна: РУС Таблица сортамента: ГОСТ 26020 - 83 Двутавр с параллельными гранями полок типа Б Профиль: 10Б1 Поворот: I

Схема профиля

Углублять при расчете влияние сдвига

Геометрические характеристики сечения							
A, см <sup>2</sup>	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	r, см	m, тс/м
10.32	10	5.5	0.41	0.57	0.7	0	0.0081

Расчетные характеристики сечения											
Моменты инерции, см <sup>4</sup>			Ядерные расстояния, см				Срезные площади, см <sup>2</sup>		Sy, см <sup>3</sup>	Q1, см <sup>2</sup>	Iw, см <sup>6</sup>
Iy1	Iz1	Ix1	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-	Fy	Fz			
171.000	15.9	1.1655	0.56025	0.56025	3.314	3.314	5.8699	3.9789	19.7	12.966	342.066

Рис. 33. Панель Стальные сечения стержней

- При корректном вводе геометрических размеров на экране изображается эскиз создаваемого сечения со всеми размерами.
- Выпишите значения осевого момента инерции  $I_{y1} = 171 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$  и высоты сечения  $h = 0,1 \text{ м}$  для аналитического решения задачи.
- Для того чтобы увидеть в списке сечений отредактированные параметры сечения, надо щелкнуть курсором по любой другой заполненной или незаполненной строке в этой части экрана.
- Для выхода из Редактора сечений/жесткостей щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

10. Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка  на панели инструментов).

- Выберите из категории **Материал из базы данных** ► **Стальной прокат из базы данных** ► **ГОСТ 27772—88** (рис. 34).
- Выпишите значение модуля упругости первого рода  $E = 2,06 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2$  для аналитического решения задачи.
- Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

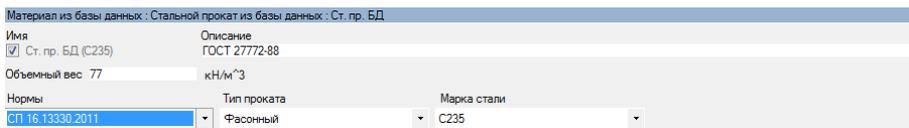


Рис. 34. Задание материала

11. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. **Конструирование** ► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования** (кнопка  на панели инструментов (рис. 35)).

- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать сечение и материал**.
- Выберите в **Доступные сечения** — **1. Двутавр прокатный 10 Б1**, в **Доступных материалах** — **1. Стальной прокат из базы данных ГОСТ 27772—88**.
- Нажмите кнопку **Назначить**.

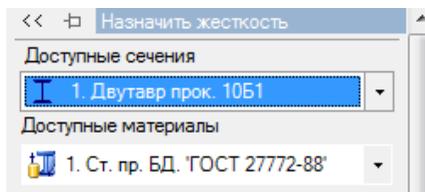


Рис. 35. Назначение жесткости

12. Выделение правого узла балки (узла № 1). **Выбор ► Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов).

- С помощью курсора выделите правый узел № 1 балки (*узел окрасится в красный цвет*). По умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

13. Формирование загрузок. **Редакторы ► Редактор загрузок** (кнопка на  панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузку** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузку**.
- Для выхода из вкладки **Редактор загрузок** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

14. Назначение нагрузок. **Схема ► Назначить нагрузки** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима Добавление нагрузок кликните на выпадающий список Библиотека нагрузок ► Нагрузки на узел ► Сосредоточенная сила (по умолчанию указана система координат Глобальная, направление — вдоль оси Z) (рис. 36).

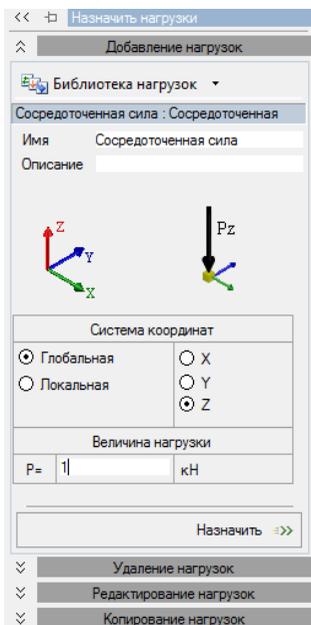


Рис. 36. Панель Назначить нагрузки

- В панели **Сосредоточенная сила** задайте величину силы  $P = 1$  кН (рис. 36). Правый узел вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу (рис. 37).

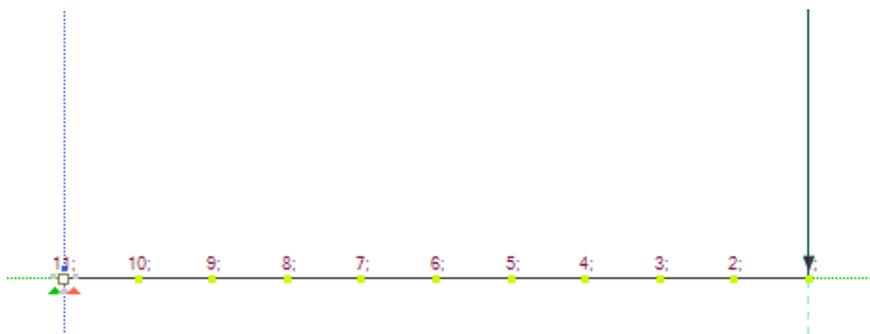


Рис. 37. Расчетная схема балки

15. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет** —  **Запустить расчет** (рис. 38).
- Фон экрана станет черным, но потом снова появится расчетная схема на белом фоне. Если она не появляется и в левом нижнем углу будет надпись: «Задание не выполнено», то для поиска ошибок надо выполнить действия, описанные в разделе 3 (Диагностика ошибок).
- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, то переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.
- Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню **Расчет** ► **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается **не деформированной**.

16. Просмотр схемы деформирования. **Результаты** ► **Деформированная схема** (рис. 39).

- Верните исходную схему. **Результаты** ► **Исходная схема**.

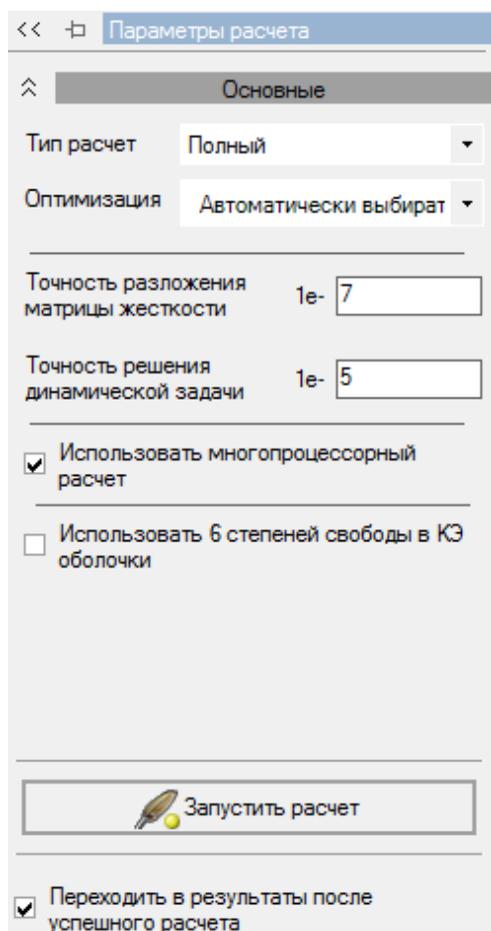


Рис. 38. Панель активного режима Параметры расчета



Рис. 39. Деформированная схема

Приступим к оформлению отчета.

17. Приведите в отчете расчетную схему балки с номерами узлов.

18. Покажите поперечное сечение.

19. Представьте исходные данные в отчете.

20. Выведите на экран и представьте в отчете эпюру изгибающих моментов  $M_y$ , указав значения ординат (рис. 40).

- **Результаты** ► **Результаты по стержням** (кнопка  на панели инструментов) ► Эпюра  $M_y$  Эпюра  $M_y$  .

- **Вид** ► **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов) ► **Элементы** ► **Значения с мозаики**.

Убирать галочки с тех команд, которые выбраны по умолчанию, не рекомендуется.

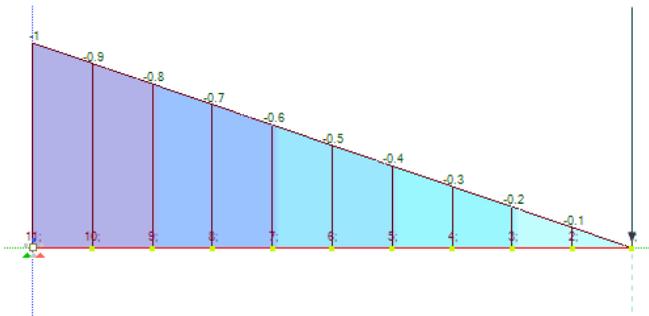


Рис. 40. Эпюра изгибающих моментов  $M_y$

- Сделайте снимок эпюры  $M_y$  для создания отчета. **Документирование** ► **Изображение с экрана**. Нажмите кнопку  на панели активного режима **Изображение с экрана**.

21. Выведите на экран и представьте в отчете эпюру поперечных сил  $Q_z$ , указав значения ординат.

- По стеку активных режимов возвратитесь к режиму **Результаты по стержням**.



- Для выбора эпюры  $Q_z$  (рис. 41) щелкните по кнопке  $Q_z$  (Эпюра  $Q_z$  ⇒⇒ на панели активного режима).



Рис. 41. Эпюра поперечных сил  $Q_z$

- Сделайте снимок эпюры  $Q_z$  для создания отчета. **Документирование ► Изображение с экрана**, нажмите кнопку  на панели активного режима **Изображение с экрана**.

## 22. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета. **Результаты**

► **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название желаемой таблицы **Перемещения узлов в ГСК** (указав при необходимости для **выделенных элементов** или **загружений**) (рис. 42) и нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Полученная таблица **Перемещения узлов в ГСК** отобразится в нижней части экрана (рис. 43).
- Выпишите значение перемещения в узле № 1 по оси Z и занесите его в отчет.
- Таблицы экспортируют в **Word, Excel, Html** или сохраняют для документирования.

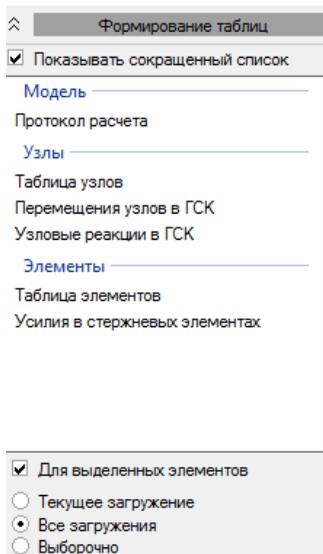


Рис. 42. Формирование таблиц результатов

Номер	Перемещение Z (мм)	Перемещение uY (рад)	Загрузка
1	-0.946	0.00142	1
2	-0.805	0.00141	1
3	-0.666	0.00136	1
4	-0.533	0.00129	1
5	-0.409	0.00119	1
6	-0.296	0.00106	1
7	-0.197	0.000908	1
8	-0.115	0.000724	1
9	-0.053	0.000511	1
10	-0.0137	0.00027	1
11			1

Рис. 43. Перемещения узлов в ГСК

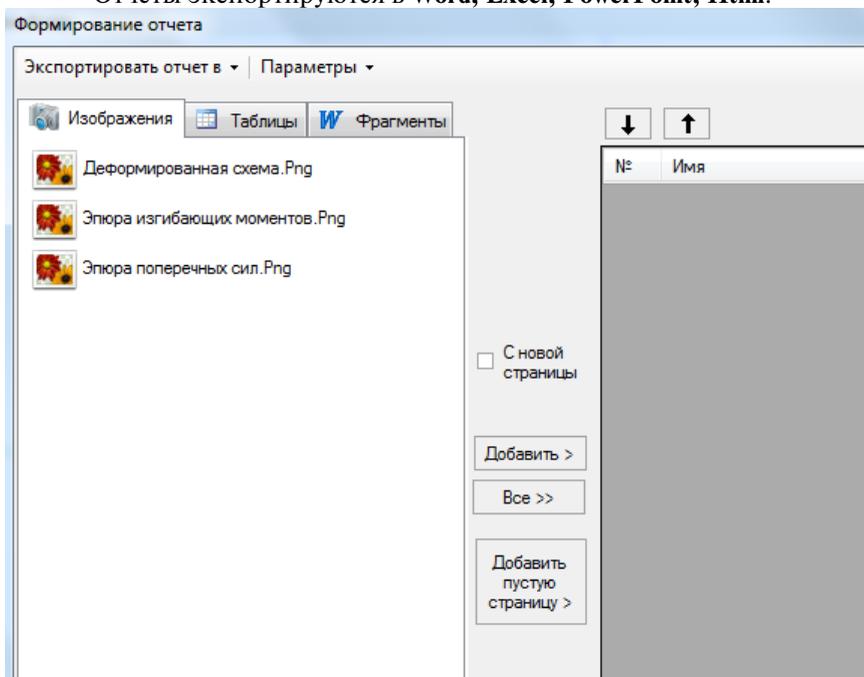
- Сохраните изображение в той же папке, где хранятся эпюры, раскрыв список **Таблица узлов** в заголовке таблицы и выбрав команду **Сохранить изображение**.

**23. Формирование отчета. Результаты ► Формировать отчет** (кнопка



на панели инструментов).

- В диалоговом окне **Формирование отчета** выделите нужные изображения, таблицы, а также фрагменты текста (постоянные части отчетов, которые не изменяются от отчета к отчету) для будущего отчета, каждый раз нажимая кнопку **Добавить** (рис. 44).
- После добавления редактирование местоположения набранных изображений, фрагментов и таблиц осуществляется с помощью кнопок **↓** и **↑**.
- Отчеты экспортируются в **Word, Excel, PowerPoint, Html**.



**Рис. 44.** Диалоговое окно **Формирование отчета**

**24.** Рассчитайте прогиб под силой при помощи правила Верещагина. Расчет занесите в отчет.

**25.** Сравните результаты аналитического и численного расчетов.

## Самостоятельная работа по заданию 1

Для балки (рис. 45) требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран деформированную схему, эпюры изгибающих моментов  $M_y$  и поперечных сил  $Q_z$ ;
- определить прогиб под силой  $P$ ;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Сечение — двутавр № 10Б1. Материал балки — стальной прокат из базы данных ТУ 14-2-24—72. Сосредоточенная сила  $P = 1.3$  кН. Интенсивность постоянной равномерно распределенной нагрузки  $q = 1.8$  кН/м. Длина  $a = 1.4$  м.

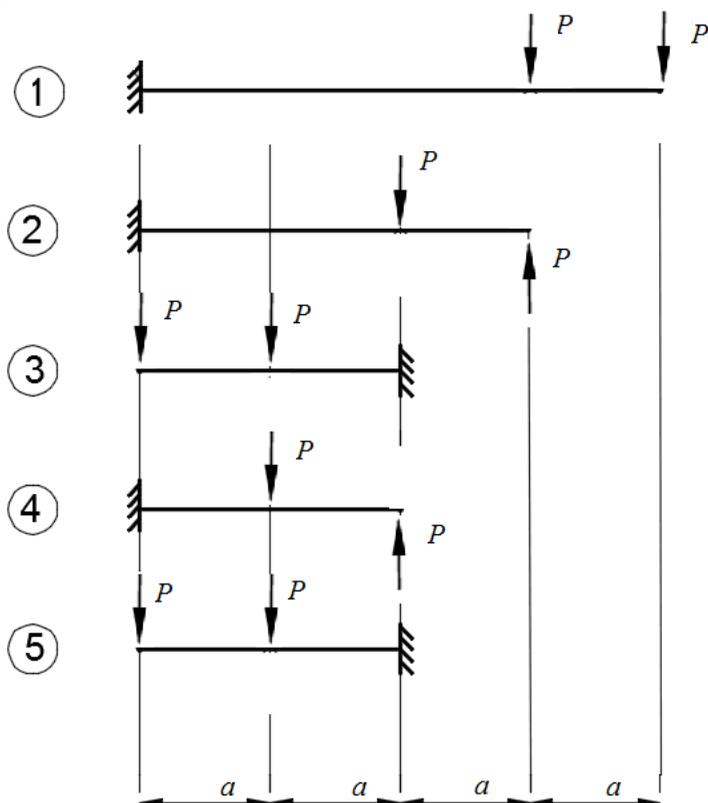


Рис. 45. Расчетная схема балки

## Задание 2. Расчет многопролетной статически определимой балки (задание из контрольных работ по строительной механике)

### Пример расчета

#### Цель:

- показать пример расчета конструкции, состоящей из **нескольких элементов**, нагруженных сосредоточенными и распределенными **силами и моментами**;
- продемонстрировать способ задания **врезных шарниров**;
- научить студента задавать **связи** в различных **опорах** и жесткостные параметры **стандартных типов сечений** стержней из железобетона.

#### Условие задания:

Для балки (рис. 46) прямоугольного поперечного сечения  $20 \times 40$  см требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран эпюры изгибающих моментов  $M_y$  и поперечных сил  $Q_z$ ;
- определить поперечную силу и изгибающий момент в сечении 1;
- определить наибольшие значения нормальных напряжений в заданном сечении;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Материал балки — бетон В25 по СП-52-101—2003. Интенсивность постоянной равномерно распределенной нагрузки  $q = 0.8$  кН. Величина сосредоточенной силы  $P = 0.7$  кН, а сосредоточенного момента  $M = 1.5$  кН·м. Заданное сечение 1 показано на схеме красным цветом.

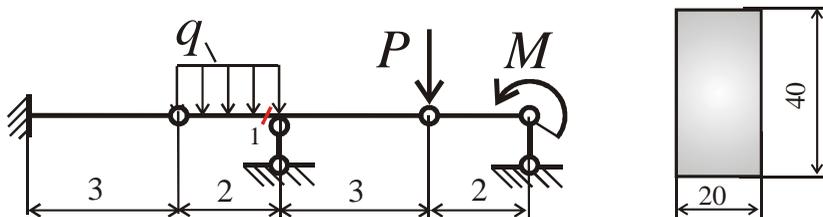


Рис. 46. Многопролетная балка

### Методические указания к выполнению задания 2

*Приступим к созданию расчетной схемы.*

1. Запуск программы. Пуск ► Программы ► LIRA soft ► Lira 10.4 ► LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).
2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- **имя** — Задача 2;
- **описание** — Расчет многопролетной балки;
- **тип создаваемой задачи** — (2) Плоская рама (X, Z, UY). X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов;
- нажмите кнопку **Создать**.

3. Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► **Добавить пространственную раму** (кнопка  на панели инструментов):



Рис. 47. Заполнение шаблона

- Заполните параметры шаблона для создания балки, разбив ее на шаги. Границами шага разбивки являются опоры, сечения, в которых приложены сосредоточенные силы и моменты, границы действия распределенных нагрузок, сечения, в которых надо определять внутренние силовые факторы (рис. 47).
- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- С помощью курсора мыши необходимо созданный **фрагмент добавить к расчетной схеме**. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка  $(0;0;0)$  глобальной системы координат) и при возникновении значка  подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.

4. Вывод на экран номеров узлов. Вид ► **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Элементы** установите флажок **Номер** (рис. 48, а).
- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Узлы** установите флажок **Номер** (рис. 48, б).
- Уберите флажок с команды **Использовать выделенные объекты**.
- Уберите флажок с команды **Добавить префиксы к значениям**.
- Щелкните по кнопке **Назначить** (рис. 48).

*Те выделения (галочки), которые даются программой по умолчанию снимать не рекомендуется.*



Рис. 48. Вывод на экран номеров: а — элементов; б — узлов

5. Назначение шарнира. Схема ► **Назначить шарниры** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 50).

- Не следует путать **связи** и врезные **шарниры**. **Связи** — это опоры. Они соединяют элемент с землей. В связях указываются направления, по которым **запрещены** перемещения. Врезные **шарниры** соединяют элементы. Для шарниров указываются направления, по которым **разрешены** перемещения.
- Выделите элемент № 1 (рис. 49), в котором справа находится врезной шарнир. Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, двигая курсором справа налево, выделите элемент № 1 (*элемент окрасится в красный цвет*).

- В панели активного режима **Назначить шарниры** с помощью установки флажка укажите **Направление шарнира — Поворот относительно оси Y (UY)**.



Рис. 49. Расчетная схема с номерами узлов и элементов

- На этой же панели в разделе **Политика назначения** надо показать, что врезной шарнир примыкает ко второму (правому) узлу выделенного элемента.
- Отмечая флажком **Индикация назначения**, предварительно можно увидеть заданный шарнир , где три верхних цвета обозначают перемещение вдоль X, Y, Z, а три нижних — поворот относительно осей X, Y, Z (цвет наложенных связей отвечает цвету осей).
- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.
- Аналогично выделите элемент № 4 и врезьте шарнир, примыкающий к первому (левому) узлу элемента.

поворот относительно UX  
 поворот относительно UY  
 поворот относительно UZ

---

Депланация W

---

Индикация назначения

---

---

∨ Параметры назначения  
 ∨ Политика назначения

Обрабатывать шарниры в местах:

примыкания к 1-ому узлу выделенных элементов  
 примыкания ко 2-ому узлу выделенных элементов  
 примыкания к обоим узлам выделенных элементов  
 примыкания к выделенным узлам выделенных элементов

Рис. 50. Назначение врезных шарниров

6. Упаковка схемы. **Правка ► Упаковать модель** (кнопка  на панели инструментов). В диалоговом окне **Упаковка модели** щелкните по кнопке **Упаковать** (эта команда осуществляет «шивку» совпадающих элементов и узлов).

7. Выделение третьего и первого узлов, имеющих шарнирно-подвижные опоры. **Выбор ► Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов). После появления панели активного режима **Параметры выбора объектов** с помощью курсора выделите узлы № 3 и 1 (узлы окрасятся в красный цвет). По умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

Выделение узлов и элементов можно производить при нажатых клавишах **Ctrl + Shift**. Преимущество этого способа вызова панели активного режима **Параметры выбора объектов** заключается в том, что после отпущения клавиш **Ctrl + Shift** панель активного режима предыдущей команды не исчезает с экрана и не надо использовать стек активных режимов, чтобы снова вызвать ее.

8. Задание связей для узлов № 3 и 1. **Схема ► Назначить связи**. На панели активного режима **Назначить связи** отметьте галочкой **запрещенное** перемещение в направлении **Z** (рис. 51). Щелкните по кнопке **Закрепить** (красный цвет у узлов исчезнет). Под узлами будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения



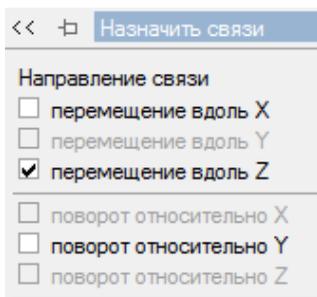
преещающие линейные перемещения

9. Выделение левого узла балки (узла № 5). Для вызова панели активного режима **Параметры вызова объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, курсором выделите правый узел балки (узел окрасится в красный цвет).

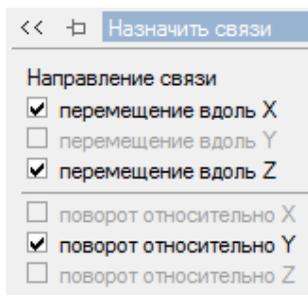
10. Задание связей узлу № 5. **Схема ► Назначить связи**. На панели активного режима **Назначить связи** отметьте галочкой **запрещенные** перемещения. Так как узел № 5 имеет жесткую заделку, надо запретить линейные перемещения в направлении осей **X**, **Z** и поворот вокруг оси **Y** (рис. 51). Щелкните по кнопке **Закрепить** (красный цвет у узла исчезнет). Под узлом



будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения



*a*



*б*

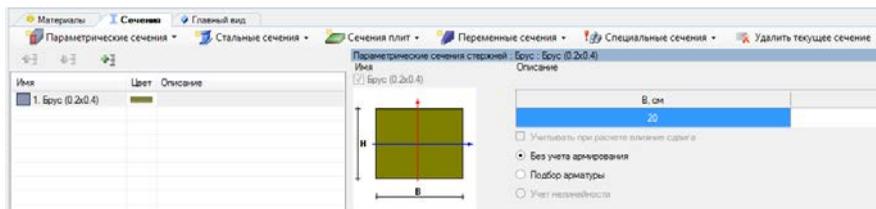
**Рис. 51.** Назначение связей: *a* — для шарнирно-подвижных опор; *б* — для заделки

Если связей недостаточно для обеспечения кинематической неизменяемости конструкции, то программа считать не будет и даст надпись «Геометрически изменяемая система».

**11.** Выделение всех элементов балки. **Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A).**

**12.** Задание сечений. **Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов) ► **Параметрические сечения** (рис. 52).

- Из категории **Параметрическое сечение** выберите тип сечения **Брус** (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения).
- На панели **Параметрические сечения стержней** задайте параметры сечения **Брус**: геометрические размеры —  $B = 20 \text{ см}$ ;  $H = 40 \text{ см}$ .
- Эскиз создаваемого сечения со всеми размерами изобразится на экране при корректном вводе геометрических размеров.
- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.



**Рис. 52.** Выбор сечения

**13.** Задание материала. **Редакторы ► Редактор материалов** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 53).

- Выберите из категории **Материал из базы данных** ► **Бетон из базы данных** ► **СП-52-101—2003**. Затем в классе бетона по прочности укажите **B25**.
- Для выхода из **Редактора материалов** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

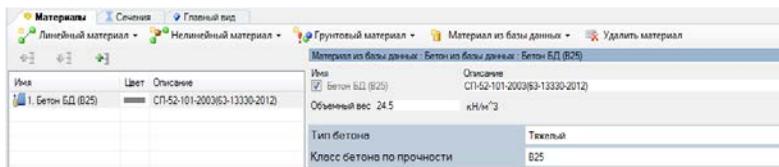
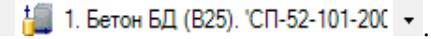


Рис. 53. Задание материала

14. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. **Конструирование** ► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать сечение и материал**.
- Затем выберите в **Доступных сечениях** — ,
- в **Доступных материалах** — .
- Нажмите на кнопку **Назначить**.

15. Формирование загрузок. **Редакторы** ► **Редактор загрузок** (кнопка  на панели инструментов).

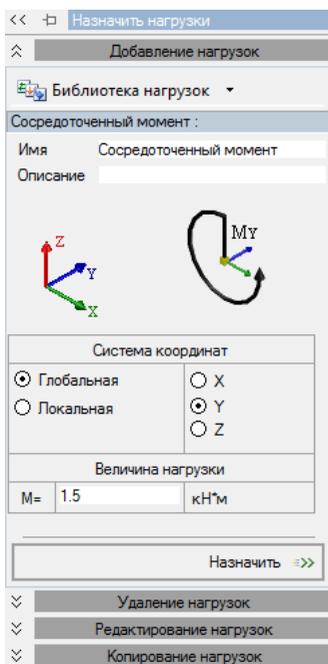
- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузку** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузку**.
- Для выхода из вкладки **Редактор загрузок** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

16. Назначение нагрузок. **Схема** ► **Назначить нагрузки** (кнопка  на панели инструментов).

- Выделите элемент № 2. Для вызова панели активного режима **Параметры вызова объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, двигая курсор справа налево, выделите элемент № 2 (элемент окрасится в красный цвет).
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на стержень** ► **Равномерно распределенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси **Z**).



*a*



*б*

**Рис. 54.** Назначение нагрузок:

*a* — равномерно распределенная нагрузка; *б* — сосредоточенный момент

- В панели **Равномерно распределенная сила** задайте интенсивность нагрузки  $P = 0.8$  кН/м (рис. 54, *a*) (красный цвет у элементов исчезнет, и на экране появятся стрелки, изображающие распределенную силу).
- Сила считается положительной, если она направлена вниз, т.е. в сторону, противоположную оси  $Z$ .
- Выделите курсором узел № 2, нажав кнопки **Ctrl + Shift**.
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси  $Z$ ).
- На панели **Сосредоточенная сила** задайте величину силы  $P = 0.7$  кН (рис. 54) (элемент вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу).
- Выделите курсором узел № 1, нажав кнопки **Ctrl + Shift**.
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ►

**Сосредоточенный момент** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**).

- **Не забудьте** указать, что момент действует вокруг оси **Y**!
- Надо указать знак внешнего момента. *Момент считается положительным, если, глядя с конца оси Y, он поворачивает балку по часовой стрелке.* Ось **Y** на экране направлена от нас, следовательно, глядя на экран, момент, действующий против часовой стрелки, получает знак плюс.
- На панели **Сосредоточенный момент** задайте величину момента  $M = 1.5$  кН (рис. 54, б) (элемент вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу).

17. Статический расчет. Расчет ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет**  **Запустить расчет**. Фон экрана станет черным, но потом снова появится ваша расчетная схема на белом фоне. Если расчетная схема не появляется и в левом нижнем углу будет надпись «Задание не выполнено», для поиска ошибок надо выполнить действия, описанные в разделе 3 (Диагностика ошибок).
- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.
- Переход в режим результатов расчета можно осуществить с помощью меню **Расчет ► Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается не деформированной.

*Приступим к оформлению отчета*

18. Приведите в отчете расчетную схему балки с номерами узлов и элементов (рис. 55). Обратите внимание, что элементы нумеруются слева направо, а узлы справа налево. Номера узлов иногда плохо видны, так как расположены строго над узлами и могут быть скрыты нагрузками, приложенными к этим узлам.



Рис. 55. Изображение расчетной схемы многопролетной балки на экране

19. Покажите поперечное сечение.
20. Представьте исходные данные в отчете.
21. Выведите на экран эпюру изгибающих моментов  $M_y$  (рис. 56), указав значения ординат.

- **Результаты** ► **Результаты по стержням** (кнопка  на панели инструментов) ► **Эпюра  $M_y$** , **Эпюра  $M_y$**  .
- **Вид** ► **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов) ► **Элементы** ► **Значения с мозаики**.

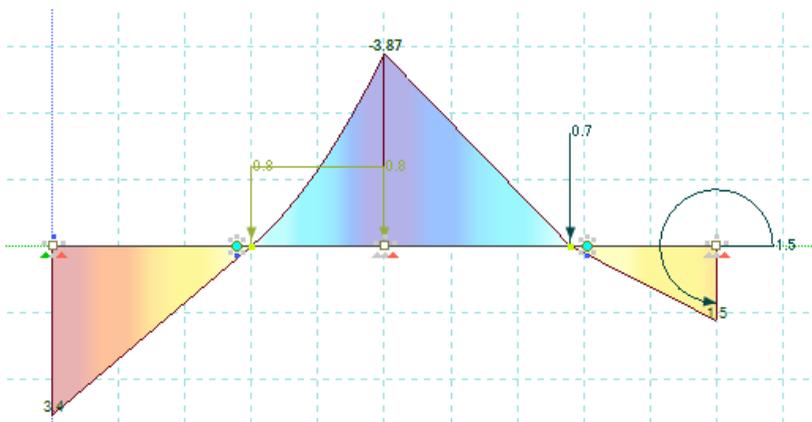


Рис. 56. Эпюра изгибающих моментов  $M_y$

22. Выведите на экран эпюру поперечных сил  $Q_z$  (рис. 57), указав значения ординат.

- **Результаты** ► **Результаты по стержням** (кнопка  на панели инструментов) ► **Эпюра  $Q_z$** , **Эпюра  $Q_z$**  .

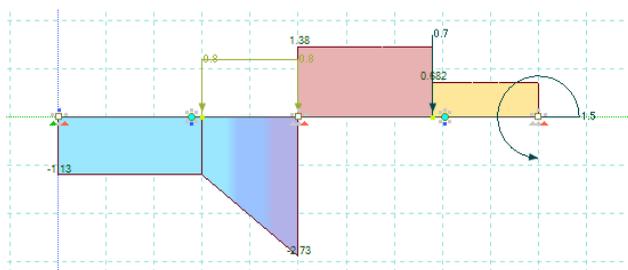


Рис. 57. Эпюра поперечных сил  $Q_z$

23. Определите поперечную силу и изгибающий момент в заданном сечении. Величины  $M_y$  и  $Q_z$  для заданного сечения можно взять из эпюр или из таблиц результатов расчета. **Результаты ► Таблицы результатов** (кнопка



на панели инструментов);

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название желаемой таблицы **Усилия в стержневых элементах** (указав при необходимости **для выделенных элементов** или **загружений**) (рис. 58) и нажмите на кнопку **Сформировать**.

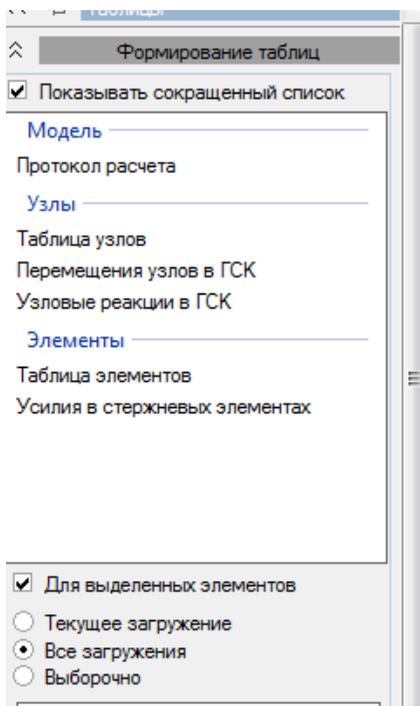


Рис. 58. Формирование таблиц результатов

- Полученная таблица **Усилия в стержневых элементах** отобразится в нижней части экрана (рис. 59).
- Заданное сечение находится левее узла 3. Левее узла 3 находится элемент 2, для которого в таблице представлены величины  $M_y$  и  $Q_z$  в трех сечениях. Выпишите значения  $M_y$  и  $Q_z$  в сечении 3 элемента 2 и занесите их в отчет.

Номер	НС	My (кН*м)	Qz (кН)	Загрузка
1	1	3.4	-1.13	1
1	2	1.7	-1.13	1
1	3		-1.13	1
2	1		-1.13	1
2	2	-1.53	-1.93	1
2	3	-3.87	-2.73	1
3	1	-3.87	1.38	1
3	2	-1.93	1.38	1
3	3		1.38	1

**Рис. 59.** Усилия в стержневых элементах

24. Аналитически рассчитайте наибольшие нормальные напряжения в заданном сечении, разделив соответствующий изгибающий момент на осевой момент сопротивления  $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y}$ , где  $W_y = \frac{bh^2}{6}$  ( $b = 0,2$  м;  $h = 0,4$  м).

### Самостоятельная работа по заданию 2

Для балки (рис. 60) прямоугольного поперечного сечения 20×40 см требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран эпюры изгибающих моментов  $M$ , и поперечных сил  $Q$ ;
- определить поперечную силу и изгибающий момент в заданном сечении;
- определить наибольшие значения нормальных напряжений в заданном сечении;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Материал балки — бетон В30 по СП-52-101—2003. Поперечное сечение — прямоугольное 20×40 см. Исходные данные выбираются в соответствии с рис. 60 и табл. 4.

Номер рисунка берется по последней цифре шифра, а исходные данные из табл. 4 по предпоследней цифре шифра.

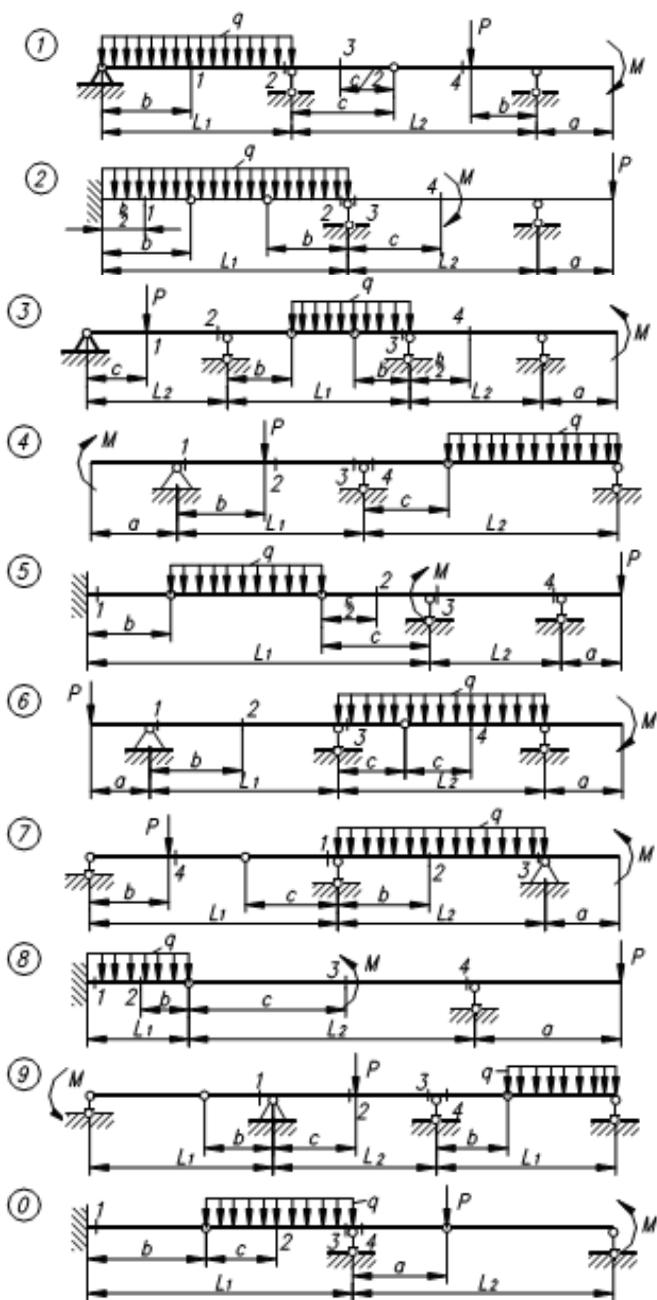


Рис. 60. Многопролетная балка

Таблица 4

## Варианты заданий

№ варианта	$l_1$ , м	$q$ , $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$b$ , м	$l_2$ , м	$P$ , кН	№ сечения	$a$ , м	$c$ , м	$M$ , кН·м
1	10	1,2	1,0	8	3	1	1,0	1,0	2,0
2	14	2,0	0,8	7	2,5	2	1,2	2,2	2,2
3	8	1,8	1,9	9	6	3	2,0	1,4	2,7
4	12	3,0	1,4	6	2,8	4	2,2	1,6	2,4
5	9	1,5	1,6	11	7	1	1,3	1,8	2,5
6	11	2,5	2,1	10	3,3	2	2,1	2,0	1,1
7	7	1,4	1,2	12	5	3	1,4	1,1	2,6
8	6	0,8	1,8	15	8	4	1,9	1,3	3
9	5	1,0	1,5	14	4	1	1,5	1,5	2,8
0	13	2,2	2,0	14	3,2	3	0,8	1,7	1,5

## Задание 3. Расчет плоской фермы

(задание из контрольных работ по строительной механике)

## Пример расчета

## Цель:

- показать основные операции, выполняемые при расчете ферм;
- продемонстрировать задание **конфигурации** и **параметров** фермы;
- показать заполнение **таблицы панелей** и выбор **шаблона** для каждой панели;
- познакомить студента с командой **Упаковка**;
- научить студента задавать различные **жесткостные** характеристики **стальных сечений**;
- показать, как осуществляется **поворот** сечения.

## Условие задания

Для фермы (рис. 61) длиной  $l = 6d$  требуется:

- 1) выполнить расчет фермы на статические нагрузки;
- 2) вывести на экран деформированную схему фермы;
- 3) вывести на экран мозаику продольных сил  $N$ ;
- 4) определить продольные силы в стержнях второй панели;
- 5) определить напряжение в любом стержне фермы аналитически.

Длина панели  $d = 5$  м. Высота фермы  $h = 2$  м, отметка конька  $H = 4$  м (рис. 61). Сечения стержней фермы:

верхний пояс — тавр 20БТ\* (рис. 62, а);

нижний пояс — тавр 20БТ\*, повернутый на 180 градусов (рис. 62, б);

стойки и раскосы из двух неравнополочных уголков  $75 \times 50 \times 8$  (рис. 62, в).  
 Материал фермы — сталь С235. Величина силы  $P = 2 \text{ кН}$ .

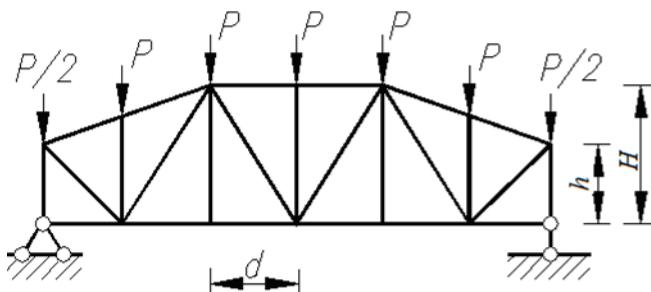


Рис. 61. Расчетная схема фермы

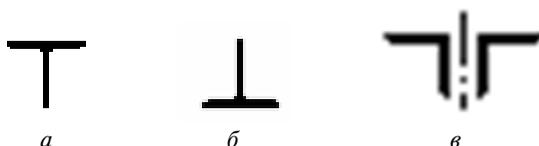


Рис. 62. Поперечные сечения стержней фермы:  
 а — верхний пояс; б — нижний пояс; в — стойки и раскосы

### Методические указания к заданию 3

*Приступим к созданию расчетной схемы.*

1. Запуск программы. Пуск ► Программы ► Lira Soft ► Lira 10.4 ► LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).

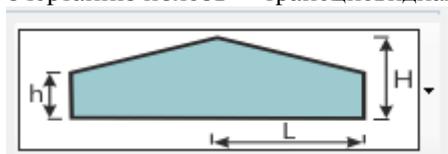
2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — Задача 3;
- описание — Расчет плоских ферм;
- тип создаваемой задачи — (1) Плоская ферма или балка-стенка (X, Z). Нажмите кнопку **Создать**.

3. Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► Добавить ферму

(кнопка  на панели инструментов) ► **Параметры шаблона**.

- На панели активного режима выберите **конфигурацию фермы** по очертанию поясов — трапециевидная.



- Задать параметры фермы:  
 высота фермы  $h = 2$  м;  
 расстояние до конька  $L = 15$  м;  
 отметка конька  $H = 4$  м;  
 плоскость построения —  $X_0Z_0$ .

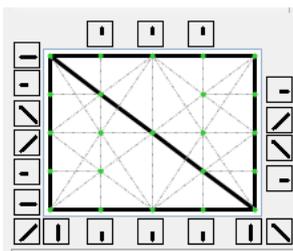
Высота фермы (h)	2	м
Расстояние до конька (L)	15	м
Отметка конька (H)	4	м
Плоскость построения	$X_0Z_0$	▼

- Заполните **Таблицу панелей**, указывая количество повторов. Всего панелей 6. Длина каждой панели 5 м. Число повторов равно 1.

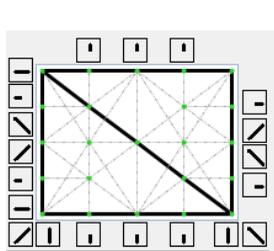
панелей		
#	Длина	Повторов
1	5	1
2	5	1
3	5	1
4	5	1

Шаблонные заполнения панелей ▼

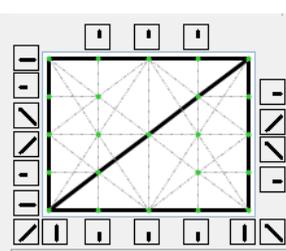
- Выделив первую строку таблицы, выберите шаблон с нисходящим раскосом. Далее работайте со второй строкой и т.д. Панели у данной фермы разные, поэтому для каждой нужно выбрать или задать свой шаблон. Выбор нужного шаблона определяется только **конфигурацией** решетки, так как углы наклона верхнего пояса были заданы **очертанием** решетки ранее.



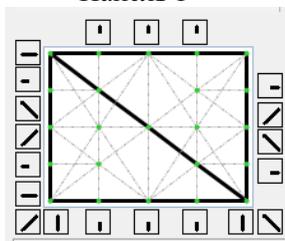
Панель 1



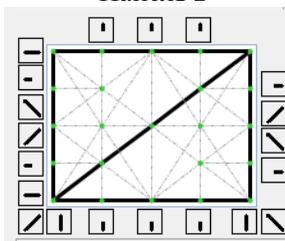
Панель 2



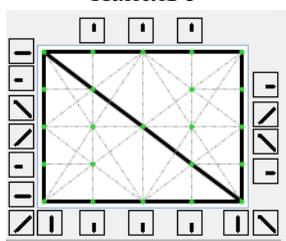
Панель 3



Панель 4



Панель 5



Панель 6

- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- Затем с помощью курсора мыши необходимо созданный фрагмент добавить к расчетной схеме. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка  $(0;0;0)$  глобальной системы координат) и при возникновении значка  подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы (рис. 63).

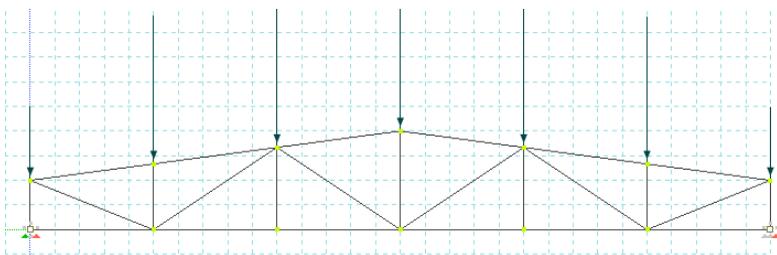


Рис. 63. Фрагмент схемы

- Используя команду **Перемещения (Правка — Переместить выделенное)** — использовать точки вставки), выделяем узлы верхнего пояса по обе стороны конька и кликаем левой кнопкой мыши на координату, соответствующую по оси  $Z$  высоте фермы (рис. 64).

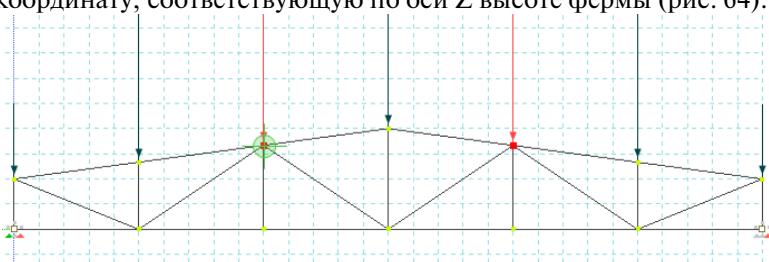


Рис. 64. Перемещение узлов по оси  $Z$

- Аналогично проводим подобную операцию для других узлов (рис. 65).

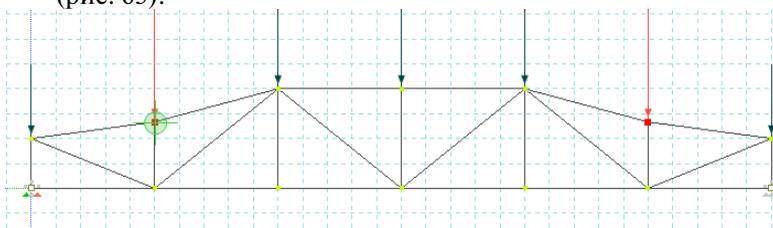


Рис. 65. Перемещение узлов по оси  $Z$

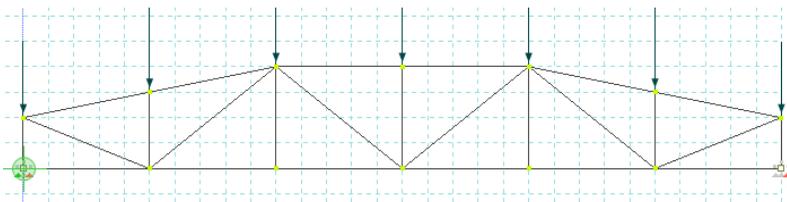


Рис. 66. Расчетная схема

4. Увеличение числа элементов сети. В левом нижнем углу экрана раскройте список около надписи **Сеть**  **Сеть** ▾ и поставьте вместо 10 элементов 30, так как длина нашей фермы 30 м.

5. Вывод на экран номеров узлов и элементов. Вид ► **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Элементы** установите флажок **Номер**.
- После этого в ветке **Узлы** установите флажок **Номер**.
- Уберите флажок с команды **Использовать выделенные объекты**.
- Уберите флажок с команды **Добавить префиксы к значениям**.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

*Те выделения (галочки), которые даются программой по умолчанию, снимать не рекомендуется.*

6. Упаковка схемы. **Правка** ► **Упаковать модель** (кнопка  на панели инструментов). В диалоговом окне **Упаковка модели** щелкните по кнопке **Упаковать**. Эта команда осуществляет «сшивку» совпадающих элементов и узлов.

7. Выделение левого узла фермы, имеющего шарнирно-неподвижную опору. **Выбор** ► **Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов). После появления панели активного режима **Параметры выбора объектов** с помощью курсора выделите левый узел фермы (узел окрасится в красный цвет. По умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки влево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием).

8. Задание связей левому узлу фермы. **Схема** ► **Назначить связи**. На панели активного режима **Назначить связи** отметьте галочками **запрещенные** перемещения в направлении осей **X** и **Z**. Щелкните по кнопке **Закрепить** (красный цвет у узла исчезнет. Под узлом будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения



).

9. Выделение правого узла балки, имеющего шарнирно-подвижную опору. Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, курсором выделите правый узел балки (*узел окрасится в красный цвет*).

10. Задание связей правому узлу фермы. **Схема ► Назначить связи**. На панели активного режима **Назначить связи** отметьте галочкой **запрещенные** перемещения в направлении оси **Z**. Щелкните по кнопке **Закрепить** (*красный цвет у узла исчезнет. Под узлом будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения*).



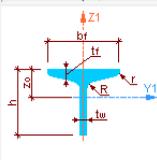
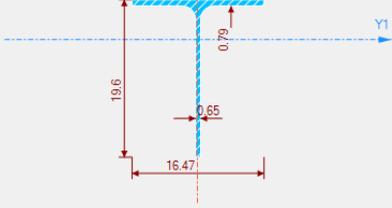
11. Задание сечений. **Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов).

- Из категории **Стальные сечения**  **Стальные сечения** в раскрывающемся списке выберите тип сечения **Тавр прокатный**  **1. Тавр прок.** (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения). В описании занесите **Стержни верхнего пояса**. Задайте параметры сечения. Таблица сортамента — **Тавр с параллельными гранями полки типа Б** ► **Профиль — 20БТ\*** (рис. 67).

Стальные сечения стержней : Тавр прок. : 20БТ\*

Имя Описание  
 20БТ\* Стержни верхнего пояса  
 Страна Таблица сортамента  
 RUS Тавр с параллельными гранями полки типа Б Профиль 20БТ\* Поворот Т

Схема профиля

Учитывать при расчете влияние сдвига

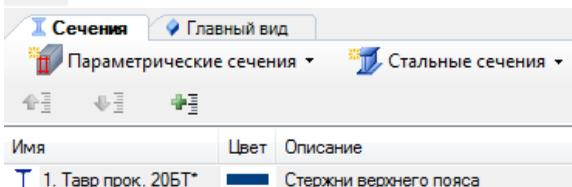
Геометрические характеристики сечения							
A, см <sup>2</sup>	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	г, см	m, кН/м
26.3	19.6	16.47	0.65	0.79	1.6	0	0.203

Расчетные характеристики сечения										
Моменты инерции, см <sup>4</sup>			Ядерные расстояния, см				Средние площади,		Sy, см <sup>3</sup>	Wy верх, см <sup>3</sup>
Iy1	Iz1	Ix1	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-	Fy	Fz		
983	295	5.3144	1.3621	1.3621	7.5053	2.5565	21.686	7.8463	69.467	197.39

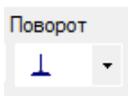
Рис. 67. Задание сечений/жесткостей

- Чтобы скопировать текущее сечение, надо нажать на пиктограмму

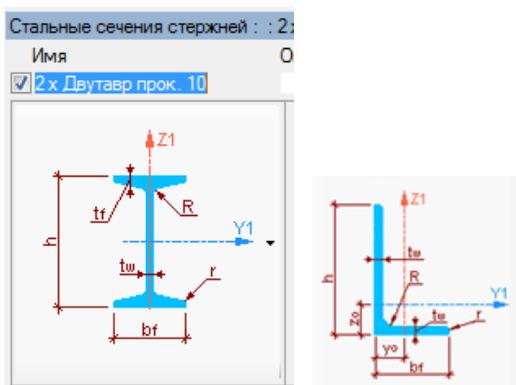
 в левой верхней части окна активного режима сечения.



На панели для задания геометрических размеров в описании занесите **Стержни нижнего пояса**. Разверните тавр на 180 градусов



- Из категории **Стальные сечения** выберите тип сечения **Шаблоны составных сечений** ► **Спаренные сечения**. Для задания базового профиля надо щелкнуть по изображению двутавра в середине окна активного режима и в раскрывающемся списке выбрать уголок неравнополочный.



В описании занесите **Раскосы и стойки**. Задайте профиль **75×50×8**.

- Для просмотра исходных данных любого сечения сделайте его активным в списке сечений.
- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

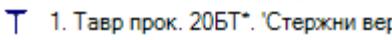
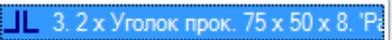
## 12. Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка



на панели инструментов).

- Выберите из категории **Материал из базы данных** ► **Стальной прокат из базы данных** ► **ГОСТ 27772—88**.
- Для выхода из **Редактора материалов** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

**13. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. Конструирование** ► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать сечение и материал**. Выделите элементы верхнего пояса. Нажмите одновременно на кнопки **Ctrl + Shift**. Большим резиновым окном, двигаясь слева направо, выделите элементы верхнего пояса фермы.
- На панели активного режима **Назначить жесткости** выберите  и нажмите на кнопку **Назначить**.
- Аналогично выделите элементы нижнего пояса, выберите  и нажмите на кнопку **Назначить**.
- Для выбора раскосов и ферм сначала выделите все стержни фермы, затем повторным выделением стержней верхнего и нижнего поясов фермы снимите с них выделение. Выделенными останутся раскосы и стойки.
- Назначьте им сечение . Материал для всех стержней остается одинаковым. Его изменять не надо.

**14. Формирование загружений. Редакторы** ► **Редактор загружений** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по вкладке **Добавить загрузжение** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузжение**.
- Для выхода из вкладки **Редактор загружений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

**15. Назначение нагрузок. Схема** ► **Назначить нагрузки** (кнопка  на панели инструментов).

- Выделение крайних верхних узлов фермы. Нажмите одновременно на кнопки **Ctrl + Shift**. Резиновым окном, двигаясь слева направо, выделите сначала левый, потом правый верхние узлы фермы.

- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси **Z**).
- В панели **Сосредоточенная сила** задайте величину силы  $P = 1$  кН.
- Аналогично выделите 5 средних верхних узлов фермы и задайте величину силы  $P = 2$  кН.

16. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет**  **Запустить расчет**. Фон экрана станет черным, но потом снова появится Ваша расчетная схема на белом фоне. Если расчетная схема не появляется и в левом нижнем углу будет надпись «Задание не выполнено», то для поиска ошибок надо выполнить действия, описанные в разделе 3 (Диагностика ошибок).
- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.
- Переход в режим результатов расчета можно осуществить с помощью меню **Расчет** ► **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается не деформированной.

*Приступим к оформлению отчета.*

17. Приведите в отчете расчетную схему фермы с номерами узлов и элементов.

18. Покажите поперечные сечения.

19. Представьте исходные данные в отчете.

20. Просмотр схемы деформирования. **Результаты** ► **Деформированная схема** (рис. 68).

- Обратите внимание на горизонтальное перемещение правого опорного узла.
- Верните исходную схему. **Результаты** ► **Исходная схема**.

21. Выведите на экран и приведите в отчете эпюру продольных сил  $N$ .

- **Результаты** ► **Результаты по стержням** (кнопка  на панели инструментов) ► **Эпюра N**. Щелкните по полю экрана правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите **Визуальное представление** ► **Мозаика** (рис. 69).

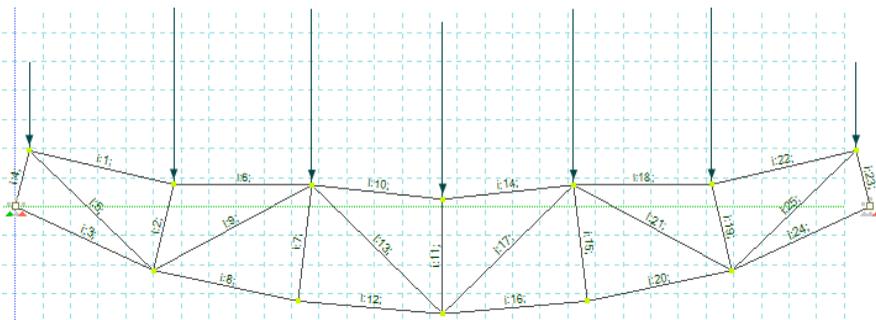


Рис. 68. Деформированная схема

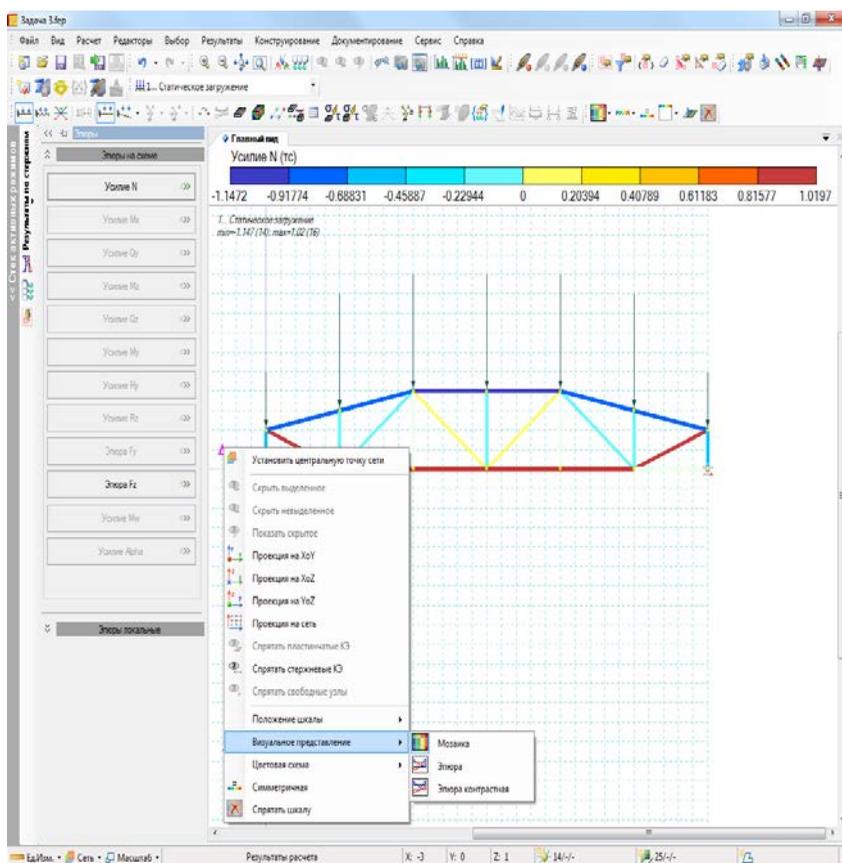


Рис. 69. Мозаика продольных сил

## 22. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета. Результаты ►

**Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

- Выделение элементов рассчитываемой панели. Нажмите одновременно на кнопки **Ctrl + Shift**. Большим резиновым окном, двигаясь слева направо, выделите 5 элементов исследуемой панели.
- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название таблицы **Усилия в стержневых элементах** (указав для выделенных элементов) и нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Полученная таблица **Усилия в стержневых элементах** отобразится в нижней части экрана.

Номер	НС	N (кН)	Загрузка
2	1	-2	1
2	2	-2	1
2	3	-2	1
6	1	-9.458	1
6	2	-9.458	1
6	3	-9.458	1

- Выпишите значения усилий в стержнях исследуемой панели и занесите их в отчет.
- Для каждого элемента значения продольной силы даются для трех сечений.
- Значение продольной силы в сечении можно увидеть, щелкнув курсором по элементу.

**23.** Рядом приведите значения продольных сил в заданной панели, вычисленные в контрольной работе по строительной механике. Сравните результаты численного и аналитического расчетов.

**24.** Аналитически рассчитайте и занесите в отчет значение нормального напряжения в любом стержне фермы, разделив величину продольной силы

на площадь поперечного сечения  $\sigma = \frac{N}{A}$ . Чтобы найти площадь поперечного сечения,

вызовите: **Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов). Выделите в списке нужное сечение и в правой части экрана появятся его геометрические характеристики.

### Самостоятельная работа по заданию 3

Для фермы (рис. 70) требуется:

- 1) выполнить расчет фермы на статические нагрузки;
- 2) вывести на экран деформированную схему фермы;

- 3) вывести на экран мозаику продольных сил  $N$ ;
- 4) определить продольные силы в стержнях второй панели;
- 5) определить напряжение в любом стержне фермы аналитически.

Длина панели  $d = 3$  м. Высота фермы  $h = 3$  м (рис. 70). Сечения стержней фермы:

верхний пояс — из двух неравнополочных уголков  $100 \times 65 \times 10$  (рис. 71, *a*);

нижний пояс — из двух неравнополочных уголков  $160 \times 10 \times 10$  (рис. 71, *б*);

стойки и раскосы — из двух неравнополочных уголков  $75 \times 50 \times 8$ .

Материал фермы — сталь С245. Величина силы  $P = 1.8$  кН.

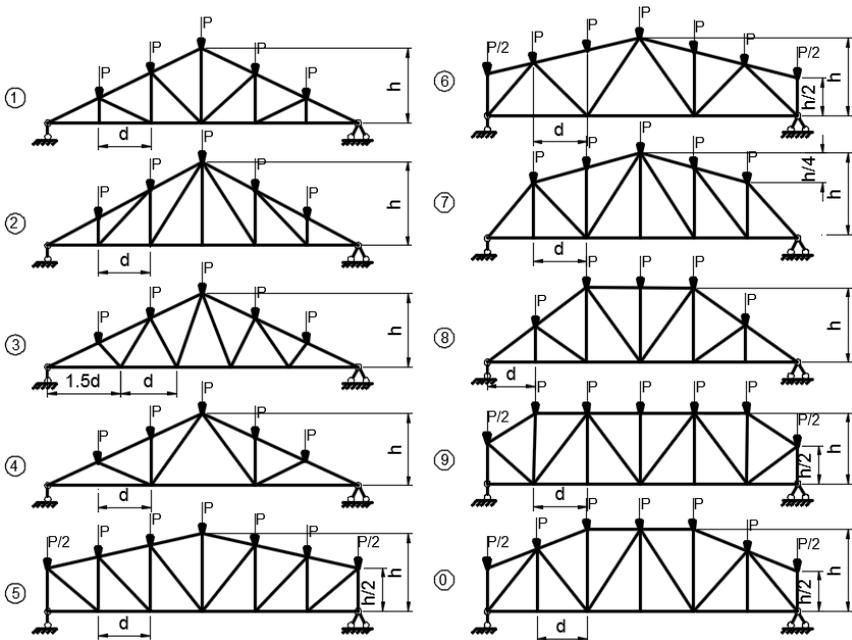


Рис. 70. Расчетная схема фермы



*a*



*б*

Рис. 71. Поперечные сечения стержней фермы:

*a* — верхний пояс; *б* — нижний пояс, стойки и раскосы

## Задание 4. Расчет плоской рамы

(задание из контрольных работ по строительной механике)

### Пример расчета

#### Цель:

- научить студента рассчитывать **плоские рамы**;
- продемонстрировать использование **шаблона** при создании геометрической расчетной схемы рамы;
- показать некоторые приемы **корректировки** расчетных схем;
- продемонстрировать задание врезных шарниров и численных описаний сечений стержней.

#### Условия задания

Для плоской рамы (рис. 72) требуется:

- 1) выполнить расчет на статические нагрузки;
- 2) вывести на экран деформированную схему;
- 3) построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
- 4) сравнить полученные эпюры с результатами расчета, полученными аналитическими методами.

Исходные данные:  $L = 10$  м;  $h = 4$  м;  $q_1 = 0$ ;  $q_2 = 2$  кН/м;  $q_3 = 0$ ;  $P_1 = 0$ ;  $P_2 = 0$ ;  $P_3 = 4$  кН;  $I_1 : I_2 = 1 : 2$ ; для ригелей жесткость на растяжение  $EA = 1 \cdot 10^8$  кН, жесткость на изгиб  $EI_{y1} = 1 \cdot 10^4$  кН м<sup>2</sup>; для колонн  $EA = 1 \cdot 10^8$  кН,  $EI_{y2} = 2 \cdot 10^4$  кН м<sup>2</sup> (при  $I_{v1} : I_{v2} = 1 : 2$ ).

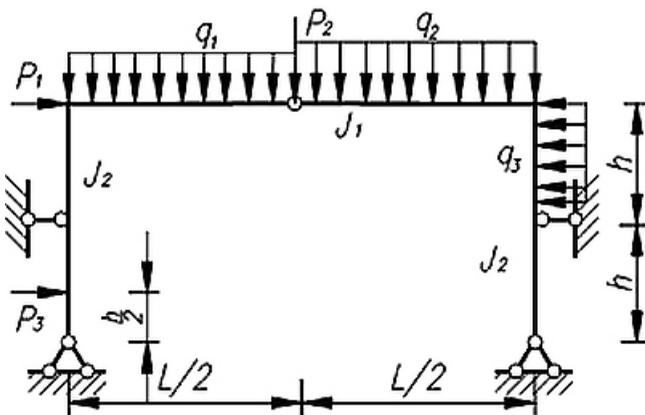


Рис. 72. Расчетная схема рамы

## Методические указания к заданию 4

*Приступим к созданию расчетной схемы.*

1. Запуск программы. Пуск ► Программы ► Lira Soft ► Lira 10.4 ► LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).

2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — Задача 4;
- описание — Расчет плоских рам;
- тип создаваемой задачи — **(2) Плоская рама (X, Z, UY)**. X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.
- Нажмите кнопку **Создать**.

3. Создание геометрии расчетной схемы. **Схема** ► **Добавить пространственную раму** (кнопка  на панели инструментов).

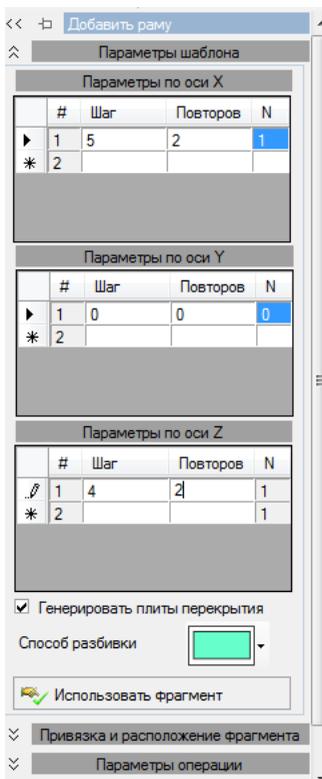
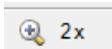


Рис. 73. Задание параметров шаблона

- Заполните параметры шаблона для создания рамы. Шаг вдоль оси  $X$  — 5 м, Повторов — 2, Число конечных элементов  $N$  — 1. Шаг вдоль оси  $Z$  — 4 м, Повторов — 2, Число конечных элементов  $N$  — 1 (рис. 73).

Пояснение для параметров шаблона: 5 м — Шаг разбивки (длина фрагмента шаблона вдоль соответствующей оси  $X$ ,  $Y$  или  $Z$ ); 2 — число повторов с заданным шагом; 1 — число конечных элементов, на которые разбивается заданный Шаг разбивки.

- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- С помощью курсора мыши необходимо созданный **фрагмент добавить к расчетной схеме**. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений так, чтобы ось симметрии рамы совпала с вертикальной осью сети. При возникновении значка  подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы (рис. 74).
- Увеличение схемы. Вид ► Увеличить в окне ► Увеличить в 2 раза



4. Вывод на экран экран номеров узлов. Вид ► Изменить атрибуты представ-

ления модели (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Узлы** установите флажок **Номер**.
- В ветке **Элементы** установите флажок **Номер**.
- Уберите флажок с команды **Использовать выделенные объекты**.
- Уберите флажок с команды **Добавить префиксы к значениям**.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

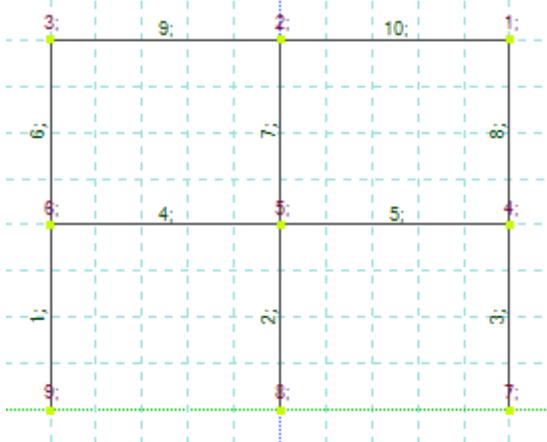


Рис. 74. Шаблон с номерами узлов и элементов

## 5. Корректировка схемы.

- Выделите лишний узел № 5 (центральный узел рамы) (Рис. 74.). Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, курсором выделите лишний узел шаблона (*узел окрасится в красный цвет*).
- **Правка ► Удалить выделенное** (кнопка  на панели инструментов) (*узлы удаляются вместе с прилегающими к нему элементами*).
- После этого, если требуется, можно удалять или добавлять элементы, используя пункты меню **Правка ► Удалить выделенное** или **Схема ► Добавить элемент**.
- Обратите внимание на то, что при добавлении узла его надо связывать элементами с основной конструкцией, чтобы он не был «висячим». Это достаточно трудоемко, поэтому при создании шаблонов число узлов лучше выбирать больше (что уточняет расчет).

## 5. Назначение шарнира. **Схема ► Назначить шарниры** (кнопка на панели инструментов) (рис. 75).

- Не следует путать **связи** и врезные **шарниры**. **Связи** — это опоры. Они соединяют элемент с землей. В связях указываются направления, по которым **запрещены** перемещения. Врезные **шарниры** соединяют элементы. Для шарниров указываются направления, по которым **разрешены** перемещения.
- Выделите элемент № 9 (рис. 74), в котором справа находится врезной шарнир. Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, двигаясь курсором, справа налево выделите элемент № 9 (*элемент окрасится в красный цвет*).
- В панели активного режима **Назначить шарниры** с помощью установки флажка укажите **Направление шарнира — Поворот относительно оси Y (UY)**.
- На этой же панели в разделе **Политика назначения** надо показать, что врезной шарнир примыкает ко второму (правому) узлу выделенного элемента.
- Отмечая флажком **Индикация назначения**, предварительно можно увидеть заданный шарнир , где три верхних цвета обозначают перемещение вдоль X, Y, Z, а три нижних — поворот относительно осей X, Y, Z (*цвет наложенных связей отвечает цвету осей*).
- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.

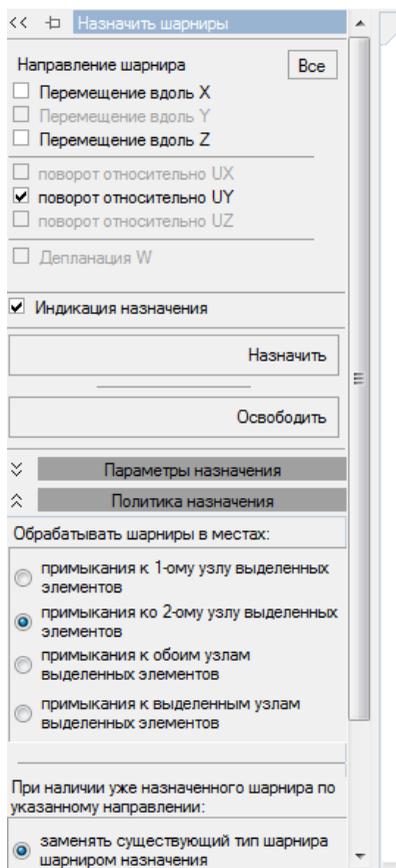


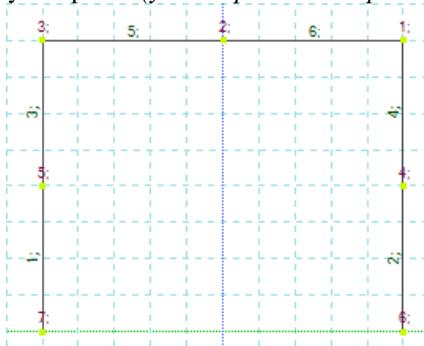
Рис. 75. Назначение врезных шарниров

7. Упаковка схемы. **Правка ► Упаковать модель** (кнопка  на панели инструментов). В окне активного режима **Упаковка модели** установите флажок  **Дополнительные операции**.

- Удалить 'Висячие' узлы
- Щелкните по кнопке **Упаковать**.
- Эта команда осуществляет «сшивку» совпадающих элементов и узлов, перенумеровывает узлы и элементы, удаляет узлы, не соединяющиеся с конструкцией (узел № 7 на рис. 74).

8. Задание граничных условий. **Схема ► Назначить связи** (кнопка  на панели инструментов).

- Выделение нижних узлов рамы, имеющих шарнирно-неподвижную опору (узлов 6, 7 на рис. 76). Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, курсором выделите нижние узлы рамы (*узлы окрасятся в красный цвет*).



**Рис. 76.** Расчетная схема после корректировки и упаковки

- В панели активного режима с помощью установки флажков отметьте те направления, по которым запрещены перемещения узлов (**X** — перемещение в направлении оси **X**, **Z** — перемещение в направлении оси **Z**) (*красный цвет у узлов исчезнет. Под узлами будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения. Цвет связей соответствует цвету оси, в направлении которой запрещено перемещение*).
- Щелкните по кнопке **Закрепить**.
- Выделение верхних узлов рамы, имеющих шарнирно-подвижную опору (узлов 4, 5 на рис. 76). Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши **Ctrl + Shift**. Не отпуская их, курсором выделите верхние узлы рамы (*узлы окрасятся в красный цвет*).
- В панели активного режима **Назначить связи** с помощью установки флажка отметьте то направление, по которому запрещено перемещение узлов (**X** — перемещение в направлении оси **X**) (*красный цвет у узлов исчезнет*).
- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

#### 9. Задание сечений. Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей (кнопка



на панели инструментов).

- Из категории **Специальные сечения**  **Специальные сечения** ▼ в раскрывающемся списке выберите тип сечения **Численное описа-**

ние сечения стержня (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения).

- На панели активного режима в **описании** пометьте **ригели**.
- Поставьте галочку около команды **Задавать жесткостные характеристики**.
- Задайте параметры сечения в экспоненциальной форме: жесткость на растяжение  $EA = 1 \cdot 10^8$  (**1e8**) кН, жесткость на изгиб  $EI_{y1} = 1 \cdot 10^4$  (**1e4**) кН·м<sup>2</sup> (рис. 77). Буква *e* набирается в латинском алфавите.

Специальные сечения : Численное описание сечения стержня : EA,Ely,Elz

Имя	Описание
<input checked="" type="checkbox"/> EA,Ely,Elz	ригели

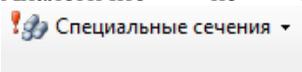
  

<input checked="" type="checkbox"/> Задавать жесткостные характеристики	Погонная нагрузка	0
<input type="checkbox"/> Учитывать при расчете влияние сдвига	Коэффициент температурного расширения	1E-4

Расчетные свойства сечения					
EA, кН	Момент инерции, кН*м <sup>2</sup>			Ядровые ра	
	Ely1	Elz1	Glx1	Y1+	Y1-
1e8	1e4	0	0	0	0

Рис. 77. Панель Численное описание сечения стержня

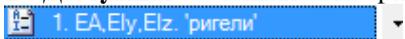
- Аналогично из категории **Специальные сечения**  в раскрывающемся списке выберите еще раз тип сечения **Численное описание сечения стержня**.
- На панели активного режима в **описании** пометьте **колонны**.
- Поставьте галочку около команды **Задавать жесткостные характеристики**.
- Задайте параметры сечений колонн в экспоненциальной форме: жесткость на растяжение  $EA = 1 \cdot 10^8$  (**1e8**) кН, жесткость на изгиб  $EI_{y1} = 2 \cdot 10^4$  (**1e4**) кН·м<sup>2</sup>. Буква *e* набирается в латинском алфавите.
- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** шелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

## 10. Назначение сечений элементам расчетной схемы. **Конструирование**

► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать сечение**.

- В **Доступных сечениях** выберите **1. EA, EIy, EIz**. «ригели»



- Выделите курсором горизонтальные элементы рамы, нажав кнопки **Ctrl + Shift**.
- Нажмите кнопку **Назначить**.
- Аналогично выделите вертикальные элементы рамы. В **Доступных сечениях** выберите **2. EA, EIy, EIz**. «колонны»



## 11. Формирование загружений. Редакторы ► Редактор загружений

(кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузку** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузку**.
- Для выхода из вкладки **Редактор загружений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

## 12. Назначение нагрузок. Схема ► Назначить нагрузки (кнопка на панели инструментов).

- Выделите курсором правый горизонтальный элемент рамы, нажав кнопки **Ctrl + Shift**.
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок ► Нагрузки на стержень ► Равномерно распределенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси **Z**).
- В панели **Равномерно распределенная сила** задайте интенсивность нагрузки  $P = 2$  кН/м.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.
- Красный цвет у элементов исчезнет, и на экране появятся стрелки, изображающие распределенную силу.
- Сила считается положительной, если она направлена вниз, т.е. в сторону, противоположную оси **Z**.
- Выделите курсором левый нижний элемент рамы, нажав кнопки **Ctrl + Shift**.
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок ► Нагрузки на стержень ► Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**).
- Радиокнопкой укажите направление силы — вдоль оси **X** (рис. 78).
- На панели **Сосредоточенная сила** задайте расстояние от первого узла  $A = 2$  м и величину силы  $P = 4$  кН (рис. 79) (*элемент вновь*

станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу).

- Нажмите на кнопку **Назначить**.

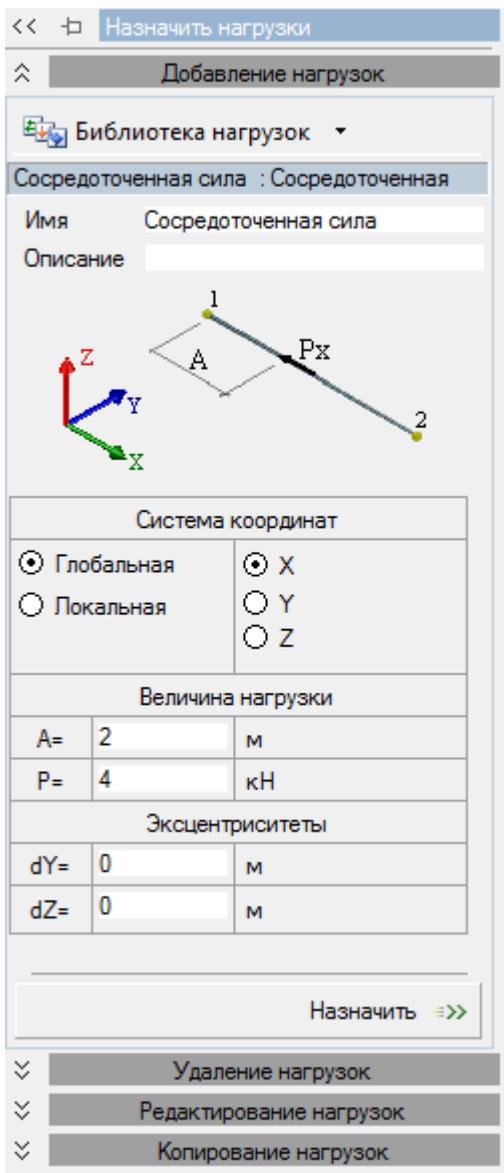


Рис. 78. Панель Назначить нагрузки

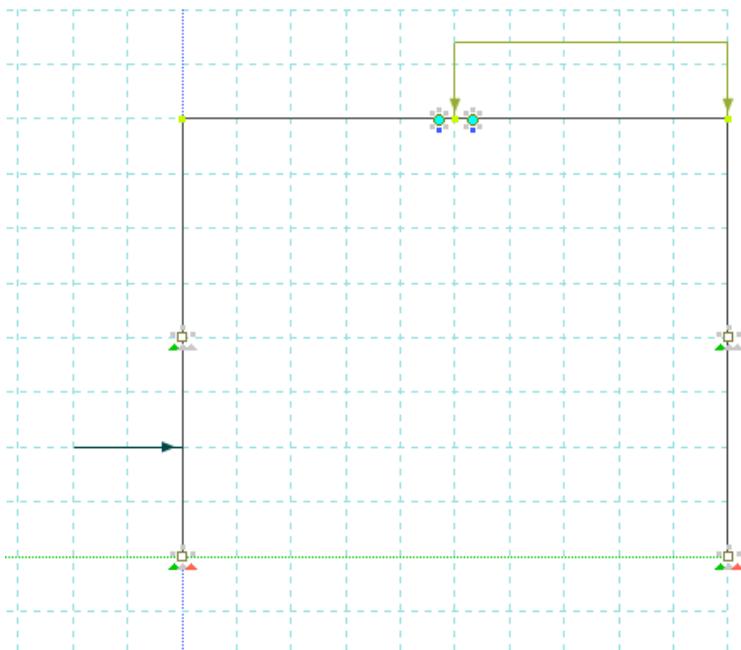


Рис. 79. Расчетная схема балки

13. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет**  **Запустить расчет** (рис. 80). Фон экрана станет черным, но потом снова появится ваша расчетная схема на белом фоне. Если расчетная схема не появляется и в левом нижнем углу будет надпись «Задание не выполнено», то для поиска ошибок надо выполнить действия, описанные в разделе 3 (Диагностика ошибок).
- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.
- Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню **Расчет** ► **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается **не деформированной**.

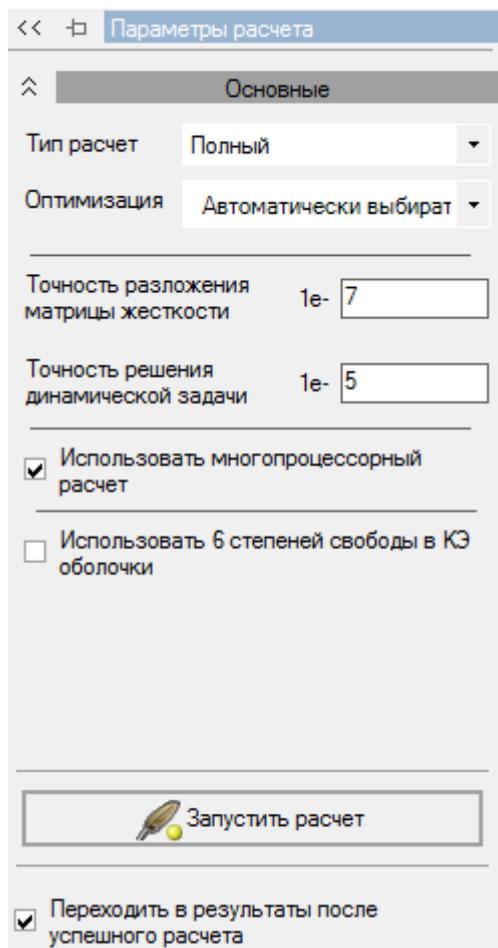


Рис. 80. Панель активного режима Параметры расчета

14. Просмотр схемы деформирования. **Результаты ► Деформированная схема** (рис. 81).

- Верните исходную схему. **Результаты ► Исходная схема.**

*Приступим к оформлению отчета.*

15. Приведите в отчете расчетную схему рамы с номерами узлов.

16. Представьте исходные данные в отчете.

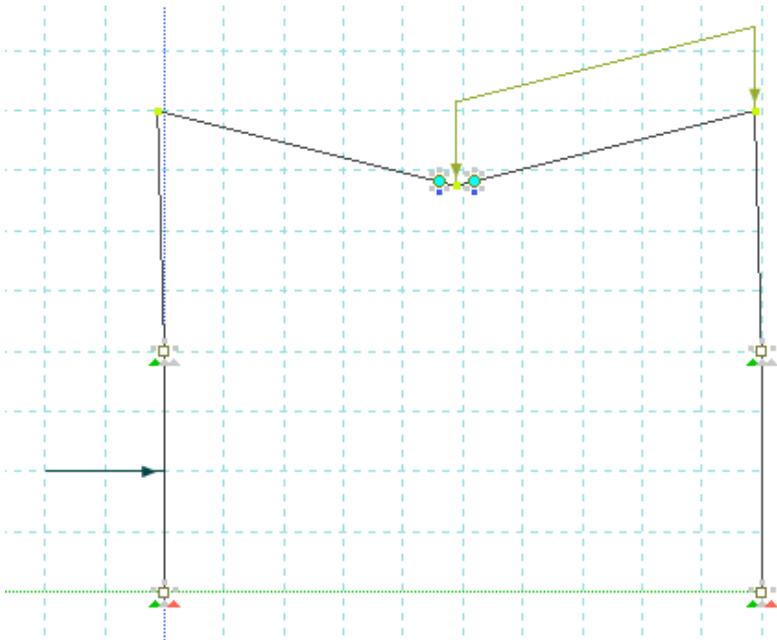


Рис. 81. Деформированная схема

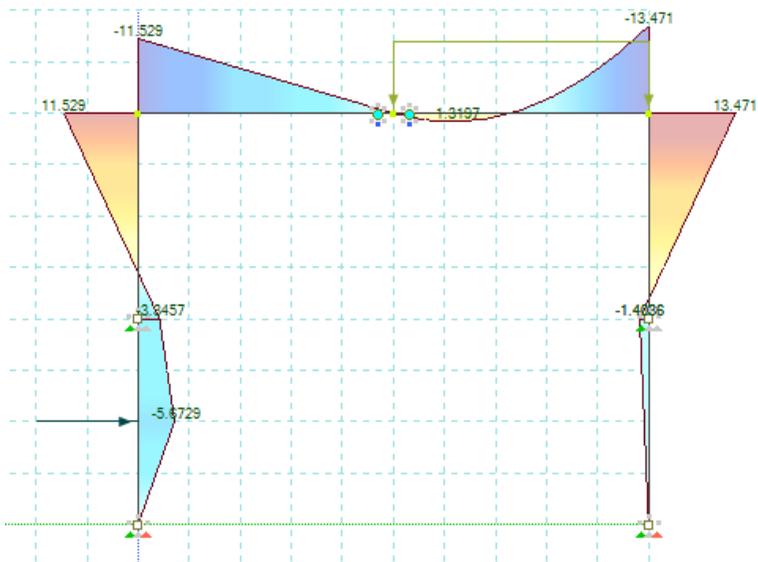


Рис. 82. Эпюра изгибающих моментов  $M_y$

17. Выведите на экран и представьте в отчете эпюру изгибающих моментов  $M_y$ , указав значения ординат (рис. 82).

- Результаты ► Результаты по стержням (кнопка  на панели инструментов) ► Эпюра  $M_y$   .
- Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка  на панели инструментов) ► Элементы ► Значения с мозаики.

*Убирать галочки с тех команд, которые выбраны по умолчанию, не рекомендуется.*

18. Выведите на экран и представьте в отчете эпюру поперечных сил  $Q_z$ , указав значения ординат.

- Для выбора эпюры  $Q_z$  щелкните по кнопке  $Q_z$   на панели активного режима (рис. 83).

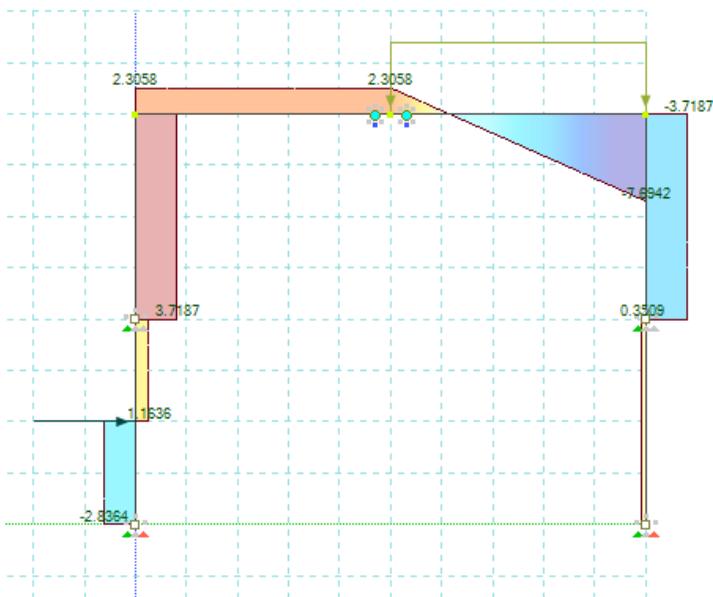


Рис. 83. Эпюра поперечных сил  $Q_z$

19. Выведите на экран и представьте в отчете эпюру продольных сил  $N$ , указав значения ординат.

- Для выбора эпюры  $N$  щелкните по кнопке  $N$   на панели активного режима (рис. 84).

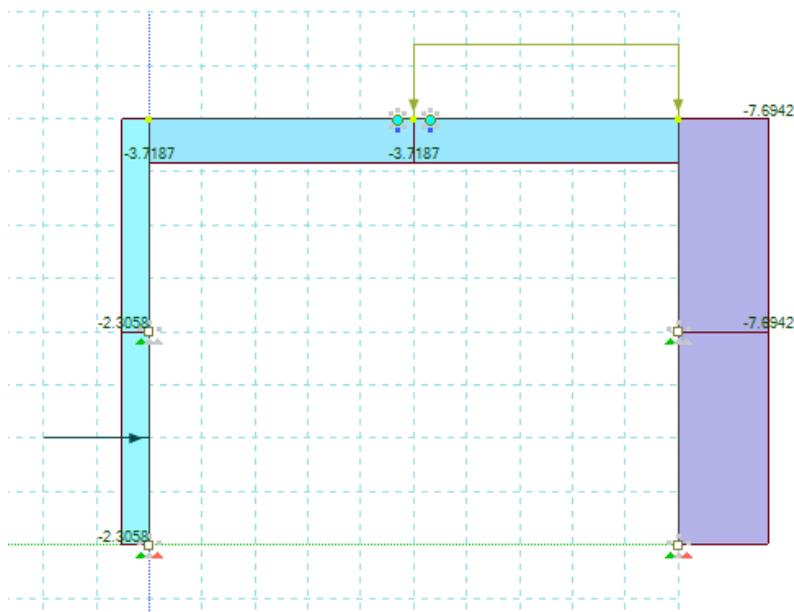


Рис. 84. Эпюра продольных сил  $N$

20. Сравнить полученные эпюры с результатами, полученными аналитическим методом в строительной механике.

#### Самостоятельная работа по заданию 4

Для плоской рамы (рис. 85) требуется:

- 1) выполнить расчет на статические нагрузки;
- 2) вывести на экран деформированную схему;
- 3) построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
- 4) сравнить полученные эпюры с результатами расчета, полученными аналитическими методами.

Исходные данные:  $l = 3$  м;  $h = 4$  м;  $q = 1.3$  кН/м;  $P = 1.8$  кН;  $J_1$  — жесткость на растяжение  $EA = 1 \cdot 10^8$  кН, жесткость на изгиб  $EI_{y1} = 1 \cdot 10^4$  кН·м<sup>2</sup>;  $J_2$  — жесткость на растяжение  $EA = 1.5 \cdot 10^8$  кН, жесткость на изгиб  $EI_{y1} = 2 \cdot 10^4$  кН·м<sup>2</sup>;  $J_3$  — жесткость на растяжение  $EA = 2 \cdot 10^8$  кН, жесткость на изгиб  $EI_{y1} = 3 \cdot 10^4$  кН·м<sup>2</sup>.

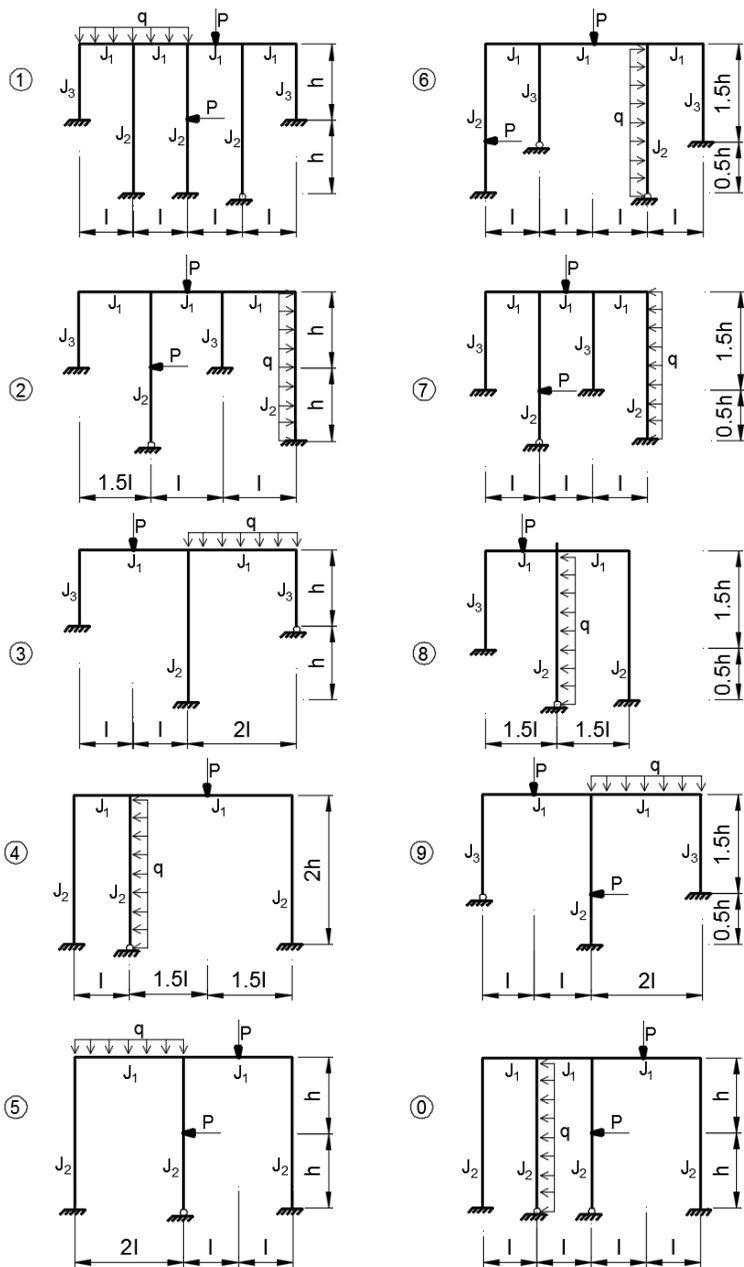


Рис. 85. Расчетная схема рамы

## Задание 5. Расчет железобетонной плиты

### Пример расчета

#### Цель:

- продемонстрировать процедуру построения **расчетной схемы** плиты;
- научить студента задавать поперечные **сечения плоских конечных элементов** и **изотропные материалы**;
- показать технику задания нескольких **нагрузений** для одной расчетной схемы и составления **PCY**;
- представить **табличную** форму вывода результатов.

#### Условие задания

Для железобетонной плиты (рис. 86) размером  $6 \times 3$  м и толщиной 20 см требуется:

- 1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки для трех случаев нагружения (рис. 87);
- 2) вывести на экран деформированные схемы и изополя перемещений по направлению  $Z$ ;
- 3) определить наибольшие значения прогибов пластины для всех случаев нагружения;
- 4) вывести на экран изополя погонных изгибающих моментов  $M_x$  и поперечных сил  $Q_x$ ;
- 5) определить наибольшие значения погонных изгибающих моментов  $M_x$  и поперечных сил  $Q_x$ ;
- 6) произвести расчет нижнего армирования по направлению  $X$ ;
- 7) вывести на экран результаты расчета армирования;
- 8) составить таблицу расчетных сочетаний усилий (PCY) и произвести их расчет;
- 9) для среднего элемента плиты просмотреть результаты PCY и определить, при каких сочетаниях усилий получены наибольшие значения  $M_x$  и  $Q_x$ ;
- 10) произвести аналитическую проверку полученных результатов.

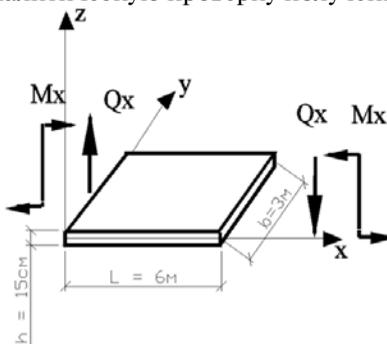
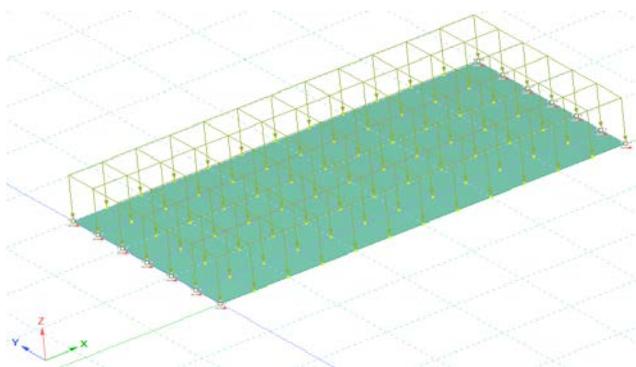
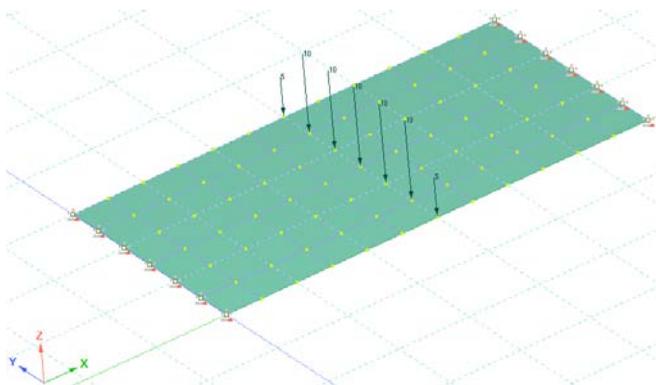


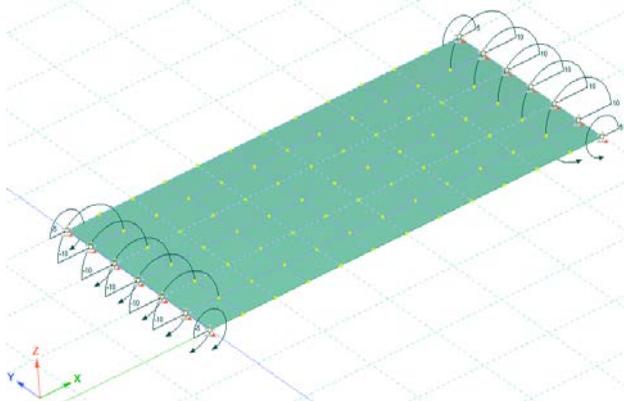
Рис. 86. Железобетонная плита



*a*



*б*



*в*

**Рис. 87.** Схемы нагружения плиты:

*a* — собственный вес; *б* — сосредоточенные силы; *в* — сосредоточенные моменты

Короткие стороны плиты оперты по всей длине. Длинные стороны плиты — свободны.

Заданные нагрузки:

- загрузка 1 — собственный вес (рис. 87, а);
- загрузка 2 — сосредоточенные силы  $P = 10 \text{ кН}$  и  $P_1 = 5 \text{ кН}$ , приложенные к срединным узлам плиты, параллельным короткой стороне (рис. 87, б);
- загрузка 3 — сосредоточенные моменты  $M = 10 \text{ кН}\cdot\text{м}$  и  $M_1 = 5 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , приложенные к коротким сторонам плиты (рис. 87, в).

Расчет производится для сетки  $12 \times 6$ . Материал плиты — бетон БД (В25). Модуль упругости  $E = 3 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2$ ; коэффициент Пуассона  $\mu = \nu = 0.2$ ; удельный вес материала плиты  $\gamma = R_0 = 24,5 \text{ кН/м}^3$ .

### Методические указания к заданию 5

*Приступим к созданию расчетной схемы.*

1. Запуск программы. Пуск ► Программы ► Lira Soft ► Lira 10.4 ► LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).

2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — Задача 5;
- описание — Расчет плиты;
- тип создаваемой задачи — (3) **Плоская плита или ростверк (Z, UX, UY)**. Z, UX, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.
- Нажмите кнопку **Создать**.

3. Создание геометрии расчетной схемы. **Схема ► Добавить фрагмент плоской плиты** (кнопка  на панели инструментов);

- Заполните параметры шаблона для создания плиты. Шаг вдоль оси X — 6 м, Повторов — 1, Число конечных элементов  $N$  — 12. Шаг вдоль оси Y — 3 м, Повторов — 1, Число конечных элементов  $N$  — 6 (рис. 88).
- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- С помощью курсора мыши созданный фрагмент добавьте к расчетной схеме. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка  подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.

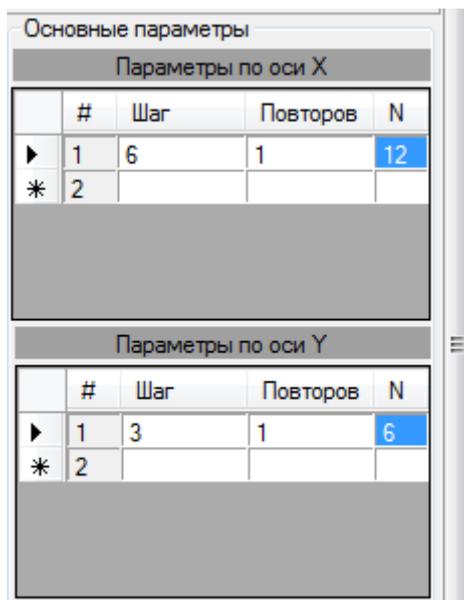
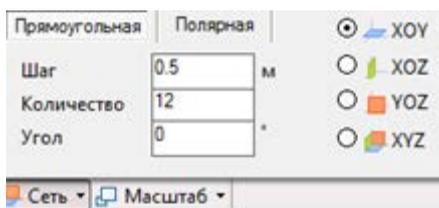


Рис. 88. Задание параметров плиты

- Измените параметры сети построения, нажав на кнопку **Сеть** в левом нижнем углу экрана. Поставьте **Шаг** — 0.5, **Количество** — 12.



- Увеличьте расчетную схему. Вид ► **Увеличить в окне** (кнопка  на панели инструментов) ► Увеличить в 2 раза .

4. Задание граничных условий. Схема ► **Назначить связи** (кнопка  на панели инструментов).

- Нажав одновременно на кнопки **Ctrl + Shift**, выделите курсором все узлы на коротких сторонах плиты (рис. 88) (узлы окрасятся в красный цвет).
- Так как закрепление шарнирное, в панели активного режима **Назначить связи**, с помощью установки флажка, запретите пере-

мещение в направлении оси  $Z$  (красный цвет у узлов исчезнет. Под узлами будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения. Цвет связей (красный) соответствует цвету оси  $Z$ , в направлении которой запрещено перемещение).

- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

### 5. Задание сечений. Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей (кнопка



на панели инструментов) ► Сечения плит ► Пластина.

- В панели **Сечения плит** задайте толщину пластины  $h = 20$  см (рис. 89).
- Поставьте галочку **Подбор арматуры**, настройки оставьте по умолчанию.

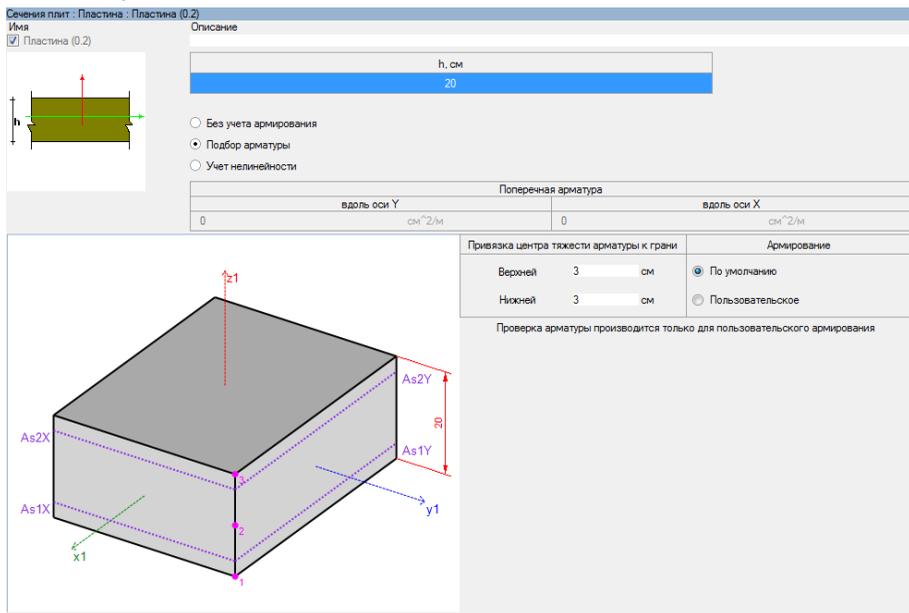
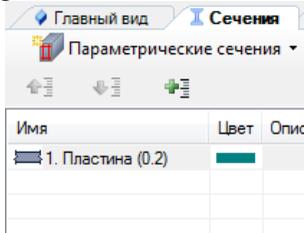


Рис. 89. Задание сечений

- Чтобы увидеть, что в списке сечений изменилась толщина, надо щелкнуть курсором по левой части окна активного режима **Сечения**.



- Для выхода из Редактора сечений/жесткостей щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

6. Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка 

на панели инструментов).

- Выберите из категории **Линейный материал** ► **Изотропный материал**.
- Задайте: модуль упругости  $E = 3 \cdot 10^7$  КПа ( $3e7$ ); коэффициент Пуассона  $\nu = 0.2$ ; объемный вес  $\gamma = 24,5$  кН/м<sup>3</sup> (рис. 90). *Буква e набирается в латинском алфавите.*
- Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

Линейные материалы : Изотропный материал : Лн. изотр.

Имя  Описание

Лн. изотр.

Объемный вес  кН/м<sup>3</sup>

---

Свойства материала

Модуль упругости, КПа	Коэффициент Пуассона
E <input type="text" value="3.0E+07"/>	ν <input type="text" value="0.2"/>

Рис. 90. Задание материала

7. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. **Конструирование** ► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования**

(кнопка  на панели инструментов).

- Выделение всех элементов плиты. **Выбор** ► **Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A)**.
- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать сечение и материал**.
- Затем в **Доступных сечениях** выберите **1. Пластина (0.15)**, в **Доступных материалах** — **1. Линейно-изотропный материал** (рис. 91).
- Нажмите кнопку **Назначить**.

<<  Назначить жесткость

Доступные сечения

 1. Пластина (0.15) ▼

Доступные материалы

 1. Лн. изотр. ▼

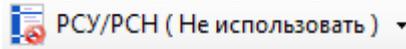
Рис. 91. Назначение жесткости

## 8. Формирование загрузжений. Редакторы ► Редактор загрузжений

(кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузжение** и добавьте **3 статических загрузжения**.

- Выберите нормы проектирования из выпадающего списка

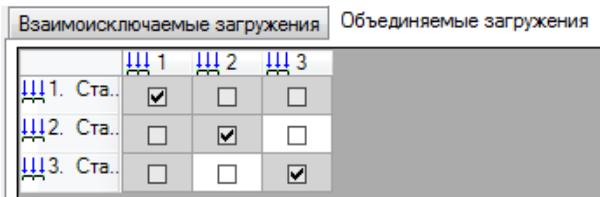


Российская Федерация: СП 20.13330.2011

- Затем, делая поочередно активными загрузжения, задайте: для Статического загрузжения 1 выберем: **Вид загрузжения ► Постоянное**; для Статического загрузжения 2 выберем: **Вид загрузжения ► Длительное**; для Статического загрузжения 3 выберем: **Вид загрузжения ► Кратковременное**.

- Щелкните в левой части панели **Загрузжения на Библиотеку загрузжений**  Библиотека загрузжений

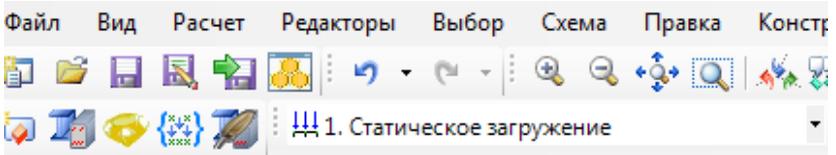
- В правой части панели **Загрузжения** в окне **Параметров загрузжения** выберите **Объединяемые перемещения**



- Для выхода из вкладки **Редактор загрузжений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

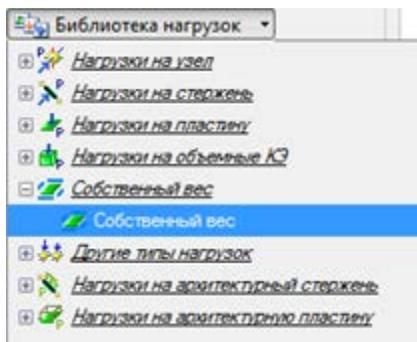
## 9. Назначение нагрузок. Схема ► Назначить нагрузки (кнопка на панели инструментов).

- **Формирование загрузжения № 1.** Выберите **1. Статическое загрузжение**.



- Выделение всех элементов балки. **Выбор ► Выбрать все узлы и элементы** (Ctrl + A) (узлы и элементы примет красный цвет).

- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Собственный вес:** ► **Собственный вес.**



- Щелкните по кнопке **Назначить**. Элементы автоматически загружаются нагрузкой собственного веса (*красный цвет у элементов исчезнет, и на экране появятся стрелки, изображающие распределенную силу, соответствующую собственному весу плиты. Сила считается положительной, если она направлена вниз, т.е. в сторону, противоположную оси Z*).
- Для того чтобы увидеть распределенную нагрузку на экране, представьте плиту в аксонометрической проекции **Вид** ► **Вращать модель** ► **Дополнительный вид** (рис. 87, а).
- **Формирование загрузки № 2.** Смена номера загрузки. Выберите **2. Статическое нагружение**  **2. Статическое нагружение**.

Выделите курсором два узла, находящихся в середине длинных сторон пластины, параллельных оси X (рис. 87, б). **Назначить нагрузки** ► **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** ►  $P_1 = 5 \text{ кН}$  ► **Назначить**.

Выделите курсором остальные срединные узлы, расположенные параллельно оси Y (рис. 87, б). **Назначить нагрузки** ► **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** ►  $P = 10 \text{ кН}$  ► **Назначить**.

- **Формирование загрузки № 3.** Смена номера загрузки. Выберите **3. Статическое нагружение**  **3. Статическое нагружение**.
- Выделите узлы, находящиеся на левых углах пластины (рис. 87, в). **Назначить нагрузки** ► **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенный момент** ►  $M_1 = -5 \text{ кН}\cdot\text{м}$  ► **Направление**  Y ► **Назначить**.

- Выделите остальные узлы левой короткой стороны пластины (рис. 87, в). Приложите к ним сосредоточенные моменты  $M = -10 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .
- Задание симметричных сосредоточенных моментов для правой стороны плиты (рис. 87, в). К правой короткой стороне плиты приложите такие же по величине моменты, как и к левой стороне, но противоположные по знаку (**отрицательные**)  $M_1 = 5 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ,  $M = 10 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

10. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет** .
- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.
- Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню **Расчет** ► **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается **не деформированной**.

*Приступим к оформлению отчета.*

11. Представьте в отчете расчетную схему плиты, указав величины нагрузок, геометрические размеры и жесткостные характеристики.

12. Просмотр схем деформирования для трех случаев нагружения. **Результаты** ► **Деформированная схема** .

- Смена номера текущего нагружения производится на панели инструментов в выпадающем списке **Статическое нагружение**.
- Верните исходную схему. **Результаты** ► **Исходная схема** .

13. Выведите на экран изополя перемещений по направлению Z для всех случаев нагружения. **Результаты** ► **Результаты по узлам** ►

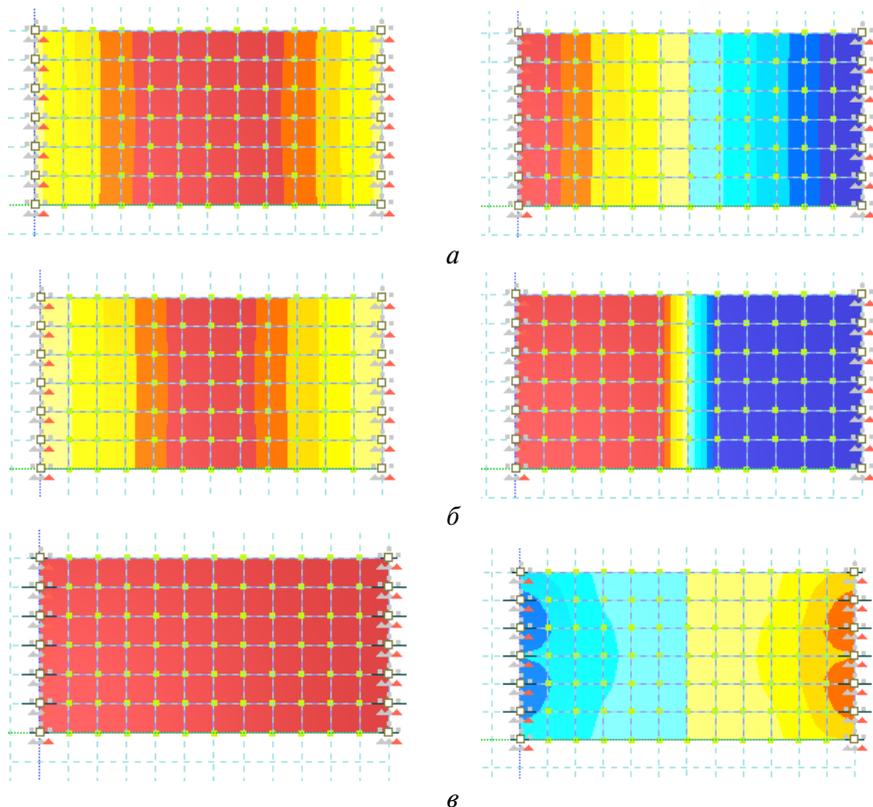
**Перемещение по Z**

- Внесите в отчет наибольшие по абсолютной величине значения прогиба.

14. Выведите на экран изополя погонных изгибающих моментов  $M_x$  и поперечных сил  $Q_x$  для трех случаев нагружения (рис. 92) **Результаты** ► **Результаты по пластинам** ► **Напряжение ( $M_x$ )** или ( $Q_x$ ) (кнопка  на панели

инструментов, а затем **Напряжение  $M_x$**  или **Напряжение  $Q_x$**  на панели активного режима).

На рис. 92 слева представлены изополя  $M_x$ , справа  $Q_x$ .



**Рис. 92.** Изополя изгибающих моментов и поперечных сил:  
*a* — загрузка 1; *б* — загрузка 2; *в* — загрузка 3

**15.** Формирование и просмотр таблиц результатов расчета внутренних силовых факторов. **Результаты** ► **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

- Нажав кнопки **Ctrl + Shift**, выделите курсором один из средних элементов плиты. По умолчанию отметка узлов и элементов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название таблицы **Усилия в пластинчатых элементах** (указав для выделенных элементов) (рис. 93) и нажмите на кнопку **Сформировать**.

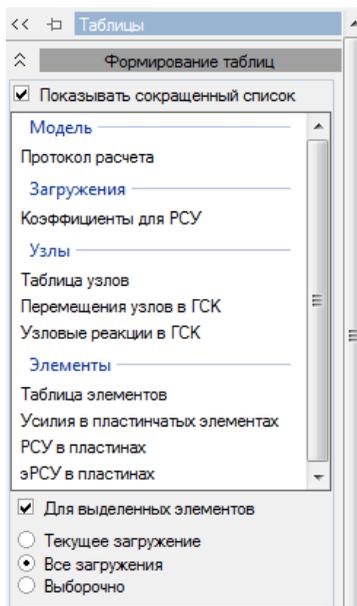


Рис. 93. Формирование таблиц результатов

- Полученная таблица **Усилия в пластинчатых элементах** отобразится в нижней части экрана (рис. 94).
- Выпишите значения  $M_x$  и  $Q_x$  для всех случаев нагружения и занесите их в отчет.

Усилия в пластинчатых э... ✕						
Номер	$M_x$ ((кН*м)/м)	$M_y$ ((кН*м)/м)	$M_{xy}$ ((кН*м)/м)	$Q_x$ (кН/м)	$Q_y$ (кН/м)	Загружение
34	16.256	1.1606	-0.029171	0.79428	-0.12336	1
34	27.264	2.347	-0.046082	9.7556	-0.23462	2
34	19.877	0.86228	-0.032176	-0.10262	-0.10711	3

Рис. 94. Внутренние силовые факторы в элементе 34

16. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета РСУ. **Результаты** ► **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов);

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название таблицы **РСУ в пластинах** (указав для выделенных элементов) (рис. 95) и нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Выпишите и занесите в отчет наибольшие значения  $M_x$  и  $Q_x$ . Укажите, для каких нагрузжений они вычислялись.

Номер	Ст.	Гр.	Крит.	$M_x$ ((кН*м)/м)	$M_y$ ((кН*м)/м)	$M_{xy}$ ((кН*м)/м)	$Q_x$ (кН/м)	$Q_y$ (кН/м)	№№ Загрузжений
34	2	A	5/1	74.451	5.1278	-0.126	12.457	-0.54577	1; 2; 3
34	1	A	185/1	50.599	4.093	-0.087387	12.58	-0.41724	1; 2

Рис. 95. Внутренние силовые факторы в элементе 34

17. Произвести аналитический расчет  $M_x$ ,  $Q_x$  и наибольшего перемещения по оси  $Z$  для всех случаев нагружения.

- Так как изгиб цилиндрический, плиту можно заменить балкой единичной ширины, лежащей на двух опорах, имеющей цилиндрическую жесткость  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{3 \cdot 10^7 \cdot 0.15}{12(1-0.2^2)} = 8788 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Нагрузки в

аналитическом расчете надо также задавать погонные (т.е. на единицу длины): интенсивность погонной распределенной нагрузки

от собственного веса  $q = \gamma \cdot h = 3.68 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$ ; погонная сила

$p = \frac{6 \cdot 10}{3} = 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$ ; погонный момент  $m = \frac{6 \cdot 10}{3} = 20 \text{ кН}$ . Эпюры изгибающих моментов приведены на рис. 96.

- Выписать наибольшие значения погонного изгибающего момента  $M_x$ , погонной поперечной силы  $Q_x$  и наибольшего перемещения по оси  $Z$  для всех случаев нагружения, полученные аналитически.

18. Расчёт армирования плиты.

Проведем расчёт армирования железобетонной плиты.

- Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню

**Расчет** ► **Исходные расчета** (кнопка  на панели инструментов).

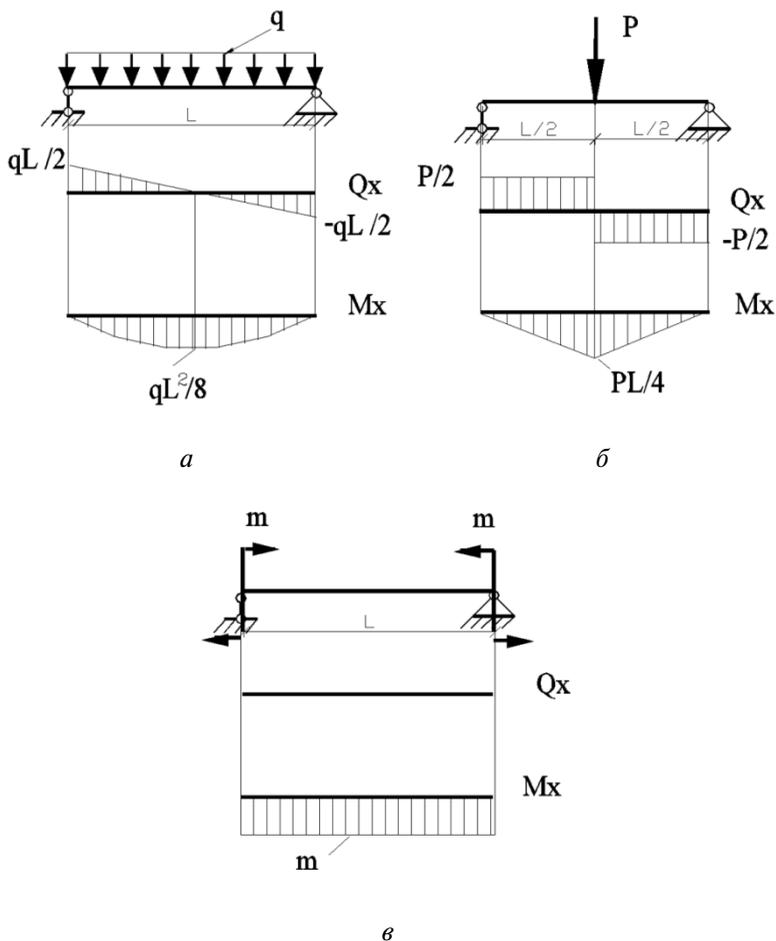


Рис. 96. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил:  
*a* — загрузка 1; *б* — загрузка 2; *в* — загрузка 3

19. Задание параметров конструирования. Редакторы ► Редактор параметров конструирования (кнопка  на панели инструментов).

- Выберите из категории Железобетонные элементы ► ж.б. пласина.
- Все параметры оставляем по умолчанию.

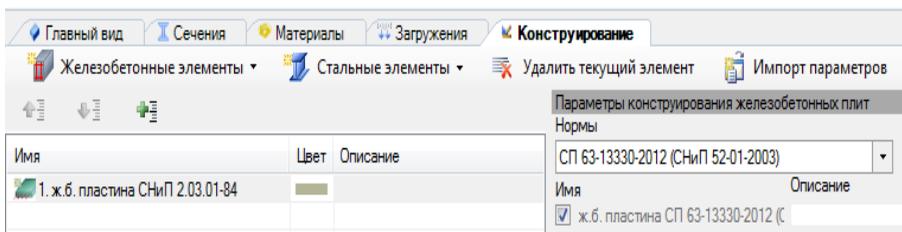


Рис. 97. Задание параметров конструирования

- Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

20. Назначение параметров конструирования элементам расчетной схемы. **Конструирование** ► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 98).

- Выделение всех элементов плиты. **Выбор** ► **Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A)**.
- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать конструирование**.
- Затем в **Доступном конструировании** выберите **1. ж.б. пластина СП 63-13330-2012 (СНиП 52-01—2003)**.
- Нажмите кнопку **Назначить**.

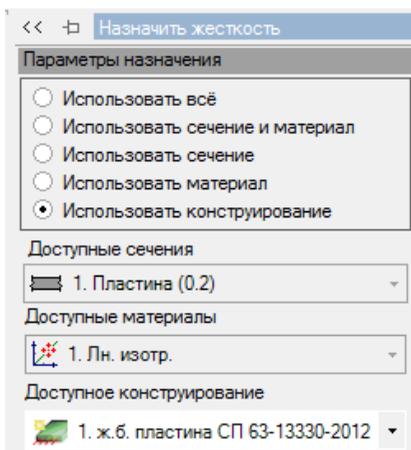
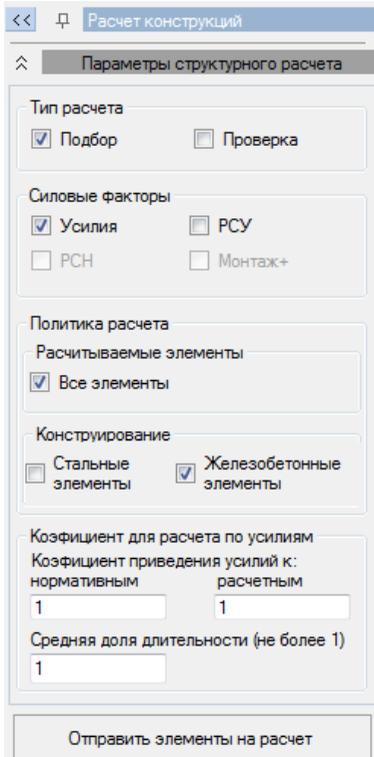


Рис. 98. Назначение конструирования

## 21. Запуск на расчет.

- Перейти в режим результатов расчета с помощью меню **Расчет** ► **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- Выбираем **Расчет** ► **Расчет конструкций** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 99).
- Выбираем **Силовые факторы** — **Усилия**.
- **Политика расчета** — **Все элементы**.
- Нажимаем кнопку **Отправить на расчет**.



<< □ Расчет конструкций

⌵ Параметры структурного расчета

Тип расчета

Подбор  Проверка

Силовые факторы

Усилия  PCY

PCN  Монтаж+

Политика расчета

Расчитываемые элементы

Все элементы

Конструирование

Стальные элементы  Железобетонные элементы

Кoeffициент для расчета по усилиям

Кoeffициент приведения усилий к:

нормативным	расчетным
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

Средняя доля длительности (не более 1)

Отправить элементы на расчет

Рис. 99. Расчет конструкций

22. Выведите на экран результаты по армированию. **Результаты** ► **Результаты по железобетонным конструкциям** ► кнопка .

23. Выведите на экран изополе нижней арматуры по направлению X — As1X (рис. 100). Для чего необходимо в раскрывающемся списке **Продольная арматура** поставить галочку напротив соответствующего пункта (рис. 100).

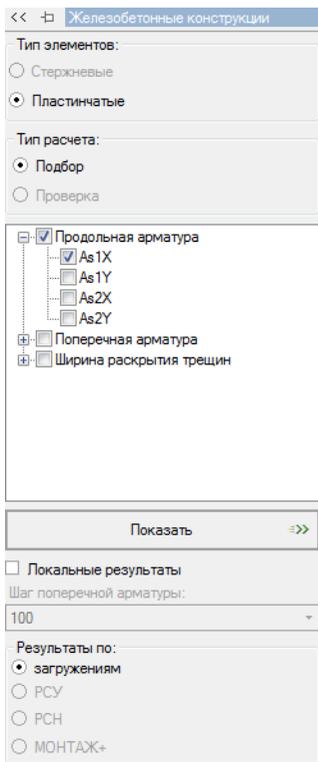


Рис. 100. Вывод результатов

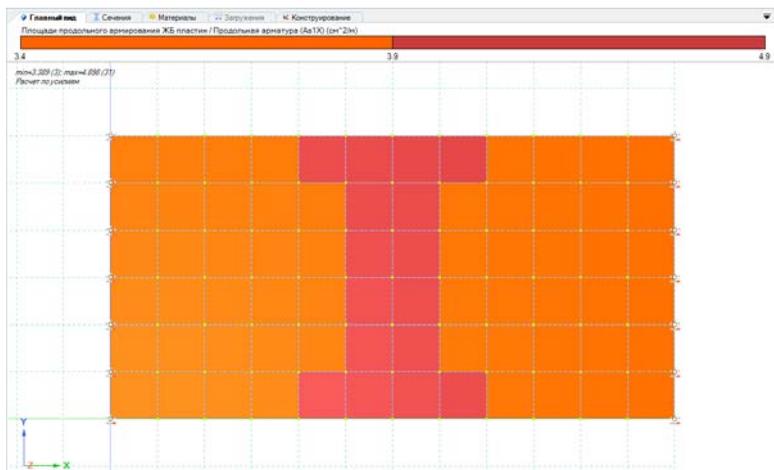


Рис. 101. Мозаика нижней арматуры по направлению X

24. Выведите на экран локальные результаты для нижней арматуры по направлению X — As1X (рис. 102). Для чего необходимо поставить галочку напротив **Локальные результаты** (рис. 100) и выбрать центральный элемент с максимальной интенсивностью окраски.

Железобетонные конструкции

Тип элементов:

- Стержневые
- Пластинчатые

Тип расчета:

- Подбор
- Проверка

Продольная арматура

- As1X
- As1Y
- As2X
- As2Y

Поперечная арматура

Ширина раскрытия трещин

Показать

Локальные результаты

Рис. 102. Вывод локальных результатов

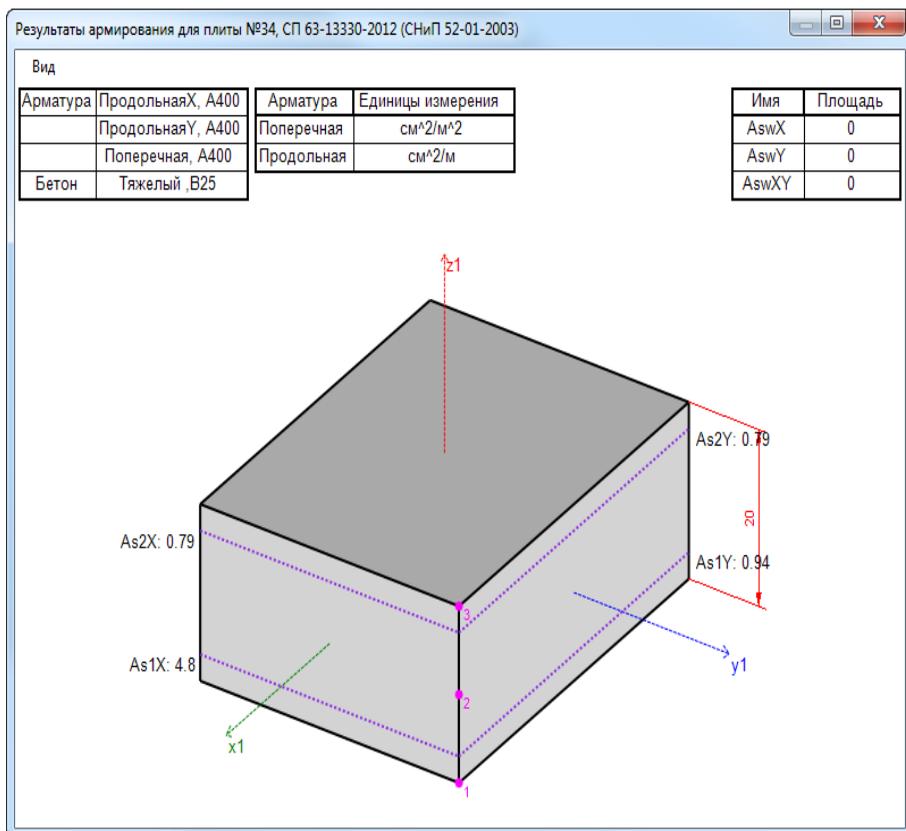


Рис. 103. Результаты армирования для локального элемента

25. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета армирования. **Результаты** ► **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название таблицы **Ж.Б. пластины, подбор** (убрав галочку **Для выделенных элементов**) (рис. 104) и нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Полученная таблица **Ж.Б. пластины, подбор** отобразится в нижней части экрана (рис. 104).
- Выпишите значения подобранных площадей армирования для элемента 34 и занесите их в отчет.

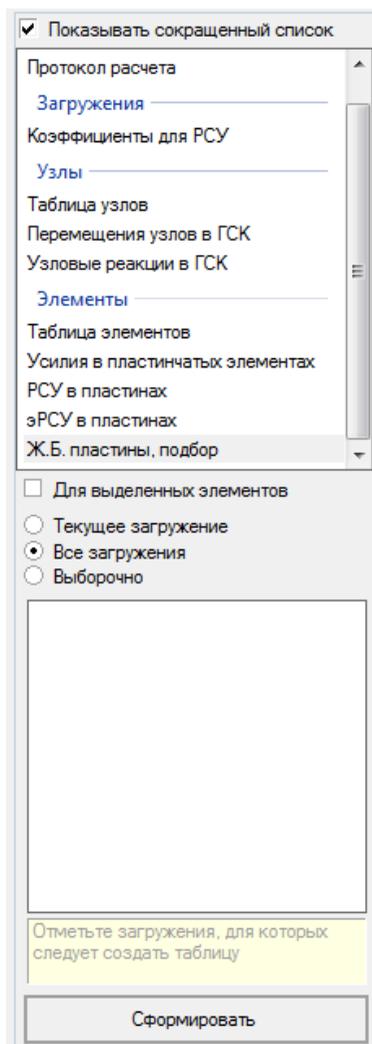


Рис. 104. Формирование таблиц результатов

### Самостоятельная работа по заданию 5

Для железобетонной плиты (рис. 105) требуется:

- 1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки для трех случаев нагружения;
- 2) вывести на экран деформированные схемы и изополя перемещений по направлению  $Z$ ;

- 3) определить наибольшие значения прогибов пластины для всех случаев нагружения;
  - 4) вывести на экран изополя погонных изгибающих моментов  $M_x$  и поперечных сил  $Q_x$ ;
  - 5) определить наибольшие значения погонных изгибающих моментов  $M_x$  и поперечных сил  $Q_x$ ;
  - 6) составить таблицу расчетных сочетаний усилий (PCУ) и произвести расчет PCУ;
  - 7) для среднего элемента плиты просмотреть результаты PCУ и определить, при каких сочетаниях усилий получены наибольшие значения  $M_x$  и  $Q_x$ ;
  - 8) произвести аналитическую проверку полученных результатов.
- Номера вариантов указаны в табл. 5.

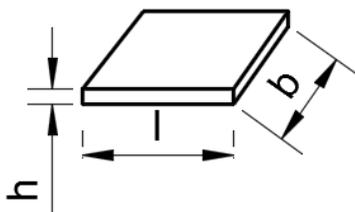


Рис. 105. Железобетонная плита

Короткие стороны плиты оперты по всей длине. Длинные стороны плиты — свободны. Шаг сети КЭ — 0.5 м. Материал плиты — бетон В35.

Заданные нагрузки:

- загрузка 1 — собственный вес;
- загрузка 2 — сосредоточенные силы  $P$  и  $P_1$  приложенные к средним узлам плиты, параллельным короткой стороне, нагрузка  $P_1$  приложена к крайним узлам;
- загрузка 3 — сосредоточенные моменты  $M$  и  $M_1$ , приложенные к коротким сторонам плиты, сосредоточенный момент  $M_1$  приложен к крайним узлам.

Таблица 5

#### Варианты заданий

№ варианта	$l$ , м	$b$ , м	$h$ , м	$P$ , кН	$P_1$ , кН	$M$ , кН·м	$M_1$ , кН·м
1	8	3.5	0.2	9	4.5	10	5
2	6	3	0.15	8	4	16	8
3	7	4	0.2	12	6	8	4
4	9	4	0.3	13	6.5	6	3
5	5	3	0.15	15	7.5	8	4

## Задание 6. Расчет балки-стенки

### Пример расчета

#### Цель:

- продемонстрировать **основные этапы** расчета балок-стенок;
- научить вычислять **главные** и **эквивалентные** напряжения для плоского напряженного состояния;
- показать образование **отверстий** в плитах;
- проследить **изменение** главных напряжений для различных расчетных схем.

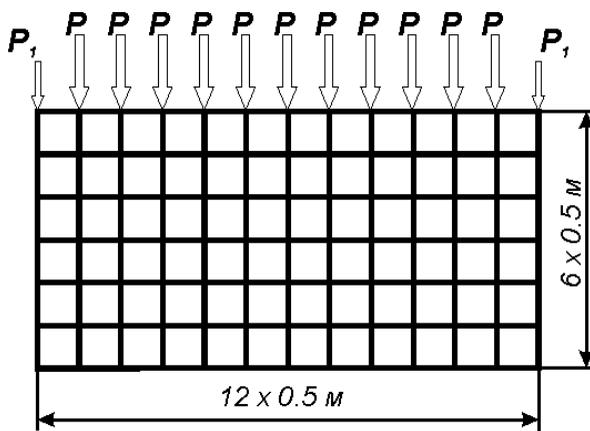


Рис. 106. Расчетная схема балки-стенки

#### Условие задания

Рассматривается задача плоского напряженного состояния. Объект расчета — вертикально расположенная бетонная плита (рис. 106) размером  $6 \times 3 \text{ м}$ , защемленная по своей нижней грани. К верхней грани приложены нагрузки. К крайним узлам верхней грани приложены силы  $P_1 = 5 \text{ кН}$ , ко всем остальным узлам верхней грани —  $P = 10 \text{ кН}$ .

Требуется:

- 1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки;
- 2) вывести на экран деформированную схему;
- 3) вычислить главные и эквивалентные напряжения;
- 4) вывести на экран изополя эквивалентных напряжений;
- 5) определить значение наибольшего эквивалентного напряжения;
- 6) вырезать в балке-стенке окно и дверь. Определить значение наибольшего эквивалентного напряжения для балки-стенки, имеющей отверстия;
- 7) сравнить результаты расчетов балки-стенки, имеющей отверстия, и сплошной конструкции.

Расчет производится для сетки  $12 \times 6$ . Модуль упругости  $E = 3 \cdot 10^7 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$ ; коэффициент Пуассона материала плиты  $\mu = \nu = 0.2$ .

### Методические указания к заданию 6

*Приступим к созданию расчетной схемы.*

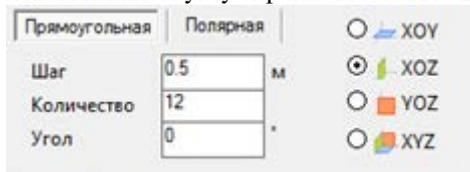
1. Запуск программы. Пуск ► Программы ► Lira Soft ► Lira 10.4 ► LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).

2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — Задача 6;
- описание — Расчет балки-стенки;
- тип создаваемой задачи — **(1) Плоская ферма или балка-стенка (X, Z)**. X, Z — возможные линейные перемещения узлов;
- нажмите кнопку **Создать**.

3. Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► **Добавить фрагмент плоской плиты** (кнопка  на панели инструментов).

- Заполните параметры шаблона для создания балки-стенки. Шаг вдоль оси X — **0.5 м**, Повторов — **12**, Число конечных элементов N — **1**. Шаг вдоль оси Y — **0.5 м**, Повторов — **6**, Число конечных элементов N — **1** (рис. 107).
- Выберите **Плоскость построения XoZ**.
- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- С помощью курсора мыши созданный фрагмент добавьте к расчетной схеме. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка  подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.
- Измените параметры сети построения, нажав на кнопку **Сеть** в левом нижнем углу экрана. Поставьте **Шаг — 0.5**, **Количество — 12**.



- Увеличьте расчетную схему. Вид ► **Увеличить в окне** (кнопка  на панели инструментов) ► Увеличить в 2 раза .

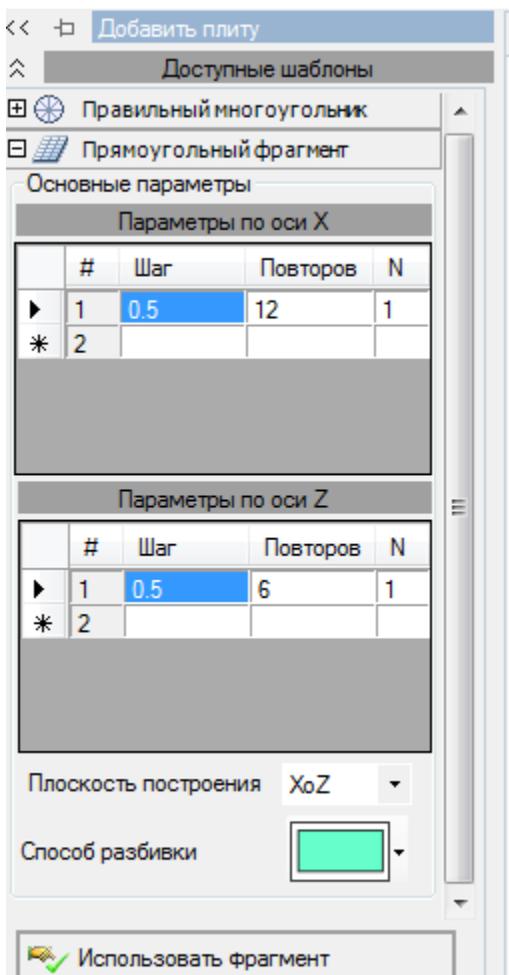


Рис. 107. Задание параметров балки-стенки

4. Задание граничных условий. Схема ▶ Назначить связи (кнопка  на панели инструментов).

- Нажав одновременно на кнопки **Ctrl + Shift**, выделите курсором все нижние узлы балки-стенки (рис. 106) (узлы окрасятся в красный цвет).

- Так как закрепление жесткое, в панели активного режима **Назначить связи** с помощью установки флажков запретите перемещения в направлении осей **X** и **Z** (*красный цвет у узлов исчезнет. Под узлами будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения. Цвет связей (красный) соответствует цвету осей X и Z, в направлении которых запрещены перемещения*).
- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

5. Задание сечений. **Редакторы** ► **Редактор сечений/жесткостей** (кнопка



на панели инструментов) ► **Сечения плит** ► **Пластина**.

- В панели **Сечения плит** задайте толщину балки-стенки  $h = 15$  см.
- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

6. Задание материала. **Редакторы** ► **Редактор материалов** (кнопка



на панели инструментов).

- Выберите из категории **Линейный материал** ► **Изотропный материал**.
- Задайте: модуль упругости  $E = 3 \cdot 10^7$  КПа ( $3e7$ ); коэффициент Пуассона  $\nu = 0.2$ ; объемный вес  $\gamma = 24,5$  кН/м<sup>3</sup> (*буква e набирается в латинском алфавите*).
- Для выхода из **Редактора материалов** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

7. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. **Конструирование** ► **Назначить сечение, материал и параметры конструирования**

(кнопка  на панели инструментов).

- Выделение всех элементов балки-стенки. **Выбор** ► **Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A)**.
- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать сечение и материал**.
- Затем в **Доступных сечениях** выберите **1. Пластина (0.15)**, в **Доступных материалах** — **1. Линейно-изотропный материал**.
- Нажмите кнопку **Назначить**.

8. Формирование загрузений. **Редакторы** ► **Редактор загрузений** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузение** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузение**.

- Для выхода из вкладки **Редактор загружений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

9. Назначение нагрузок. **Схема** ► **Назначить нагрузки** (кнопка  на панели инструментов).

- Нажмите одновременно на кнопки **Ctrl + Shift**. Резиновым окном, двигаясь слева направо, выделите сначала левый, потом правый верхние узлы балки-стенки.
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси **Z**).
- В панели **Сосредоточенная сила** задайте величину силы  $P_1 = 5 \text{ кН}$ .
- Аналогично выделите средние узлы, находящиеся на верхней грани балки-стенки, и задайте им величину силы  $P = 10 \text{ кН}$  (рис. 106).

10. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет** .
- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.
- Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню **Расчет** ► **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается **не деформированной**.

*Приступим к оформлению отчета*

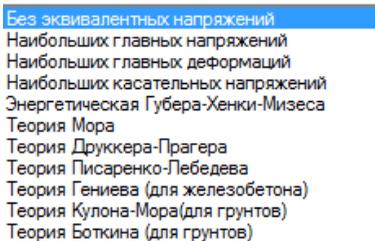
11. Представьте в отчете расчетную схему балки-стенки, указав величины нагрузок, геометрические размеры и жесткостные характеристики.

12. Просмотр схемы деформирования. **Результаты** ► **Деформированная схема** .

- Верните исходную схему. **Результаты** ► **Исходная схема** .

13. Вычисление главных и эквивалентных напряжений. **Результаты** ► **Главные и эквивалентные напряжения пластин** ► **Эквивалентные напряжения**.

- Выбор теории прочности. Выберите **Теория наибольших касательных напряжений** из списка.



- Выведите на экран изополя эквивалентных напряжений  $\sigma_E$ .
- Определите значение наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{наиб}}$  по цветовой шкале напряжений.
- Для определения главных напряжений  $\sigma_1$  или  $\sigma_3$  достаточно щелкнуть курсором по элементу.  
 Для того чтобы яснее увидеть изменения напряжений на изополях, нужно щелкнуть по цветовой шкале правой кнопкой мыши и передвинуть бочоночки, указывающие границы цветов, вправо. При этом даже незначительное изменение напряжения в этом диапазоне будет видно на изополях.
- Запишите значение  $\sigma_{\text{наиб}}$  в отчет ( $\sigma_{\text{наиб}} = 153.26$  КПа).

14. Вернитесь в режим **Исходные данные. Расчет** ► **Исходные данные** (кнопка  на панели инструментов).

15. Вырежьте в балке-стенке окно и дверь.

- Одновременно, нажав на кнопки **Ctrl + Shift**, выделите те узлы балки-стенки, где надо расположить окно и дверь.
- Учтите, что узлы будут удаляться с прилежащими к ним элементами.
- Удалите выделенные узлы **Правка** ► **Удалить выделенное** (кнопка  на панели инструментов).
- Расчетную схему балки-стенки с отверстиями представьте в отчет.

16. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет**  **Запустить расчет**.

17. Просмотр схемы деформирования. **Результаты** ► **Деформированная схема**  (рис. 108).

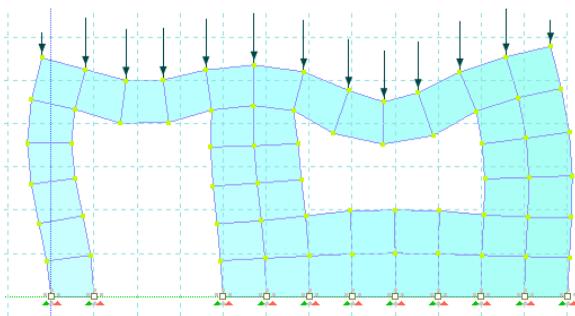


Рис. 108. Деформированная схема балки-стенки

- Верните исходную схему. Результаты ► Исходная схема .

18. Вычисление главных и эквивалентных напряжений. Результаты ► Главные и эквивалентные напряжения пластин ► Эквивалентные напряжения.

- Выберите теорию прочности ► Теория наибольших касательных напряжений.
- Выведите на экран изополя эквивалентных напряжений  (рис. 109).
- Определите значение наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{наиб}}$  по цветовой шкале напряжений.

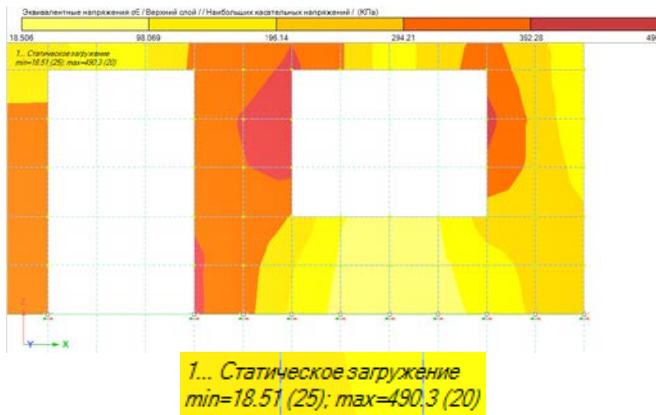


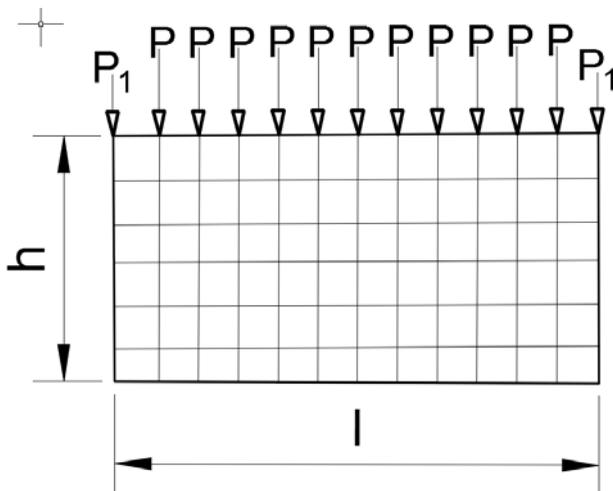
Рис. 109. Изополя эквивалентных напряжений

- Запишите значение  $\sigma_{\text{наиб}}$  в отчет.

19. Сравните эквивалентные напряжения для двух расчетных схем.

## Самостоятельная работа по заданию 6

Рассматривается задача плоского напряженного состояния. Объект расчета — вертикально расположенная бетонная плита (рис. 110), защемленная по своей нижней грани. К верхней грани приложены нагрузки. К крайним узлам верхней грани приложены силы  $P_1$ , ко всем остальным узлам верхней грани —  $P$ .



**Рис. 110.** Расчетная схема балки-стенки

*Таблица 6*

### Варианты заданий

№ варианта	$l$ , м	$h$ , м	$P$ , кН	$P_1$ , кН
1	9	4	10	5
2	5	3	15	7.5
3	8	4.5	18	9
4	7	3.5	19	9.5
5	6	3	24	12

Требуется:

- 1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки;
- 2) вывести на экран деформированную схему;
- 3) вычислить главные и эквивалентные напряжения;
- 4) вывести на экран изополя эквивалентных напряжений;
- 5) определить значение наибольшего эквивалентного напряжения;

б) вырезать в балке-стенке окно и дверь. Определить значение наибольшего эквивалентного напряжения для балки-стенки, имеющей отверстия;

7) сравнить результаты расчетов балки-стенки, имеющей отверстия, и сплошной конструкции.

Расчет производится для сетки с шагом 0.5 м. Материал пластины — линейный изотропный. Модуль упругости  $E = 3 \cdot 10^9$  кН/м<sup>2</sup>; коэффициент Пуассона  $\mu = \nu = 0.2$ ; удельный вес материала пластины  $\gamma = R_o = 24,5$  кН/м<sup>3</sup>.

Варианты заданий даны в табл. 6.

## Задание 7. Подбор арматуры и конструирование железобетонных элементов

### Пример расчета

#### Цель:

- на простейшем примере продемонстрировать основные этапы **подбора арматуры и конструирования** железобетонных балок;
- показать задание параметров конструирования и расчетных сечений для ригелей;
- показать возможность создания расчетной схемы **добавлением узлов и элементов**.

#### Условие задания

Для балки (рис. 111) прямоугольного поперечного сечения 40×60 см подобрать арматуру. Получить таблицы результатов армирования и выписать площадь верхней левой арматуры.

Материал балки — железобетон **B25** ( $E = 3 \cdot 10^7$  кН/м<sup>2</sup>). Арматура: продольная **A400**; поперечная **A240** (шаг **100 мм**). Длина балки  $l = 1$  м. Величина силы  $P = 1$  кН.

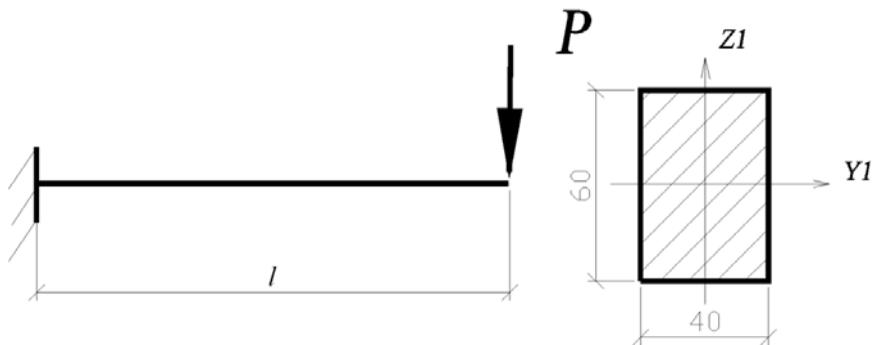


Рис. 111. Расчетная схема балки

## Методические указания к заданию 7

Приступим к созданию расчетной схемы.

1. Запуск программы. **Пуск** ► **Программы** ► **Lira Soft** ► **Lira 10.4** ► **LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64)**.

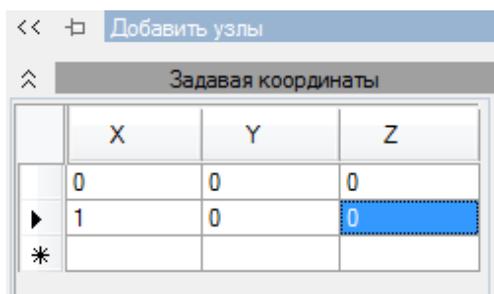
2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — **Задача 7**;
- описание — **Подбор арматуры**;
- тип создаваемой задачи — **(2) Плоская рама (X, Z, UY)**. X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.

Нажмите кнопку **Создать**.

3. Создание геометрии расчетной схемы. **Схема** ► **Добавить узлы** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Задавая координаты** задайте координаты начального и конечного узлов.



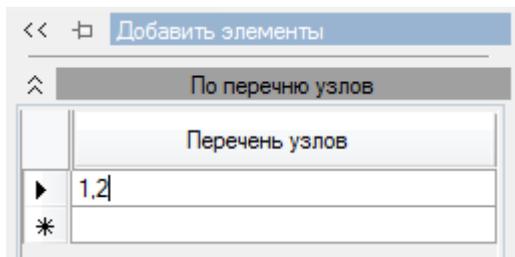
- Переход на следующую строку происходит автоматически.
- На экране появятся новые узлы в виде пиктограммы .
- Чтобы подтвердить расположение узлов, нажмите на кнопку **Добавить**.
- Увеличьте расчетную схему. **Вид** ► **Увеличить в окне** (кнопка  на панели инструментов) ► Увеличить в 8 раз.

4. Вывод на экран номеров узлов. **Вид** ► **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Узлы** установите флажок **Номер**.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

5. Схема ► **Добавить конечные элементы** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **По перечню узлов** перечислите номера узлов, с которыми граничит элемент (*пример заполнения таблицы приведен в панели активного режима*).

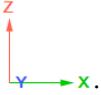


- Щелкните по кнопке **Добавить**.

6. Задание граничных условий. Схема ► **Назначить связи** (кнопка  на панели инструментов).

- Выделите курсором левый узел балки, одновременно нажав клавиши **Ctrl + Shift** (*узел окрасится в красный цвет*).
- В панели активного режима **Назначить связи** с помощью установки флажков отметьте те направления, по которым запрещены перемещения узла (**X** — перемещение в направлении оси **X**, **Z** — перемещение в направлении оси **Z**, **UY** — угол поворота вокруг оси **Y**). *Красный цвет у узла исчезнет. Под узлом будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения, а над узлом — связи,*

*запрещающие угловые перемещения* . Цвет связей соответствует цвету осей, в направлении (или вокруг) которых запрещено

*перемещение* .

- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

7. Задание сечений. Редакторы ► **Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов) ► **Параметрические сечения**.

- Из категории **Параметрическое сечение** выберите тип сечения **Брус** (рис. 112).
- На панели **Параметрические сечения стержней** задать параметры сечения **Брус**: геометрические размеры —  $B = 40 \text{ см}$ ;  $H = 60 \text{ см}$ .

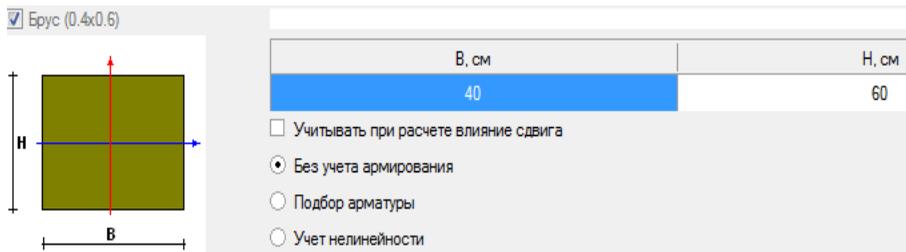


Рис. 112. Задание сечения

- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

## 8. Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка

на панели инструментов) (рис. 113).

- Выберите из категории **Материал из базы данных** ► **Бетон из базы данных** ► **СП-52-101—2003 (63-13330—2012)**. Затем в классе бетона по прочности укажите **B25**.
- Для выхода из **Редактора материалов** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

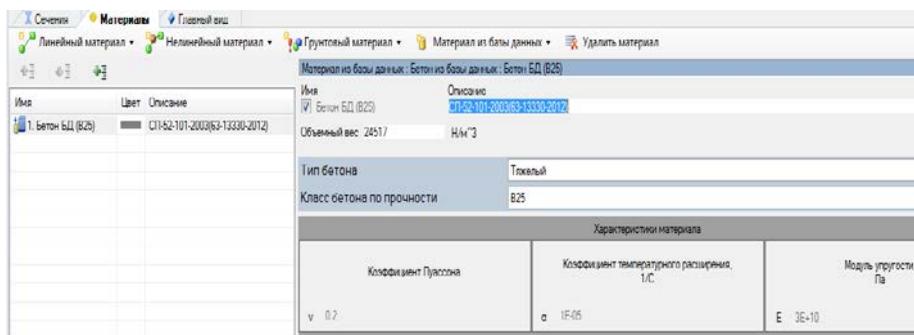


Рис. 113. Задание материала

9. Задание параметров конструирования. Редакторы ► Редактор параметров конструирования ► Железобетонные элементы ► Железобетонный стержень.

- Задайте: нормы проектирования СП63-13330—2012 (СНиП52-01—2003); тип бетона В25 ( $E = 3 \cdot 10^7$  кН/м<sup>2</sup>); арматура продольная А400; арматура поперечная А240 (рис. 114).

Параметры конструирования железобетонных стержней

Нормы  
СП 63-13330-2012 (СНиП 52-01-2003)

Имя Описание  
 ж.б. стержень СП 63-13330-2012 (

Характеристики бетона  
Класс бетона : В25  
Нормы : СП-52-101-2003(63-13330-2012)  
Тип бетона : Тяжелый  
Модуль упругости : 3E+07 КПа  
Коэффициент Пуассона : 0.2  
Коэффициент температурного расширения : 1E-05  
Расчетное сопротивление на сжатие : 14500 КПа  
Нормативное сопротивление на сжатие : 18500 КПа  
Расчетное сопротивление на растяжение : 1050 КПа

Продольная арматура

Класс арматуры  
А400

Характеристики арматуры  
Класс арматуры : А400  
Нормы : СНиП 52-01-2003 (СП 63-13330-2012)  
Модуль упругости : 2E+08 КПа  
Коэффициент Пуассона : 0.28  
Коэффициент температурного расширения : 1.2E-05  
Расчетное сопротивление на растяжение для продольной арматуры : 3.5E+05 КПа  
Расчетное сопротивление на растяжение для поперечной арматуры : 2.8E+05 КПа

Поперечная арматура

Класс арматуры  
А240

Статически неопределимая

Случайные эксцентриситеты

EY 0 см  
EZ 0 см

Ширина раскрытия трещин

Кратковременных 0  
Длительных 0

Относительная влажность воздуха

80 %

Максимальный процент армирования

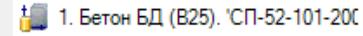
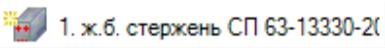
10 %

Коэффициент условий работы для учета с

Рис. 114. Задание параметров конструирования

10. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. Конструирование ► Назначить сечение, материал и параметры конструирования (кнопка  на панели инструментов).

- Выделение всех элементов балки. Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A).

- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.
- Затем выберите **Доступные сечения** — , **Доступные материалы** — , **Доступное конструирование** — .
- Нажмите кнопку **Назначить**.

11. Формирование загружений. **Редакторы** ► **Редактор загружений** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузку** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузку**.

12. Создание таблицы расчетных сочетаний усилий. **Редактор загружений** ► **PCY/PCN (Российская Федерация: СП 20.13330.2011)**.

- Для **Загружения 1** выбрать в списке **Вид загрузки** — **Постоянное**. В соответствии со строительными нормами расчет армирования производится по невыгодным сочетаниям усилий.
- Для выхода из вкладки **Редактор загружений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**

13. Назначение нагрузок. **Схема** ► **Назначить нагрузки** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси **Z**).
- В панели **Сосредоточенная сила** задайте величину силы  $P = 1$  кН. Правый узел вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу.

14. Статический расчет. **Расчет** ► **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет**.

15. Расчет армирования. **Расчет** ► **Расчет конструкций** (кнопка  на панели инструментов) ► **Отправить элементы на расчет**.

- На панели активного режима **Расчет конструкций** в категории **Силовые факторы** укажите **PCY**.
- В **Политике расчета** поставьте галочку **Все элементы** (рис. 115).
- Нажмите на кнопку **Отправить элементы на расчет**.

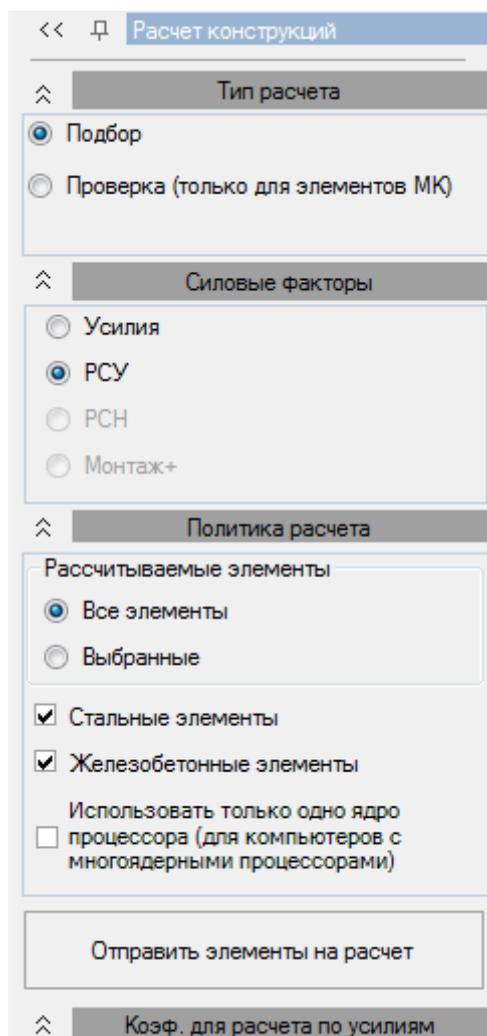


Рис. 115. Расчет конструкций

**16. Вызов чертежа балки. Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей.**

- Активизируйте команду **Подбор арматуры**.
- В нижней части панели появится чертеж поперечного сечения балки с указаниями мест расположения арматуры (рис. 116).
- В результате подбора арматуры выдаются следующие величины:

1. Продольная арматура (площади продольной арматуры,  $\text{см}^2$ , и процент армирования):

AU1 — площадь угловой нижней продольной арматуры (в левом нижнем углу сечения);

AU2 — то же (в правом нижнем углу сечения);

AU3 — площадь угловой верхней продольной арматуры (в левом верхнем углу сечения);

AU4 — то же (в правом верхнем углу сечения);

AS1 — площадь нижней продольной арматуры;

AS2 — площадь верхней продольной арматуры;

AS3 — площадь боковой продольной арматуры (у левой кромки сечения);

AS4 — то же (у правой кромки сечения);

2. Поперечная арматура (площади поперечной арматуры,  $\text{см}^2$ , подобранной при выбранном (20 см) шаге хомутов):

ASW1 — вертикальная поперечная арматура;

ASW2 — горизонтальная поперечная арматура.

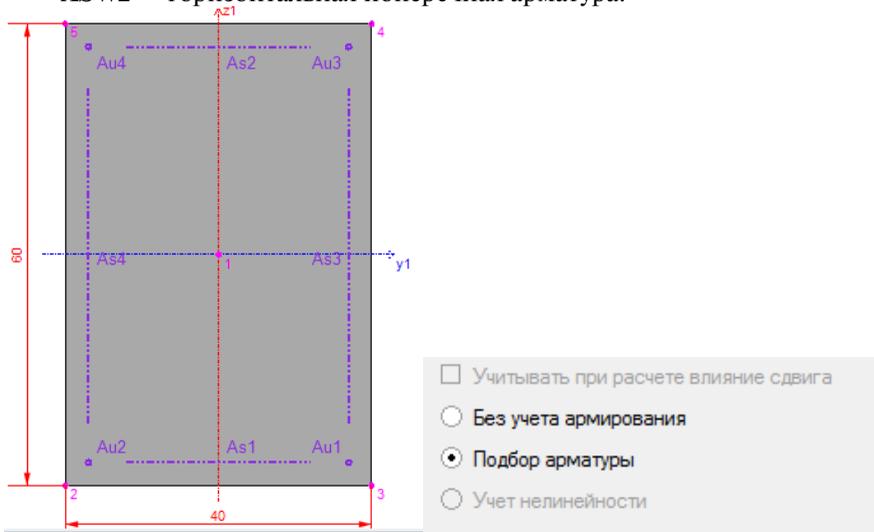


Рис. 116. Расположение арматуры

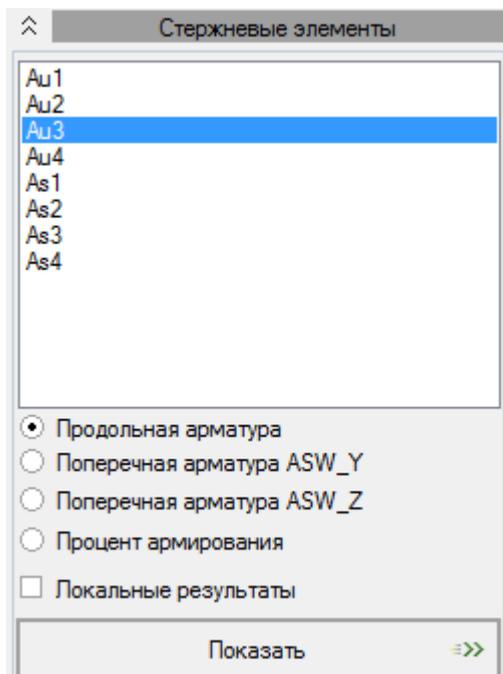
17. Просмотр результатов армирования. **Результаты ► Железобетонные конструкции** (кнопка  на панели инструментов (рис. 117).

- Укажите, что результаты подбора будут просматриваться по РСУ.

- Выберите, площадь какой арматуры вы хотите увидеть: **Продольной** или **Поперечной**, и нажмите кнопку **Показать**.
- Для продольной арматуры надо дополнительно указать, какую арматуру (верхнюю **Au3** или нижнюю **Au1** ) вы хотите увидеть.

Au1  
Au2  
Au3  
Au4

- Можно указать несколько арматур из списка **Au1** - **Au4** , при этом будет отображаться суммарная площадь арматуры.



**Рис. 117.** Просмотр результатов армирования

- Щелкнув курсором по элементу, можно в диалоговом окне сразу увидеть площади армирования различных арматур.

## 18. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета. **Результаты**

- **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название таблицы **Ж.Б. стержни, подбор по РСУ** и нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Полученная таблица **Ж.Б. стержни, подбор по РСУ** отобразится в нижней части экрана (рис. 118).

Армирование	элемент №1
1. Au3	0.1
1. Au4	0.1
1. %	0.008333334

**Рис. 118.** Результаты армирования

- Представьте в отчете величину площади поперечного сечения верхней продольной арматуры  $AU4 = 0.1 \text{ см}^2$  (рис. 119).

Ж.Б. стержни, подбор по ... ▾ ×

Номер	НС	Au3 (см <sup>2</sup> )	Au4 (см <sup>2</sup> )	%	Симметрия	Ly (м)	Lz (м)
1	1	0.1	0.1	0.00841	H	1	1
1	2	0.1	0.1	0.00841	H	1	1

**Рис. 119.** Результаты армирования

### Самостоятельная работа по заданию 7

Для балки (рис. 120) прямоугольного поперечного сечения подобрать арматуру. Получить таблицы результатов армирования и выписать площадь верхней левой арматуры.

Материал балки — железобетон В30. Арматура: продольная А400; поперечная А240 (шаг 100 мм).

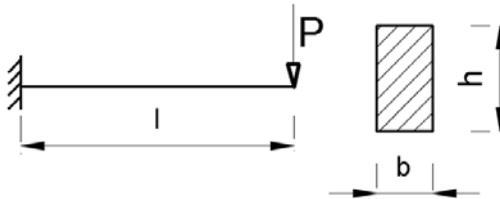


Рис. 120. Расчетная схема балки

Таблица 7

Варианты заданий

№ варианта	$b$ , см	$h$ , см	$l$ , м	$P$ , кН
1	15	25	1.1	15
2	20	30	1.3	10
3	25	35	1.4	13
4	20	40	1.9	18
5	25	45	2.6	16

Задание 8. Конструирование сечений стальных элементов

Пример расчета

Цель:

- на простейшем примере продемонстрировать основные этапы подбора и конструирования сечений стальных элементов;
- показать возможность создания расчетной схемы добавлением узлов и элементов.

Условие задания

Для балки (рис. 121) двутаврового поперечного сечения (двутавр № 10Б1) определить наибольший процент исчерпания несущей способности, а также подобрать для заданной расчетной схемы необходимое поперечное сечение. Длина балки  $l = 1$  м. Величина силы  $P = 10$  кН.

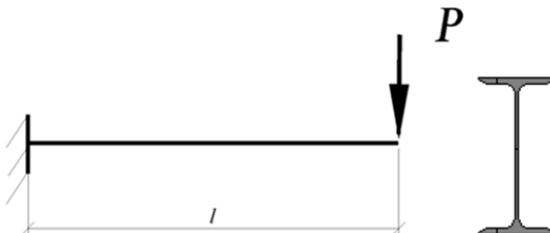


Рис. 121. Расчетная схема балки

## Методические указания к заданию 8

*Приступим к созданию расчетной схемы.*

1. Запуск программы. **Пуск** ► **Программы** ► **Lira Soft** ► **Lira 10.4** ► **LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64)**.

2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — **Задача 8**;
- описание — **Конструирование сечений стальных элементов**;
- тип создаваемой задачи — **(2) Плоская рама (X, Z, UY)**. X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.

Нажмите кнопку **Создать**.

3. **Создание геометрии расчетной схемы.** **Схема** ► **Добавить элементы** (кнопка  на панели инструментов).

- Элементы можно создавать, указывая узлы курсором на сети построения.
- Указав курсором на начальный узел, щелкните мышкой один раз. Указав курсором на конечный узел, щелкните курсором два раза.
- Увеличьте расчетную схему. **Вид** ► **Увеличить в окне** (кнопка



на панели инструментов) ► **Увеличить в 8 раз**.

4. **Вывод на экран номеров узлов.** **Вид** ► **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Узлы** установите флажок **Номер**.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

5. **Задание граничных условий.** **Схема** ► **Назначить связи** (кнопка  на панели инструментов).

- Выделите курсором левый узел балки одновременно нажав клавиши **Ctrl + Shift** (*узел окрасится в красный цвет*).
- В панели активного режима **Назначить связи** с помощью установки флажков отметьте те направления, по которым запрещены перемещения узла (**X** — перемещение в направлении оси X, **Z** — перемещение в направлении оси Z, **UY** — угол поворота вокруг оси Y) (*красный цвет у узла исчезнет*).
- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

6. **Задание сечений.** **Редакторы** ► **Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов) ► **Параметрические сечения**.

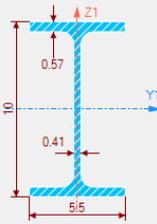
- Из категории **Стальные сечения**  **Стальные сечения** ▾ в раскрывающемся списке выберите тип сечения **Двутавр прокатный** (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения).
- На панели **Стальное сечение Двутавр прокатный** задайте параметры сечения (рис. 122). Таблица сортамента — ГОСТ 26020—83 Двутавр с параллельными гранями полок типа Б, Профиль 10Б1.
- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

Стальные сечения стержней : Двутавр прокатн. : 10Б1

Имя: 10Б1 Описание: Таблица сортамента: ГОСТ 26020 - 83 Двутавр с параллельными гранями полок тип: 10Б1 Профиль: 10Б1 Поворот: I

Страна: RUS

Схема профиля

Учитывать при расчете влияние сдвига

Геометрические характеристики сечения							
A, см <sup>2</sup>	h, см	bf, см	tw, см	tf, см	R, см	r, см	m, тс/м
10.32	10	5.5	0.41	0.57	0.7	0	0.0081

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>	Iw, см <sup>6</sup>
Iy1	Iz1	Ix1	Y1+	Y1-	Z1+	Z1-	Fy	Fz			
171.000	15.9	1.1655	0.56025	0.56025	3.314	3.314	5.8699	3.9789	19.7	12.966	342.066

Рис. 122. Панель Стальные сечения стержней

7. Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка  на панели инструментов).

- Выберите из категории **Материал из базы данных** ► **Стальной прокат из базы данных** ► **ГОСТ 27772—88** (рис. 123).
- Для выхода из **Редактора материалов** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

Материал из базы данных : Стальной прокат из базы данных : Ст. пр. БД

Имя: Ст. пр. БД (C235) Описание: ГОСТ 27772-88

Объемный вес: 77 кН/м<sup>3</sup>

Нормы: СП 16.13330.2011 Тип проката: Фасонный Марка стали: C235

Рис. 123. Задание материала

## 8. Задание параметров конструирования. Редакторы ► Редактор параметров конструирования ► Стальные элементы ► Топология двутавров.

- Задайте: нормы проектирования СП16.13330.2011 (рис. 124).

СП 16.13330.2011

Имя: Топология двутавров      Описание:

Топология двутавров

Первое предельное состояние

Коэффициент надежности по ответственности:  $\gamma_d$  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  $\gamma_c$  по СП 16.13330.2011      Выбрать  $\gamma_c$  по СП 16.13330.2011

Наличие ослаблений в стенке при проверке по касательным напряжениям

Шаг отверстий: S м

Диаметр отверстий: d м

Локальные напряжения:  $\sigma_{loc}$  КПа

Расчетная длина относительно Y1

Коэффициент приведения длины:  $\mu_y$  1

Расчетная длина:  $L_{efy}$  м

Расчетная длина относительно Z1

Коэффициент приведения длины:  $\mu_z$  1

Расчетная длина:  $L_{efz}$  м

Расчетная длина для вычисления Фб

Коэффициент приведения длины:  $\mu_b$  1

Расчетная длина:  $L_{efb}$  м

Схема работы:  Балочная     Консольная

Рис. 124. Задание параметров конструирования

## 9. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. Конструирование ► Назначить сечение, материал и параметры конструирования

(кнопка  на панели инструментов).

- Выделение всех элементов балки. **Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A).**
- На панели активного режима **Назначить жесткости** в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.
- Затем выберите **Доступные сечения** — **I 1. Двутавр прок. 10Б1**, **Доступные материалы** — **1. Ст. пр. БД (С235). ГОСТ 27772**, **Доступное конструирование** — **I 1. Топология двутавров**.
- Нажмите кнопку **Назначить**.

10. Формирование загрузок. Редакторы ► Редактор загрузений (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима щелкните по закладке **Добавить загрузка** и в раскрывающемся списке выберите **Статическое загрузка**.

11. Создание таблицы расчетных сочетаний усилий. Редактор загрузений ► РСУ/РСН (Российская Федерация: СП 20.13330.2011).

- Для **Загрузки 1** выбрать в списке **Вид загрузки** **Постоянное**. В соответствии со строительными нормами расчет армирования производится по невыгодным сочетаниям усилий.
- Для выхода из вкладки **Редактор загрузений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**

12. Назначение нагрузок. Схема ► Назначить нагрузки (кнопка  на панели инструментов).

- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** ► **Нагрузки на узел** ► **Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление — вдоль оси **Z**).
- В панели **Сосредоточенная сила** задайте величину силы  $P = 10$  кН. Правый узел вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу.

13. Статический расчет. Расчет ► Выполнить расчет (кнопка  на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку **Запустить расчет**.

14. Проверочный расчет. Расчет ► Расчет конструкций (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима **Расчет конструкций** указать: в категории **Тип расчета** — **Проверка**; в категории **Силовые факторы** — **PCU**.
- В **Политике расчета** поставить галочку **Все элементы** (рис. 125).
- Нажать на кнопку **Отправить элементы на расчет**.

*Приступим к оформлению отчета.*

15. Представьте в отчете расчетную схему, геометрические и упругие характеристики балки.

16. Просмотрите результаты проверки. **Результаты** ► **Стальные конструкции** (кнопка  на панели инструментов).

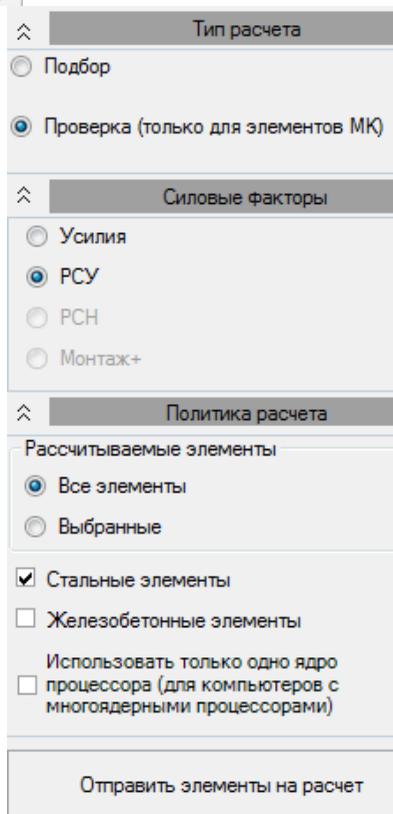
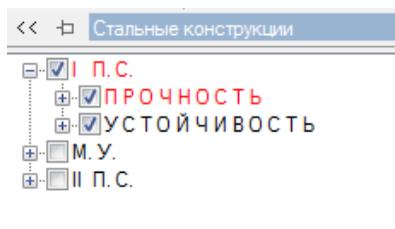


Рис. 125. Проверочный расчет конструкции

- Выбрать параметры **I Предельного состояния (I П.С.)**



- Указать радиокнопкой **Проверка** по результатам РСУ.
- Нажать на кнопку **Показать** (рис. 126).

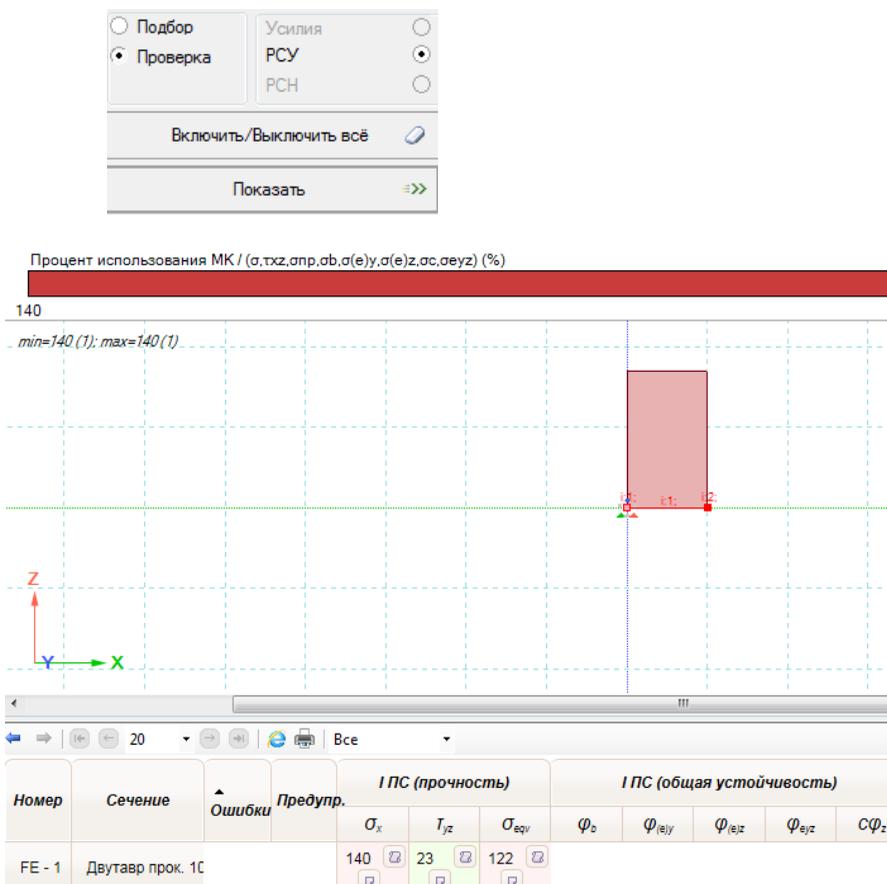


Рис. 126. Процент использования МК

17. Так как процент использования превышает 100 %, проведем подбор поперечного сечения балки. **Расчет** ► **Расчет конструкций** (кнопка  на панели инструментов).

- На панели активного режима **Расчет конструкций** указать: в категории **Тип расчета** — **Подбор**; в категории **Силовые факторы** — **PCY**.
- В **Политике расчета** поставить галочку **Все элементы** (рис. 127).
- Нажать на кнопку **Отправить элементы на расчет**.

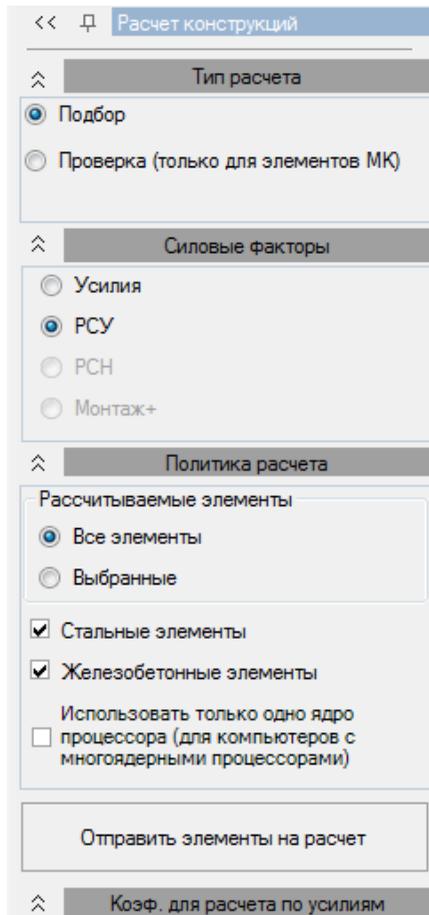


Рис. 127. Проектировочный расчет конструкции.

18. Просмотр результатов подбора поперечного сечения балки. **Результаты** ► **Стальные конструкции** (кнопка  на панели инструментов).

- Выберите параметры **I Предельного состояния (I П.С.)**.
- Укажите радиокнопкой **Подбор** по результатам **PCU**.
- Нажмите на кнопку **Показать** (рис. 128).

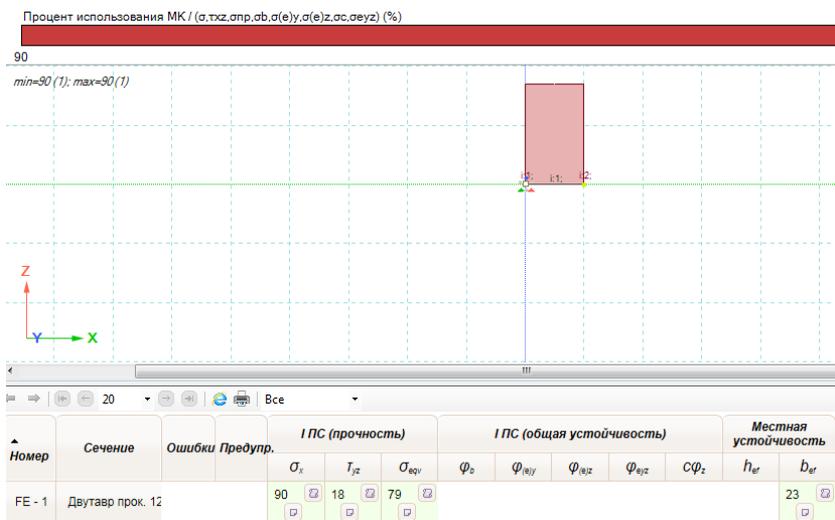


Рис. 128. Результаты подбора сечения

- Чтобы увидеть обозначения в шапке таблицы, надо раскрыть все списки в панели активного режима **Стальные конструкции**. Например, **bef/t** означает устойчивость поясных листов (полок). При подведении курсора к конкретному параметру появляется всплывающая подсказка с подробным его описанием.
- Нажав на значок в виде свитка  (рис. 128), расположенный около каждой цифры таблицы, можно увидеть на экране весь расчет с формулами и поясняющими рисунками (рис. 129).

90 % Проверка прочности под действием осевой силы с изгибом в 2-ух плоскостях : Условие обеспечено

$$\left| \frac{-M_y z_j}{I_y R_y \gamma_c} \right| \leq 1$$

$$\left| \frac{-11 * 6}{318 * 230000 * 1} \right| \leq 1$$

M <sub>y</sub> • изгибающий момент относительно оси Y1, кН*м	-11
I <sub>y</sub> • момент инерции сечения относительно главной центральной оси Y1, см <sup>4</sup>	318
γ <sub>c</sub> • коэффициент условий работы в расчетах по прочности,	1

Рис. 129. Часть расчета элемента стальной конструкции

## 19. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета. Результаты

► **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите сначала таблицу **М.К. Проверка**. Сводная таблица по РСУ.
- Нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Выберите таблицу **М.К. Подбор**. Сводная таблица по РСУ.
- Нажмите на кнопку **Сформировать**.
- Полученные таблицы отобразятся в нижней части экрана (рис. 130).

<b>М.К. Проверка</b>			
Номер	I ПС (прочность) (%)	Местная устойчивость (%)	Сечение
<b>1</b>	<b>140</b>	<b>26</b>	<b>Двутавр прок. 10Б1</b>

<b>М.К. Подбор</b>			
Номер	I ПС (прочность) (%)	Местная устойчивость (%)	Сечение
1	90	23	Двутавр прок. 12Б2

**Рис. 130.** Сводные таблицы для проверки и подбора сечений

- Представьте в отчете номер подобранного двутавра **Двутавр прок. 12Б2**.

### Самостоятельная работа по заданию 8

Для балки (рис. 131) двутаврового поперечного сечения определить наибольший процент исчерпания несущей способности, а также подобрать для заданной расчетной схемы необходимое поперечное сечение. Сортамент стального сечения — ГОСТ 26020—83, марка стали — С245.

Номера вариантов даны в табл. 8.



**Рис. 131.** Расчетная схема балки

*Таблица 8*

#### Варианты заданий

№ варианта	№ двутавра	$l$ , м	$P$ , кН
1	10Б1	1.5	12
2	12Б1	1.7	11
3	12Б2	2	16
4	14Б1	2.5	14
5	14Б2	2.7	13

## 6. КУРСОВАЯ РАБОТА. РАСЧЕТ РАМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

### Пример расчета

#### Цель:

- на простейшем примере продемонстрировать основные этапы задания исходной информации для оценки устойчивости и динамики сооружений;
- показать результаты динамического расчета;
- оценить частоты и формы собственных колебаний сооружения;
- произвести расчет плоской рамы на статические и динамические воздействия;
- произвести расчет устойчивости;
- выполнить проверку стальных сечений элементов рамы.

### 6.1. Исходные данные

Схема рамы и ее закрепление показаны на рис. 132.

Сечения элементов:

- средние колонны — швеллер № 40У;
- крайние колонны — двутавр № 60;
- балка настила — двутавр № 36;
- верхний и нижний пояс фермы — коробка 300×300×2;
- стойки и раскосы фермы — коробка 50×50×2.

Нагрузки:

- загрузка 1 — нагрузка от собственного веса;
- загрузка 2 — нагрузка от оборудования;
- загрузка 3 — статическая ветровая нагрузка;
- загрузка 4 — гармоническое динамическое воздействие;
- загрузка 5 — сейсмическое воздействие.

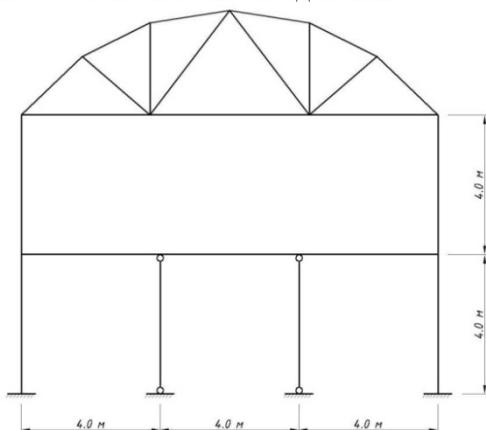


Рис. 132. Расчетная схема поперечника здания

## 6.2. Создание задачи

Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА 10.4, выполните следующую команду Windows:

Пуск ⇒ Программы (Все программы) ⇒ Lira Soft ⇒ Lira 10.4 ⇒ LIRA 10.4x86 (LIRA 10.4x64).

После запуска ПК ЛИРА 10.4 открывается редактор начальной загрузки, который позволяет:

- создать новый проект;
- открыть недавно использовавшиеся проекты;
- открыть или импортировать проекты, хранящиеся на компьютере;
- выполнить пакетный расчет.

Для создания нового проекта:

- активируйте закладку **Создать новый проект** в режиме начальной загрузки или выполните пункт меню **Файл** → **Новый** (кнопка на панели инструментов);

- задайте следующие **Параметры проекта** (рис. 133):  
имя создаваемой задачи — Пример 3;  
описание задачи — Расчет рамы промышленного здания;  
признак схемы — Плоская рама (X, Z, UY);
- после этого необходимо нажать кнопку **Создать**.

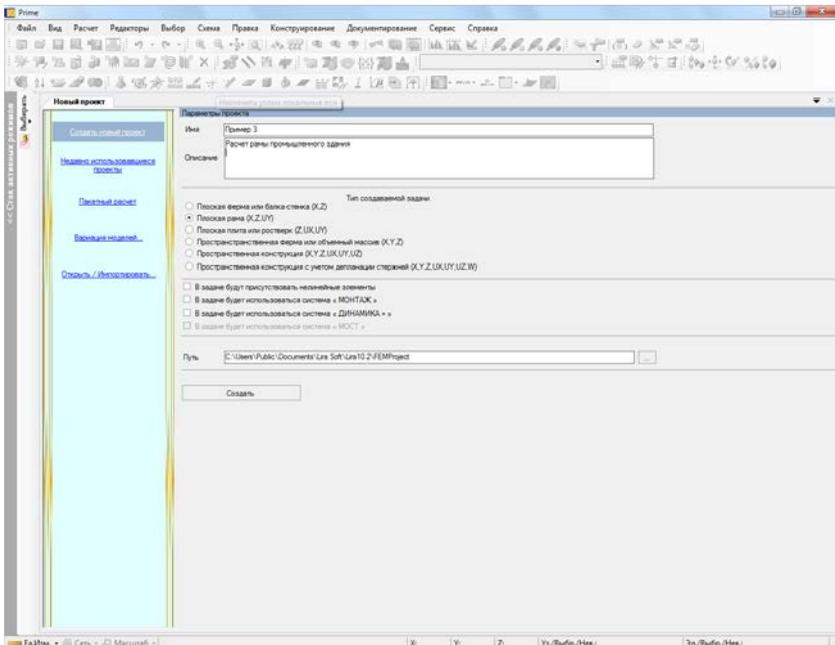
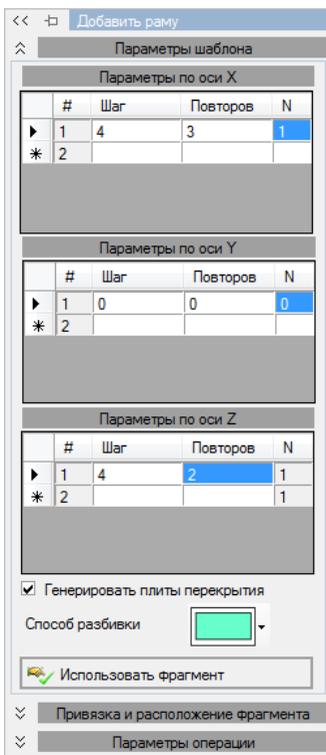


Рис. 133. Редактор начальной загрузки

*Примечание:* путь к папке, в которую будет сохранена задача (по умолчанию папка FEMProject), выбирается из **Сервис** → **Настройки среды** → **Расположение** → **Каталоги** → **Рабочий**.

### Создание геометрической схемы

- Войдите в режим **Добавить пространственную раму** с помощью меню **Схема** → **Добавить пространственную раму** (кнопка  на панели инструментов).
- В панели активного режима задайте параметры рамы (рис. 134).
- Щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- С помощью курсора мыши созданный фрагмент добавьте к расчетной схеме. Для этого нужно курсор мыши подвести к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка  подтвердить щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы;
- Смасштабировать схему можно с помощью меню **Вид** → **Вписать в окно** (кнопка  на панели инструментов).



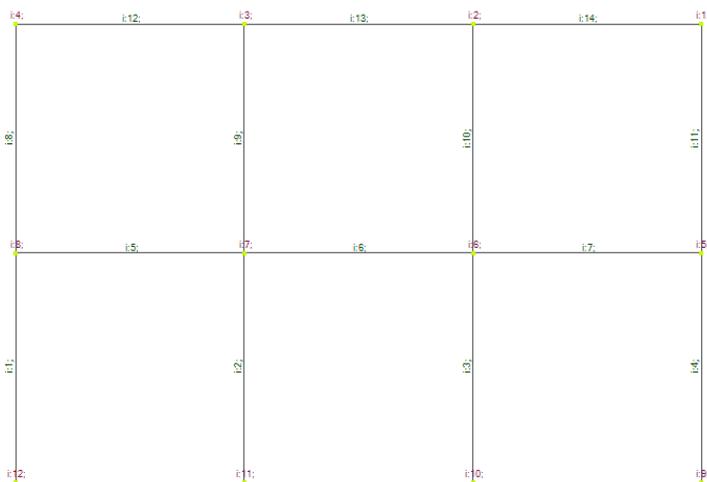
**Рис. 134.** Задание параметров расчетной схемы

- Для сохранения информации о расчетной схеме выполните пункт меню **Файл** → **Сохранить** (кнопка  на панели инструментов).

*Вывод на экран номеров узлов и элементов*

- Выполните пункт меню **Вид** → **Изменить атрибуты** представления модели (кнопка  на панели инструментов).
- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Элементы** установите флажок **Номер**.
- В ветке **Узлы** установите флажок **Номер**.
- Уберите флажок с **Использовать выделенные объекты**.
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

На рис. 135 представлена полученная схема.



**Рис. 135.** Нумерация узлов и элементов расчетной схемы

*Корректировка схемы*

- Выполните пункт меню **Выбор** → **Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы № 3 и 2 (узлы окрашиваются в красный цвет).

*Примечание:* по умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием. Есть возможность выделять с помощью полигона (кнопка  на панели активного режима **Параметры выбора объектов**) или же с помощью одиночной отметки (кнопка  на панели активного режима **Параметры выбора объектов**).

- С помощью пункта меню **Правка** → **Удалить выделенное** (кнопка  на панели инструментов) удалите выделенные узлы (*обратите внимание, что при удалении узлов автоматически удаляются прилегающие к ним элементы*).
- Выполните пункт меню **Выбор** → **Выбрать объекты** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите элементы № 2 и 3 (*элементы окрашиваются в красный цвет*).
- С помощью пункта меню **Схема** → **Назначить шарниры** (кнопка  на панели инструментов) вызовите режим **Назначить шарниры** (рис. 136).

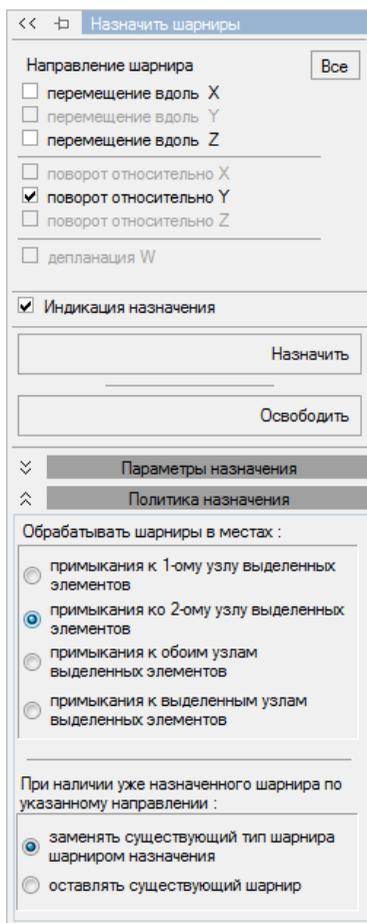
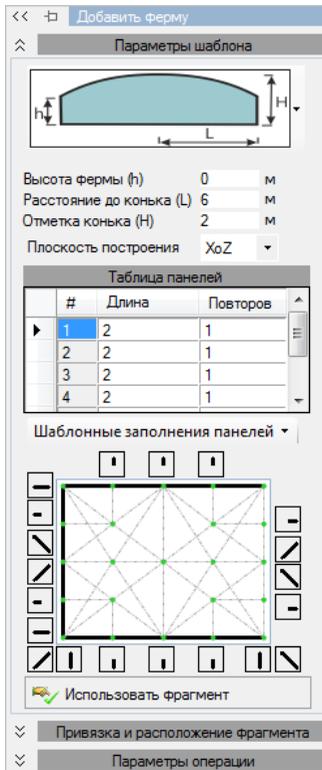


Рис. 136. Панель активного режима Назначить шарниры

- В панели активного режима с помощью установки флажков укажите узлы и направления, по которым снимается жесткость связи одного из концов стержня с узлом схемы (примыкание ко 2-му узлу выделенных элементов, поворот относительно Y).
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

*Установка фермы на раму*

- С помощью пункта меню **Схема** → **Добавить ферму** (кнопка  на панели инструментов) вызовите режим **Добавить ферму**.
- На панели активного режима выберите конфигурацию фермы по очертанию поясов — параболическая.
- Задайте параметры фермы:  
 высота фермы  $h = 0$  м;  
 расстояние до конька  $L = 6$  м;  
 отметка конька  $H = 2$  м;  
 плоскость построения — XoZ.



**Рис. 137.** Задание параметров панели № 1

- Заполните **Таблицу панелей**, указывая количество повторов (панели фермы разные, поэтому для каждой нужно задать свой шаблон):

**Панель № 1:** длина 2 м, повторов 1.

- Используя **Шаблон для рисования панелей**, создайте шаблон вручную (рис. 137).

**Панель № 2:** длина 2 м, повторов 1.

Используя **Шаблон для рисования панелей**, создайте шаблон вручную (рис. 138).

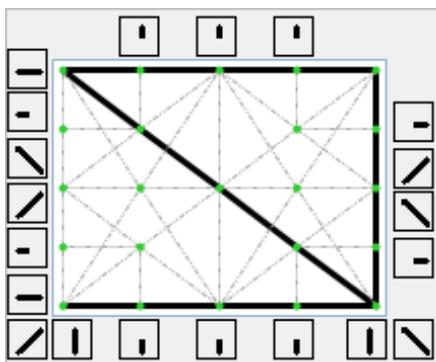


Рис. 138. Задание параметров панели № 2

**Панель № 3:** длина 2 м, повторов 1.

Используя **Шаблон для рисования панелей**, создайте шаблон вручную (рис. 139).

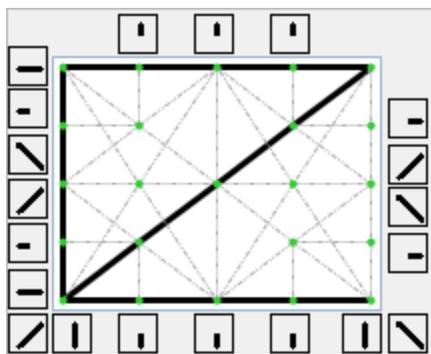


Рис. 139. Задание параметров панели № 3

**Панель № 4:** длина 2 м, повторов 1.

Используя **Шаблон для рисования панелей**, создайте шаблон вручную (рис. 140).

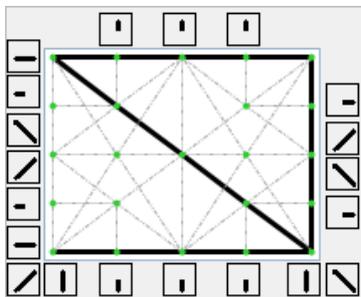


Рис. 140. Задание параметров панели № 4

**Панель № 5:** длина 2 м, повторов 1.

Используя **Шаблон для рисования панелей**, создайте шаблон вручную (рис. 141).

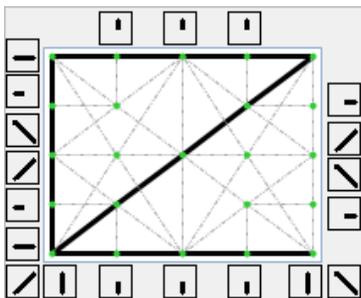


Рис. 141. Задание параметров панели № 5

**Панель № 6:** длина 2 м, повторов 1.

Используя **Шаблон для рисования панелей**, создайте шаблон вручную (рис. 142).

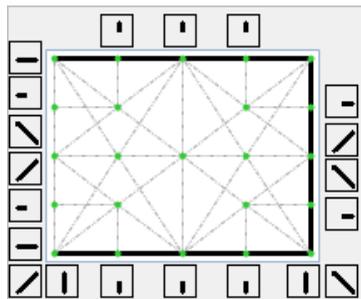


Рис. 142. Задание параметров панели № 6

- После этого щелкните по кнопке **Использовать фрагмент**.
- В выпадающем окне **Привязка и расположение фрагмента** выберите тип вставки, используя 1 точку.
- Созданный фрагмент добавьте к расчетной схеме. Для этого нужно курсор мыши подвести к узлу № 2 (верхний левый узел рамы) и при возникновении значка  подтвердить щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.

### 6.3. Упаковка схемы

- Выполните пункт меню **Вид** → **Изменить атрибуты представления модели** (кнопка  на панели инструментов).
- В панели активного режима **Атрибуты представления** в ветке **Элементы установите флажок Номер**.
  - После этого в ветке **Узлы** установите флажок **Номер**.
  - Уберите флажок с **Использовать выделенные объекты**.
  - Щелкните по кнопке **Назначить**.
  - Выделите элементы № 10 и 14 с помощью курсора.
- Выберите пункт меню **Правка** → **Объединение КЭ** (кнопка  на панели инструментов).
  - В панели активного режима **Объединение КЭ** в ветке **Объединение стержней** выберите **Выполнить объединение**.
  - Аналогично объедините стержни № 17 и 21; № 24 и 26.
  - С помощью меню **Правка** → **Упаковать модель** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Упаковка модели** (рис. 143).
    - В этом окне щелкните по кнопке **Упаковать** (упаковка схемы проводится для сшивки совпадающих узлов и элементов, а также для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов).  
Получим геометрическую схему, показанную на рис. 144.

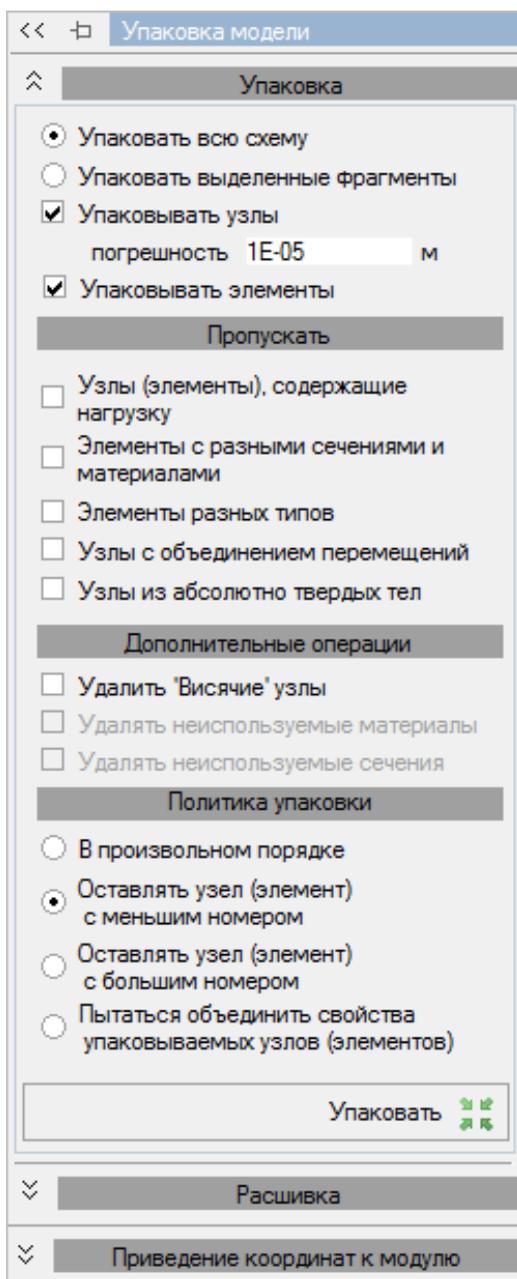


Рис. 143. Упаковка модели

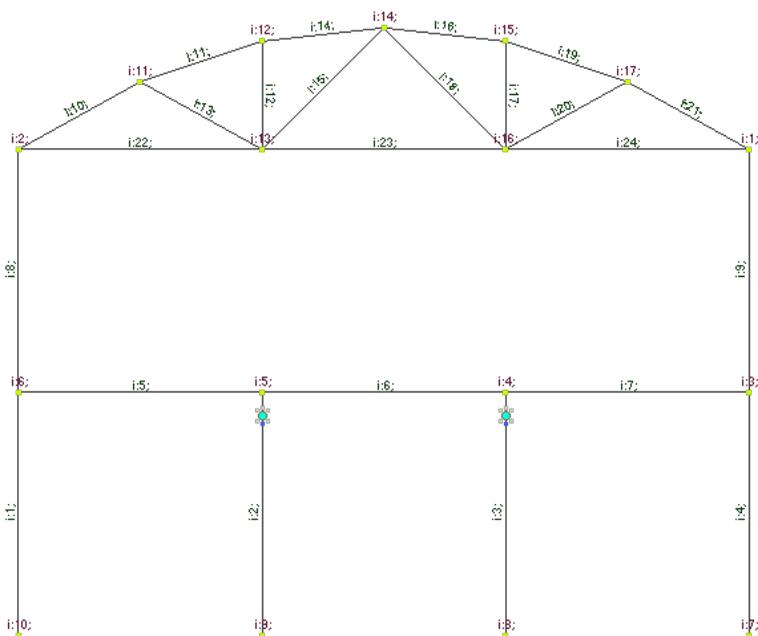


Рис. 144. Расчетная схема рамы с номерами узлов и элементов

#### 6.4. Смена типа конечных элементов для элементов фермы

- Выделите все элементы фермы.
- С помощью меню **Схема** → **Изменить тип К.Э.** (кнопка  на панели инструментов) вызовите панель активного режима **Изменить тип К.Э.** (рис. 145).
- В панели активного режима отметьте радиокнопкой **Стержневые К.Э.**
- В списке **Доступные типы К.Э.** выберите **(4) КЭ ферменного стержня.**
- Щелкните по кнопке **Изменить.**
- Чтобы снять выделение с узлов, выберите **Выбор** → **Снять выбор со всех узлов и элементов** (кнопка  на панели инструментов).



Рис. 145. Панель активного режима Изменить тип К.Э.

## 6.5. Задание расчетных сечений элементов ригелей

- Выделите на схеме горизонтальные элементы № 5—7.
- С помощью меню **Схема** → **Назначить стержням число расчетных сечений** (кнопка  на панели инструментов) вызовите панель активного режима **Число расчетных сечений стержней** (рис. 146).
- В панели активного режима задайте количество расчетных сечений  $N = 5$ .
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

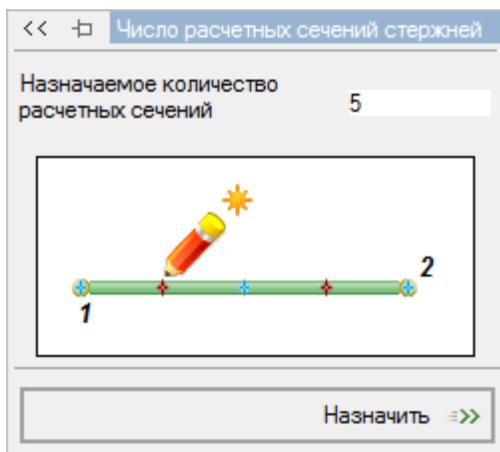


Рис. 146. Задание расчетных сечений элементов ригелей

## 6.6. Назначение раскреплений в узлах изгибаемых моментов

- Выделите горизонтальные элементы № 5—7.
- С помощью пункта меню **Конструирование** → **Установить раскрепление для прогибов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите панель активного режима **Установить раскрепление для прогибов** (рис. 147).
- Отметьте флажками направления для узла № 1 —  $Y_1, Z_1$ ; для узла № 2 —  $Y_1, Z_1$ .
- Политика установки раскрепления — В указанных узлах каждого выделенного конструктивного или конечного элемента.
- Щелкните по кнопке **Установить**.
- Чтобы снять выделение с узлов выберите **Выбор** → **Снять выбор со всех узлов и элементов** (кнопка  на панели инструментов).

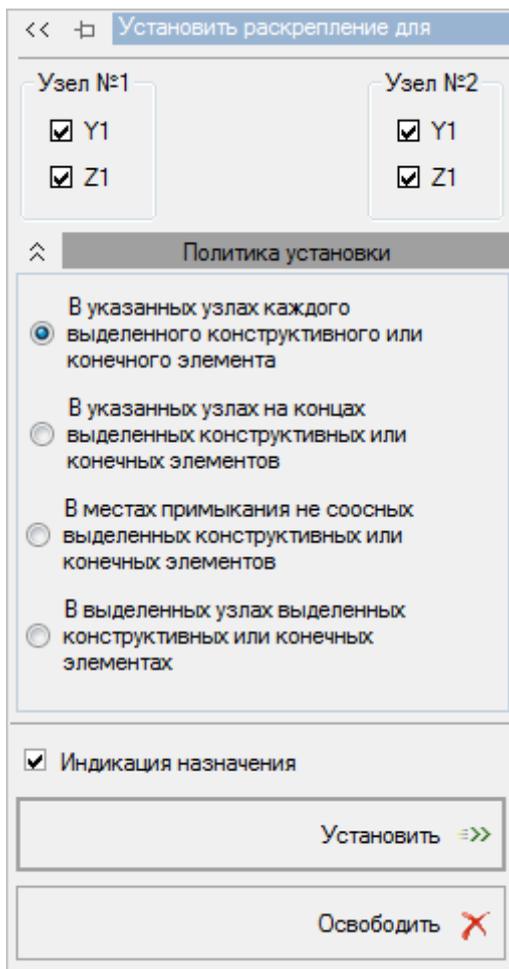


Рис. 147. Задание раскреплений для прогибов

### 6.7. Задание граничных условий

- Выделите узлы № 10 и 7 (нижние узлы крайних колон) с помощью курсора.
- С помощью пункта меню **Схема** → **Назначить связи** (кнопка  на панели инструментов) вызовите панель активного режима **Назначить связи**.

- В этом диалоговом окне отметьте направления, по которым запрещено перемещение узла ( $X, Z, UY$ ) (рис. 148).
- Щелкните по кнопке **Закрепить**.
- Аналогично выделите узлы № 9 и 8 (нижние узлы средних колон) с помощью курсора и отметьте направления, по которым запрещено перемещение узлов ( $X, Z$ ).
- Щелкните по кнопке **Закрепить**.

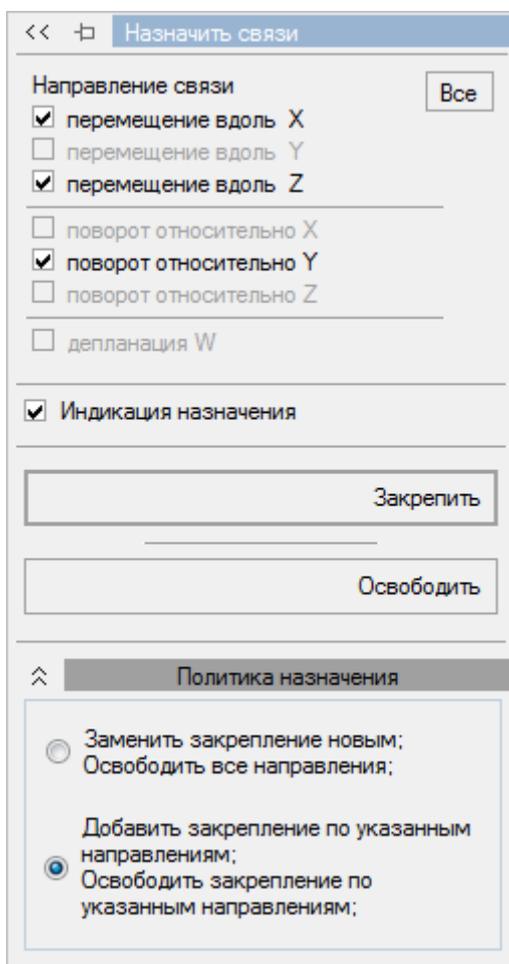


Рис. 148. Панель активного режима Назначить связи

## 6.8. Задание сечений

- С помощью меню **Редакторы** → **Редактор сечений/жесткостей** (кнопка  на панели инструментов) перейдите в режим **Редактор сечений/жесткостей**.
- Выберите щелчком мыши из категории **Стальные сечения** тип сечения **Швеллер прокатный** (на экран выводится панель для задания параметров выбранного сечения).
- В категории **Стальные сечения стержней** задайте параметры сечения: в списке **Таблица сортамента** выберите — ГОСТ 8240—97 Швеллеры с уклоном внутренних граней полок; профиль — 40У.
- В категории **Стальные сечения** выберите тип сечения **Двутавр прокатный** и задайте параметры сечения: в списке **Таблица сортамента** выберите — ГОСТ 8239—72\* Двутавр с непараллельными гранями полок; профиль — 60.
- Еще раз в категории **Стальные сечения** выберите тип сечения **Двутавр прокатный** и задайте параметры сечения: в списке **Таблица сортамента** выберите — ГОСТ 8239—72\* Двутавр с непараллельными гранями полок; профиль — 36.
- В категории **Стальные сечения** выберите тип сечения **Коробка прокатная** и задайте параметры сечения: в списке **Таблица сортамента** выберите — ГОСТ 30245—2003 Гнутый сварной замкнутый квадратный профиль; профиль — 300×300×12.
- Далее в списке типов сечений с помощью курсора выделите строку **4.Коробка 300×300×12**.
- Скопируйте текущее сечение с помощью кнопки .
- После этого в списке типов сечений выделите строку **5. Коробка 300×300×12** и смените Профиль короба на 50×50×2.
- Для просмотра исходных данных другого сечения сделайте его активным в списке сечений (рис. 149).
- Для выхода из **Редактора сечений/жесткостей** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

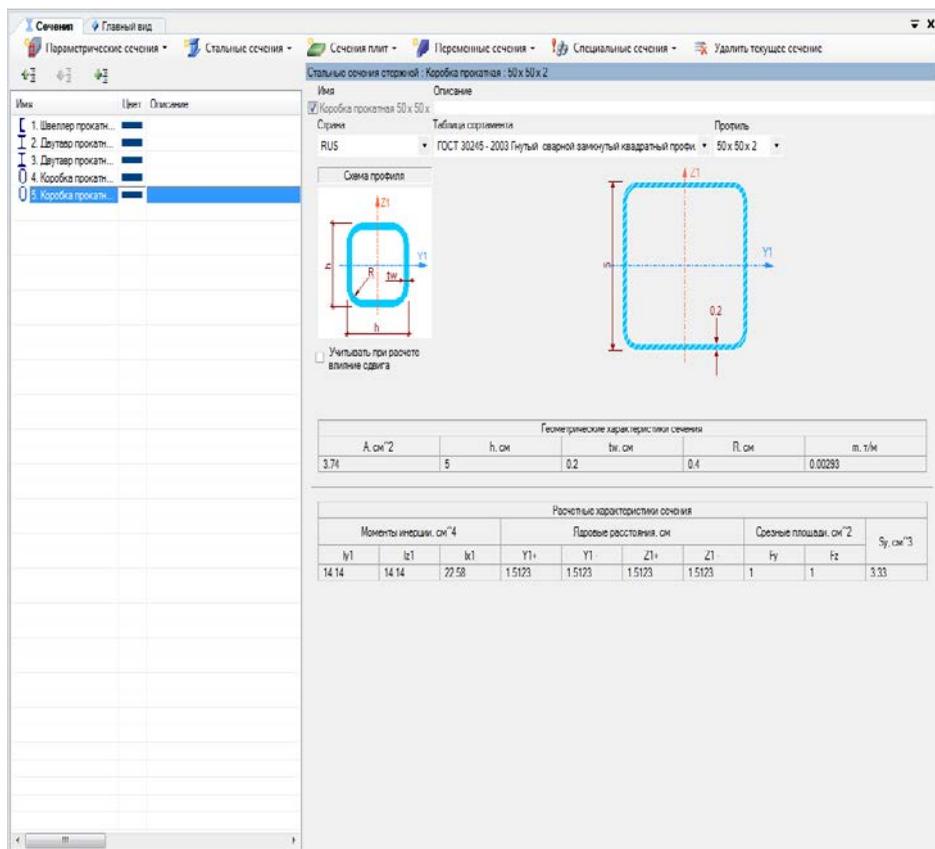


Рис. 149. Редактор сечений/жесткостей

## 6.9. Задание материала

- С помощью меню **Редакторы** → **Редактор материалов** (кнопка  на панели инструментов) перейдите в **Редактор материалов** (рис. 150).
- Выберите из категории **Материал из базы данных** → **Стальной прокат из базы данных** → ГОСТ 27772—88.
  - Тип проката — Фасонный.
  - Марка стали — С235.
  - Нормы — СНиП-II-23—81\*.
- Для выхода из **Редактора материалов** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

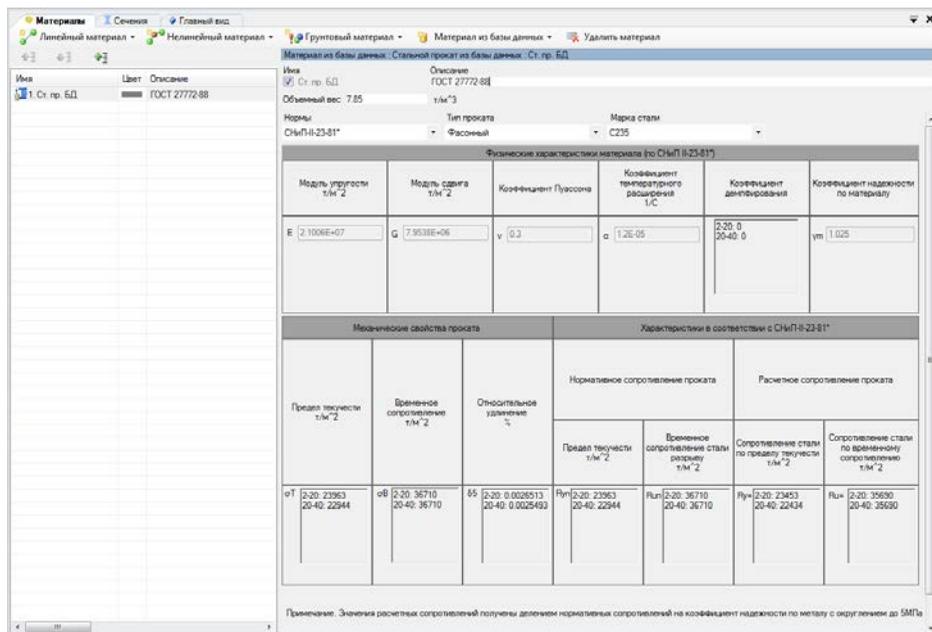


Рис. 150. Редактор материалов

## 6.10. Задание параметров конструирования

• С помощью меню **Редакторы** → **Редактор параметров конструирования** (кнопка  на панели инструментов) перейдите в редактор параметров конструирования.

- Задание параметров конструирования для средних колонн.
- Выберите в категории **Стальные элементы** и в выпадающем списке

**Параметры конструирования: швеллер.**

- Нормативный документ — СНиП II-23—81\*.
- На панели **Параметры конструирования стальных стержней** в **Описании** впишите **Средние колонны**.

- В разделе **Первое предельное состояние** задайте (рис. 151): коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ; коэффициент условий работы по прочности  $\gamma_c = 1$ ; коэффициент условий работы по устойчивости  $\gamma_s = 1$ ; коэффициент приведения длины относительно  $Y_1$ ,  $\mu_y = 1$ ; коэффициент приведения длины относительно  $Z_1$ ,  $\mu_z = 1$ ; коэффициент приведения длины относительно  $\Phi_b$ ,  $\mu_b = 0,85$ ; схема работы относительно  $\Phi_b$  — балочная, количество креплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости — **Два и больше креплений**, делящих пролет на равные части.

- В разделе **Второе предельное состояние**: задайте коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ; отметьте **Проверка по гибкости**; в категории **Сжатые элементы** выберите **Основные колонны, пояса и опорные раскосы стропильных ферм — 180 – 60а**; **растянутые элементы — 300**.

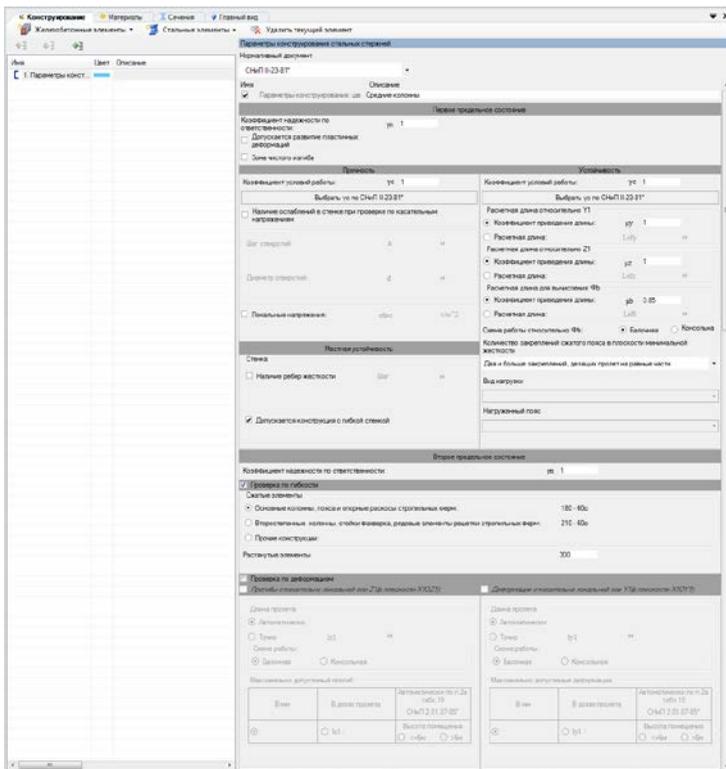


Рис. 151. Редактор параметров конструирования средних колонн

### Задание параметров конструирования для крайних колонн

- Выберите в категории **Стальные элементы** и выпадающем списке **Параметры конструирования**: двутавр.
- Нормативный документ — СНИП II-23—81\*.
- На панели **Параметры конструирования стальных стержней** в **Описании** впишите **Крайние колонны**.
- В разделе **Первое предельное состояние** задайте (рис. 152); коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ; коэффициент условий работы по прочности  $\gamma_c = 1$ ; коэффициент условий работы по устойчивости  $\gamma_{cs} = 1$ ;

коэффициент приведения длины относительно  $Y1$ ,  $\mu_y = 1$ ;  
 коэффициент приведения длины относительно  $Z1$ ,  $\mu_z = 1$ ;  
 коэффициент приведения длины относительно  $\Phi_b$ ,  $\mu_b = 0,85$ ;  
 схема работы относительно  $\Phi_b$  — балочная, количество закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости — **Два и больше закреплений, делящих пролет на равные части.**

- В разделе **Второе предельное состояние:**  
 задайте коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ;  
 отметьте **Проверка по гибкости**;  
 в категории **Сжатые элементы** выберите — **Основные колонны, пояса и опорные раскосы стропильных ферм** — 180 – 60а;  
 растянутые элементы — 300.

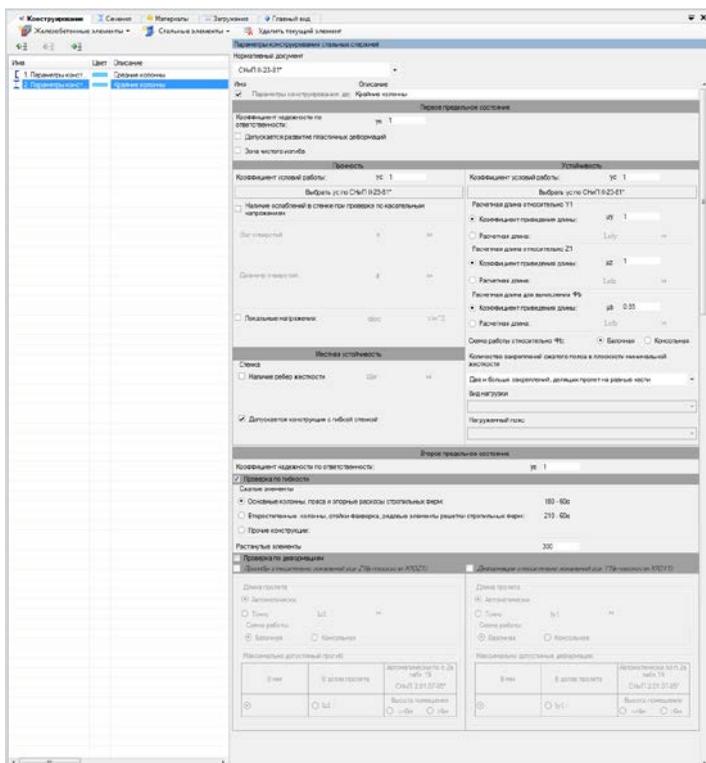


Рис. 152. Редактор параметров конструирования для крайних колонн

*Задание параметров конструирования для балок настила*

- Выберите в категории **Стальные элементы** и выпадающем списке **Параметры конструирования:** двутавр.
- Нормативный документ — СНИП II-23—81\*.

- На панели **Параметры конструирования стальных стержней** в **Описании** впишите — **Балки настила**, так как параметры задаем для балок.
- В разделе **Первое предельное состояние** задайте (рис. 153): коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ; коэффициент условий работы по прочности  $\gamma_c = 1$ ; коэффициент условий работы по устойчивости  $\gamma_s = 0.95$ ; коэффициент приведения длины относительно  $Y1$ ,  $\mu_y = 1$ ; коэффициент приведения длины относительно  $Z1$ ,  $\mu_z = 0.25$ ; коэффициент приведения длины относительно  $\Phi_b$ ,  $\mu_b = 1$ ; схема работы относительно  $\Phi_b$  — балочная, Количество закреплений сжатого пояса в плоскости минимальной жесткости — **Два и больше закреплений**, делящих пролет на равные части.
- В разделе **Второе предельное состояние**: задайте коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ; отметьте флажком **Проверка по деформациям**; отметьте флажком **Прогибы относительно локальной оси Z1** (в плоскости  $X1OZ1$ ); длина пролета — Автоматически; в разделе **Максимально допустимый прогиб** выберите **В долях пролета** —  $l_z/250$ .

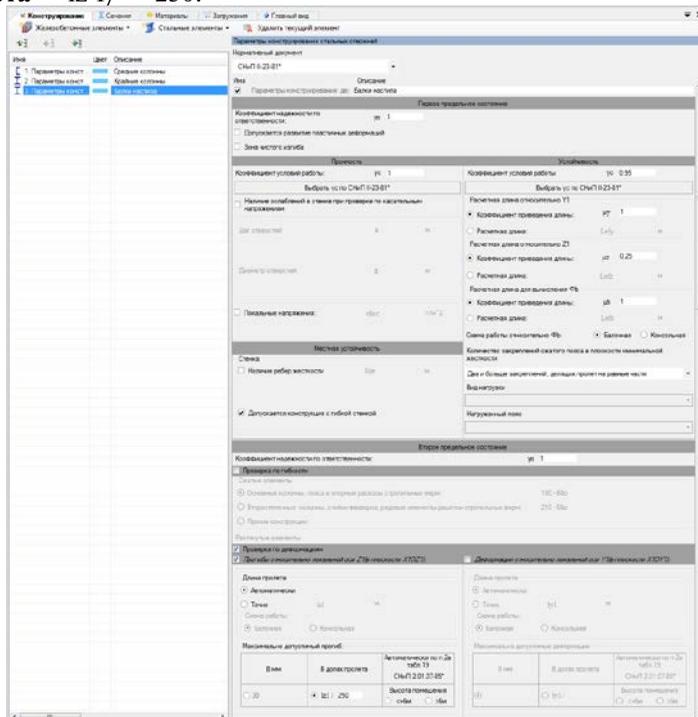


Рис. 153. Редактор параметров конструирования для балок настила

*Задание параметров конструирования для элементов верхнего пояса фермы*

• Для задания параметров конструирования элементов верхнего пояса фермы выберите в категории **Стальные элементы** и выпадающем списке **Параметры конструирования**: коробка.

- Нормативный документ — СНИП II-23—81\*.
- На панели **Параметры конструирования стальных стержней** в **Описании** впишите — **Элементы верхнего пояса фермы**.

- В разделе **Первое предельное состояние** задайте (рис. 154):  
коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ;  
коэффициент условий работы по прочности  $\gamma_c = 1$ ;  
коэффициент условий работы по местной устойчивости  $\gamma_c = 1$ ;  
коэффициент условий работы по устойчивости  $\gamma_c = 1$ ;  
коэффициент приведения длины относительно  $Y1$ ,  $\mu_y = 1$ ;  
коэффициент приведения длины относительно  $Z1$ ,  $\mu_z = 1$ .

- В разделе **Второе предельное состояние**:  
задайте коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ ;  
отметьте флажком **Проверка по гибкости**;  
в категории **Сжатые элементы** отметьте пункт **По табл. 19\* СНИП II-23—81\*** и в выпадающем списке выберите **Пояса, опорные раскосы, опорные стойки**: плоских ферм, структурных конструкций, пространственных конструкций высотой до 50 м;  
растянутые элементы — 300.

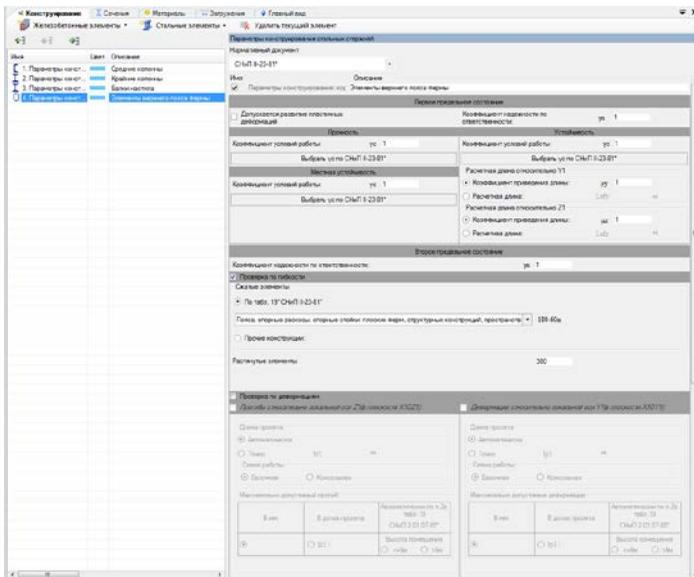


Рис. 154. Редактор параметров конструирования элементов верхнего пояса фермы

*Задание параметров конструирования для элементов нижнего пояса фермы*

• Для задания параметров конструирования элементов нижнего пояса фермы выберите в категории **Стальные элементы** и выпадающем списке **Параметры конструирования**: коробка.

• Нормативный документ — СНИП II-23—81\*.

• На панели **Параметры конструирования стальных стержней** в **Описании** впишите **Элементы нижнего пояса фермы**.

- В разделе **Первое предельное состояние** задайте (рис. 155):  
коэффициент надежности по ответственности,  $\gamma_n = 1$ ;  
коэффициент условий работы по прочности,  $\gamma_c = 1$ ;  
коэффициент условий работы по местной устойчивости,  $\gamma_c = 1$ ;  
коэффициент условий работы по устойчивости,  $\gamma_c = 1$ ;  
коэффициент приведения длины относительно  $Y1$ ,  $\mu_y = 0,33$ ;  
коэффициент приведения длины относительно  $Z1$ ,  $\mu_z = 0,33$ ;

- В разделе **Второе предельное состояние**:  
задайте коэффициент надежности по ответственности,  $\gamma_n = 1$ ;  
отметьте флажком **Проверка по гибкости**;  
в категории **Сжатые элементы** отметьте пункт **По табл. 19\* СНИП II-23—81\*** и в выпадающем списке выберите **Пояса, опорные раскосы, опорные стойки**: плоских ферм, структурных конструкций, пространственных конструкций высотой до 50 м;  
растянутые элементы — 300.

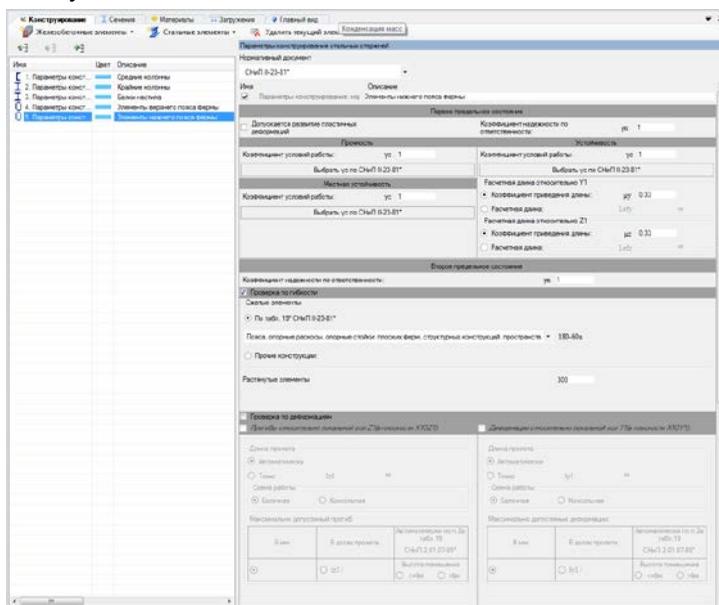


Рис. 155. Редактор параметров конструирования элементов нижнего пояса фермы

### Задание параметров конструирования для элементов решетки фермы

• Для задания параметров конструирования элементов решетки фермы выберите в категории **Стальные элементы** и выпадающем списке **Параметры конструирования**: коробка.

• Нормативный документ — СНИП II-23—81\*.  
• На панели **Параметры конструирования стальных стержней** в **Описании** впишите **Элементы решетки фермы**.

• В разделе **Первое предельное состояние** задайте (рис. 156):

- коэффициент надежности по ответственности,  $\gamma_n = 1$ ;
- коэффициент условий работы по прочности,  $\gamma_c = 1$ ;
- коэффициент условий работы по местной устойчивости,  $\gamma_c = 1$ ;
- коэффициент условий работы по устойчивости,  $\gamma_c = 1$ ;
- коэффициент приведения длины относительно  $Y1$ ,  $\mu_y = 1$ ;
- коэффициент приведения длины относительно  $Z1$ ,  $\mu_z = 1$ .

• В разделе **Второе предельное состояние**:

задайте коэффициент надежности по ответственности,  $\gamma_n = 1$ ;  
отметьте флажком **Проверка по гибкости**;

в категории **Сжатые элементы** отметьте пункт **По табл. 19\* СНИП II-23—81\*** и в выпадающем списке выберите **Прочие элементы решетки плоских ферм, пространственных и структурных конструкций**; растянутые элементы — 300.

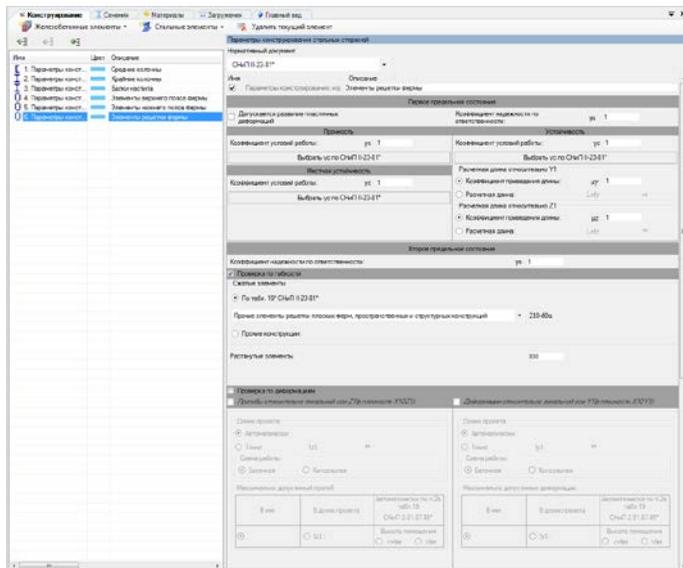


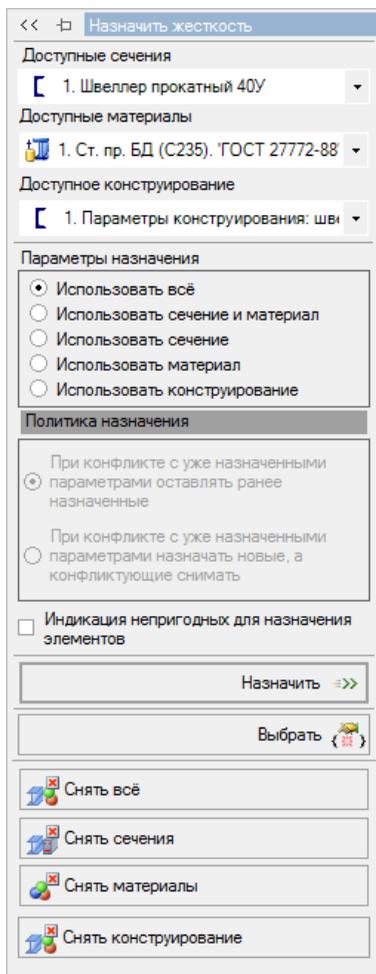
Рис. 156. Редактор параметров конструирования элементов решетки фермы

• Для выхода из **Редактора параметров конструирования** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

## 6.11. Назначение сечений, материалов и параметров конструирования элементам расчетной схемы

*Задание сечений материалов и параметров конструирования для средних колонн*

- С помощью мышки выберите элементы № 2, 3 (средние колонны).
- Выберите пункт меню **Конструирование** → **Назначить сечение, материал и параметры конструирования** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 157).



**Рис. 157.** Панель активного режима Назначить жесткость для средних колонн

- Для задания сечения, материала и параметров конструирования для колонн расчетной схемы в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.

- Выберите в **Доступные сечения** → **1. Швеллер прокатный 40У**, в **Доступные материалы** → **1. Ст. пр. БД (С235) ‘ГОСТ 27772-88’**; а в **Доступное конструирование** → **1. Параметры конструирования: швеллер прокатный. ‘Средние колонны’**. Все остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите кнопку **Назначить**.

*Задание сечений материалов и параметров конструирования для крайних колонн*

- Выберите пункт меню **Выбор** → **Фильтр выбора** (кнопка  на панели инструментов) (рис. 158).

- В разделе **Ограничения выбора** перейдите на закладку **Фильтр по элементам** () , отметьте флажком пункт **По номеру** и впишите элементы № 1, 4, 8, 9 (крайние колонны), затем щелкните на кнопку **Выбрать** (*выделение приобретут колонны расчетной схемы*).

- По стеку активных режимов вернитесь в панель активного режима **Назначить жесткость** (кнопка  на панели инструментов).

- Для задания сечения, материала и параметров конструирования для крайних колонн расчетной схемы в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.

- Затем выберите в **Доступные сечения** → **2. Двутавр прокатный 60**, в **Доступные материалы** → **1. Ст. пр. БД (С235) ‘ГОСТ 27772-88’**; а в **Доступное конструирование** → **2. Параметры конструирования: двутавр прокатный. ‘Крайние колонны’**. Все остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите кнопку **Назначить**.

*Задание сечений материалов и параметров конструирования для элементов балок настила*

- С помощью мышки выберите элементы № 5, 6, 7 (балки настила).

- Для задания сечения, материала и параметров конструирования для балок настила в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.

- Затем выберите в **Доступные сечения** → **3. Двутавр прокатный 3б**, в **Доступные материалы** → **1. Ст. пр. БД (С235) ‘ГОСТ 27772-88’**; а в **Доступное конструирование** → **3. Параметры конструирования: двутавр прокатный. ‘Балки настила’**. Все остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите кнопку **Назначить**.

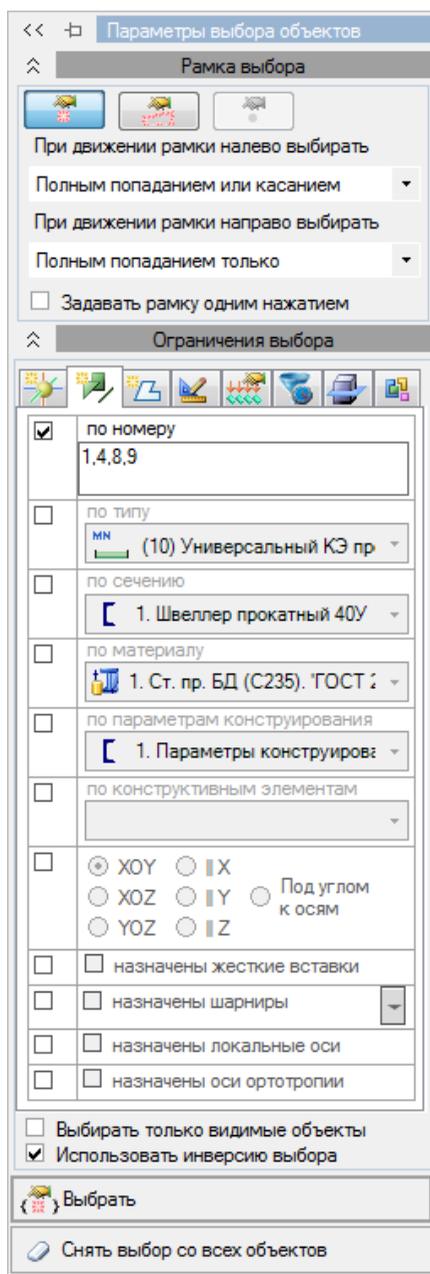


Рис. 158. Панель активного режима Фильтр выбора

*Задание сечений материалов и параметров конструирования для элементов верхнего пояса фермы*

- С помощью мышки выберите элементы № 10, 11, 14, 16, 19, 21 (элементы верхнего пояса фермы).

- Для задания сечения, материала и параметров конструирования для элементов верхнего пояса фермы в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.

- Затем выберите в **Доступные сечения** → **4. Коробка прокатная 300×300×12**, в **Доступные материалы** → **1. Ст. пр. БД (С235) 'ГОСТ 27772-88'**; а в **Доступное конструирование** → **4. Параметры конструирования: коробка прокатная. 'Элементы верхнего пояса фермы'**. Все остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите кнопку **Назначить**.

*Задание сечений материалов и параметров конструирования для элементов нижнего пояса фермы*

- С помощью мышки выберите элементы № 22, 23, 24 (элементы нижнего пояса фермы).

- Для задания сечения, материала и параметров конструирования для нижнего пояса фермы в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.

- Выберите в **Доступные сечения** → **5. Коробка прокатная 300×300×12**, в **Доступные материалы** → **1. Ст. пр. БД (С235) 'ГОСТ 27772-88'**; а в **Доступное конструирование** → **5. Параметры конструирования: коробка прокатная. 'Элементы нижнего пояса фермы'**. Все остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите кнопку **Назначить**.

*Задание сечений материалов и параметров конструирования для элементов раскосов и стоек фермы*

- С помощью мышки выберите элементы № 12, 13, 15, 17, 18, 20 (раскосы и стойки фермы).

- Для задания сечения, материала и параметров конструирования для раскосов и стоек фермы в **Параметрах назначения** укажите радиокнопкой **Использовать все**.

- Выберите в **Доступные сечения** → **5. Коробка прокатная 50×50×2**, в **Доступные материалы** → **Ст. пр. БД (С235) 'ГОСТ 27772-88'**; а в **Доступное конструирование** → **6. Параметры конструирования: коробка прокатная. 'Элементы решетки фермы'**. Все остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите кнопку **Назначить**.

*Примечание:* по умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием. Есть возможность выделять с помощью полигона (кнопка  на панели активного режима **Параметры выбора объектов**) или же с помощью одиночной отметки (кнопка  на панели активного режима **Параметры выбора объектов**).

## 6.12. Формирование загрузений

### Создание загрузений

- Выберите пункт меню **Редакторы** → **Редактор загрузений** (кнопка  на панели инструментов).
- Создайте 3 Статических загрузения (полный выбор типов загрузений для данного типа задачи представлен на рис. 159).

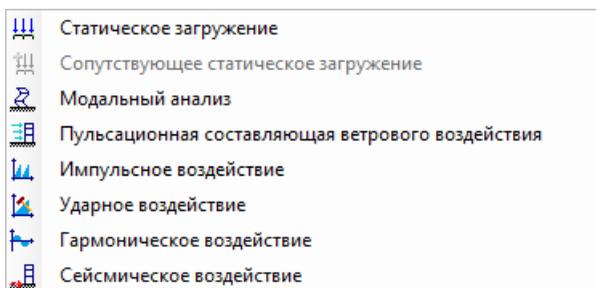


Рис. 159.

Рис. 159. Выпадающий список загрузений

- Выберите нормы проектирования из выпадающего списка  РСУ/РСН ( Не использовать ) ▾ → СССР: СНиП 2.01.07—85\*.
- Затем, делая поочередно активными загрузения, задайте:
  - для **Статического загрузения 1**: Описание — Нагрузка от собственного веса; Вид загрузения — Постоянное; коэффициенты приведения: К нормативным нагрузкам — 1.0; К расчетным нагрузкам — 1.1; Доля длительности — 1.0; остальные параметры оставьте без изменений (рис. 160);
  - для **Статического загрузения 2**: Описание — Нагрузка от оборудования; Вид загрузения — Длительное; коэффициенты приведения: К нормативным нагрузкам — 1.0; К расчетным нагрузкам — 1.2; Доля длительности — 1.0; остальные параметры оставьте без изменений;
  - для **Статического загрузения 3**: Описание — Ветровая нагрузка; Вид загрузения — Кратковременное; коэффициенты приведения: К нормативным нагрузкам — 1.0; К расчетным нагрузкам — 1.2; Доля длительности — 0.35; остальные параметры оставьте без изменений.

Статика : Статическое нагружение (Статическое нагружение)

Имя : Статическое нагружение

Описание : Нагрузка от собственного веса

Оценка начальной потери устойчивости

Количество форм потери устойчивости : 1

Анализ устойчивости : Не выполнять

Сочетания нагружений

Вид нагружения : Постоянное  Знакопеременность  По умолчанию

Коэффициент приведения

К нормативным нагрузкам	1	2 основное	Сейсмическое	Особое	5 сочетание	6 сочетание	7 сочетание	8 сочетания
К расчетным нагрузкам	1.1	1	0.9	1	0	0	0	0
Доля длительности	1							

Рис. 160. Панель редактирования загрузки

- Задайте гармоническое динамическое воздействие с помощью **Добавить загрузку** → **Гармоническое воздействие и его параметры** (рис. 161):
  - количество форм — 10;
  - в списке **Выберите расчетный модуль** выберите (28) Гармоническое воздействие с учетом частных зон;
  - в **Параметрах гармонического воздействия** с учетом частных зон укажите (рис. 161): Коэффициент неупругого сопротивления материала — 0.025 (прокатная сталь III и IV категории динамической нагрузки); Вынужденная частота внешнего воздействия — 6.5 Рад/с; Погрешность вычисления собственных частот и возможное изменение их в процессе эксплуатации сооружения (границы частных зон) — 15 %;
  - в разделе **Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения** поставьте флажок на **Из нагружения**;
  - для формирования первой строки в выпадающем списке **Преобразовании статических нагрузок в массы** выберите 1. Статические нагружение, Коэффициент преобразования — 0.9;
  - щелкните по кнопке **Добавить**;
  - для формирования второй строки в выпадающем списке **Преобразовании статических нагрузок в массы** выберите 2. Статические нагружение, Коэффициент преобразования — 0.8;
  - щелкните по кнопке **Добавить**;
  - в разделе **Сочетание нагружений**: Вид нагружения — Кратковременное; учитываем Знакопеременность; коэффициенты приведения: К нормативным нагрузкам — 1.0; К расчетным нагрузкам — 1.2; Доля длительности — 0.35. Остальные параметры оставляем без изменений.

*Примечание:* формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения производится для учета указанных статических нагружений как нагружения массами при расчете динамики.

Динамика с разложением по собственным формам колебаний : Гармоническое воздействие (Гармоническое воздействие)

Имя Гармоническое воздействие

Описание

Параметры частичной проблемы собственных значений

Количество форм	10	Матрица масс	Согласованная
-----------------	----	--------------	---------------

Выберите расчетный модуль (28) Гармоническое воздействие с учетом частотных зон

Параметры гармонического воздействия с учетом частотных зон

Коэффициент неупругого сопротивления материала 0.025 - прокатная сталь

Вынужденная частота внешнего воздействия 6.5 Рад/с

Погрешность вычисления собственных частот и возможное изменение их в процессе эксплуатации сооружения (границы частотных зон) 15 %

Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения

Из загрузки Преобразование статических нагрузок в массы

Из плотности элементов Ц 2. Статическое нагружение

Коэффициент преобразования: 0.8

Имя загрузки	Коэффициент преобразования
<u>Ц</u> 1. Статическое нагружение	0.9
<u>Ц</u> 2. Статическое нагружение	0.8

Сочетания нагружений

Вид нагружения Кратковременное  Знакопеременность По умолчанию

Коэффициент приведения

К нормативным нагрузкам	1
К расчетным нагрузкам	1.2
Доля длительности	0.35

Коэффициенты для РСУ

	1 основное	2 основное	Сейсмическое	Особое	5 сочетание	6 сочетание	7 сочетание	8 сочетание
1	1	0.9	0.5	0.8	0	0	0	0

Рис. 161. Задание параметров гармонического воздействия

Для создания сейсмического воздействия выберите **Добавить нагружение** → **Сейсмическое воздействие** (рис. 162) и задайте следующие параметры:

количество учитываемых форм колебаний — 5;

в списке **Выберите расчетный модуль** выберите (35) Сейсмическое воздействие по СНиП II-7—81\* издания 01.01.2000 г. (Российская Федерация);

в **Параметрах сейсмического воздействия** укажите: Тип сооружения — Жилые, общественные и производственные; Поправочный коэффициент к инерционным силам — 1.0; Категория грунта — I категория; Сейсмичность площадки строительства — 7 баллов; Коэффициент, учитывающий допустимые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 3 —  $K_1 = 0.12$  (могут быть допущены значительные остаточные деформации, временно приостанавливающие нормальную эксплуатацию при обеспечении безопасности людей); Коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений, принимаемый по табл. 4 или указаниями разд. 5 —  $K_\psi = 1.0$  (здания и сооружения, не указанные в поз. 1–2, кроме гидротехнических сооружений);

направляющие косинусы равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК —  $C_X = 1$ ;

в разделе **Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения** поставьте флажок на **Из загрузки**;

для формирования первой строки в выпадающем списке **Преобразование статических нагрузок в массы** выберите 1. Статические нагружение, Коэффициент преобразования — 0.9; щелкните по кнопке **Добавить**;

для формирования второй строки в выпадающем списке **Преобразование статических нагрузок в массы** выберите 2. Статические нагружение, Коэффициент преобразования — 0.8; щелкните по кнопке **Добавить**;

в разделе **Сочетания нагружений**: Вид нагружения — Сейсмическое; учитываем Знакопеременность; коэффициенты приведения: К нормативным нагрузкам — 1.0; К расчетным нагрузкам — 1.0; Доля длительности — 0. Остальные параметры оставляем без изменений.

Динамика с разложением по собственным формам колебаний : Сейсмическое воздействие ( Сейсмическое воздействие )

Имя Сейсмическое воздействие

Описание

Параметры частичной проблемы собственных значений

Количество форм	5	Матрица масс	Согласованная
-----------------	---	--------------	---------------

Выберите расчетный модуль (35) Сейсмическое воздействие по СНиП II-7-81\* издания 01.01.2000г. (Российская Федерация)

Параметры сейсмического воздействия по СНиП II-7-81\* издания 01.01.2000г. (Российская Федерация)

Тип сооружения Жилые, общественные\* Поправочный коэффициент к инерционным силам 1

Категория грунта I категория Коэффициент, учитывающий допустимые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по табл.3  $K_1 = 0.12$  - могут быть \*

Сейсмичность площадки строительства 7 баллов Коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений, принимаемый по табл.4 или указаниям разд.5  $K_2 = 1.00$  - здания и соо \*

Направляющие косинусы равнодействующей сейсмического воздействия в ГСК

CX 1 CY 0 CZ 0  $CX \cdot CX + CY \cdot CY + CZ \cdot CZ = 1$

Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения

Из нагружения Преобразование статических нагрузок в массы Коэффициент преобразования: 0.8

Из плотности элементов  $\text{III}$  2. Статическое нагружение

Имя нагружения	Коэффициент преобразования
$\text{III}$ 1. Статическое нагружение	0.9
$\text{III}$ 2. Статическое нагружение	0.8

Добавить

Изменить

Удалить

Сочетания нагружений

Вид нагружения Сейсмическое  Знакопеременность По умолчанию

Коэффициент приведения

К нормативным нагрузкам	1	1 основное	2 основное	Сейсмическое	Особое	5 сочетание	6 сочетание	7 сочетание	8 сочетание
К расчетным нагрузкам	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Доля длительности	0								

Рис. 162. Задание параметров сейсмического воздействия

- Для задания сочетаний нагружений выберите **Добавить сочетание** → **Пользовательское сочетание** (рис. 163) (выполните это действие 3 раза для создания трех сочетаний).

- Для первого Пользовательского сочетания в выпадающем списке указываем **Анализ устойчивости** — **Выполнить с учетом влияния моментов** и задаем коэффициенты:

1. Статическое нагружение — 1.0;
2. Статическое нагружение — 0.95;
3. Статическое нагружение — 0.9;
4. Гармоническое воздействие — 0;
5. Сейсмическое воздействие — 0.

• Для второго Пользовательского сочетания в выпадающем списке указываем **Не выполнить анализ устойчивости** и задаем коэффициенты:

1. Статическое нагружение — 0.9;
2. Статическое нагружение — 0.8;
3. Статическое нагружение — 0.5;
4. Гармоническое воздействие — 0;
5. Сейсмическое воздействие — 1.0.

• Для третьего Пользовательского сочетания в выпадающем списке указываем **Не выполнить анализ устойчивости** и задаем коэффициенты:

1. Статическое нагружение — 0.9;
2. Статическое нагружение — 0.8;
3. Статическое нагружение — 0.5;
4. Гармоническое воздействие — 1.0;
5. Сейсмическое воздействие — 0.

РСН: Пользовательское сочетание

Имя Пользовательское сочетание

Описание

Оценка начальной потери устойчивости

Количество форм потери устойчивости 1 Анализ устойчивости Выполнять с учетом влияния м

Показать только нагружения с ненулевыми коэффициентами

#	Имя нагружения	Коэффициент
1	1. Статическое нагружение	1
2	2. Статическое нагружение	0.95
3	3. Статическое нагружение	0.9
4	4. Гармоническое воздействие	0
5	5. Сейсмическое воздействие	0

Рис. 163. Задание параметров первого Пользовательского сочетания

• Для выхода из **Редактора нагружений** щелкните мышкой по вкладке **Главный вид**.

## 6.13. Назначение нагрузок

### Формирование нагружения № 1

- Выделите все элементы.
- Вызовите панели активного режима **Назначить нагрузки** с помощью меню **Схема** → **Назначить нагрузки** (кнопка  на панели инструментов).
- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** → **Собственный вес** → **Собственный вес**.
- Коэффициент к собственному весу  $K = 1$ .
- Щелкните по кнопке **Назначить**.

- Выделите горизонтальные элементы рамы № 5—7 (для выделения воспользуйтесь комбинацией клавиш **Ctrl + Shift**, удерживая их нажатыми, выделите элементы № 5, 6, 7 с помощью рамки справа налево полным попаданием либо касанием, а слева направо — только полным попаданием).

- В панели активного режима **Добавление нагрузок** кликните на выпадающий список **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на стержень** → **Равномерно распределенная сила** (по умолчанию указана система координат Глобальная, направление — вдоль оси Z).

- В панели **Равномерно распределенная сила** задайте интенсивность нагрузки  $P = 2$  т/м.

- Щелкните по кнопке **Назначить**.

- Выделите узлы опирания фермы на колонны № 1 и 2.

- В панели активного режима выберите в выпадающем списке **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на узел** → **Сосредоточенная сила** (по умолчанию указана система координат Глобальная, направление — вдоль оси Z).

- Задайте величину нагрузки  $P = 12$  т.

- Щелкните по кнопке **Назначить**.

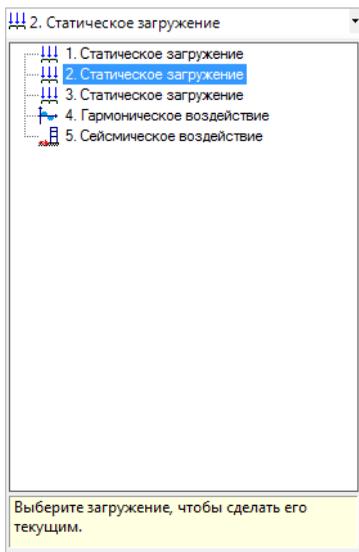
- Выделите узлы верхнего пояса фермы № 11, 12, 14, 15, 17.

- В окне **Величина нагрузки** введите значение  $P = 24$  т.

- Щелкните по кнопке **Назначить**.

#### *Формирование загрузки № 2*

- Смените номер текущего заграждения, выбрав в выпадающем списке **Статическое заграждение № 2** (выпадающий список на панели инструментов).



- Выделите элементы балок настила № 5—7 и задайте **Равномерно распределенная сила на стержень**,  $P = 2$  т/м.
- Выделите узлы опирания фермы на колонны № 1 и 2 и задайте **Сосредоточенная сила на узел** величиной  $P = 2$  т.
- Выделите узлы верхнего пояса фермы № 11, 12, 14, 15, 17 и задайте **Сосредоточенная сила на узел** величиной  $P = 4$  т.

#### *Формирование загрузки № 3*

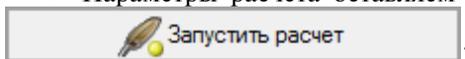
- Смените номер текущего загрузки, выбрав в выпадающем списке **Статическое загрузку № 3**.
- Выделите узлы № 1 и 6 и задайте на них **Сосредоточенная сила на узел вдоль оси X**, величиной  $P = -1.5$  т.
- Выделите узел № 2 и задайте **Сосредоточенная сила на узел вдоль оси X**, величиной  $P = -2$  т.
- Выделите узел № 3 и задайте **Сосредоточенная сила на узел вдоль оси X**, величиной  $P = -1.125$  т.

#### *Формирование загрузки № 4*

- Смените номер текущего загрузки, выбрав в выпадающем списке **Статическое загрузку № 4**.
- Выделите узел № 5.
- В панели активного режима выберите в выпадающем списке **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на узел** → **Гармоническая нагрузка**.
- В **Параметрах нагрузки** задаем:
  - закон нагрузки — COS;
  - дополнительная масса — 2 т;
  - сдвиг фазы — 0;
  - направление — X;
  - амплитуда воздействия — 0.1 т;
- После этого щелкните по кнопке **Назначить**.

### 6.14. Статический расчет рамы

- Запустите задачу на расчет с помощью меню **Расчет** → **Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).
- Параметры расчета оставляем по умолчанию и нажимаем кнопку



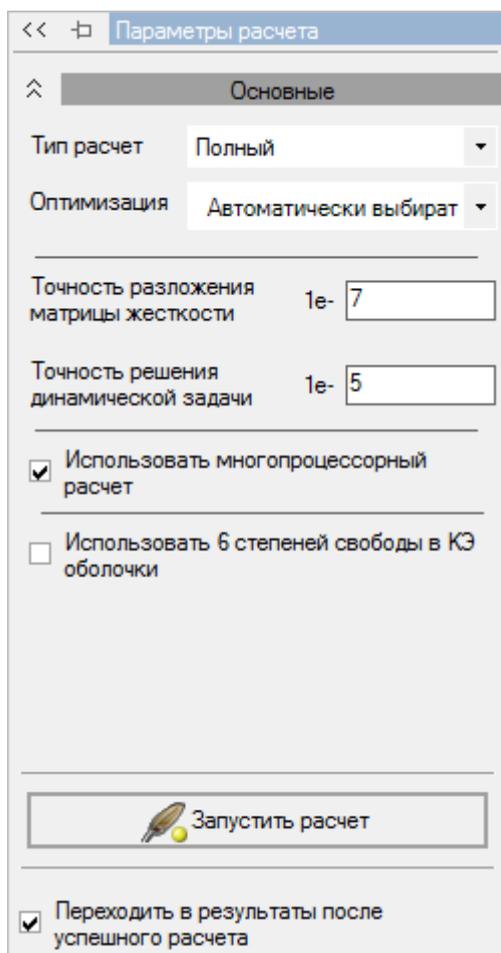


Рис. 164. Панель активного режима Выполнить расчет

*Примечание:* если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, то переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.

## 6.15. Просмотр и анализ результатов расчета

### *Просмотр результатов расчета*

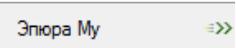
- После расчета задачи переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически или с помощью меню **Расчет** → **Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).

- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается не деформированной. Просматривать результаты расчета (перемещения, усилия, напряжения, реакции, формы собственных колебаний, формы потери устойчивости, выводить таблицы результатов расчета и т.д.) можно с помощью панели инструментов.



*Вывод на экран эпюр внутренних усилий*

- Смените номер текущего нагружения, выбрав в выпадающем списке **Статическое нагружение № 1**.

- Выведите на экран эпюру  $M_y$  с помощью меню **Результаты** → **Результаты по стержням** → **Эпюра ( $M_y$ )** (кнопка  на панели инструментов), а затем  на панели активного режима.

- Сделайте снимок эпюры для создания отчета с помощью нажатия пункта меню **Документирование** → **Изображение с экрана** и нажмите кнопку .

- По стеку активных режимов вернитесь к режиму **Результаты по стержням**.

- Чтобы вывести мозаику усилия  $M_y$ , выполните **Визуальное представление** → **Мозаика** (кнопка  на панели инструментов).

- Для выбора эпюры  $N$  щелкните по кнопке  на панели активного режима.

- Сделайте снимок эпюры для создания отчета с помощью нажатия пункта меню **Документирование** → **Изображение с экрана** и нажмите кнопку .

*Вывод форм колебаний конструкции*

- Чтобы просматривать деформированную схему, выберите **Результаты** → **Деформированная схема** (кнопка  на панели инструментов).

- Выберите пункт меню **Результаты** → **Колебания** (кнопка  на панели инструментов).

- Для просмотра первой формы колебаний гармонического воздействия в выпадающем списке нагружений выберите **4. Гармоническое воздействие**, в подпункте **Формы собственных колебаний** укажите **Форма собственных колебаний 1** (рис. 165).

- Для вывода третьей формы колебаний сейсмического воздействия аналогично предыдущему пункту выберите **5. Сейсмическое воздействие**, в подпункте **Формы собственных колебаний** укажите **Форма собственных колебаний**.

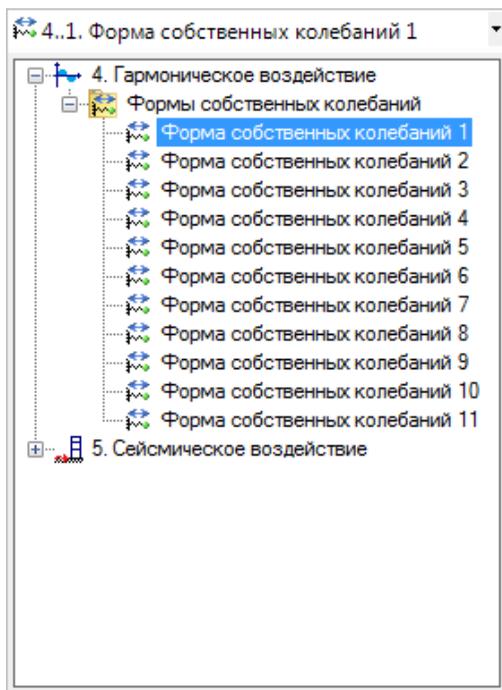


Рис. 165. Выбор формы колебаний

*Просмотр анимации второй формы колебаний*

- На панели инструментов нажмите на кнопку .
- В окне **Анимация** (рис. 166) щелкните по кнопке  — воспроизвести анимацию.

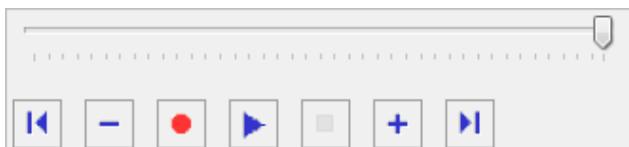


Рис. 166. Окно Анимация

- Закройте окно **Анимация** щелчком в окне **Главного вида**.

### *Просмотр результатов расчета рамы на устойчивость*

- Чтобы просматривать деформированную схему, выберите **Результаты** → **Устойчивость** (кнопка  на панели инструментов).
- Выберите **Результаты** → **РСН** (кнопка  на панели инструментов).
- Для просмотра формы потери устойчивости первого пользовательского сочетания загружений в выпадающем списке загружений выберите **1. Сочетание**, в подпункте **Формы потери устойчивости** укажите **Форма потери устойчивости 1**.

### *Просмотр анимации первой формы потери устойчивости*

- На панели инструментов нажмите на кнопку .
- В окне **Анимация** щелкните по кнопке  — воспроизвести анимацию.
- Закройте окно **Анимация** щелчком в окне **Главного вида**.

### *Формирование и просмотр таблиц результатов расчета*

- Для вывода на экран таблицы со значениями периодов и частот собственных колебаний выполните пункт меню **Результаты** → **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме **Формирование таблиц** (рис. 167) выделите название желаемой таблицы. В данном случае выберите строку **Периоды и частоты собственных колебаний**, включите радиокнопку **Все загрузки** и нажмите кнопку **Сформировать**.
- Таблица **Периоды и частоты собственных колебаний** отобразится в нижней части экрана (рис. 168).

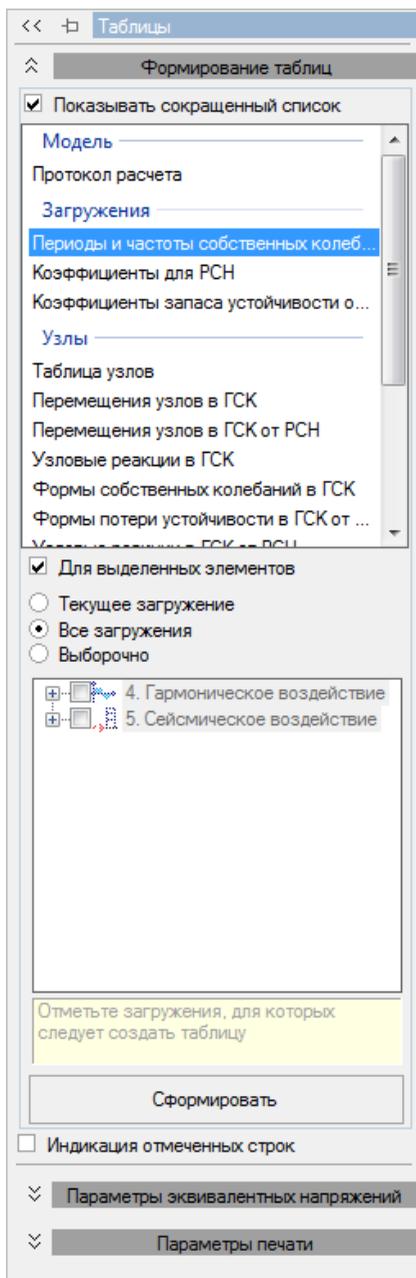


Рис. 167. Формирование таблиц

Загружение	Форма	Собственное значение	Частота (Рад/с)	Период (с)	Коэффициент распределения	Модальная масса (%)	Суммарная модальная масса (%)
4	1	0.0383205	5.1084	1.23			
4	2	0.00137896	26.929	0.23332			
4	3	0.00120243	28.838	0.21788			
4	4	0.000986479	31.839	0.19734			
4	5	0.00088171	33.677	0.18657			
4	6	0.000804488	35.257	0.17821			

Рис. 168. Таблица Периоды и частоты собственных колебаний

- Созданную таблицу можно экспортировать в Word, Excel, HTML. Для этого вызовите раскрывающееся меню с помощью кнопки  (рис. 169).

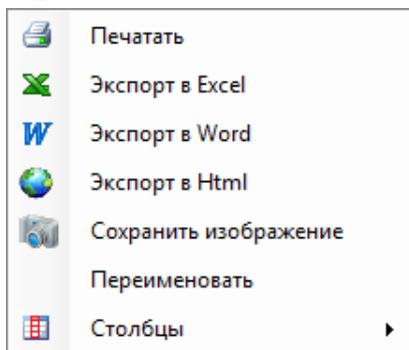


Рис. 169. Контекстное меню

- Для сохранения выберите одну из программ в появившемся диалоговом окне **Сохранить как**, задайте имя файла и папку, в которую будет сохранен файл.
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.
- Аналогичным образом создайте таблицу **Коэффициенты запаса устойчивости от РСН**.

## 6.16. Формирование отчета

- Для документирования используйте пункт меню **Формирование отчета** (кнопка  на панели инструментов).
- Добавьте нужные изображения, таблицы, а также фрагменты текста (постоянные части отчетов, которые не изменяются от отчета к отчету) для будущего отчета (рис. 170).
- После добавления изображений, таблиц и т.д. — редактирование местоположения набранных изображений, фрагментов и таблиц осуществляется с помощью кнопок  .
- Отчеты экспортируются в Word, Excel, PowerPoint, Html.

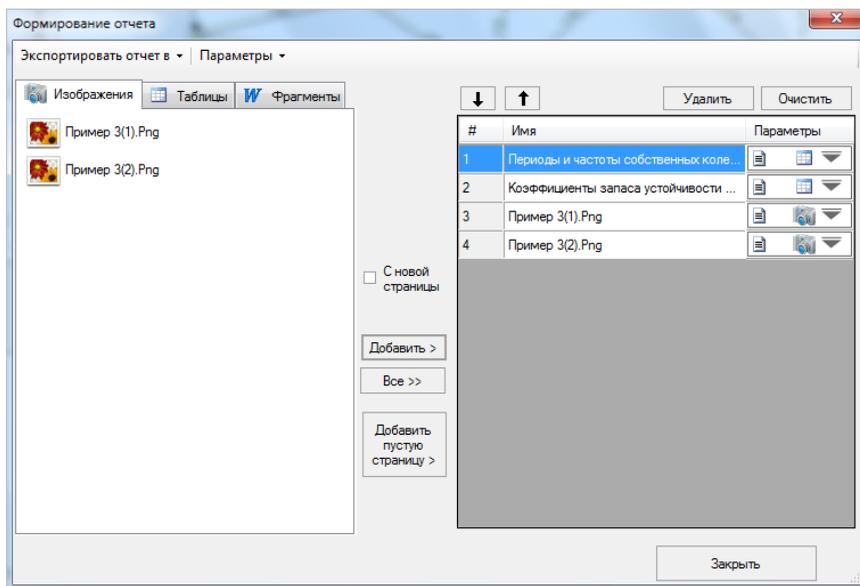
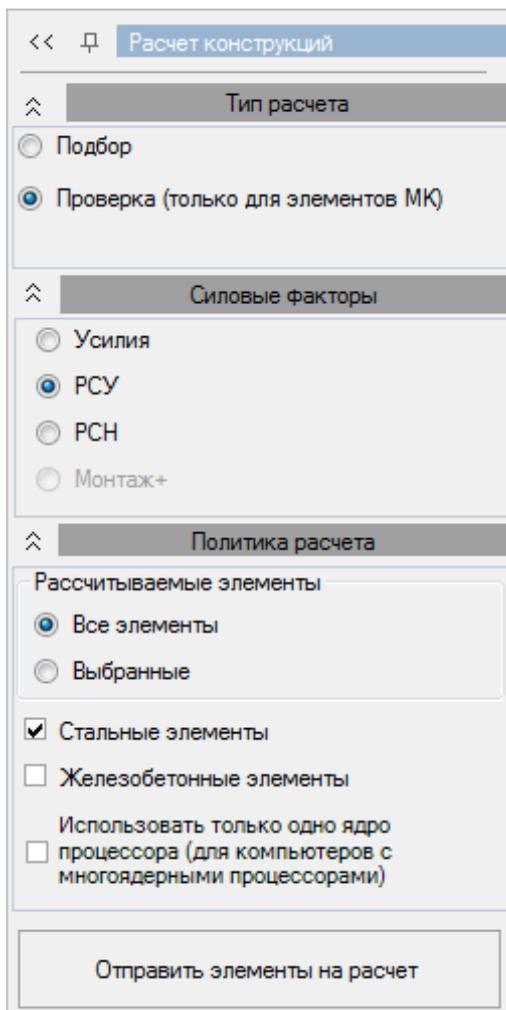


Рис. 170. Диалоговое окно Формирование отчета

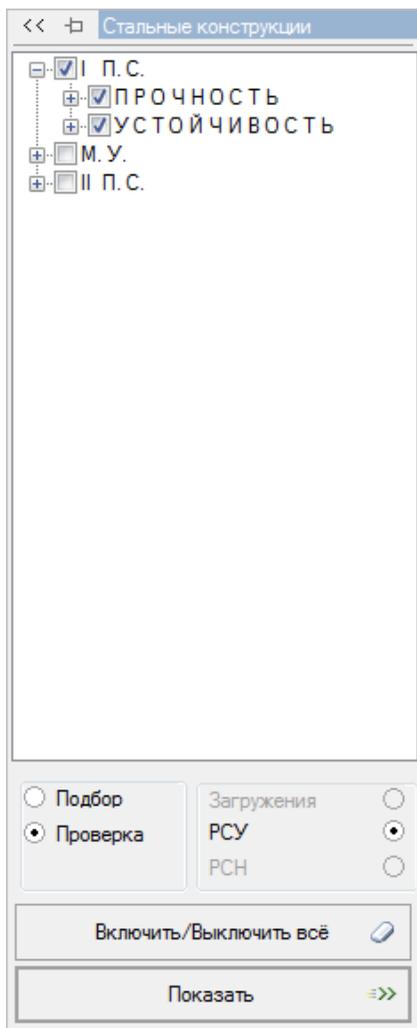
## 6.17. Проверка стальных сечений элементов рамы

- Для проверки стальных сечений элементов рамы выполните пункт меню **Расчет** → **Расчет конструкций** (кнопка  на панели инструментов).
- На панели активного режима **Расчет конструкций** (рис. 171): укажите **Тип расчета** — **Проверка** (только для элементов МК); силовые факторы — РСУ; политика расчета — Все элементы; снимите флажок с пункта **Железобетонные элементы**.
- Нажмите на кнопку **Отправить элементы на расчет**.
- С помощью пункта меню **Результаты** → **Стальные конструкции** (кнопка  на панели инструментов) перейдите в режим анализа результатов подбора сечений (рис. 172).
  - Укажите радиокнопкой **Проверка по результатам РСУ**.
  - Выберите параметры I Предельного состояния, II Предельного состояния, Местной устойчивости, по каким будет показана проверка сечений, и нажмите **Показать**.



**Рис. 171.** Панель активного режима  
Расчет конструкций

- Для просмотра таблицы результатов проверки стальных сечений элементов рамы выполните пункт меню **Результаты** → **Таблицы результатов** (кнопка  на панели инструментов).



**Рис. 172.** Панель активного режима  
Стальные конструкции

- В режиме **Формирование таблиц** выберите строку **М.К. Проверка. Сводная таблица по PCY** и нажмите кнопку **Сформировать**.
- Таблица М.К. Проверка. Сводная таблица по PCY отобразится в нижней части экрана.

## Варианты контрольной работы

Варианты расчетных схем (рис. 173) и исходные данные — размеры сечений элементов и значения и вид нагрузки — назначаются преподавателем.

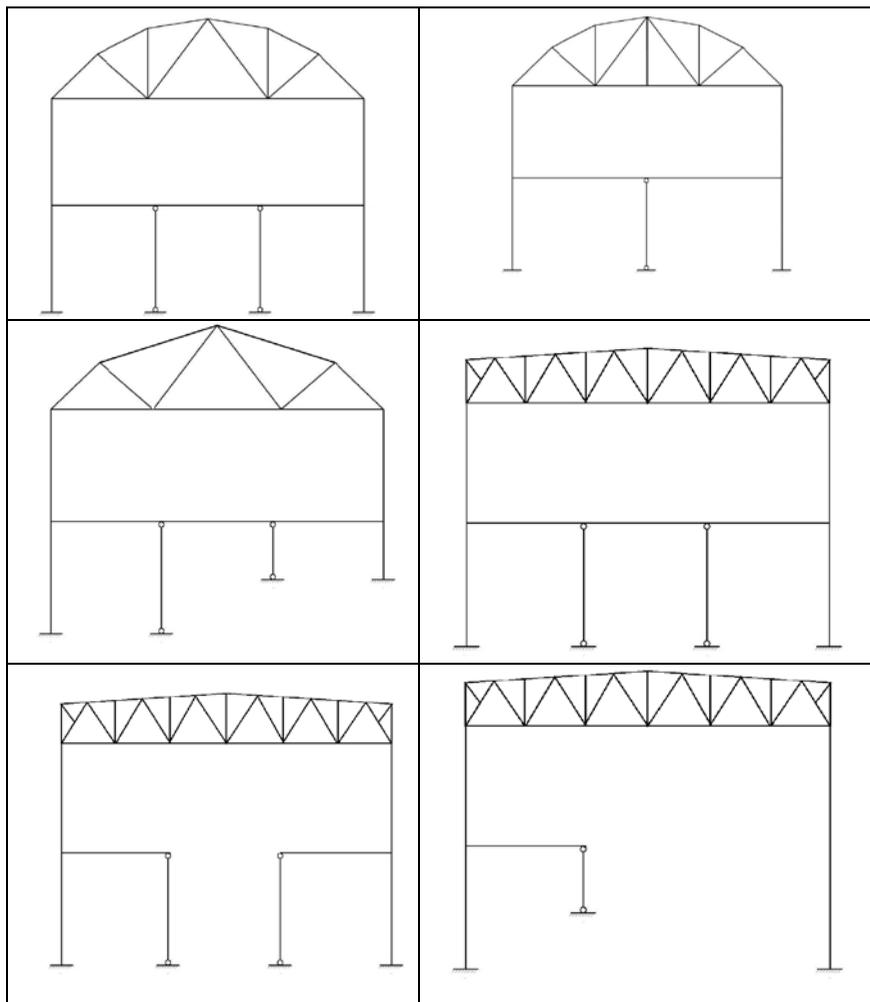


Рис. 173. Расчетные схемы

## Библиографический список

1. Программный комплекс «ЛИРА-Windows». Руководство пользователя / НИИАСС. Кн. 1— 3. Киев : НИИАСС, 2002.
2. *Городецкий А.С., Евзеров И.Д., Стрелецкий Е.Б.* и др. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс «ЛИРА-Windows». Киев : ФАКТ, 1997.
3. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справочно-теоретическое пособие / под ред. академика АИН Украины А.С. Городецкого. Киев — Москва, 2003. 434 с.: ил.
4. *Городецкий А.С., Евзеров И.Д.* Компьютерные модели конструкций. Киев : Факт, 2005.
5. *Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Гензерский Ю.В., Лазнюк М.В., Марченко Д.В., Титок В.П.* ЛИРА 9.2. Руководство пользователя. Основы : учебное пособие. Киев : Факт, 2005.
6. [http://lira-soft.com/wiki/video\\_tutorials/](http://lira-soft.com/wiki/video_tutorials/)
7. <http://lira-soft.com/learning/>
8. *Гензерский Ю.В., Куценко А.Н., Марченко Д.В., Слободян Я.Е., Титок В.П.* ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к учебному пособию «ЛИРА 9.2.». Киев : НИИАСС, 2006.
9. *Русанова Е.М., Русанов П.Г.* Программные комплексы расчета конструкций : вводный курс на ЭВМ. Информ-регистр. № гос. рег. 0320500945, 2005.
10. *Плужникова Е.Л.* Учебное пособие по расчетному комплексу ЛИРА 9.2. / ОАО Моспроект, 2007.
11. *Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д., Куценко А.Н., Марченко Д.В., Медведев Д.В., Слободян Я.Е., Титок В.П.* ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования : учебное пособие. Киев : Факт, 2008. 280 с.
12. *Русанова Е.М., Костенко П.В.* Программные комплексы расчета конструкций на ЭВМ. Контрольные задания и методические указания. М. : МГОУ, 2005. 36 с.
13. *Русанова Е.М.* Программные комплексы расчета конструкций на ЭВМ. Руководство по изучению дисциплины. М. : МГОУ, 2009. 68 с.
14. ПК ЛИРА 10.4. Справочная система / ЛИРА софт. М., 2015.
15. ПК ЛИРА 10.x. Быстрый старт. Руководство пользователя / ЛИРА софт. М., 2015.

16. ПК ЛИРА 10.4. Примеры решения задач : учебное пособие / ЛИРА софт. М., 2015.

17. *Русанова Е.М.* Методы решения задач прочности с помощью вычислительной техники : учебное пособие. М.: Университет машиностроения (МАМИ), 2014. 62 с.

18. *Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А.* Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности : учебник / под ред. Г.С. Варданяна. М. : Изд-во АСВ, 1995. 568 с.: ил.

19. *Анохин Н.Н.* Строительная механика в примерах и задачах. Ч. 2. Статически неопределимые системы : учебное пособие. М. : АСВ, 2000. 464 с.

20. *Дарков А.В., Шапошников Н.Н.* Строительная механика : учебник для строит. спец. вузов. 9-е изд. М. : Высшая школа, 2004. 656 с.