



**ЛИРА**  
СОФТ

[lira@lira-soft.com](mailto:lira@lira-soft.com)

[lira-soft.com](http://lira-soft.com)

+7 (499) 922-00-02

# Современные методы моделирования и расчета зданий и сооружений в ПК ЛИРА 10.4

**Евзеров И.Д.**

д.т.н., науч. руководитель проекта ЛИРА 10

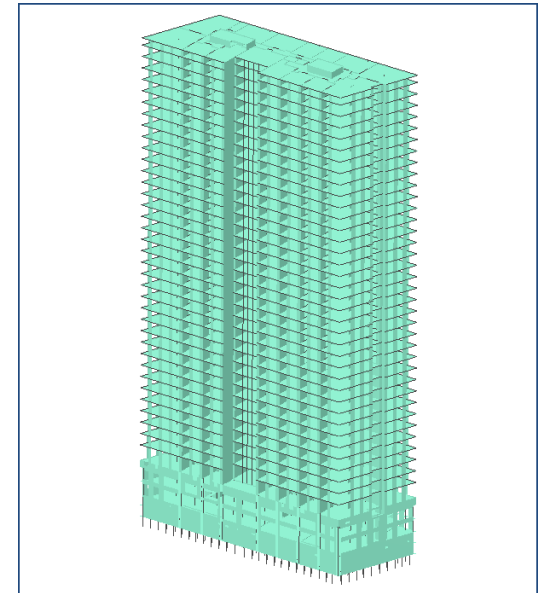
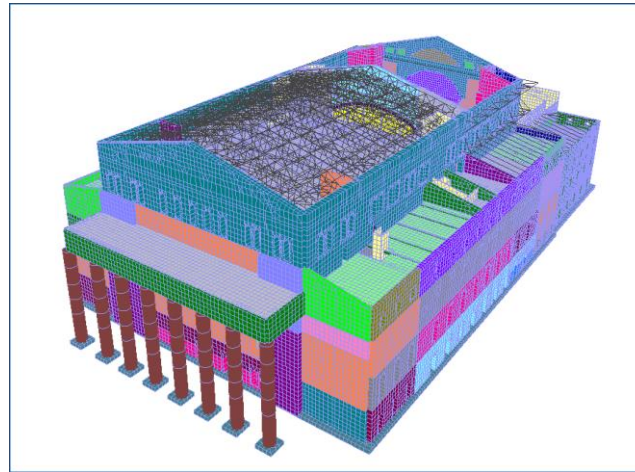
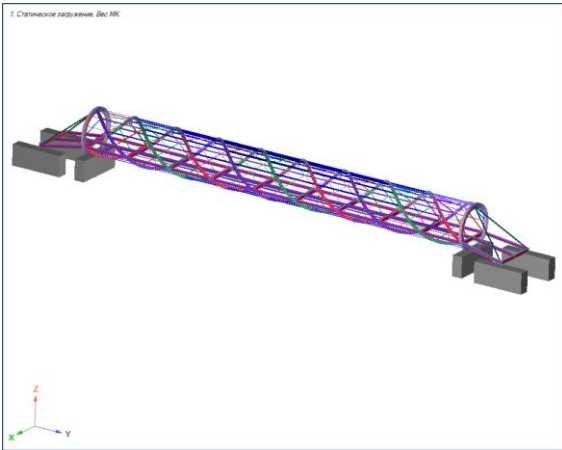
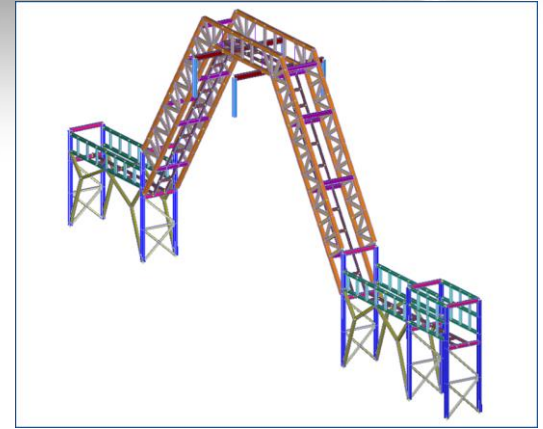
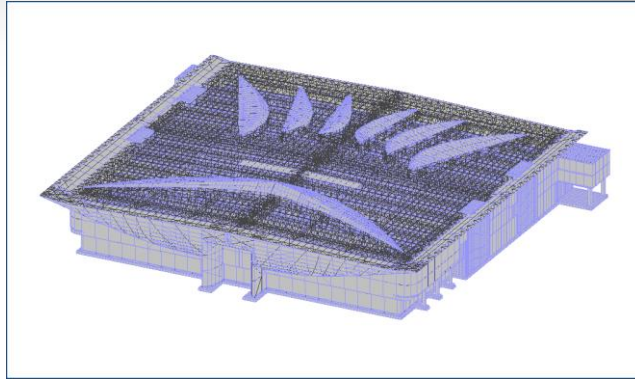
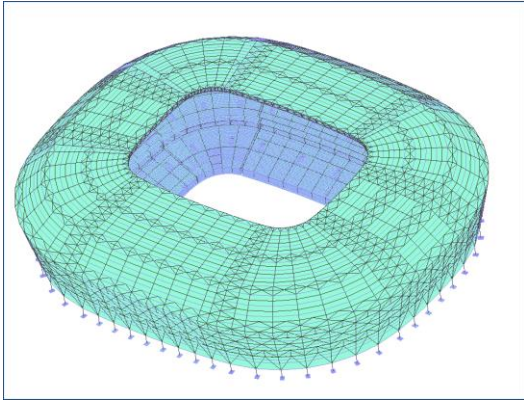
**Колесников А.В.**

технический директор «ЛИРА софт»

Санкт-Петербург  
2015

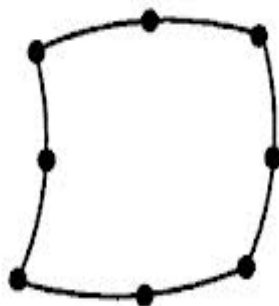
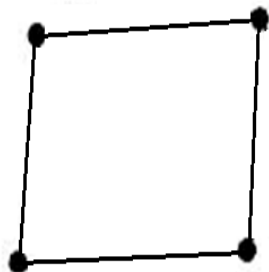
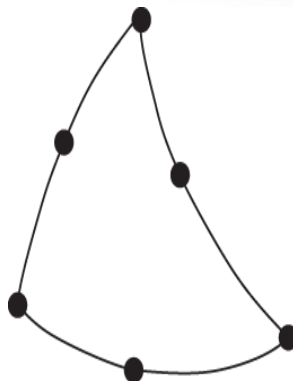
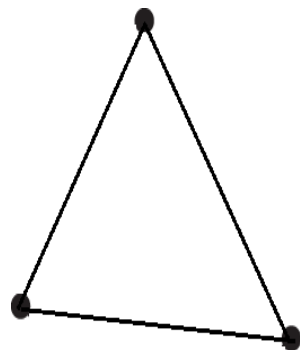


# 1. Область применения



## 4. Другие возможности

### Высокоточные конечные элементы



Параметры расчета

Основные

Тип расчет Полный

Оптимизация Автоматически выби

Точность разложения матрицы жесткости  $1e-7$


Точность решения динамической задачи  $1e-5$

Использовать многопроцессорный расчет



Использовать 6 степеней свободы в КЭ оболочки

Использовать конечные элементы с дополнительными узлами

При успешном расчете выполнять расчет конструкций

 Запустить расчет

Переходить в результаты после успешного расчета

Изм.  Сеть  Масштаб

# Конечные элементы с узлами на серединах сторон

## Конечные элементы линейной статической задачи [1, 2, 3]

порядок производных  $m$  ;

область  $\Omega$ , занимаемую конечным элементом, и его узлы  $X_l$  ;

множество узловых неизвестных;

множество  $H_\mu$  линейных комбинаций базисных функций  $\mu_k$  или их явный вид.

Обозначим  $P_r(\Omega)$  - множество многочленов степени не выше  $r$  на  $\Omega$  ;

$Q_r(\Omega)$  - множество произведений многочленов степени не выше  $r$  по каждой переменной,

### Базисные функции:

Треугольник [4]:

$$H_\mu = P_1(\Omega), \tau = 1.$$

Базисные функции  
на  $\Omega_0$  имеют вид

$$\mu_1 = 1 - s_1 - s_2,$$

$$\mu_2 = s_1, \quad \mu_3 = s_2.$$

Треугольник с узлами в серединах сторон [3]:

$H_\mu = P_2(\Omega)$ ,  $\tau = 2$ . Базисные функции на  $\Omega_0$  имеют вид

$$\mu_1 = 1 - 3s_1 - 3s_2 + 2s_1^2 + 4s_1s_2 + 2s_2^2,$$

$$\mu_2 = -s_1 + 2s_1^2, \quad \mu_3 = -s_2 + 2s_2^2,$$

$$\mu_4 = 4s_1s_2, \quad \mu_5 = 4s_2 - 4s_1s_2 - 4s_2^2, \quad \mu_6 = 4s_1 - 4s_1s_2 - 4s_1^2.$$

1. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач. - М.: Мир, 1980. -512 с.

2. Карпиловский В.С. Четырехугольный восьмиузловой конечный элемент плиты // Строительная механика и расчет сооружений, 1990. — С. 13-17.

3. Евзеров И.Д. Неконформные конечные элементы для нелинейных уравнений с монотонными операторами// Численные методы механики сплошной среды. -1985. - Т.16. - №5. - С. 49-56.

4. Courant R. Variable methods for the solution of problem of equilibrium and vibration. – Bull. Amer. Math. Soc., 1943, №1.

## РАЗДЕЛ 7 ПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕСТЫ. ВЕРИФИКАЦИЯ ПК ЛИРА.

### ТЕСТ 7.1 ПРЯМОЛИНЕЙНАЯ КОНСОЛЬНАЯ БАЛКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НА СВОБОДНОМ ТОРЦЕ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ И КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

#### Исходные данные:

$L=6$  м;  $b=0.1$  м;  $h=0.2$  м;

#### Характеристики материала:

$E=1 \times 10^7$  кПа,  $\mu=0.3$ ;

#### Граничные условия:

Узлы заделки:  $\omega = u = v = \theta_z = \theta_x = \theta_y = 0$ .

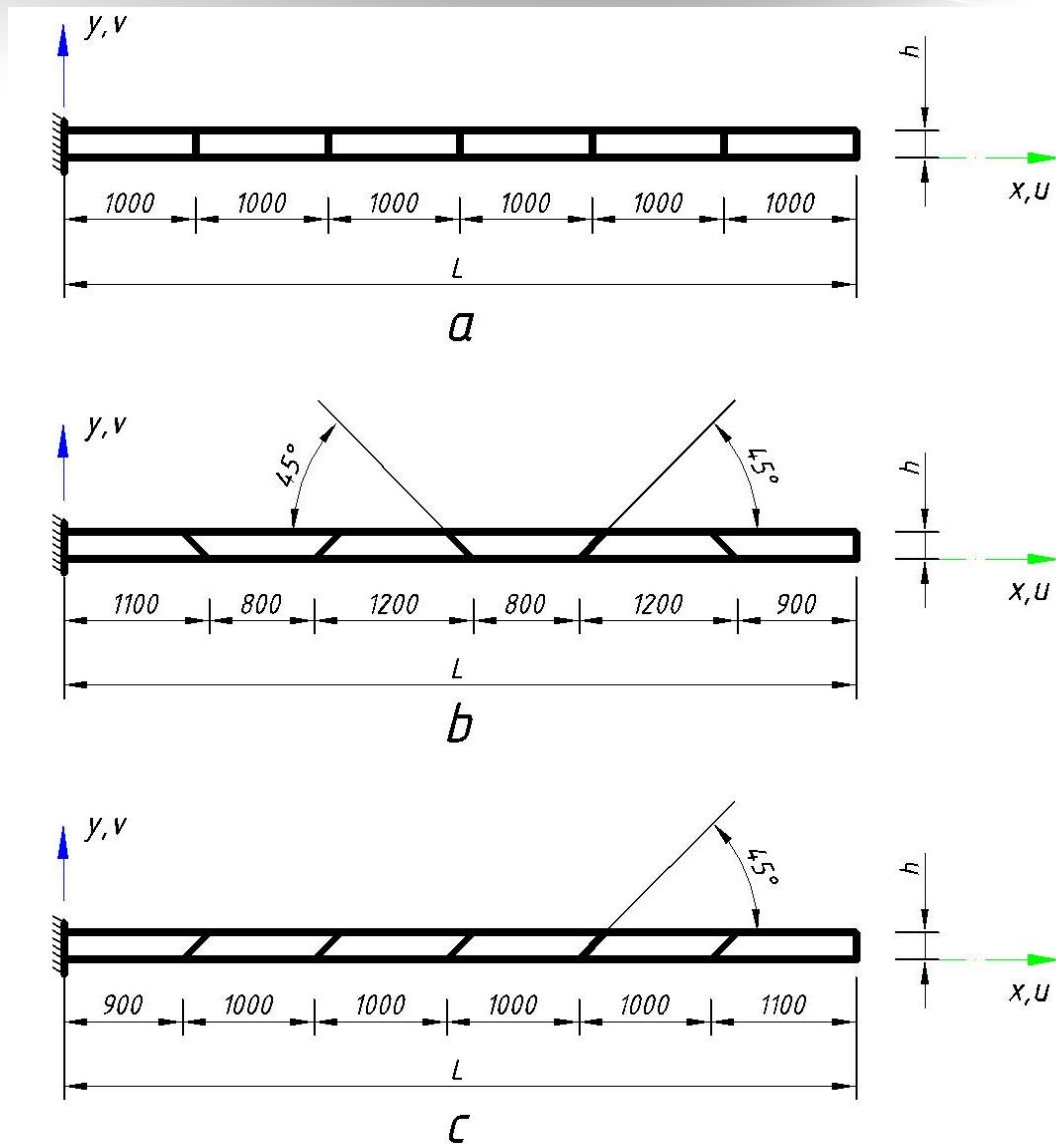
#### Нагрузка:

$P_x=1000$  Н ;  $P_y=1000$  Н ;  $M_x=1000$  Н·м ;

Источник: R. H. Macneal, R. L. Harder, A proposed standard set of problems to test finite element accuracy, North-Holland, Finite elements in analysis and design, 1, 1985, p. 3-20.



ЛИРА  
СОФТ



# ТЕСТ 7.1

Модель	Вид нагрузки	Искомая величина	Теория	Результаты расчёта Лира 10.4			Отклонение, %		
				модель а	модель b	модель с	а	б	с
1	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	2.9863	2.9871	2.9871	0.46	0.43	0.43
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.010088	0.002898	0.003685	<b>90.66</b>	<b>97.32</b>	<b>96.59</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.426230	-0.425420	-0.425465	1.34	1.52	1.51
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.02340^	0.022733	0.020509	0.020563	2.85	12.35	12.12
2*	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	3.0046	3.0049	3.0049	0.15	0.16	0.16
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.10579	0.10302	0.10414	<b>2.05</b>	<b>4.61</b>	<b>3.57</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.42761	-0.4278	-0.4278	1.02	0.97	0.97
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.02340^	0.022813	0.022746	0.022749	2.5	2.79	2.79
3	$P_x$	$u, 10^{-5} \text{ м})$	3	2.9768	2.9744	2.9791	0.77	0.85	0.70
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.003418	0.001615	0.002404	<b>96.84</b>	<b>98.5</b>	<b>97.77</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.421265	-0.42107	-0.42172	2.49	2.62	2.38
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.02340^	0.018560	0.018771	0.019384	<b>20.68</b>	<b>19.78</b>	<b>17.16</b>
4*	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	3.0093	3.0071	3.0118	0.31	0.24	0.39
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.10627	0.10388	0.1049	<b>1.6</b>	<b>3.81</b>	<b>2.87</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.426575	-0.426035	-0.42695	1.26	1.38	1.17
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.02340^	0.023023	0.022994	0.02305	<b>1.61</b>	<b>1.74</b>	<b>1.5</b>



# ТЕСТ 7.1

Модель	Вид нагрузки	Искомая величина	Теория	Результаты расчёта Лира 10.4			Отклонение, %		
				модель а	модель b	модель с	а	б	с
5	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	2.9568	2.9576	2.9575	1.44	1.41	1.42
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.01043	0.002764	0.003409	<b>90.34</b>	<b>97.44</b>	<b>96.84</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.010882	-0.004516	-0.006154	97.48	98.95	98.58
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.034109	0.02682	0.01617	0.01103	21.37	52.59	67.66
6*	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	3.0017	3.0023	3.0024	0.057	0.077	0.08
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.10488	0.095738	0.10453	<b>2.89</b>	<b>11.35</b>	<b>3.21</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.41511	-0.39735	-0.40671	3.91	8.02	5.85
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.034109	0.029017	0.029013	0.02901	14.93	14.94	14.95
7	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	2.9497	2.9501	2.94845	1.68	1.66	1.72
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.003362	0.001616	0.002129	<b>96.89</b>	<b>98.50</b>	<b>98.03</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.01106	-0.00511	-0.00590	<b>97.44</b>	<b>98.82</b>	<b>98.63</b>
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.034109	0.002479	0.004106	0.006401	<b>92.73</b>	<b>87.96</b>	<b>81.23</b>
8*	$P_x$	$u, (10^{-5} \text{ м})$	3	3.0032	3.0002	3.0077	<b>0.11</b>	<b>0.01</b>	<b>0.26</b>
	$P_y$	$v, \text{ м}$	0.1080	0.10467	0.10241	0.10315	<b>3.08</b>	<b>5.18</b>	<b>4.49</b>
	$P_z$	$\omega, \text{ м}$	-0.4320	-0.4149	-0.41013	-0.40987	<b>3.96</b>	<b>5.06</b>	<b>5.12</b>
	$M_x$	$\theta_x, \text{ рад}$	0.034109	0.028970	0.029018	0.028964	<b>15.07</b>	<b>14.93</b>	<b>15.08</b>

\* Использование КЭ с узлами на сторонах

# Высокоточные конечные элементы

<< Параметры расчета

Основное

Тип расчет: Полный

Оптимизация: Автоматически выби

Точность разложения матрицы жесткости:  $1e-7$

Точность решения динамической задачи:  $1e-5$

Использовать многопроцессорный расчет

Использовать 6 степеней свободы в КЭ оболочки

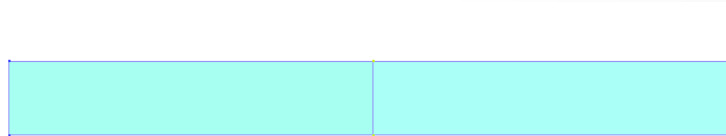
**Использовать конечные элементы с дополнительными узлами**

При успешном расчете выполнять расчет конструкций

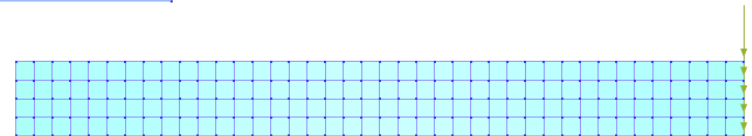
Запустить расчет

Переходить в результаты после успешного расчета

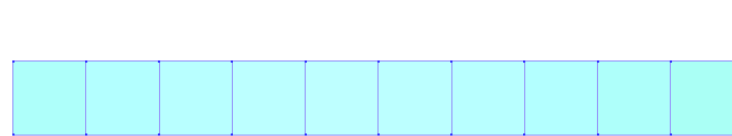
Задача №1 (разбивка 1x2)



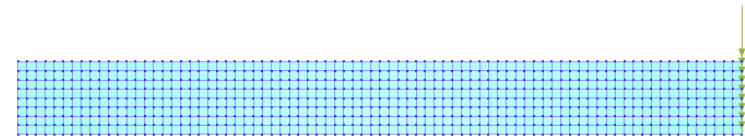
Задача №4 (разбивка 4x40)



Задача №2 (разбивка 1x10)



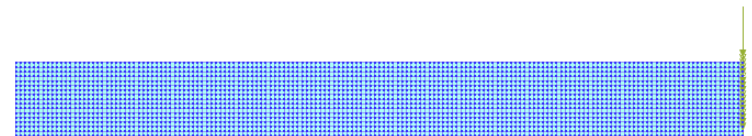
Задача №5 (разбивка 8x80)



Задача №3 (разбивка 2x20)

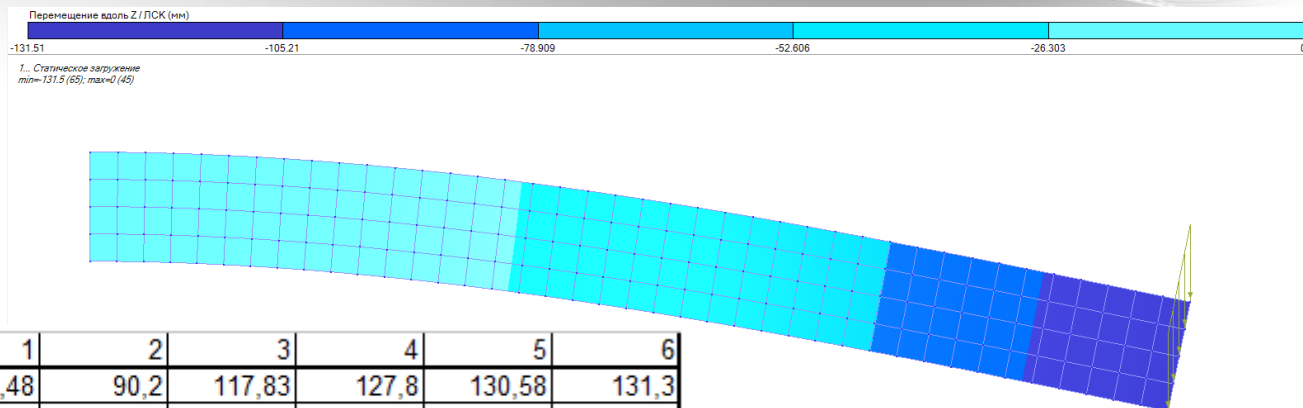


Задача №6 (разбивка 16x160)

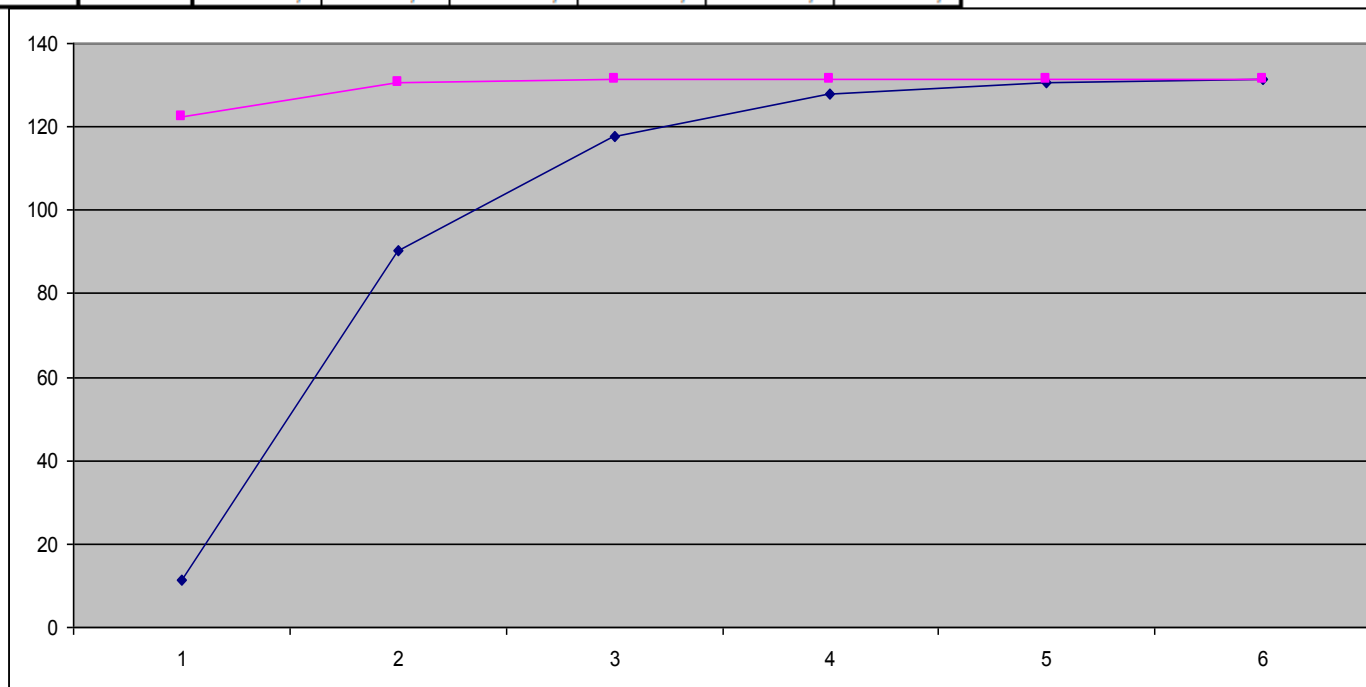




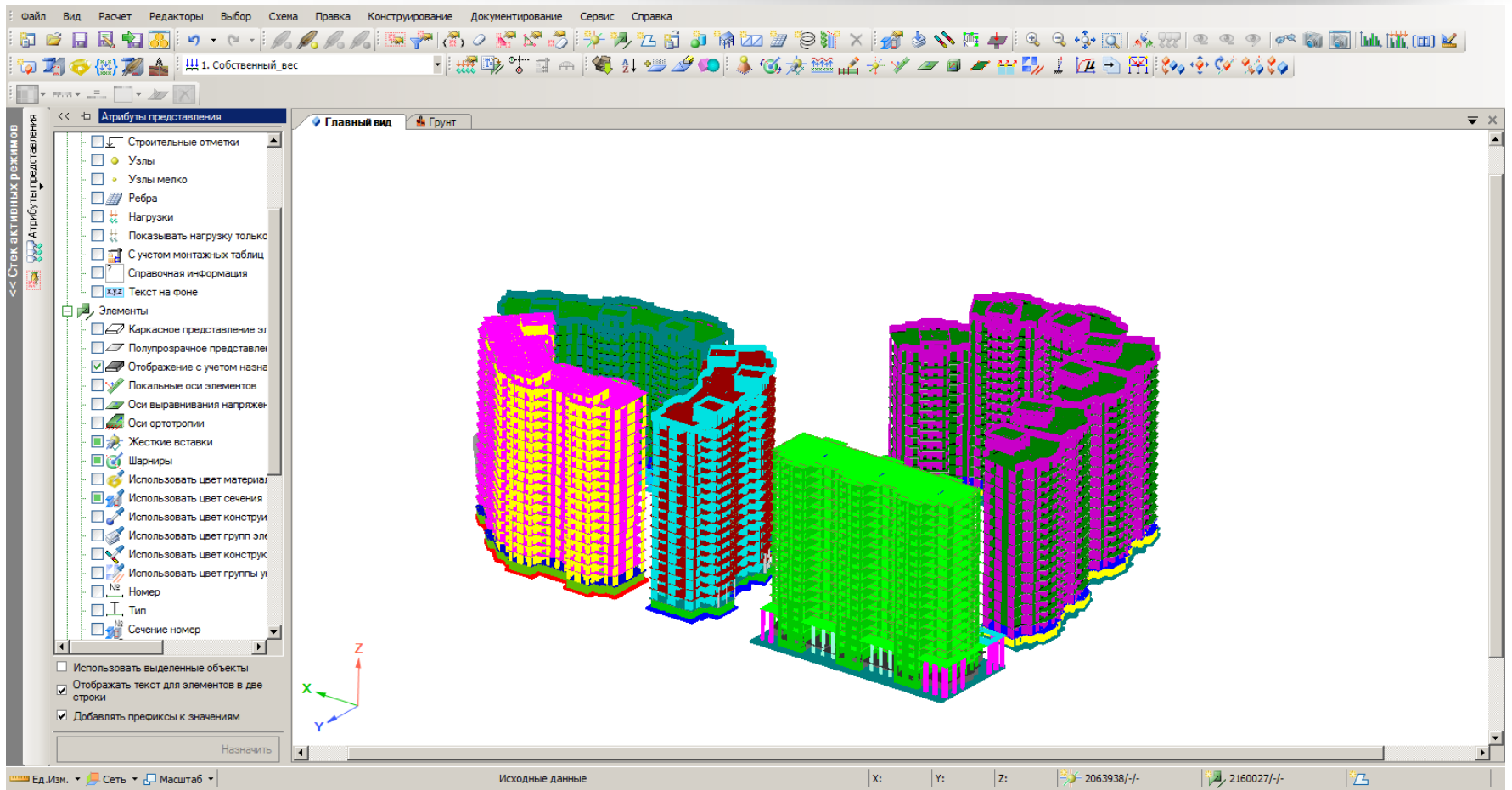
# Высокоточные конечные элементы



перемещение (мм)	1	2	3	4	5	6
традиционные элементы	11,48	90,2	117,83	127,8	130,58	131,3
высокоточные элементы	122,3	130,81	131,4	131,5	131,5	131,5

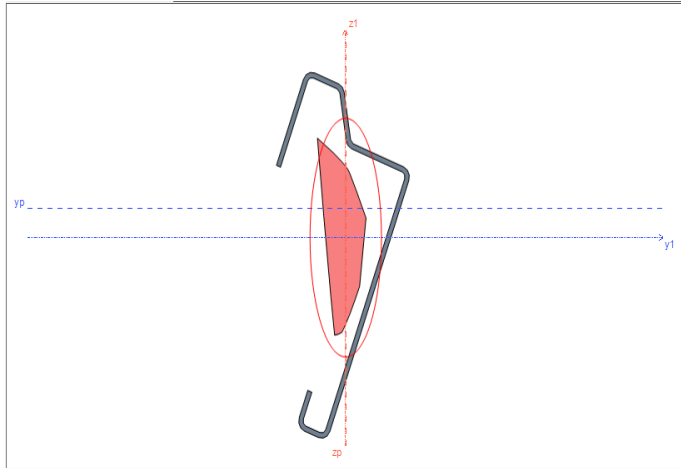
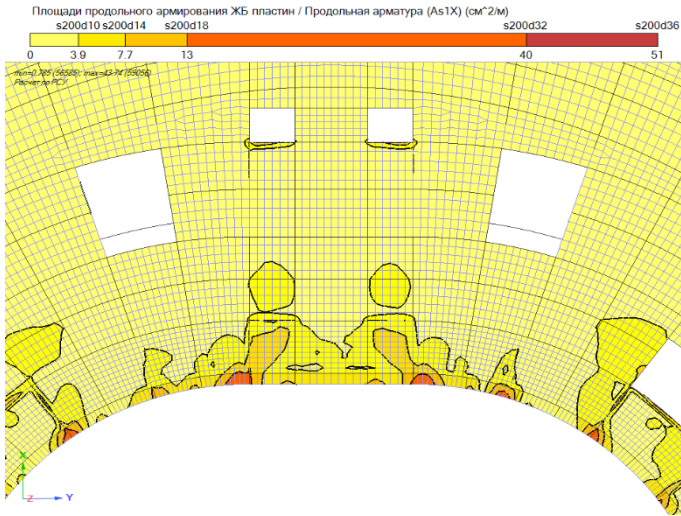


## 2. Интерфейс OpenGL 3.3

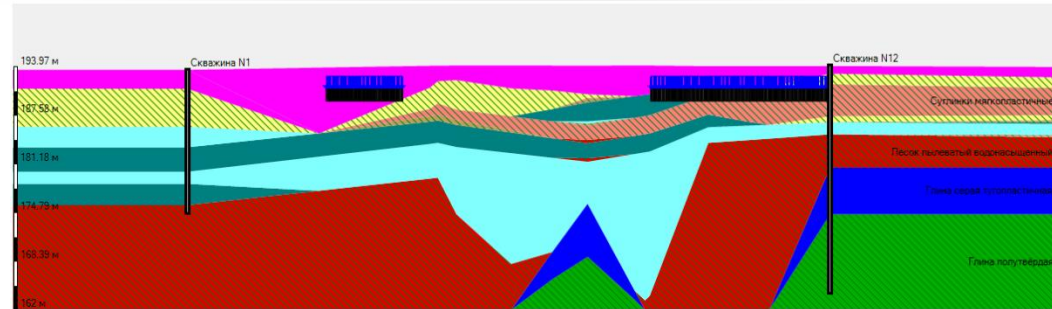


# Единая интегрированная среда

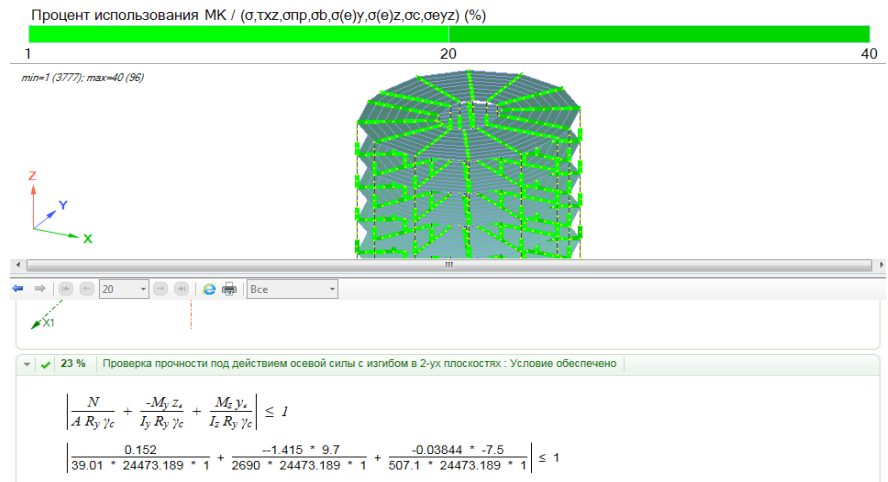
## Армирование ж/б конструкций



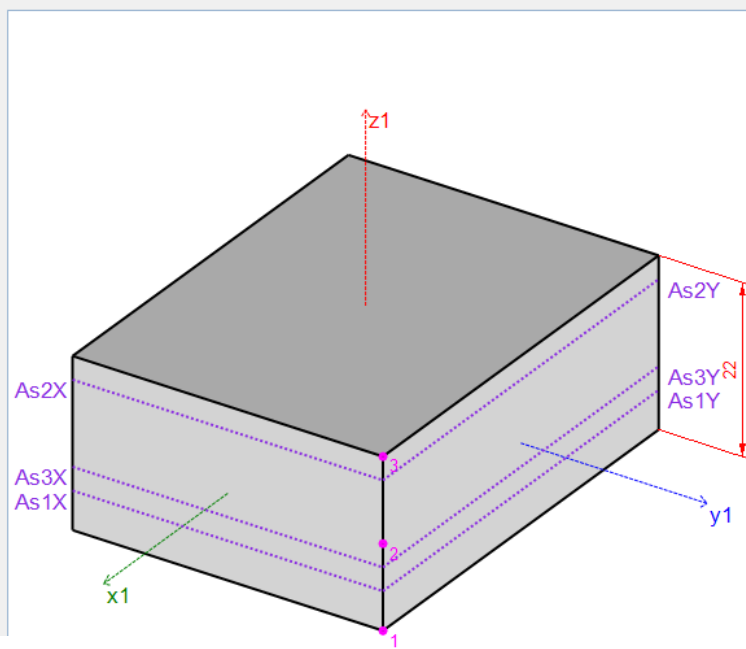
## Редактор ГРУНТА



## ПК ЛИРА 10x



ЖБ

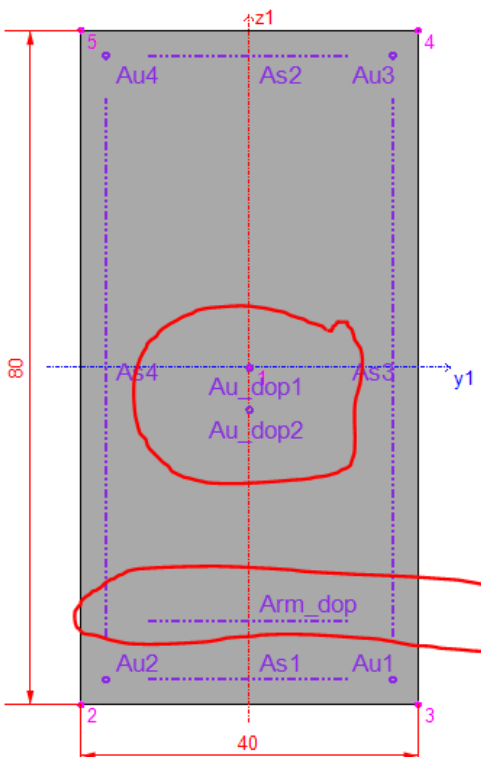


Привязка центра тяжести арматуры к			Армирование	
Верхней	3	см	<input type="radio"/>	По умолчанию
Нижней	5	см	<input checked="" type="radio"/>	Пользовательское



Арматурные вставки

Имя	Точка привязки	ривязки X, см	ривязки Y, см	Блок.	Нач. площадь (Ax), см <sup>2</sup> /м	Макс. площадь (Ax), см <sup>2</sup> /м	Нач. площадь (Ay), см <sup>2</sup> /м	Макс. площадь (Ay), см <sup>2</sup> /м
As1	1	5	5	<input type="checkbox"/>	0.79		0.79	
As2	3	-3	-3	<input type="checkbox"/>	0.79		0.79	
As3	1	8	8	<input type="checkbox"/>	0.79		0.79	
*				<input type="checkbox"/>				



Точечная арматура										
Имя	Точка ривязки	dY, см	dZ, см	Лог. группа	Блок.	Способ нар. лощади	Нач. лощади см <sup>2</sup>	Макс. лощади см <sup>2</sup>	Кол-во гергне в	
Au1	3	-3	3		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1	
Au2	2	3	3		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1	
Au3	4	-3	-3		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1	
Au4	5	3	-3		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1	
Au_...	1	0	0		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1	

Размазаная арматура										
Имя	Точка привязки	Расст. от т.п.	Отсту. см	Отсту. см	Лог. группа	Блок.	Нач. лощади см <sup>2</sup>	Макс. лощади см <sup>2</sup>	Полож	
As2	4	-3	8	8		<input type="checkbox"/>	0	0	--	
As3	4	-3	8	8		<input type="checkbox"/>	0	0		
As4	2	3	8	8		<input type="checkbox"/>	0	0		
Arm...	2	10	8	8		<input type="checkbox"/>	0	0	--	
*	1					<input type="checkbox"/>	0	0	--	



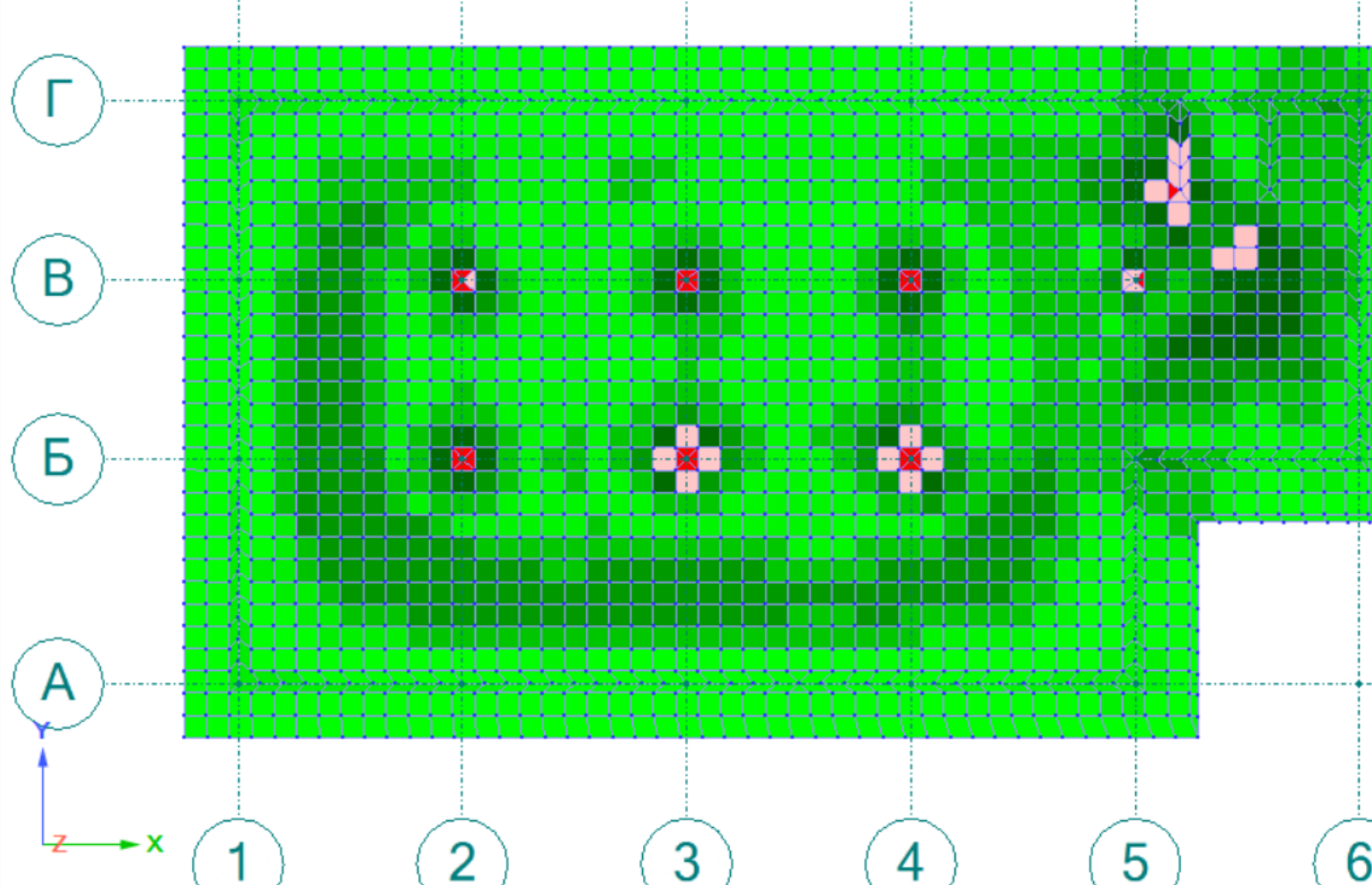
Главный вид

Сечения

Процент использования / Процент использования (N,M,Qx,Qy) (%)



min=1.642 (1360); max=159.7 (1782)  
Расчет по РСУ



Тип элементов:

- Стержневые
- Пластичатые

Тип расчета:

- Подбор
- Проверка

Прочность

- N
- M
- Qx
- Qy

Ширина раскрытия трещин

Показать =>

Локальные результаты

Шаг поперечной арматуры: 100

Результаты по:

- загрузениям
- РСУ
- РСН
- МОНТАЖ+



Преобразовать результаты в исходные данные

Результаты в иск. данные

Преобразование в нагрузки

Преобразование в Rz

Преобразование подобранных сечений

Выберите требуемые силовые факторы для:

Металла

RCH

Выполнить преобразование

Железобетона

PCU

Для проверки заданого армирования

Для физ. нелинейного расчета

Выполнить преобразование

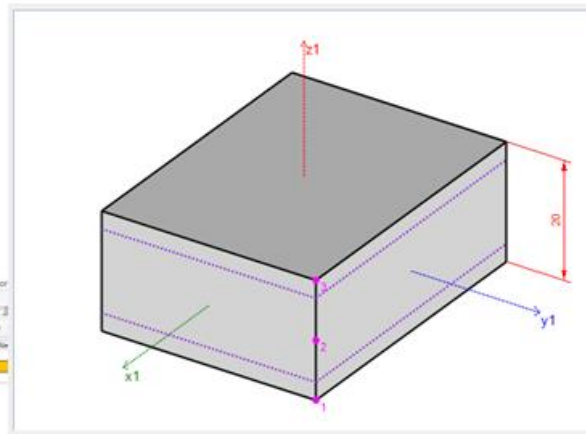
Политика преобразования

Для всех узлов/элементов

Для выделенных узлов/элементов



- 63. Тавр симметричный (1х...), новое сечение
- 64. Тавр симметричный (0.7...), новое сечение
- 65. Пластина (0.2), новое сечение
- 66. Пластина (0.2), новое сечение
- 67. Пластина (0.2), новое сечение



Листы

#	Уровень	Привязка, см	Толщина, см
* 1	1		

Сетки

#	Уровень	Привязка, см	Ax, см <sup>2</sup> /м	Ay, см <sup>2</sup> /м
▶ 1	1		11.714	15.244
2	3	-3	28.559	36.492
* 3	1			

Результаты расчета

Масштаб: 1.1

0.05 2.2

max: 200.00000000000001 (17.000000) Расчет по RCH

Расчетные свойства элементов

Площадь, A, см <sup>2</sup>	Момент инерции				Полный радиус инерции				Относительный		Угол поворота, α, °
	Ix, см <sup>4</sup>	Iy, см <sup>4</sup>	Ix, см <sup>4</sup>	Iy, см <sup>4</sup>	Ix, см	Iy, см	Ix, см	Iy, см	Ax, см <sup>2</sup>	Ay, см <sup>2</sup>	
2.29E+02	4.19E+05	7.42E+05	4.28E+05	8.8	8.9	19.2	4.89	1.94E+02	1.29E+02	2	

Таблица 1

#	Точка	X, см	Y, см	Площадь, см <sup>2</sup>
1	4	-3	3	3.433
2	3	-3	3	3.433
3	2	-3	3	3.76
4	1	-3	3	3.76
* 5	4	-3	3	1.365
6	3	-3	3	1.365
7	2	-3	3	1.365
8	1	-3	3	1.365

Таблица 2

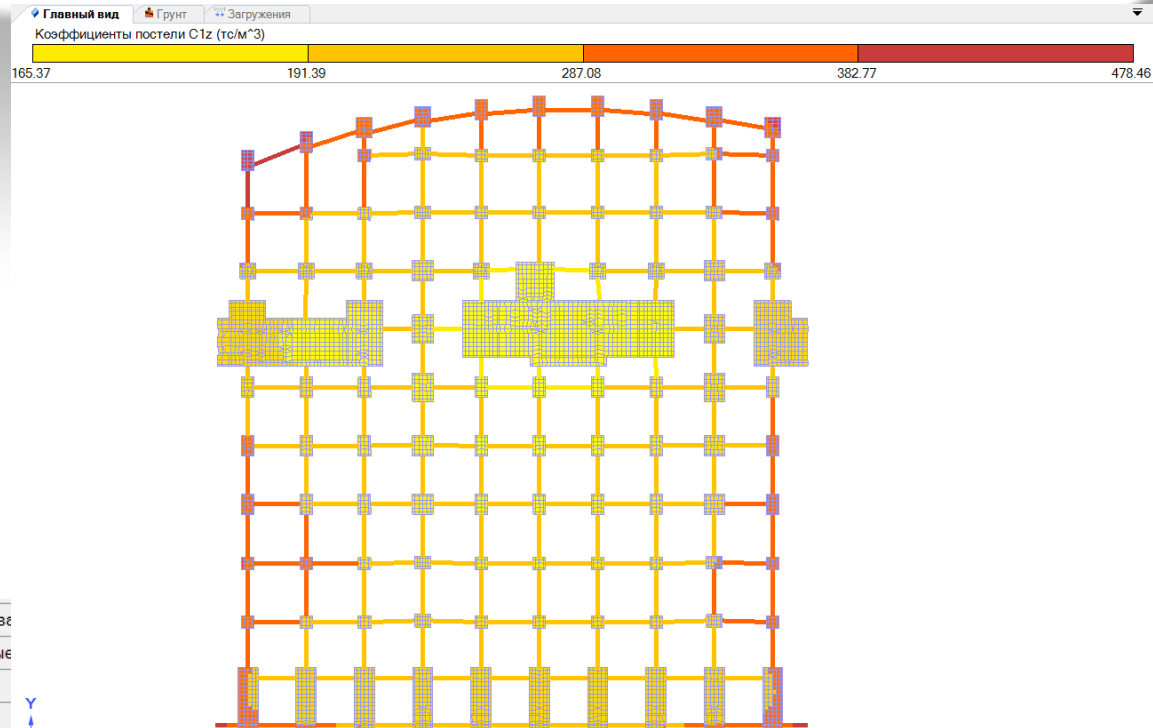
#	Точка	X, см	Y, см	A1, см	A2, см	Площадь, см <sup>2</sup>
1	2	-1.171	-3	8	8	32
2	1	-1.171	-3	8	8	32
3	5	-1.21	-3	8	20	22
* 4	2	-1.21	-3	8	20	41
5	1	-1.21	-3	8	20	41

Экспорт подобранной арматуры в исходные данные для проверок или физически нелинейного расчета.



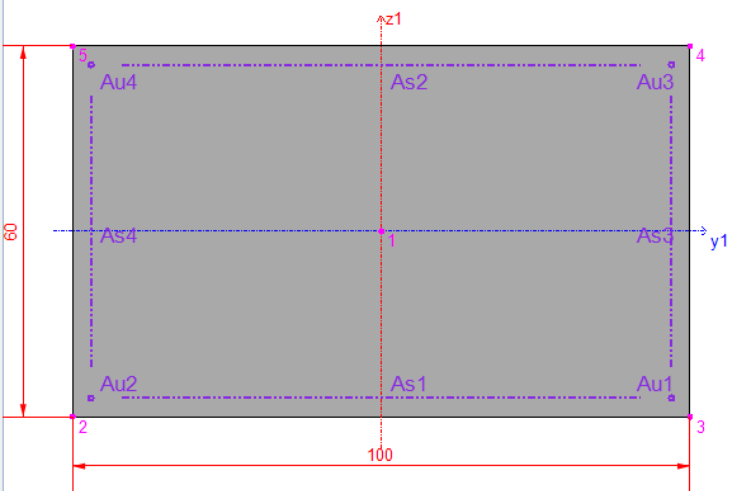
# Система ГРУНТ

Расчет коэф. постели в системе ГРУНТ для комбинированных фундаментов



Расчетные свойства

Площадь A, см <sup>2</sup>	Момент инерции			Ядровые	
	ly1, см <sup>4</sup>	lz1, см <sup>4</sup>	lx1, см <sup>4</sup>	Y+, см	Y-, см
6E+03	1.8E+06	5E+06	4.68E+06	16.7	-16.7



Несимметричное  
 Симметричное  
 Пользовательское

Верхней 3  
 Нижней 3  
 Боковой 3

по проценту от  
 по диаметру

Точечная арматура

Имя	Т. пр.	dY, см	dZ, см	Лог. группа	Блок.	Способ нар. площади	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	Кол-во гержнев
Au1	3	-3	3		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1
Au2	2	3	3		<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1
Au3	4	-3	-3	1	<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1
Au4	5	3	-3	1	<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1
*	1				<input type="checkbox"/>	П...	0	0	1

Распределенная арматура

Имя	Т. пр.	Расст. от т. пр.	Отступ см	Отступ см	Лог. группа	Блок.	Нач. площадь, см <sup>2</sup>	Макс. площадь, см <sup>2</sup>	Полож
As1	2	3	8.00...	8.00...		<input type="checkbox"/>	0	0	--
As2	4	-3	8.00...	8.00...		<input type="checkbox"/>	0	0	--
As3	4	-3	8.00...	8.00...	2	<input type="checkbox"/>	0	0	
As4	2	3	8.00...	8.00...	2	<input type="checkbox"/>	0	0	
*	1					<input type="checkbox"/>	0	0	--

# 3. Модули Монтаж

**Монтажная стадия:**  
1.1. Стадия возведения сооружения

**Элементы монтажа:**  
1-8440 55211-55212

**Элементы демонтажа:**

**Монтаж** | Демонтаж

Добавить элементы +

Удалить элементы -

Выделить элементы стадии

Индикация текущей стадии

**Редактор групп коэффициентов**

**Политика назначения**

- Переназначать выделенные элементы текущей стадии или группе, даже если они принадлежат другой стадии или группе
- Игнорировать выделенные элементы, если они принадлежат другой стадии или группе

**1.1.11.. Стадия возведения сооружения**

- 1. История возведения сооружения
- 1. Стадия возведения сооружения
- 2. Стадия возведения сооружения
- 3. Стадия возведения сооружения
- 4. Стадия возведения сооружения
- 5. Стадия возведения сооружения
- 6. Стадия возведения сооружения
- 7. Стадия возведения сооружения
- 8. Стадия возведения сооружения
- 9. Стадия возведения сооружения
- 10. Стадия возведения сооружения
- 11. Стадия возведения сооружения
- 12. Стадия возведения сооружения
- 2. Пульсационная составляющая ветрового
  - Составляющие
    - 1. Средняя составляющая ветрового воз
  - 3. Статическое нагружение на смонтированн
    - 1. Сопутствующее статическое нагружен

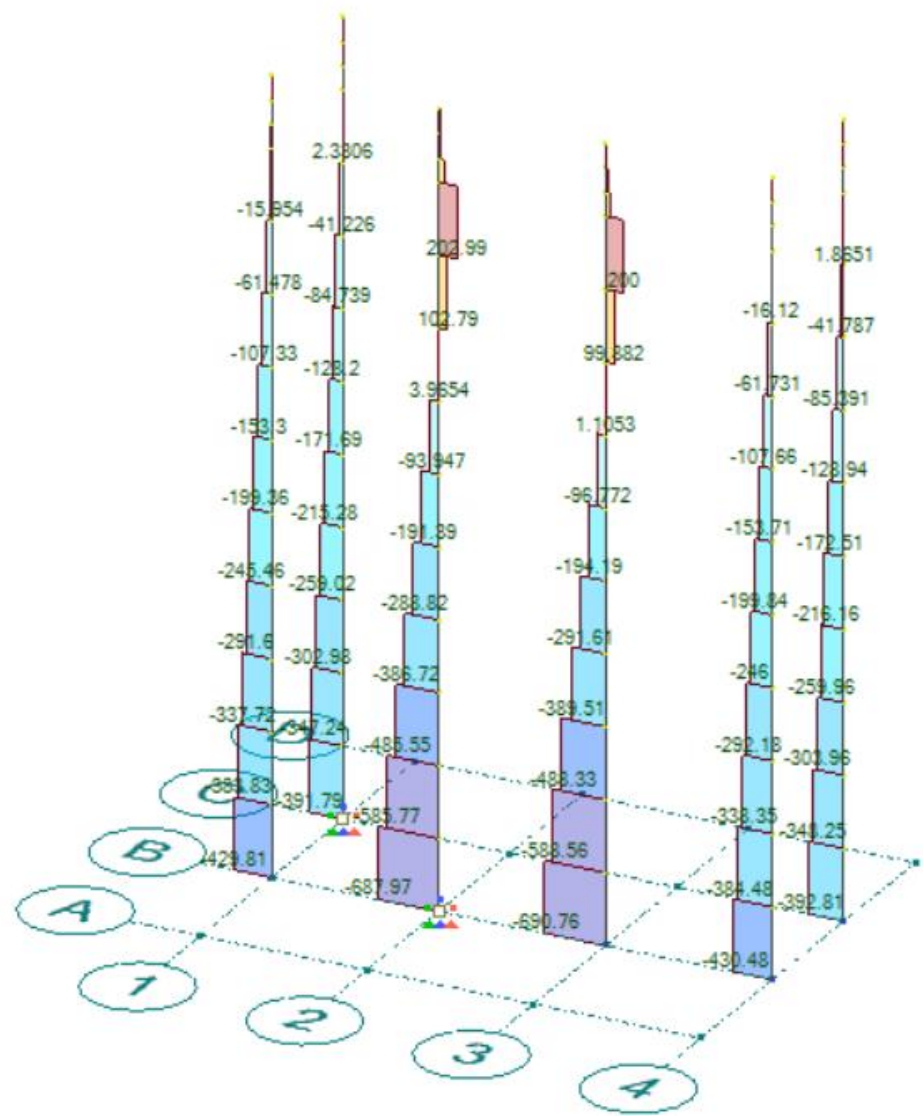
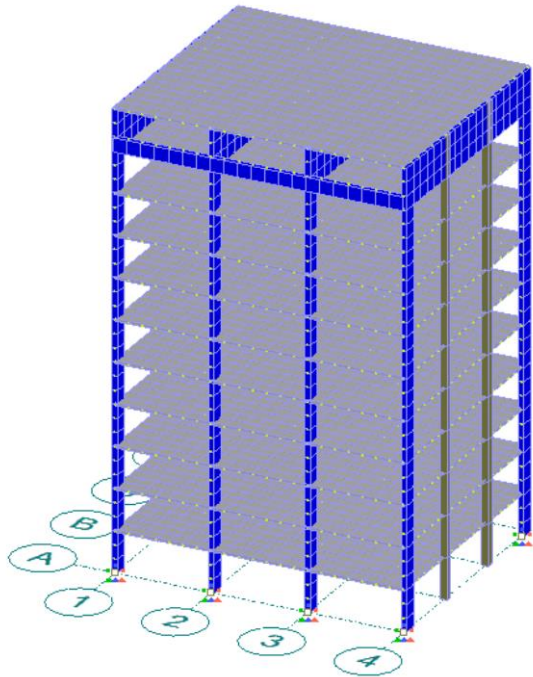
Выберите нагружение или форму, чтобы посмотреть результаты расчета

**Информация**

Для добавления нагружения выберите требуемый тип в выпадающем списке кнопки "Добавить нагружение". Выберите соответствующий свойство выбранного нагружения.

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2	2.1	3	3.1
1.1 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.8 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.9 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.10 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.11 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.12 Ст.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Пул.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.1 Ср.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Ста.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.1 Со.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3. Модули Монтаж



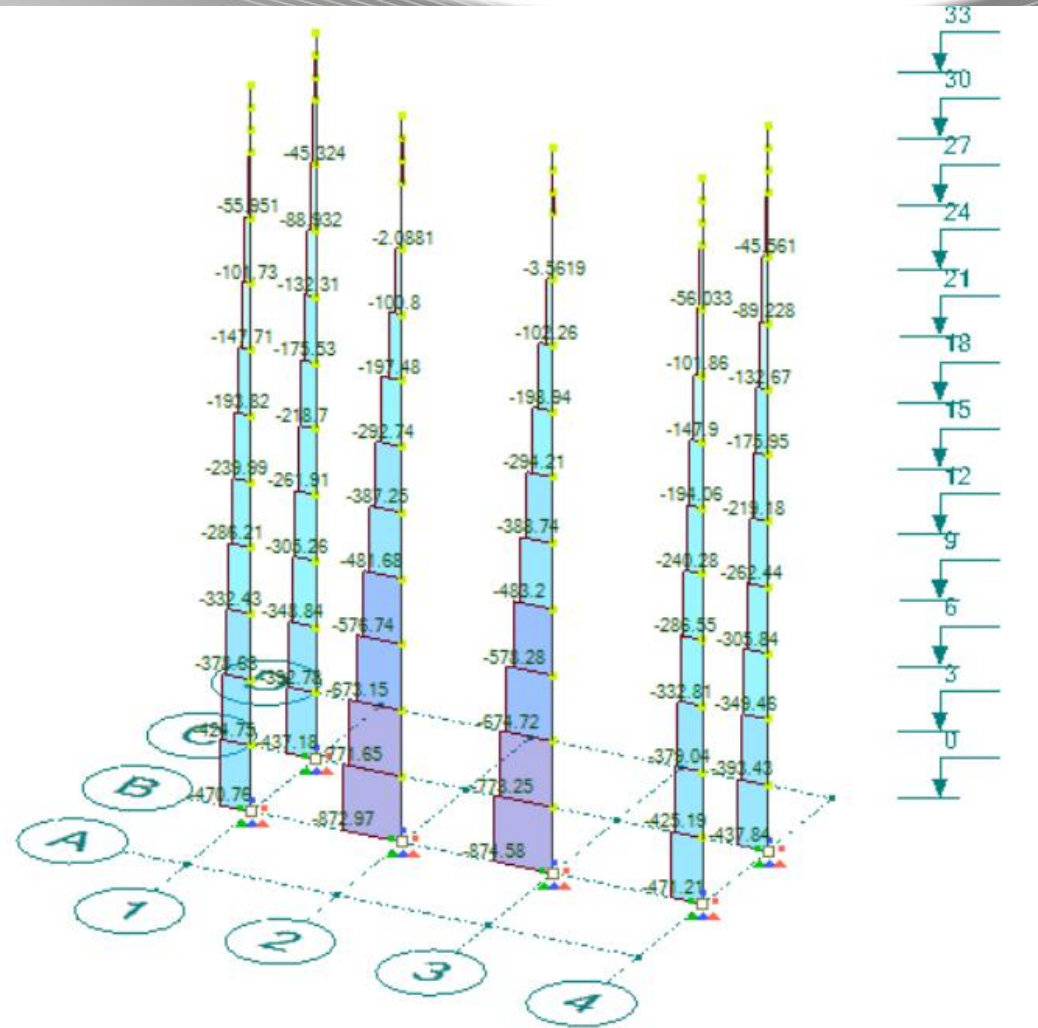
Продольное усилие (без учета монтажа):  
Верх здания 200 т (растяжение)  
Низ здания 700 т (сжатие)

# 3. Модули Монтаж

Библиотека загрузок

1. История возведения сооружения

1. Стадия возведения сооружения
2. Стадия возведения сооружения
3. Стадия возведения сооружения
4. Стадия возведения сооружения
5. Стадия возведения сооружения
6. Стадия возведения сооружения
7. Стадия возведения сооружения
8. Стадия возведения сооружения
9. Стадия возведения сооружения
10. Стадия возведения сооружения
11. Стадия возведения сооружения
12. окончательная нагрузка



**Продольное усилие (без учета монтажа):**  
**Верх здания 200 т (растяжение)**  
**Низ здания 700 т (сжатие)**

**Продольное усилие (с учетом монтажа):**  
**Верх здания 10 т (растяжение)**  
**Низ здания 870 т (сжатие)**



### 3. Модули Динамика+

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + K \bar{u}(t) = \bar{q}(t), \quad (1)$$
$$\bar{q}(t) = - \sum_{i=1}^3 \left( M \bar{v}_i u_{g^{lin}}^i(t) \right) - \sum_{i=4}^6 \left( M \bar{v}_i u_{g^{rot}}^i(t) \right)$$

Для модуля прямого интегрирования уравнений движения, используется безусловно устойчивая разностная схема второго порядка точности

Аппроксимация ускорений

$$\ddot{u}(t) = \frac{\bar{u}(t + \Delta t) - 2\bar{u}(t) + \bar{u}(t - \Delta t)}{\Delta t^2} \quad (2)$$

Аппроксимация скоростей

$$\dot{u}(t) = \frac{\bar{u}(t + \Delta t) - \bar{u}(t - \Delta t)}{2\Delta t} \quad (3)$$

Аппроксимация перемещений

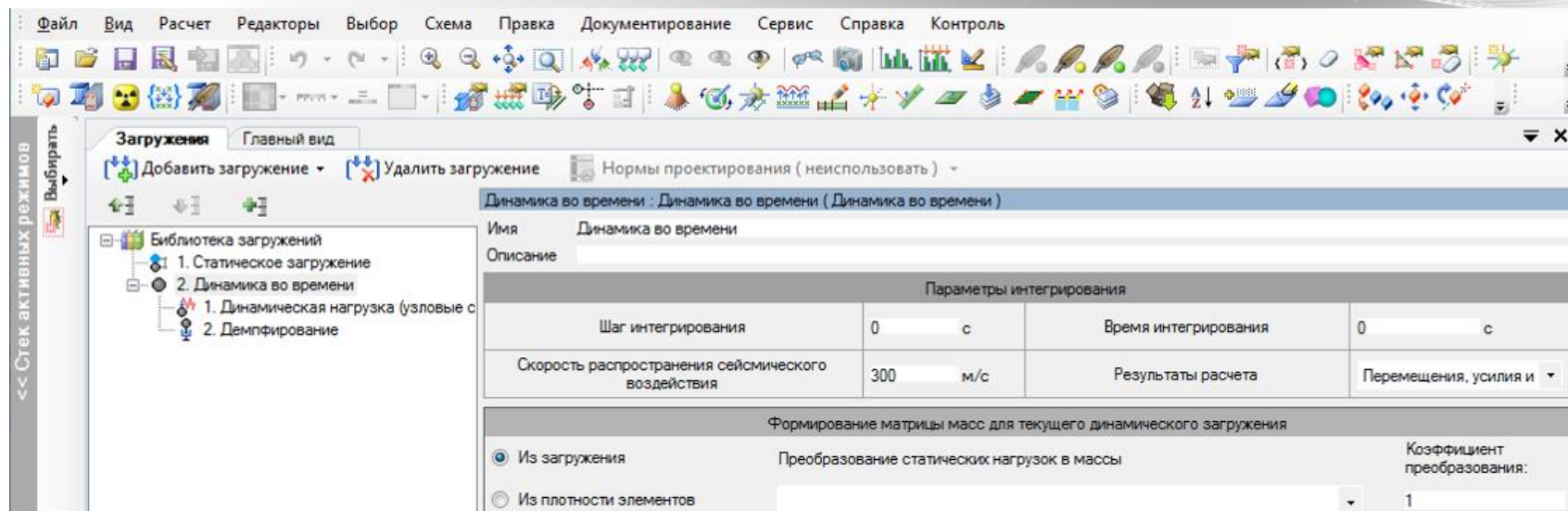
$$\bar{u}(t) = \frac{\bar{u}(t + \Delta t) + \bar{u}(t - \Delta t)}{2} \quad (4)$$

Подставляя (2), (3) и (4) в (1), получаем следующую систему уравнений

$$\left[ \frac{M}{\Delta t^2} + \frac{C}{2\Delta t} + \frac{K}{2} \right] \bar{u}(t + \Delta t) = q(t) + \frac{2M}{\Delta t^2} \bar{u}(t) - \left[ \frac{M}{\Delta t^2} - \frac{C}{2\Delta t} + \frac{K}{2} \right] \bar{u}(t - \Delta t) \quad (5)$$

# 3. Модули Динамика+

## Расчет по сейсмограммам землетрясений



Файл Вид Расчет Редакторы Выбор Схема Правка Документирование Сервис Справка Контроль

Загрузки Главный вид

Добавить загрузку Удалить загрузку Нормы проектирования (неиспользовать)

Динамика во времени : Динамика во времени (Динамика во времени)

Имя Динамика во времени

Описание

Параметры интегрирования			
Шаг интегрирования	0 с	Время интегрирования	0 с
Скорость распространения сейсмического воздействия	300 м/с	Результаты расчета	Перемещения, усилия и

Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения

Из загрузки Преобразование статических нагрузок в массы Коэффициент преобразования: 1

Из плотности элементов





### 3. Модули Динамика+

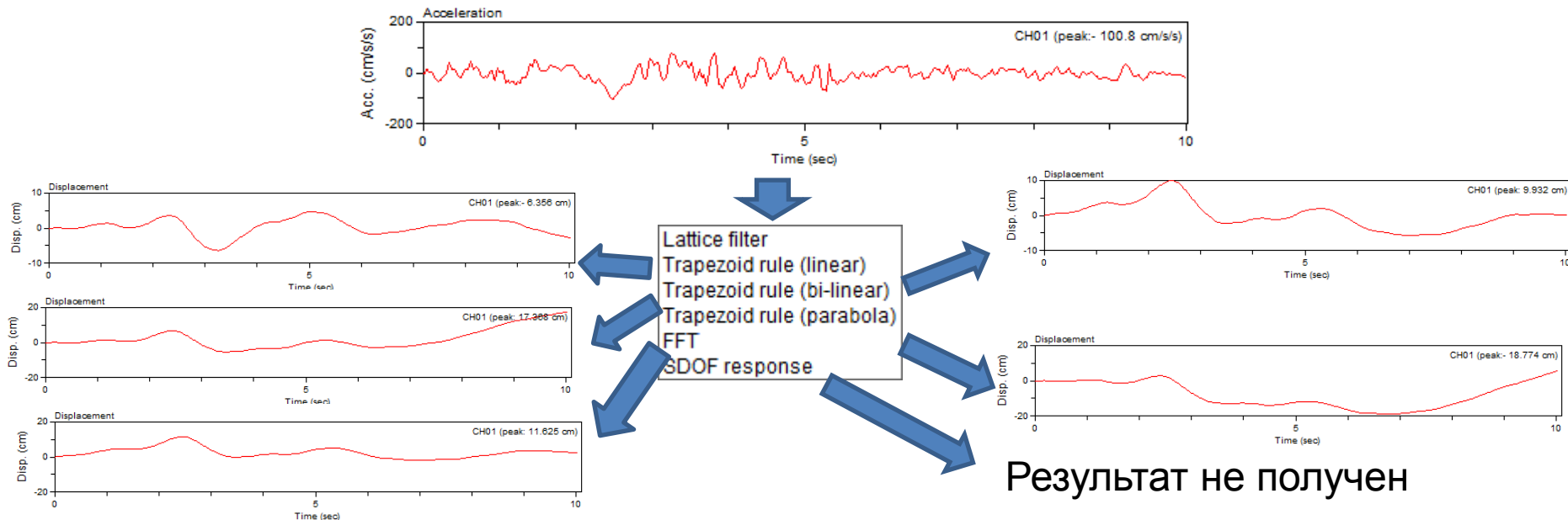
Уравнения движения при расчете по сейсмограммам имеют вид:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K(u(t) + \vec{v} \cdot s(t)) = 0,$$

где  $\vec{v}$  - вектор в котором стоят направляющие косинусы сейсмического воздействия в опорных узлах,

$s(t)$  - заданная сейсмограмма землетрясения.

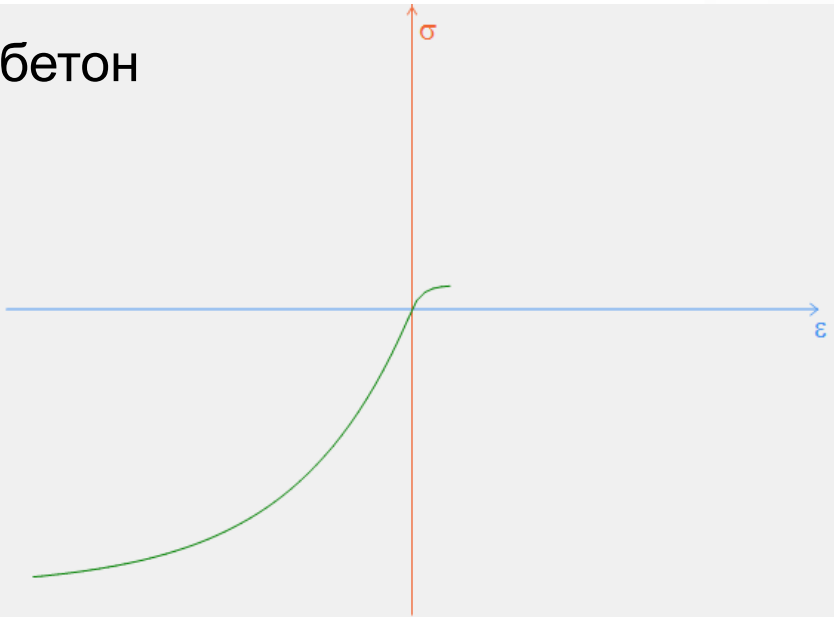
До настоящего времени отсутствует общепринятый подход к определению ординат сейсмограмм по ординатам акселерограмм



Расчет по сейсмограммам землетрясений

### 3. Модули Нелинейности

бетон



арматура



11 - экспоненциально зависимый материал

11 - экспоненциально зависимый материал

13 - трехлинейная зависимость

15 - экспоненциально зависимый бетон

14 - кусочно-линейное описание

18 - бетон по теории Гениева

Учет пластических шарниров

СНиП 2.03.01-84\*

СНиП 2.03.01-84\*

Еврокод 2

СП 52-101-2003

ДСТУ Б В.2.6-156:2010

Теории прочности для КЭ физически нелинейных оболочек

Наибольших главных напряжений

Наибольших главных напряжений

Наибольших главных деформаций

Наибольших касательных напряжений

Энергетическая Губера-Хенки-Мизеса

Теория Мора

Теория Друккера-Прагера

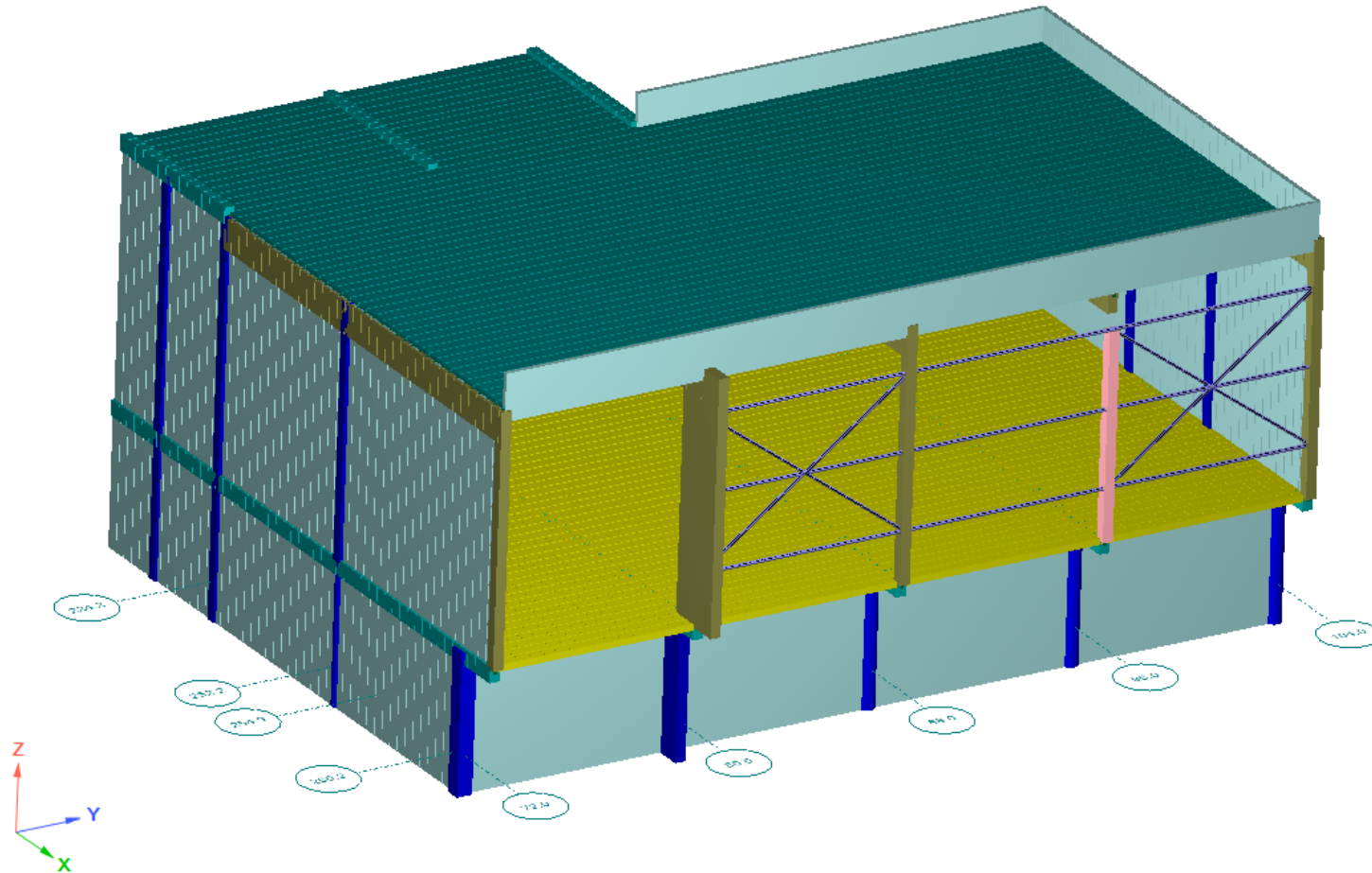
Теория Писаренко-Лебедева

Теория Гениева (для железобетона)

# 3. Модули Нелинейности

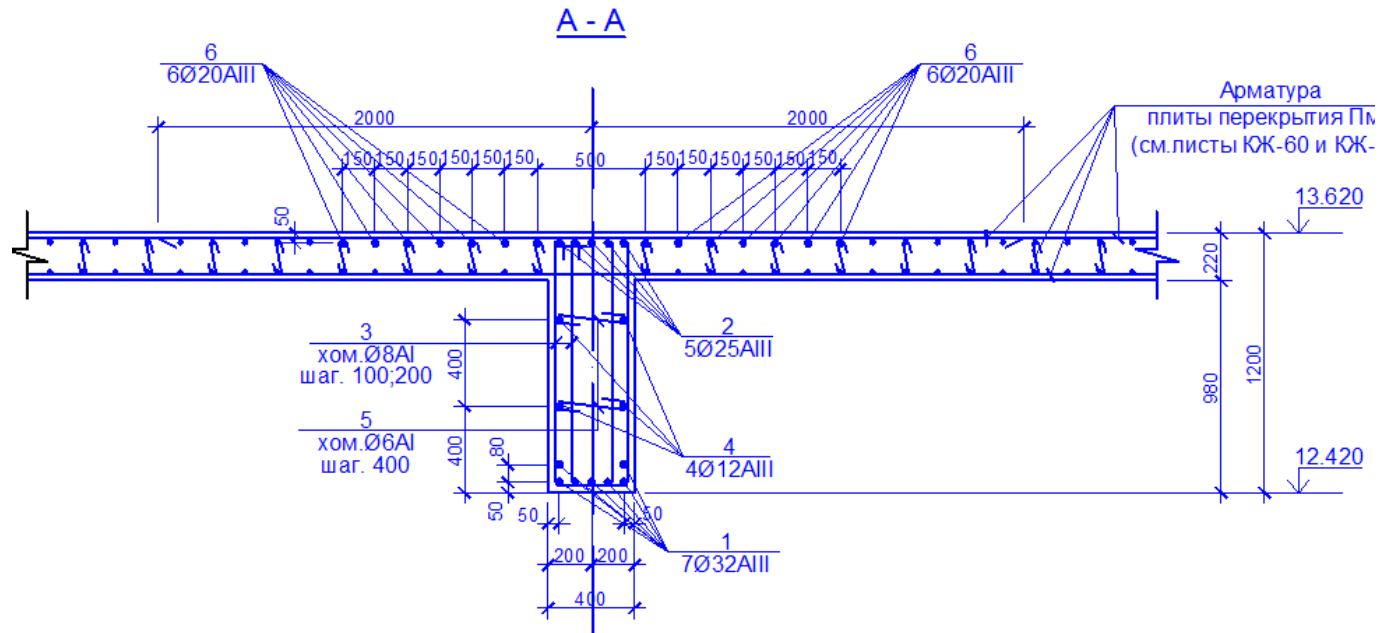
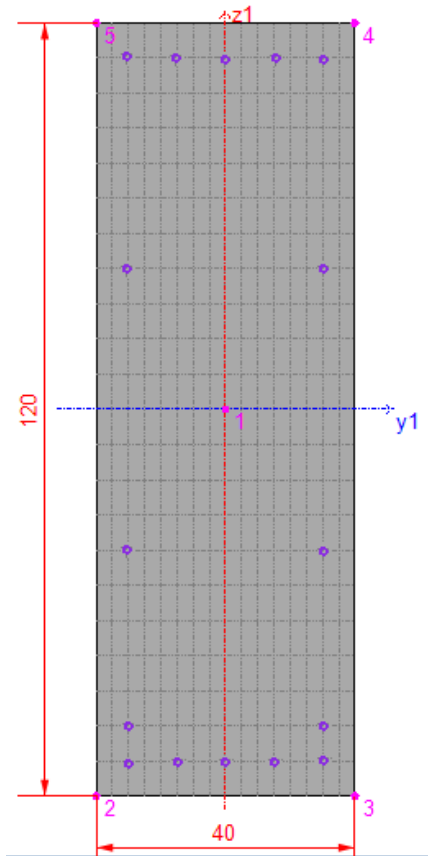
## Расчет сооружения на прогрессирующее обрушение

1.1. Стадия нелинейного нагружения



# 3. Модули Нелинейности

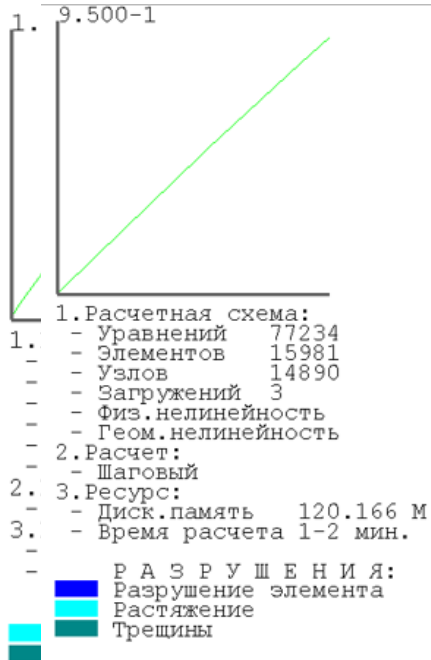
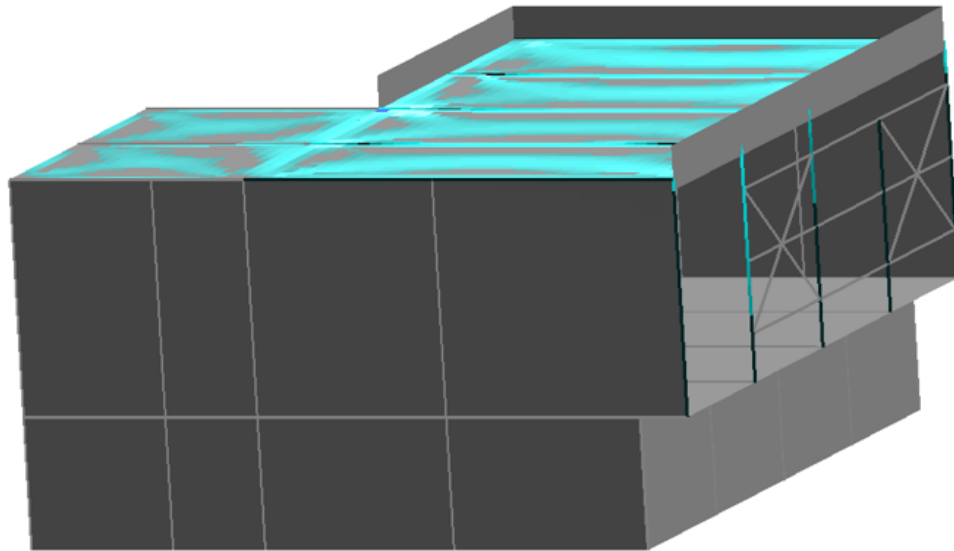
## Расчет сооружения на прогрессирующее обрушение



# 3. Модули Нелинейности

## Расчет сооружения на прогрессирующее обрушение

Загр.1. Лок.загр.3, шаг=7.



M:90%	01:40	359	Загружение 1, локальное загружение 3, шаг 5.
I:0%	01:40	359	Загружение 1, локальное загружение 3, шаг 6.
S:87%	01:40	359	Загружение 1, локальное загружение 3, шаг 7.
Отмена			
0:0%	00:00	000	Загружение 1, локальное загружение 1, шаг 10.
Отмена			

01:40

00:59

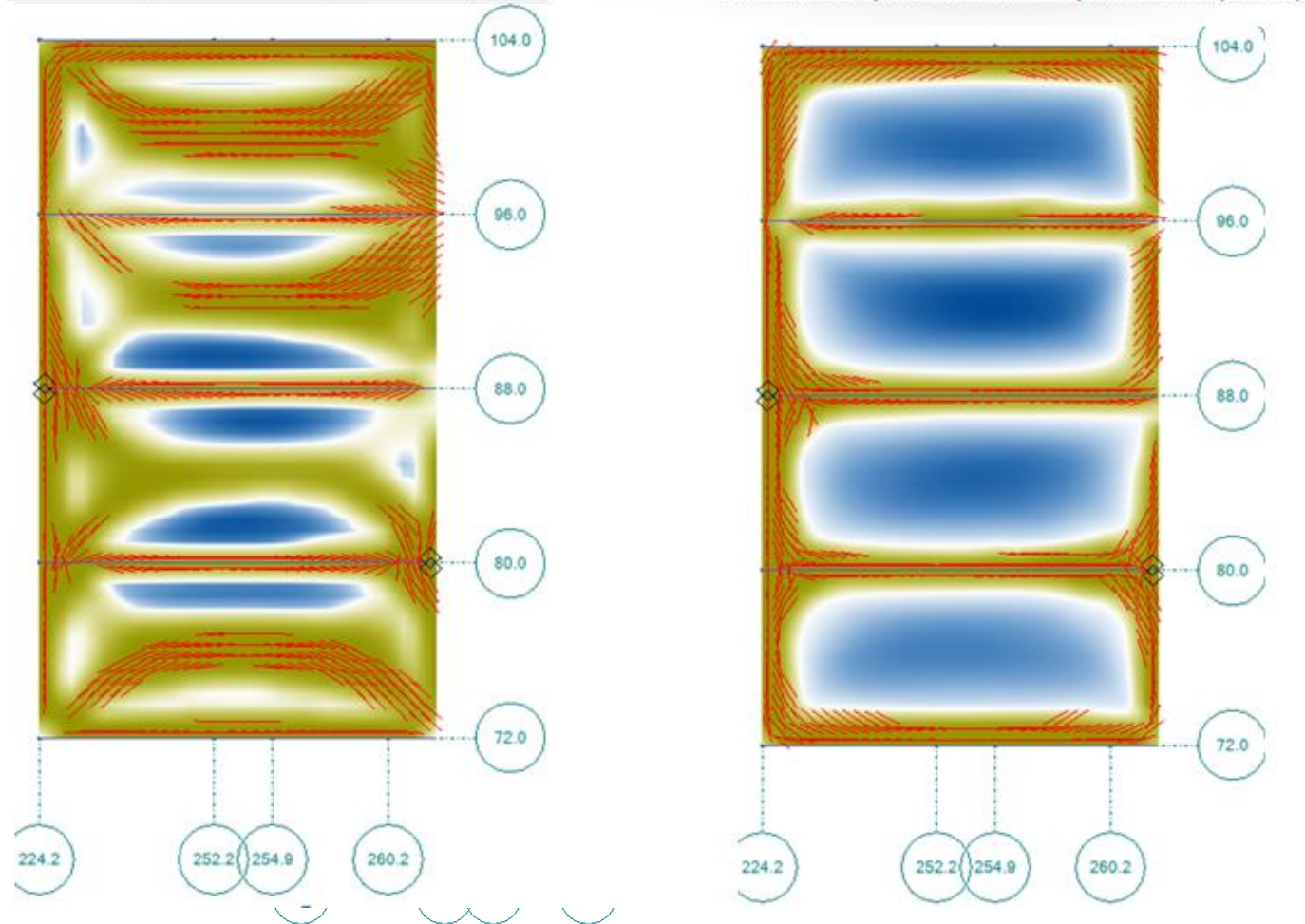
# 3. Модули Нелинейности

## Расчет сооружения на прогрессирующее обрушение

Главные напряжения  $\sigma_1$  / 2-Средний Слой (тс/м<sup>2</sup>)

Главные напряжения  $\sigma_1$  / 3-Верхний Слой (тс/м<sup>2</sup>)

Главные на  
-474.07  
1... История  
min=-474.1 (





## 4. Другие возможности

### Стержень переменного сечения

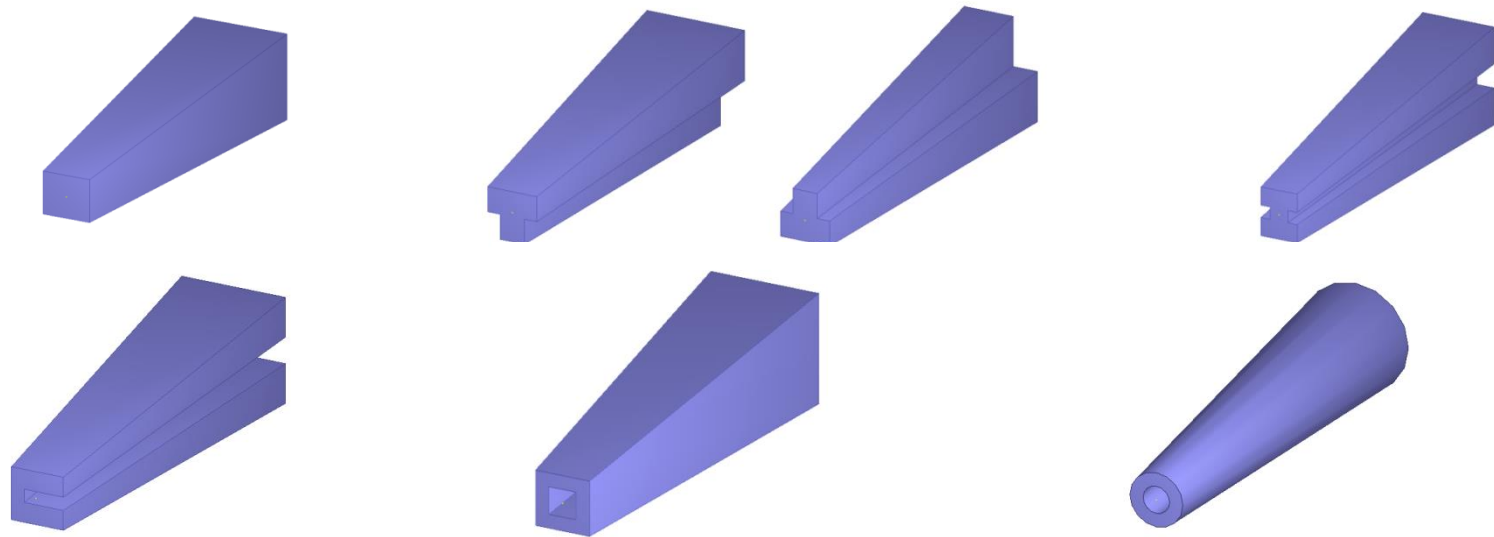
Рамы переменного сечения используются при строительстве торговых центров, супермаркетов, производственных зданий и спортивных сооружений



## 4. Другие возможности

### Стержень переменного сечения

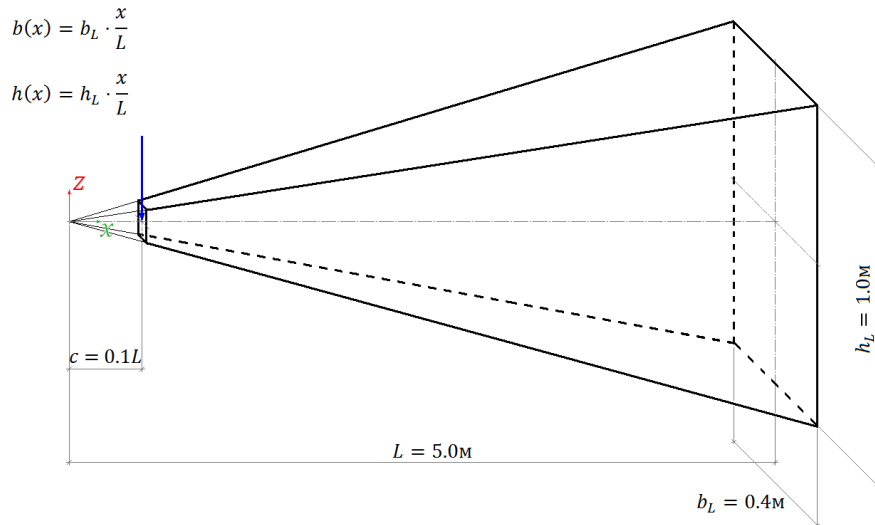
- Размеры сечения линейно изменяются по длине стержня.
- При построении матрицы жесткости используются базисные функции, удовлетворяющие однородным уравнениям равновесия.
- Построены матрицы масс и устойчивости.
- Реализованы основные типы сечений: брус, двутавр, швеллер и т.д.



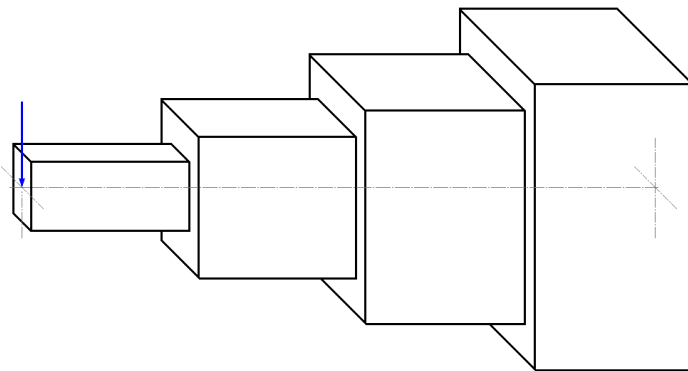
# 4. Другие возможности

## Стержень переменного сечения

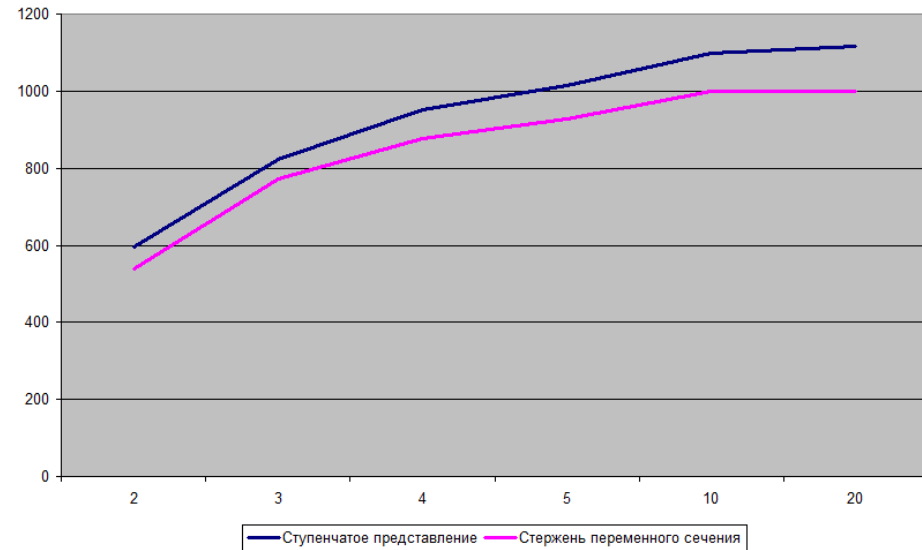
Реальный конструктивный элемент



Ступенчатое представление



Задача динамики



	2	3	4	5	10	20
—	596.71	823.1	950.43	1014.6	1097.3	1117
—	539.03	770.8	875.85	927.72	999.46	1001.1

## 4. Другие возможности

### Тонкостенный стержень

Стержень с секториальным моментом инерции (теория Власова):  
Статика, устойчивость, динамика.

$$\int_l [EI_{\omega} (\alpha_1'')^2 + GI_1 (\alpha_1')^2] dx_1 / 2.$$

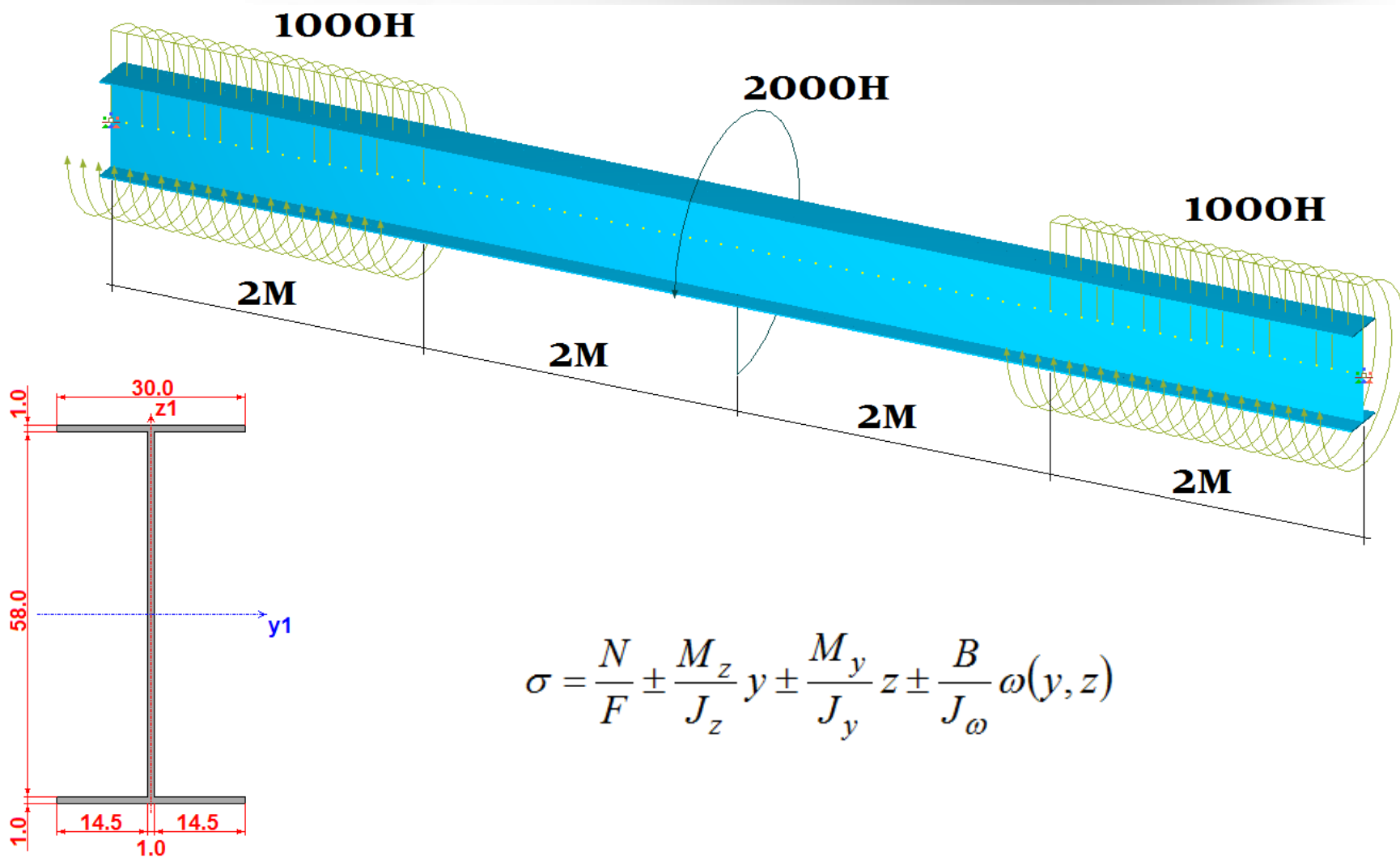
$$m_1 = x_3^0 f_2 - x_2^0 f_3.$$

Реализованы основные типы сечений: брус, двутавр, швеллер и т.д.,  
а также переменные сечения.

Построены матрицы масс и устойчивости.

## 4. Другие возможности

### Тонкостенный стержень

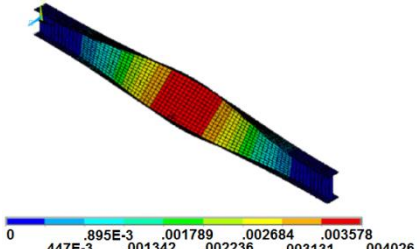
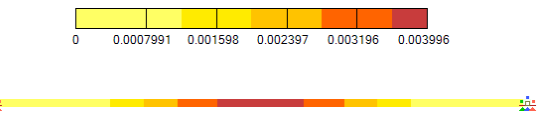
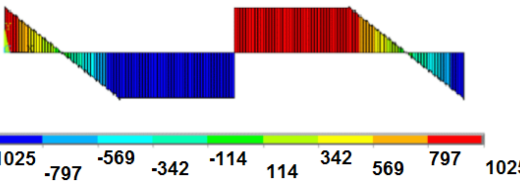
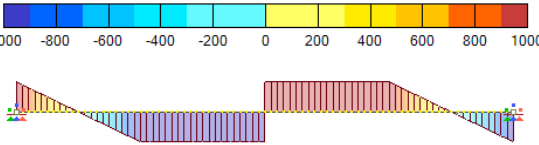
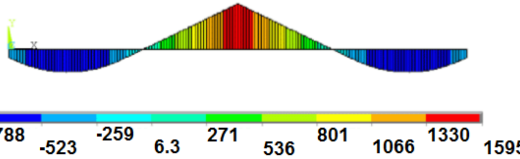
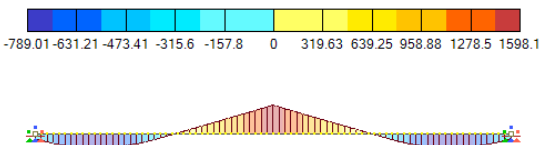




# 4. Другие возможности

## Тонкостенный стержень

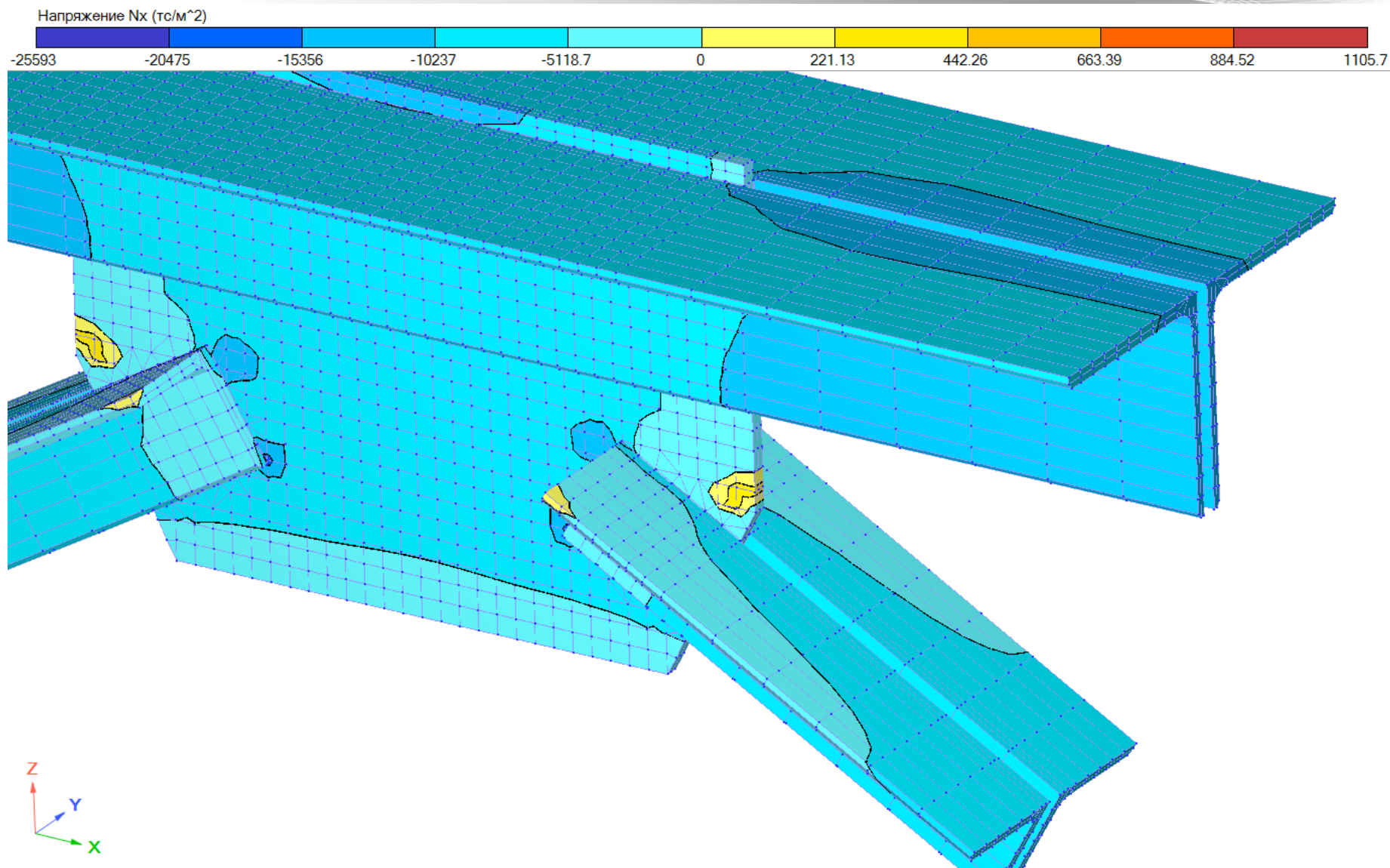
Сравнение результатов статического расчета

ANSYS*	ЛИРА 10.0	МГЭ*
<b>Углы закручивания</b>		
		<p><b>Мин</b> 0.0</p> <p><b>Макс</b> 0.00395</p>
<b>Крутящие моменты</b>		
		<p><b>Мин</b> -1000</p> <p><b>Макс</b> 1000</p>
<b>Бимоменты</b>		
		<p><b>Мин</b> -791.14</p> <p><b>Макс</b> 1601.43</p>

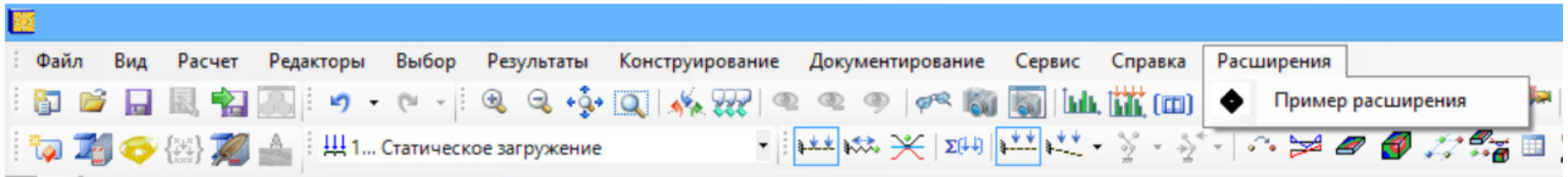
\* - Моделирование и расчеты в программе ANSYS



## 4. Другие возможности. Трехмерное моделирование



# другие ВОЗМОЖНОСТИ



## Пример расширения

В процессе установки Лира 10.4 на жесткий диск в папку `[INSTALLDIR]+ "\\LiraAPI"` копируется архивный файл с проектом Visual Studio, в котором продемонстрированы примеры с объектами LiraAPI.

## Регистрация расширения


При первом запуске Лира 10.4 создает файл с глобальными настройками `[ApplicationData]+ "\\Lira Soft\\Lira10.4\\VariableEnvironment_x86.xml"` `[ApplicationData]+ "\\Lira Soft\\Lira10.4\\VariableEnvironment_x64.xml"`

Среди прочих настроек в этом файле есть параметр `AddinsPath` содержащий путь к папке, в которой должны содержаться xml файлы регистрации расширений, по умолчанию это `[ApplicationData]+ "\\Lira Soft\\Lira10.4\\Addins"`

# СЕРТИФИКАТ:

## Сертификат соответствия

**СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**

№ **РОСС RU.СП15.Н00594**

Срок действия с **21.03.2013** по **20.03.2015**

№ **0896152**

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ **РОСС RU.0001.11СП15**

**ООО ЦСПС. Орган по сертификации программной продукции в строительстве 125057, г. Москва, Ленинградский просп., д. 63, тел./факс (499) 157-46-71**

**ПРОДУКЦИЯ Программный комплекс ЛИРА для расчета и проектирования конструкций различного назначения**

программные средства для общетехнических расчетов, серийный выпуск

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ  
**СНиП 2.01.07-85\*, СП 20.13330.2011 (СНиП 2.01.07-85\*), СНиП П-7-81\*, СП 14.13330.2011 (СНиП П-7-81\*), СНиП П-23-81\*, СП 16.13330.2011 (СНиП П-23-81\*), СП 63.13330.2012 (СНиП 52-01-2003), СНиП 2.02.01-83\*, СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83\*), СП 50-101-2004, ТСН 102-00\*, МГСН 4.19-05, ГОСТ Р ИСО 9127-94, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000**

ИЗГОТОВИТЕЛЬ **ООО "ЛИРА софт" ИНН 7713761064, 127474, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 60А, тел. (499) 922-00-02; ООО "ВЕГА КАД", Украина, 03048, г. Киев, Кадетский Тай, д. ба, оф. 209, тел. (38044) 520-05-23**

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН **ООО "ЛИРА софт", 127474, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 60А, тел. (499) 922-00-02**

НА ОСНОВАНИИ

Заключения ООО ЦСПС от 20 марта 2013 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ **Схема сертификации № 3. Без заверенного печатю на приложении на 7-и стр. настоящий сертификат не действителен.**

Руководитель органа

Эксперт

**Т.Н.Бубнова**  
инициалы, фамилия

**Ю.К.Родендорф**  
инициалы, фамилия

Сертификат не применяется при обязательной сертификации

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
ответствия № РОСС RU.СП15.Н00594 от 21.03.2013  
(без сертификата не действителен)

**граммной продукции**  
еже ЛИРА.

**граммной продукции**  
текст расчета и проектирования конструкций различного назначения

**граммной продукции**  
текст расчета и проектирования конструкций различного назначения.

**а**  
среды включает (графическая среда пользователя, расчетный журнал и динамический анализ), вычисление расчетных сочетаний нагрузок на фрагмент конструкции, выделение главных и эквивалентных изоматериальных сечений), алгоритм для определения коэффициентов запаса и форм потери устойчивости системы железобетонных конструкций, система стальных конструкций, единичность, единичность, описание работы сооружения в процессе возведения при многократном выполнении метода прямого интегрирования уравнений движения по жестким и нелинейным задач на динамические воздействия).

**н**ых в интерактивном графическом режиме; численный расчет для решения задач, описывающих работу материала в пределах текучести; с учетом нелинейной упругости материалов (бетон и железобетон), не (ванты, болтосоединения, покрытия, мембраны), конструктивной связи, трещины); при их возведении; наций загрузений и расчетных сочетаний усилий; воздействия одного фрагмента сооружения на другой или реакции в жесткости системы; х и эквивалентных напряжений по различным теориям прочности; стных характеристик массивных сечений произвольного очертания; гов конструкций по прочности; особенности, подбор и оптимизация стальных железобетонных элементов; оптимизация сечений стальных конструкций.

стр. 2 Приложения к сертификату  
соответствия № РОСС RU.СП15.Н00594

на постели грунтового основания; руметрирование результатов расчета.

**н**ии «Standart», «Pro», «Full» соответствует требованиям **н**уки и воздействия»: ния, пп.1.1 - 1.3. Классификация нагрузок, пп.1.4 - 1.7, 1.8 (для статических ветровых при учете пульсаций ветра и нагрузок, дава), 1.9 (для сейсмических воздействий). Сочетания нагрузок, иента П2 при учете трех и более кратковременных нагрузок); рудования, людей, животных, складываемых материалов (с от оборудования, складываемых материалов и изделий, п.3.4. кки, п.3.7. Среднеточечные нагрузки и нагрузки на перила, п. 3.11 (нагрузке); товых и полесных кранов, п.4.8 (кроме учета коэффициента  $\gamma_{f1}$ ); кки, п.5.7; кки, п.6.2 (определение пульсационной составляющей); 6.7 - 6.11; климатические воздействия, пп.8.1; 8.7.

**у**ализированная редакция **СНиП 2.01.07-85\* "Нагрузки и** вия, пп.4.1 - 4.3; нагрузок, пп.5.1 - 5.6; уток; пп.6.2 - 6.5; й и грунтов, пп.7.2 - 7.4; (оборудования, людей, животных, складываемых материалов и ление нагрузок от оборудования, складываемых материалов и Равномерно распределенные нагрузки, п. 8.2.2. Подраздел 8.3. ита на перила, п.8.3.4. Подраздел 8.4. Нагрузки от транспортных стовых и полесных кранов, п.9.8; нуки, п.10.12; етра, пп.11.12 (пульсационная составляющая), 11.1.5, 11.1.6, 11.1.8 нуки, п.12.5; е и климатические воздействия, пп.13.1, 13.8.

**н**ство в сейсмических районах": нуки, пп.2.1 (кроме учета мостовых кранов); 2.2 - 2.7; 2.9; 2.10; сооружения, пп.4.31, 4.32; Расчетные сейсмические воздействия, пп.5.13; еские сооружения. Подраздел 7.1. Расчетные сейсмические

**у**ализированная редакция **СНиП П-7-81\* "Строительство в** нуки, пп.5.2-а, 5.5 - 5.10; сооружения. Подраздел 7.4. Мосты, пп.7.4.18, 7.4.19; еские сооружения. Подраздел 7.4. Расчетные сейсмические

стр. 3 Приложения к сертификату  
соответствия № РОСС RU.СП15.Н00594

**и железобетонные конструкции" (отметены):**  
основные расчетные требования, пп.1.12\* (учет коэффициентов  $\gamma$ , классификация нагрузок по длительности действия, 1.21. Общие положения расчета плоскостных и массивных вти железобетон, пп.1.31; 1.32, 1.40; стонных и железобетонных конструкций. Бетон, пп.2.1 (для кого бетона); 2.2 (кроме марок по морозостойкости, иво), 2.3 (кроме применения тяжелого бетона классов В22.5 и во), задании марок по морозостойкости, железобетонные иые и расчетные характеристики бетона, пп.2.11 (кроме 12 - 2.13 (кроме тяжелого бетона классов В22.5 и В27.5); 2.14 во), значений для климатического пояса IV A); 2.15 (кроме 2.17\* (кроме учета применения арматурных канатов классов расчетные характеристики арматуры, пп.2.25\* - 2.26\* (кроме стальных канатов и значений R<sub>sc</sub> в стадии обжатия); 2.28; 2.30 бетона и железобетонных конструкций по предельным железобетонных элементов по прочности, п.3.9 (кроме местного сти сечений, нормальных к продольной оси элемента, п.3.10; ити прямоугольного, таврового, двутаврового и кольцевого обьему, случаю расчета). Внецентренно сжатые элементы п.3.19, 3.20, 3.21 (по обьему случаю расчета); 3.24; 3.25, 3.26. Внецентренно растянутые элементы прямоугольного чета (при любых сечениях, внешних усилиях и любом емой арматуры). Расчет по прочности пространственных чения, пп.3.27, 3.28; железобетонных конструкций по предельным состояниям елеобетонных конструкций по образованию трещин, п.4.1 (трещин). Расчет по образованию трещин, нормальных к трещин без выдан результатов расчета); 4.7 (без выдан результатов трещин по раскрытию трещин, п.4.13 (расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси элемента, ирированной редакция **СНиП 52-01-2003 "Бетонные и ные изделия"**: онных и железобетонных конструкций. Подраздел 6.1. Бетон, сжатие); п.6.1.10, 6.1.11 (нормативные и расчетные значения характеристик бетона), п.6.1.12 (учет коэффициентов условий овые деформационные характеристики бетона; предельные 26 (диаграммы состояния бетона; значения относительных 2. Арматура, п.6.2.2 (горячекатаная, термомеханически ие арматуры), пп.6.2.7 - 6.2.10 (нормативные и расчетные ные характеристики арматуры; учет коэффициентов условий значения модуля упругости), пп.6.2.13, 6.2.14 (определение значений); ия. Подраздел 7.1. Расчетные элементы по прочности, ивергенно сжатые элементы).



**ЛИРА**  
СОФТ

[lira-soft.com](http://lira-soft.com)

+7 (499) 922-00-02



---

# Современные методы моделирования и расчета зданий и сооружений в ПК ЛИРА 10.4

---

**Евзеров И.Д.**

д.т.н., науч. руководитель проекта ЛИРА 10

**Колесников А.В.**

технический директор «ЛИРА софт»

**Спасибо**  
**за внимание!**

[lira@lira-soft.com](mailto:lira@lira-soft.com)

Санкт-Петербург  
2015