

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Максимов Алексей Игоревич

Должность: Министр МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дата подписания: 15.10.2024 МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Уникальный программный ключ:

8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Кафедра «Промышленное, гражданское и подземное строительство»

РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Лабораторный практикум
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство» и специальности
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»*

Составители: Д.В. Морозова, Л.М. Колищак

Текстовое электронное издание

Москва
2026

Об издании [1](#), [2](#)

УДК 624.042(076)
ББК 38.5-02я73
Р24

Рецензенты:

*В.В. Пассек, д.т.н., профессор, генеральный директор ООО «ЦЛИТ»;
И.С. Пуляев, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Промышленное
гражданское и подземное строительство» Московского Политеха*

Расчет пространственных строительных конструкций. Особенности проектирования пространственных конструкций: лабораторный практикум для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» / сост.: Д.В. Морозова, Л.М. Колищак. – Москва: Московский Политех. 2026. – 1 CD-R. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.
ISBN 978-5-2760-2951-1.

Содержит индивидуальные задания к лабораторным работам для выполнения расчетов конечно-элементных моделей зданий и сооружений с использованием компьютерного комплекса Лира САПР. После выполнения расчета напряженно-деформированного состояния конструкций студенты обучаются анализу результатов исследований: внутренних усилий в виде изгибающих моментов, продольных и поперечных сил и деформаций.

Предназначен для студентов, выполняющих практические задания и лабораторные работы по дисциплинам «Расчет пространственных строительных конструкций» и «Особенности проектирования пространственных конструкций».

**УДК 624.042(076)
ББК 38.5-02я73**

*Системные требования: PC-совместимый процессор 1,3 ГГц и выше.
Оперативная память (RAM): 256 Мб. Необходимо на винчестере: 350 Мб.
Операционные системы: Windows, Mac OS. Видеосистема: разрешение экрана
1024x768. Дополнительные программные средства:
Adobe Acrobat Reader 9 и выше.*

ISBN 978-5-2760-2951-1

© Морозова Д.В., Колищак Л.М.,
составление, 2026
© Московский Политех, 2026

Оглавление

Введение	4
1. Лабораторные работы по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство»	5
Общие положения	5
Лабораторная работа № 1. Расчет плоской рамы с фермой	10
Лабораторная работа № 2. Расчет пространственного смешанного каркаса на упругом основании	19
2. Лабораторные работы по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство большепролетных зданий и сооружений»	38
Общие положения	38
Лабораторная работа № 3. Расчет пространственного каркасно-стенового многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости	43
Лабораторная работа № 4. Расчет пространственного стержневого каркаса металлической башни	83
Заключение	98
Список литературы	99
Приложения	100
Приложение 1	100
Приложение 2	103
Приложение 3	111
Приложение 4	112
Приложение 5	113
Приложение 6	114
Приложение 7	115
Приложение 8	116
Приложение 9	117
Приложение 10	118
Приложение 11	119
Приложение 12	120
Приложение 13	121
Приложение 14	122

Введение

Настоящий лабораторный практикум подготовлен в помощь студентам направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство», и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство большепролетных зданий и сооружений», выполняющим практические задания и лабораторные работы по дисциплинам «Расчет пространственных строительных конструкций» и «Особенности проектирования пространственных конструкций».

Мотивацией к изданию лабораторного практикума явилась возможность исследований напряженно-деформирования различных пространственных строительных конструкций на конечно-элементных моделях с использованием программного комплекса Лира САПР. В практикуме представлены различные конструктивные решения моделей: металлической рамы с фермой покрытия здания, пространственного смешанного каркаса здания на упругом основании, пространственного каркасно-стенowego многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости и металлического пространственного стержневого каркаса башни.

Издание содержит контрольные задания к лабораторным работам, а также порядок их выполнения. Даны рекомендации по созданию моделей, заданию жесткостей конструктивных элементов, материалов и моделированию внешних нагрузок: собственного веса конструкции, временных нагрузок и особой сейсмической нагрузки. В процессе работы учитываются различные сочетания нагрузок (РСН) и внутренних усилий (РСУ). Студенты обучаются расчетам пространственных строительных конструкций и выполнению анализа результатов расчетов. В списке литературы приведены Своды правил, ГОСТы и другие источники, необходимые для расчетов и конструирования пространственных строительных конструкций. Приложения включают справочные материалы, используемые для проектирования строительных конструкций.

1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ 08.03.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО», ПРОФИЛЬ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

Общие положения

Обучающиеся осваивают статические расчеты различных строительных конструкций с использованием программного комплекса Лира САПР [12–15].

В лабораторной работе № 1 студенты осваивают методику расчета плоской рамы с фермой (рис. 1.1). В пространственном стержневом каркасе сооружения, состоящем из нескольких плоских рам, воспринимающих одинаковые нагрузки, целесообразно в учебных целях расчет одной рамы, т.к. внутренние усилия во всех идентичных стержнях каждой рамы каркаса возникают одинаковыми. Дополнительно для усвоения влияния пространственной работы на напряженно-деформированное состояние каркаса следует создать пространственную модель каркаса с теми же исходными данными, как были приняты в лабораторной работе № 1, но обязательно должны быть учтены в модели вертикальные и горизонтальные связи между рамами. После выполнения расчета необходимо произвести анализ величин внутренних усилий и деформаций с целью сравнения их с величинами, полученными в плоской раме. В качестве примера, на рисунке 1.2 представлена конечно-элементная модель пространственного каркаса сооружения с фермами покрытия и связями.

Контрольные задания для лабораторной работы № 1 «Расчет плоской рамы с фермой» даны в таблице 1.1.

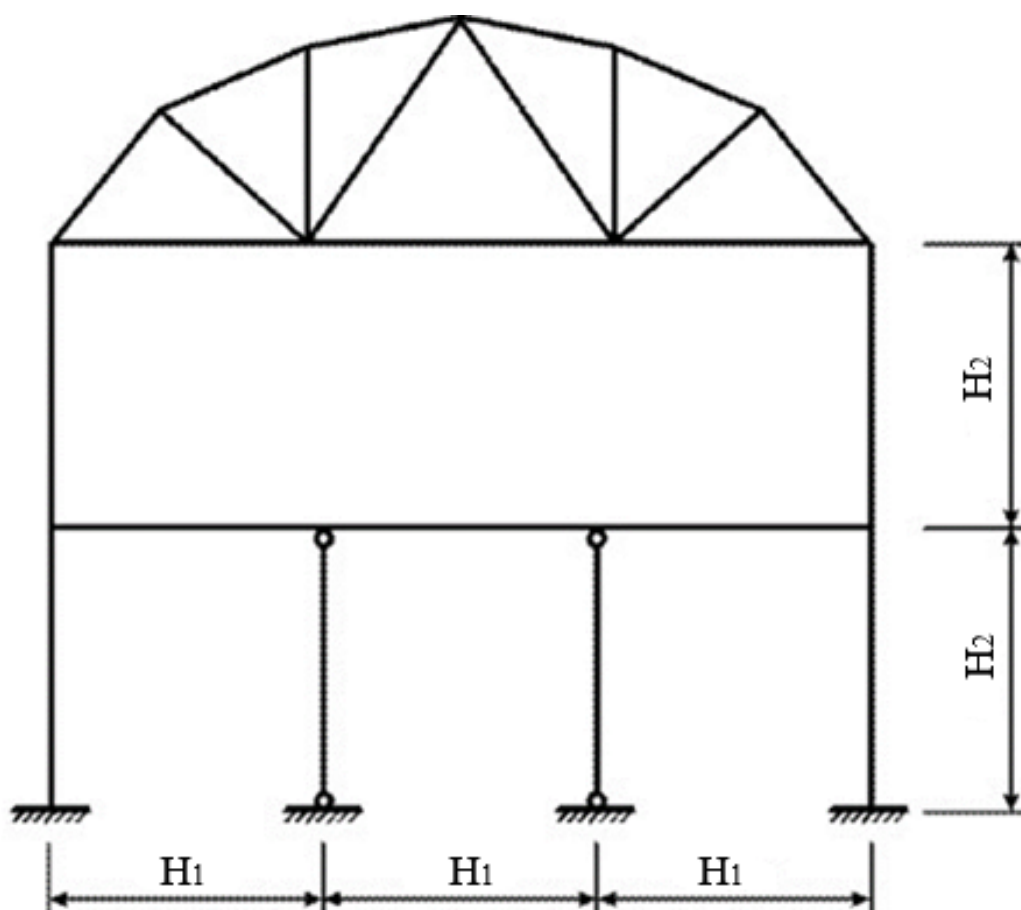


Рис. 1.1. Схема двухэтажной рамы с фермой с условными размерами

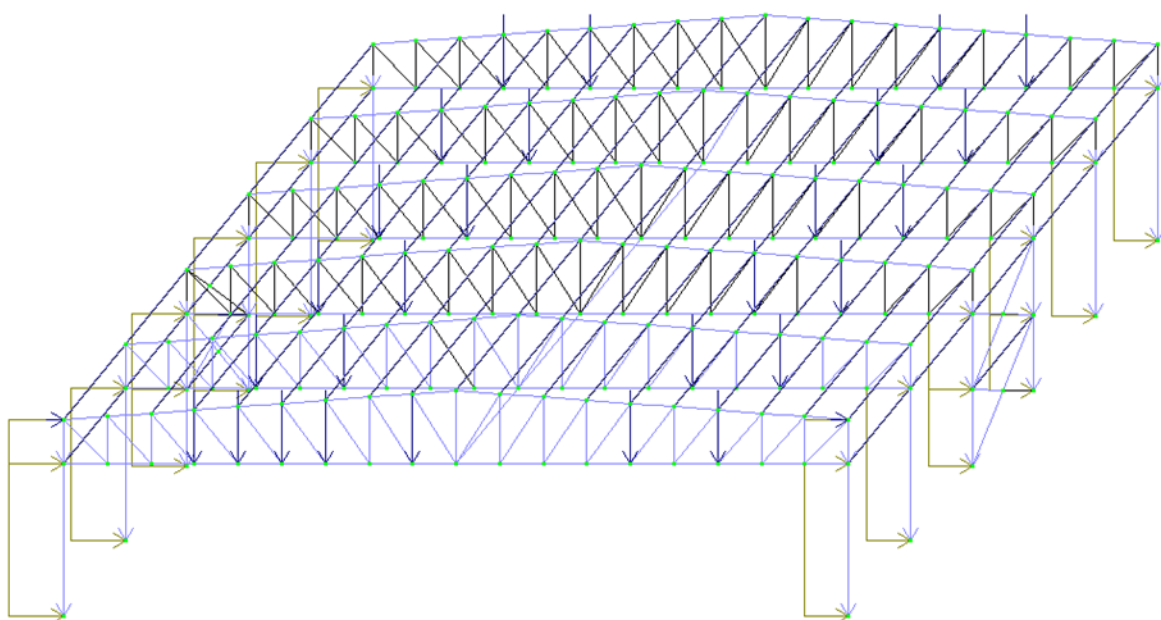


Рис. 1.2. Конечно-элементная модель пространственного каркаса сооружения с фермами покрытия и связями

Таблица 1.1

Контрольные задания для Лабораторной работы № 1 «Расчет плоской рамы с фермой»

Первая буква фамилии студента	H ₁ м	H ₂ м	Нагрузки						Вид сечения						
			Первая нагрузка на балку, т/м	Первая нагрузка на узлы опирания фермы, т	Первая нагрузка на верхние узлы фермы, т	Вторая нагрузка на балку, т/м	Вторая нагрузка на узлы опирания фермы, т	Вторая нагрузка на верхние узлы фермы, т	Средние колонны	Крайние колонны	Балка	Последняя цифра зачетки (кода)	Верхний пояс фермы	Нижний пояс фермы	Стойки и раскосы фермы
А	4	6	1	10	20	1	2	4	40K1	35K1	23Б1	1	2L100x100x8	2L75x75x6	2L50x50x5
Б	5	5	2	15	30	2	3	5	35K1	30K1	35Б1	2	2L140x140x10	2L100x100x8	2L80x80x6
В	6	4	1	10	20	1	2	4	40K1	30K1	23Б1	3	2L100x100x8	2L75x75x6	2L50x50x5
Г	4	5	1	12	24	1	2,4	4,8	30K1	26K1	23Б1	4	2L120x120x10	2L90x90x6	2L70x70x5
Д	6	4	2,5	10	20	2,5	2	4	40K1	35K1	40Б1	5	2L100x100x8	2L75x75x6	2L50x50x5
Е	5	5	1	10	20	1	1	2	30K1	24K1	23Б1	6	2L100x100x8	2L75x75x6	2L50x50x5
Ж	4	6	2,5	11	22	2,5	2,2	4,4	35K1	30K1	40Б1	7	2L110x110x8	2L80x80x6	2L63x63x5
З	5	6	2	10	20	2	2	4	35K2	30K1	35Б1	8	2L100x100x8	2L75x75x6	2L50x50x5
И	6	4	2,5	15	30	2,5	3	5	40K1	35K1	40Б1	9	2L140x140x10	2L100x100x8	2L80x80x6
К	4	6	2,5	10	20	2,5	2	4	35K1	26K1	40Б1	0	2L100x100x8	2L75x75x6	2L50x50x5
Л	5	6	1	12	24	1	2,4	4,8	40K1	30K1	23Б1				
М	6	4	1,5	10	20	1,5	2		4	30K1	26K1				
Н	4	6	2,5	12	24	2,5	2,4	4,8	40K1	30K1	40Б1				
О	5	4	2	10	20	2	2	4	30K1	26K1	35Б1				
П	6	4	1,5	11	22	1,5	2,2	4,4	35K1	30K1	26Б1				
Р	4	5	1,5	10	20	1,5	2	4	40K1	26K1	26Б1				
С	5	6	2	12	24	2	2,4	4,8	40K1	35K1	35Б1				
Т	6	4	1,5	10	20	1,5	2	4	35K1	26K1	26Б1				
У	4	6	2	10	20	2	2	4	40K3	30K1	35Б1				
Ф	5	4	2,5	15	30	2,5	3	5	40K4	35K1	40Б1				
Х	6	4	1	12	24	1	2,4	4,8	35K1	30K1	23Б1				
Ц	6	6	1	10	22	1	2,5	4,5	40K6	35K2	36Б1				
Ч	7	7	2	9	18	1,5	2	4	40K8	35K3	35Б2				
Ш	8	7	1,5	8	16	2	2,2	3,5	40K10	35K4	35Б3				
Щ	8	8	1	7	20	2,3	2	4,2	40K12	35K5	35Б4				
Э	7	4	1,4	14	25	1,6	2,6	3,8	40K1	35K2	30Б1				
Ю	8	4	1,6	16	18	1,4	2,2	3,6	40K4	35K2	30Б2				
Я	5	5	1	14	21	1,2	1,4	5,5	40K2	35K1	30Б3				

В Лабораторной работе № 2 студенты осваивают методику статического расчета смешанного каркаса многоэтажного здания на примере двух-четырёхэтажного здания (рис. 1.3). Освоив методику, студенты смогут рассчитать здание повышенной этажности, или высотное здание.

Контрольные задания для лабораторной работы № 2 «Расчет пространственного смешанного каркаса на упругом основании» даны в таблице 1.2.

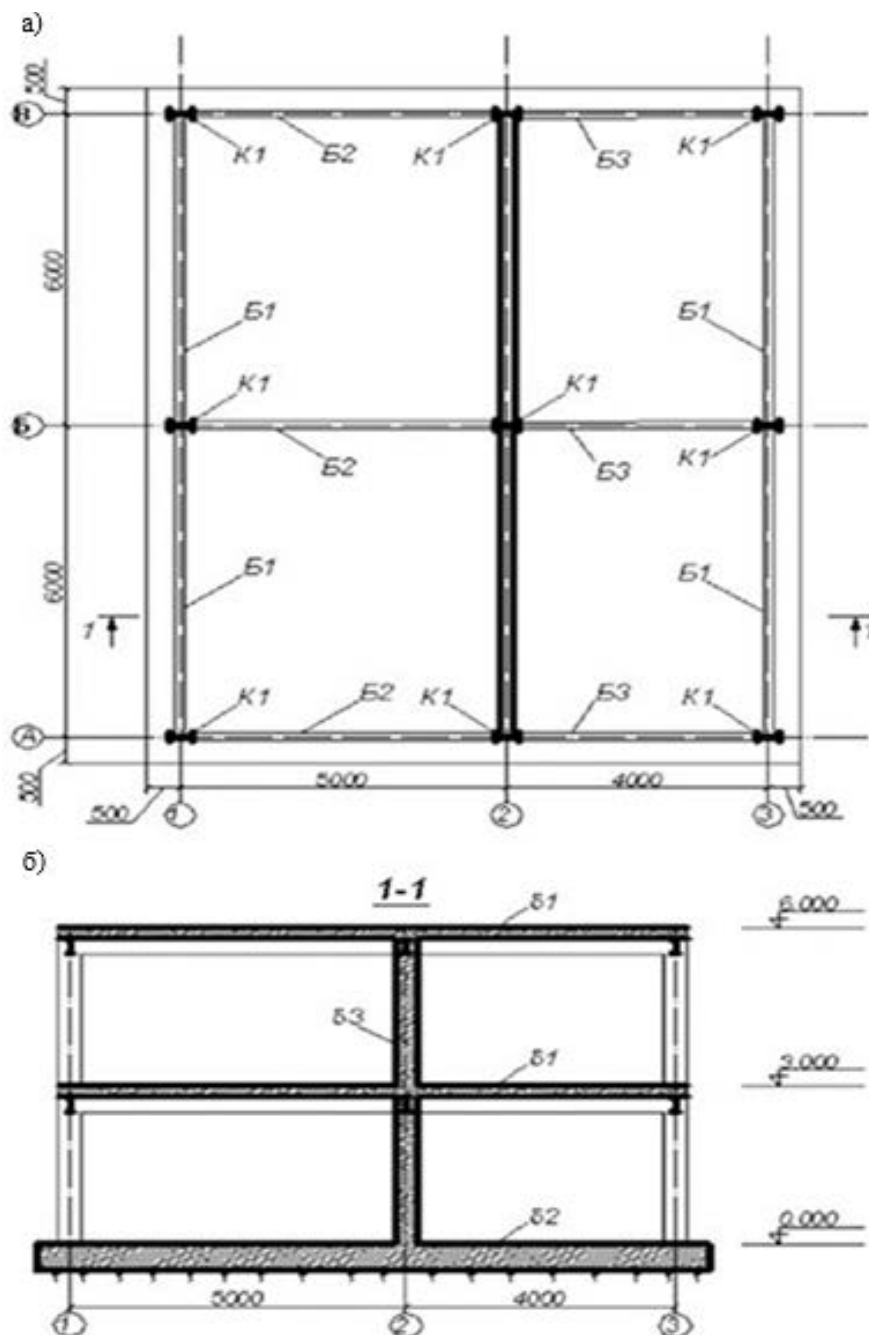


Рис. 1.3. Схема модели смешанного каркаса здания с условными размерами: а) горизонтальный разрез; б) поперечный разрез

Таблица 1.2

Контрольные задания для лабораторной работы № 2
«Расчет пространственного смешанного каркаса на упругом основании»*

Первая буква фамилии студента	Размеры каркаса в плане, (м)	Колич. этажей	Вид сечения		Толщина элементов, мм			Последняя цифра зачетки (кода)	Нагрузки, т/м ²		
			Балок	Колонн	Плиты перекрытий	Диафрагма	Фундаментн. плита		g ₁	g ₂	g ₃ снеговая
А	6x12	2	30Б1	35К1	180	300	400	1	1	1.5	0.08
Б	9x12	2	26Б1	30К1	180	300	400	2	2	1	0.08
В	12x18	3	30Б1	40К1	200	300	450	3	1	2	0.1
Г	9x9	2	30Б1	26К1	180	300	400	4	1	1.5	0.08
Д	12x12	2	23Б1	35К1	180	300	400	5	2.5	1	0.06
Е	12x6	2	26Б1	26К1	180	300	400	6	2	2.5	0.06
Ж	12x18	4	23Б1	30К1	220	300	500	7	1	2	0.06
З	6x6	2	35Б1	26К1	180	300	400	8	2	1	0.1
И	12x24	4	18Б1	35К1	220	300	500	9	2.5	2	0.1
К	12x6	2	35Б2	26К1	180	300	400	0	2	2.5	0.1
Л	9x18	3	23.Б1	30К1	220	300	450				
М	6x12	2	26Б1	26К1	180	300	400				
Н	9x12	2	18Б1	26К1	180	300	400				
О	12x12	3	26Б1	30К1	180	300	450				
П	18x12	4	18Б1	35К1	200	300	500				
С	9x12	2	26Б1	30К1	180	300	400				
Т	12x24	4	30Б1	35К1	220	300	500				
У	9x9	2	26Б1	30К1	180	300	400				
Х	9x12	2	35Б1	30К1	180	300	400				
Ц	18x9	3	26Б1	30К1	200	300	450				
Ч	24x12	4	30Б1	35К1	220	300	500				
Ш	18x24	4	40Б1	40К1	220	300	500				
Щ	24x24	4	30Б1	40К1	250	300	500				
Э	12x12	3	26Б1	35К1	180	300	450				
Ю	12x9	2	26Б1	30К1	180	300	400				
Я	6x12	2	30Б1	30К1	180	300	400				

* Высота этажей – 3 м.

Лабораторная работа № 1

Расчет плоской рамы с фермой

При составлении лабораторного практикума к выполнению работ использовались рекомендации, разработанные к компьютерному комплексу Лира САПР [12 -15].

Для облегчения работы обучающихся с компьютерной программой ниже представлена последовательность выполнения всех этапов опций.

Этап 1. Создание новой задачи

- Создание новой задачи осуществим, кликнув по кнопке – Новый в меню – Приложение.
- Для данной задачи задаем следующий параметр – Три степени свободы в узле перемещения X, Z, U_y – XOZ (рис. 1).

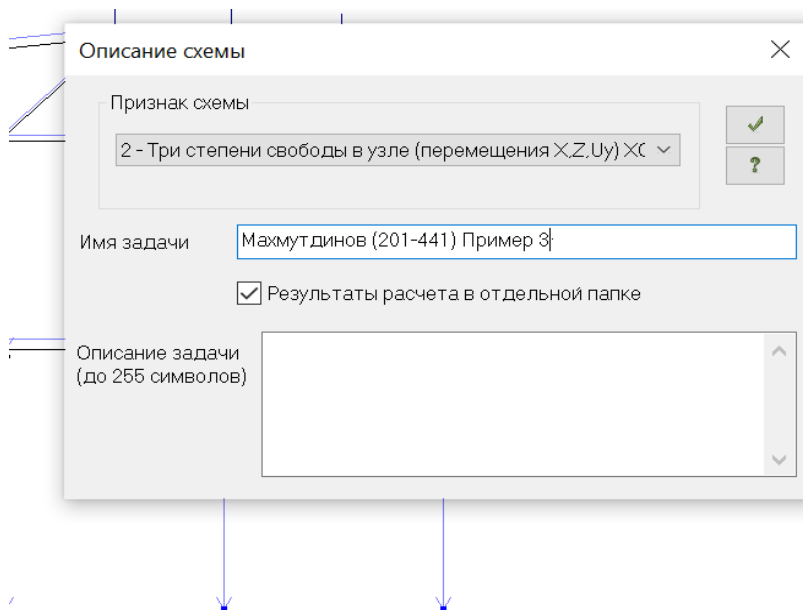


Рис. 1. Создание новой задачи

Этап 2. Создание геометрической схемы рамы

- Для создания рамы, используем функцию генерации регулярных сетей, щелкнув по соответствующей кнопке на панели – Создание.
- Так как наша рама имеет разные высоты 1-го и 2-го уровней, введем данные в таблицу со следующими шагами: шаг вдоль первой оси – $L(m) = 4$ м длина, $N = 3$ количество пролетов; шаг вдоль

второй оси – $L(m) = 5$ м длина, $N = 1$ количество пролетов для первой высоты и $L(m) = 4$ м длина, $N = 1$ для второй высоты (рис. 2).

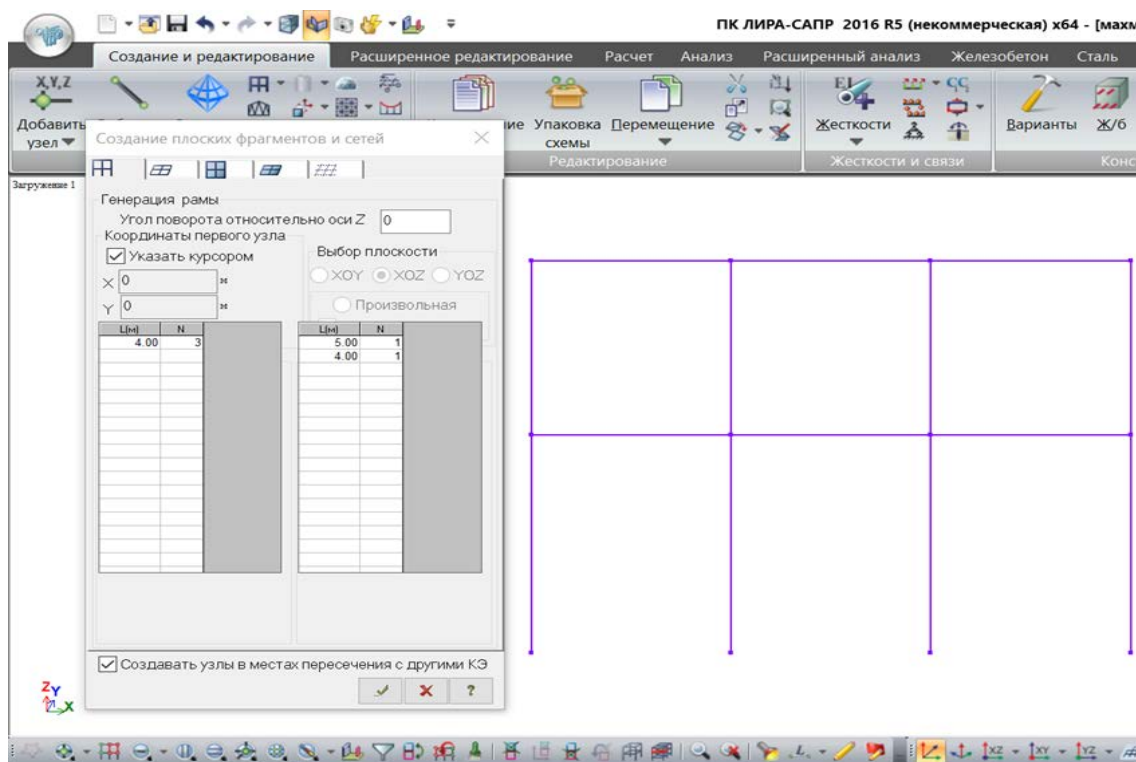


Рис. 2. Диалоговое окно «Создание плоских фрагментов и сетей»

- Затем удалим неиспользуемые далее элементы схемы (рис. 3).

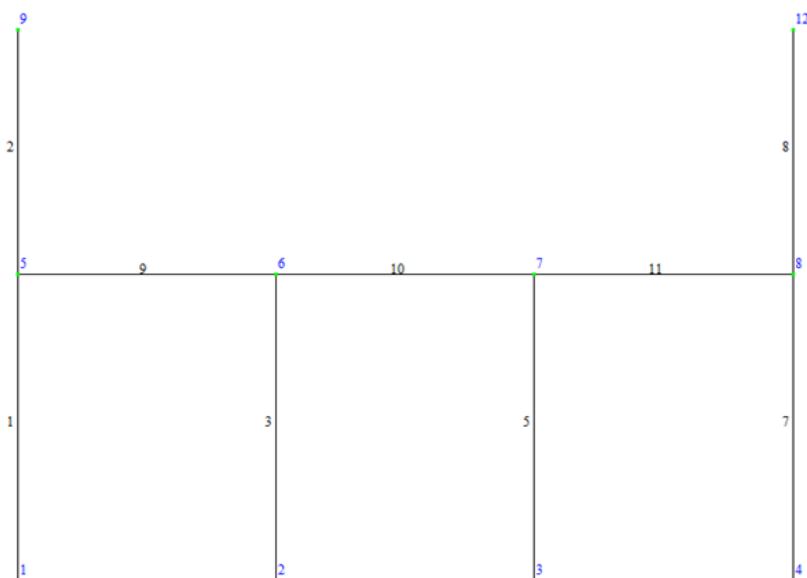


Рис. 3. Рама с удаленными элементами

- Для средних колонн используем шарнирные соединения со снятием жесткости связи одного из концов стержня с узлом схемы UY .

- Следующий шаг – генерация фермы по исходной длине трех пролетов по 4 м и коэффициентом $K_f = 6$, представлен на рисунке 4.

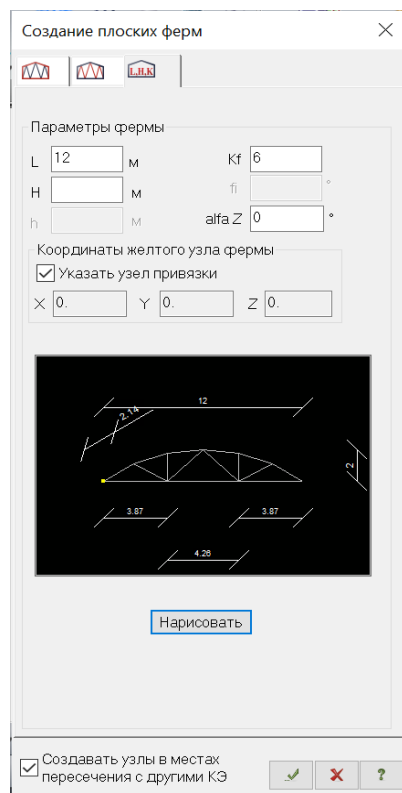


Рис. 4. Генерируемая ферма

- Полная геометрическая схема показана на рисунке 5.

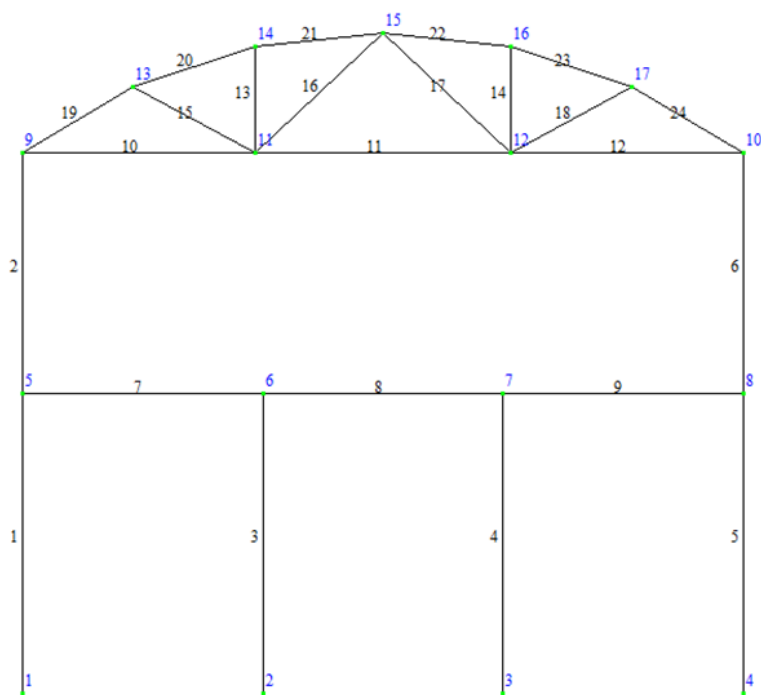


Рис. 5. Расчетная схема рамы с номерами узлов и элементов

Этап 3. Задание граничных условий

- Для узлов основания крайних колонн мы выбираем жесткое соединение, ограниченное по перемещения по X , Z , UY .
- Для узлов основания средних колонн – ограниченное по X , Z .

Этап 4. Задание вариантов конструирования

- В данной работе будет использован один вариант конструирования (рис. 6).

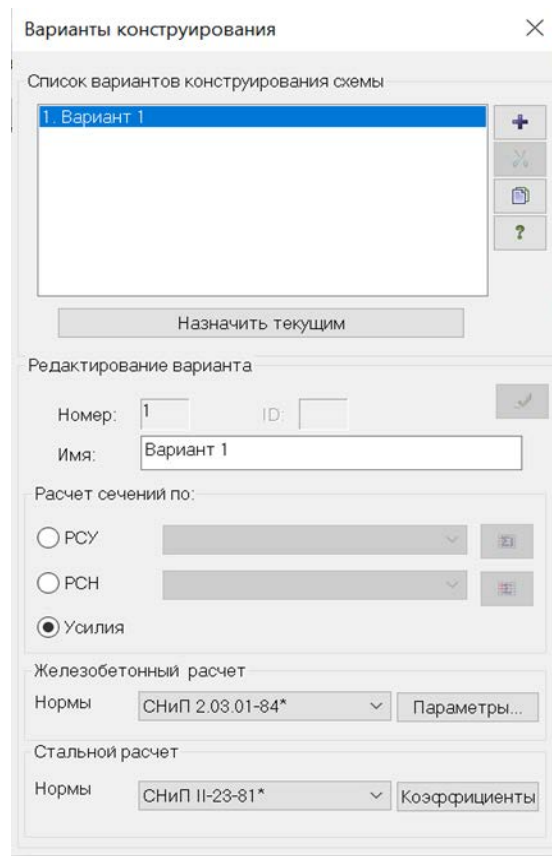


Рис. 6. Вариант конструирования

Этап 5. Задание жесткостных параметров и параметров материалов элементам рамы

- Создадим необходимые жесткости, щелкнув по кнопке – Жесткости и материалы и выберем необходимые нам сечения из базы металлических сечений (рис. 7).

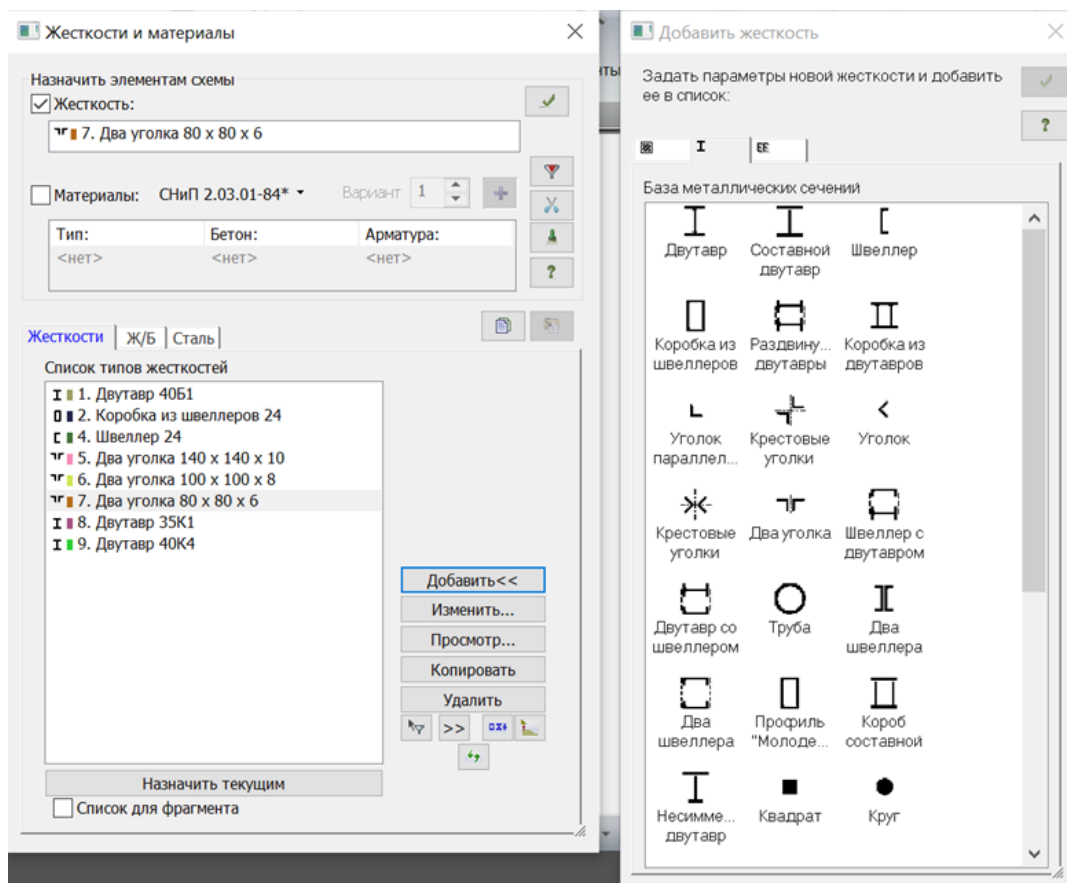


Рис. 7. Диалоговые окна: Жесткости и материалы; Добавить жесткость

В качестве материала данной конструкции будет использоваться сталь С235 по СП 16.13330.2017 для всех элементов конструкции

- Также будут использоваться дополнительные характеристики отличные для каждого из элементов. Таким образом дополнительные характеристики будут отличаться для балок, колонн, элементов ферм верхнего и нижнего поясов.

- Назначение материала будет произведено в соответствии с исходными данными для выбранного варианта:

- о Горизонтальные элементы, балки настила – двутавр 40Б1;
- о Крайние колонны – двутавр 40К4;
- о Средние колонны – двутавр 35К1;
- о Верхний пояс фермы (элементы 19–24) – два уголка 140×140×1;
- о Нижний пояс фермы (элементы 10–12) – два уголка 100×100×8;
- о Стойки и раскосы фермы, решетка (элементы 13–18) – два уголка 80×80×6.

Этап 6. Задание нагрузок

• Формирование нагрузок будет также основано на исходных данных:

○ Загружение 1:

- собственный вес с коэффициентом надежности по нагрузке 1.05 примененный ко всем элементам;
- равномерно распределенная нагрузка $p = 2.5$ т/м, примененная к элементам 7, 8, 9;
- нагрузка на узлы опирания фермы (узлы 9–10) сосредоточенной силой $P = 15$ т;
- нагрузка на узлы верхнего пояса (узлы 13–17) сосредоточенной силой $P = 30$ т.

○ Загружение 2:

- равномерно распределенная нагрузка $p = 2.5$ т/м, примененная к элементам 7, 8, 9;
- нагрузка на узлы опирания фермы (узлы 9–10) сосредоточенной силой $P = 3$ т;
- нагрузка на узлы верхнего пояса (узлы 13–17) сосредоточенной силой $P = 6$ т.

○ Загружение 3:

- Сосредоточенная сила $P = -1.5$ т на узлы 5 и 10;
- $P = -2$ т на узле 9;
- $P = -1.125$ т на узле 8.

○ Загружение 4:

- Данное загружение – узловая гармоническая нагрузка;
- Дополнительная масса 2 т в узле 6;
- Направление нагрузки X .
- Закон действия нагрузки $\cos$;
- Амплитуда воздействия 0.1 т.

Данные нагрузки изображены на рисунке 8.

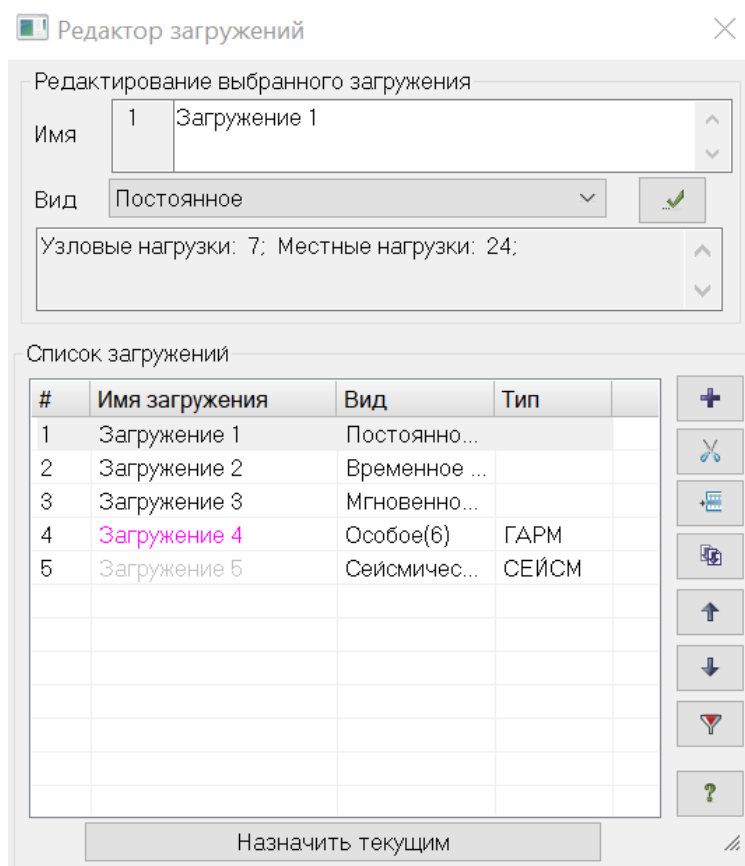


Рис. 8. Загрузки модели

Этап 7. Формирование динамических воздействий

- В соответствии с методикой для каждого загрузения подберем коэффициенты преобразования и занесем в таблицу;
- Сформируем таблицу РСН с учетом знакоперемен и сочетаний нагрузок.

Этап 8. Расчет и анализ

- Выполним полный расчет, щелкнув по кнопке – Выполнить полный расчет. На рисунках (9–12) представлены результаты расчета рамы с фермой.

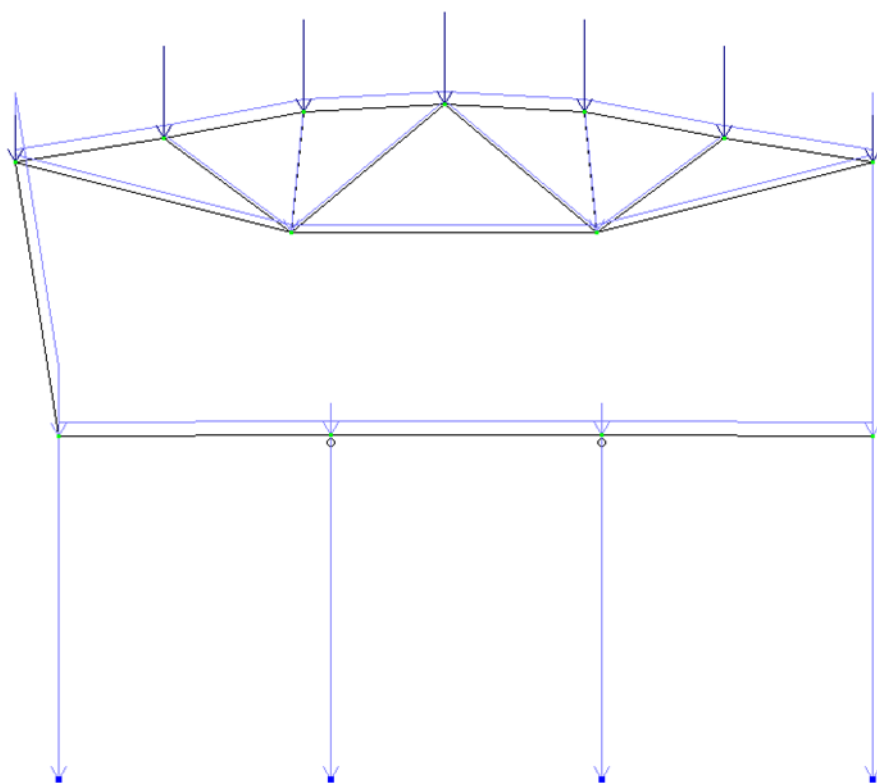


Рис. 9. Расчетная схема рамы с учетом перемещений узлов

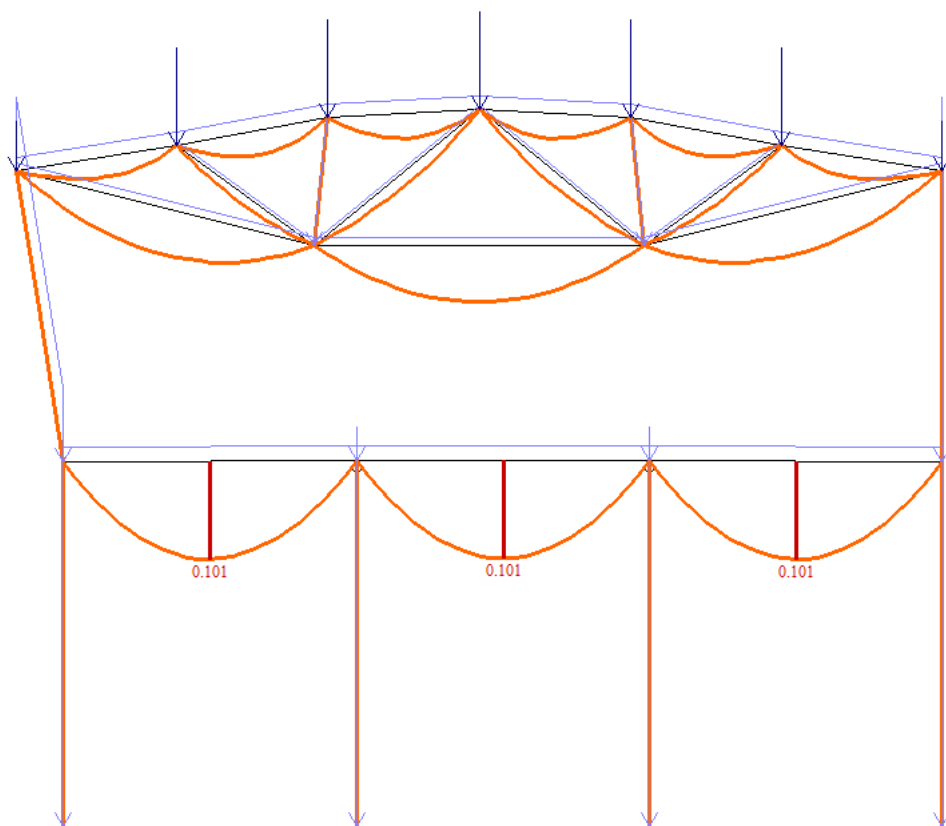


Рис. 10. Эпюры M_y

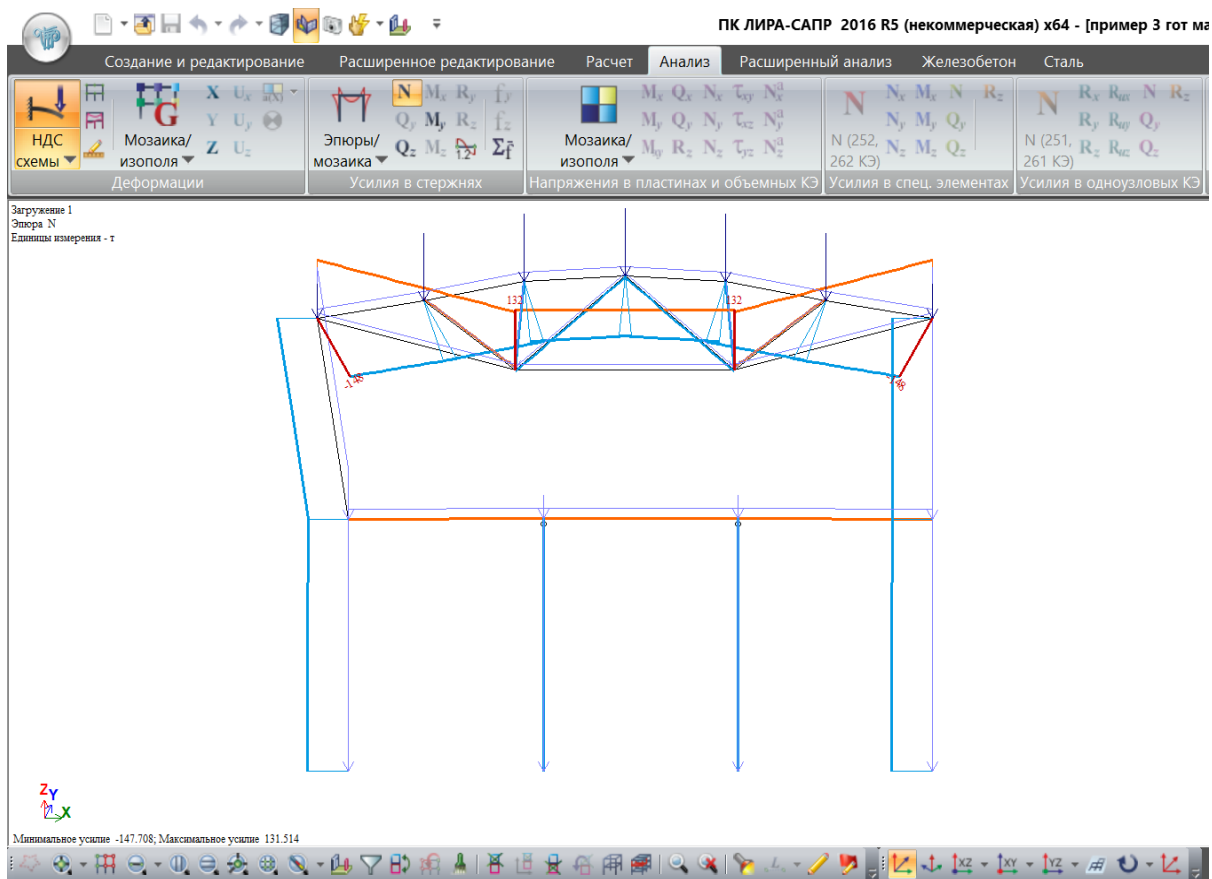


Рис. 11. Эпюры продольных сил N

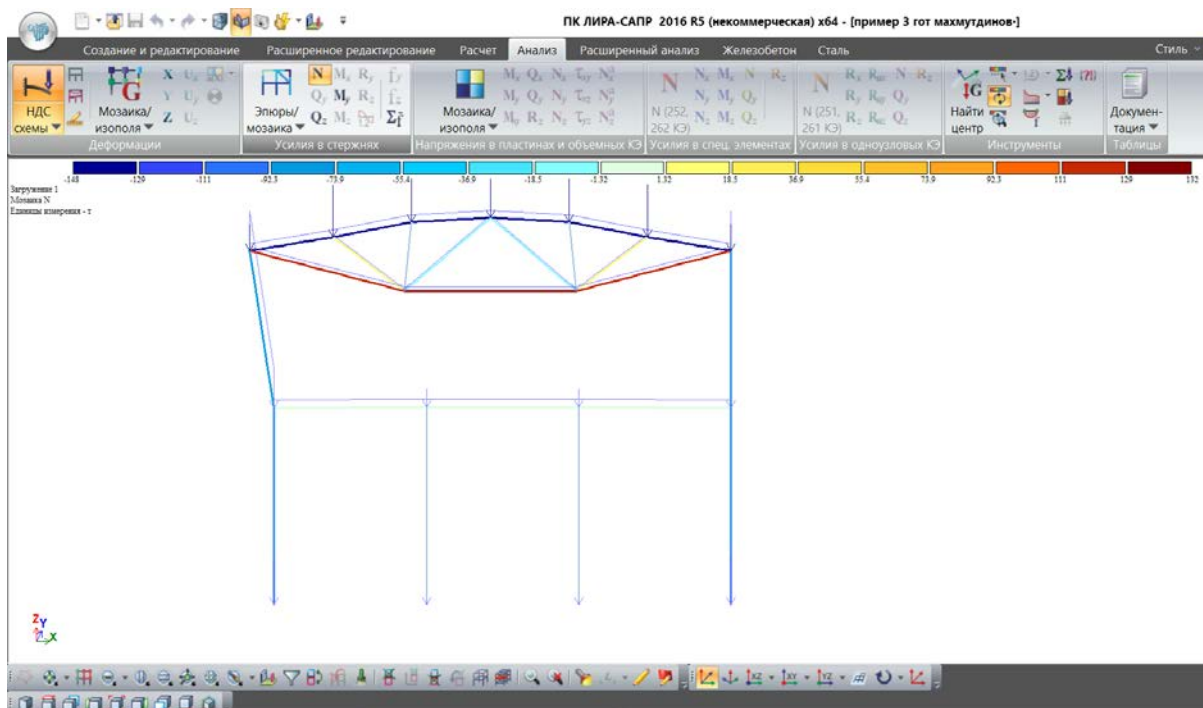


Рис. 12. Мозаика усилий N в стержнях

Лабораторная работа № 2

Расчет пространственного смешанного каркаса на упругом основании

Порядок создания компьютерной модели каркаса и расчета напряженно-деформированного состояния модели представлен в нескольких этапах:

Этап 1. Создание новой задачи

При создании новой задачи открывается окно описания схемы (рис. 1).

Принимаем 5 признак схемы (6 степеней свободы) и даем имя задачи

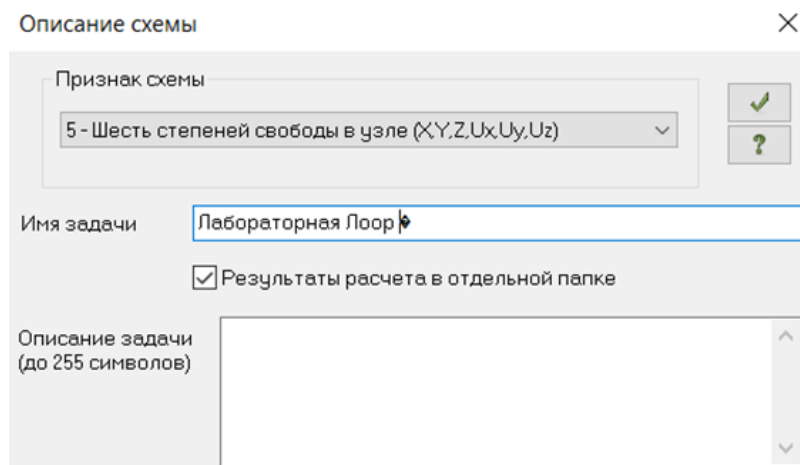


Рис. 1. Описание схемы

Этап 2. Создание геометрической схемы

Создание рамы

В этом диалоговом окне (рис. 2) задайте:

- Шаг вдоль первой оси: 1) $L(m) = 5$; $N = 1$;
2) $L(m) = 4$; $N = 1$.
- Шаг вдоль второй оси: 1) $L(m) = 3$; $N = 2$.

Создание плоских фрагментов и сетей

Генерация рамы
 Угол поворота относительно оси Z 0

Координаты первого узла
☒ Указать курсором

X 0 м
 Y 0 м
 Z 0 м

Выбор плоскости
☐ XOY ☒ XOZ ☐ YOZ
☐ Произвольная
☐ Указать узлы

Шаг вдоль первой оси

Значение	Количество
L(m)	N
5.00	1
4.00	1

Шаг вдоль второй оси

Значение	Количество
L(m)	N
3.00	2

✓ ✗ ?

Рис. 2. Генерация рамы

Указать курсором и задайте координаты привязки в пространстве первого узла фрагмента: $X(m) = 0$; $Y(m) = 6$; $Z(m) = 0$.

После этого задайте координаты привязки в пространстве второго узла нового фрагмента: $X(m) = 0$; $Y(m) = 12$; $Z(m) = 0$.

Создание плиты перекрытия 1-го этажа (рис. 3)

Шаг вдоль первой оси: $L(m) = 0,5$ $N = 18$;

Шаг вдоль второй оси: $L(m) = 0,5$ $N = 24$.

Создание плоских фрагментов и сетей

Генерация плиты
 Угол поворота относительно оси Z 0

Координаты первого узла
☒ Указать курсором

X 0
 Y 0
 Z 0

Выбор плоскости
☒ XOY ☐ XOZ ☐ YOZ
☐ Произвольная
☐ Указать узлы

Шаг вдоль первой оси

Значение	Количество
L(m)	N
0.50	18

Шаг вдоль второй оси

Значение	Количество
L(m)	N
0.50	24

✓ ✗ ?

Рис. 3. Создание плиты перекрытия

Корректировка схемы

В Полифилтре в закладке Фильтр по геометрии КЭ выбираем критерий по длине стержня. И последовательно проводим привязку стержней с плитой.

Сначала находим стержень с длиной — 4 и делим его на 8 равные части, после находим стержень с длиной — 5 и делим его на 10 равных частей.

Добавление элементов балок и плиты перекрытия

Соединяем крайние грани плиты.

Вызовите диалоговое окно ПолиФильтр и перейдите на предпоследнюю закладку Сечения и отсечения.

В этом окне для выбора секущей плоскости включите радиокнопку XOY . Укажите курсором любой узел перекрытия первого этажа.

После производим копирование по одному узлу, добавляя при этом плиту перекрытия на этаж выше.

Создание диафрагмы (рис. 4)

Шаг вдоль первой оси: $L(m) = 0,5$; $N = 24$;

Шаг вдоль второй оси: $L(m) = 0,5$; $N = 12$.

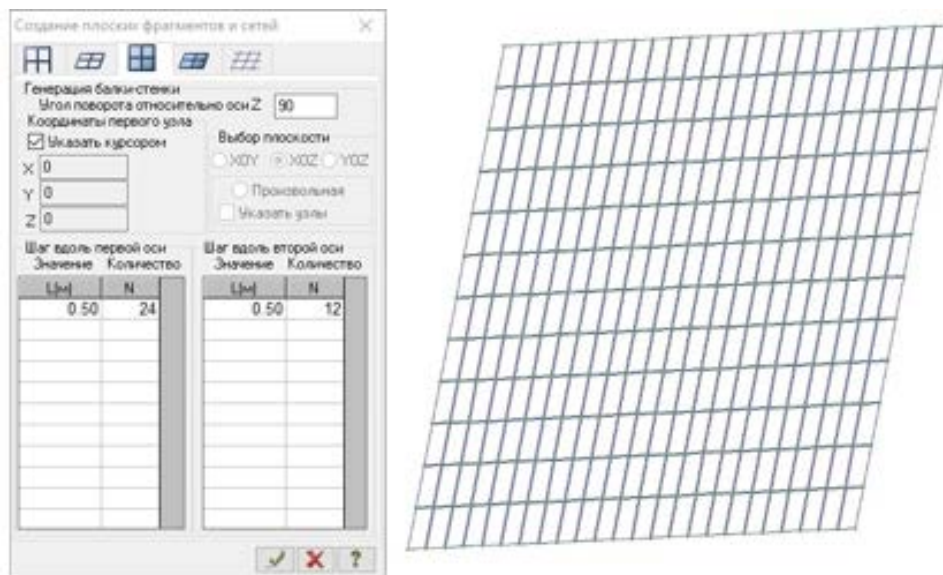


Рис. 4. Создание плоских фрагментов сетей

Создание фундаментной плиты (рис. 5)

Указать курсором в поле ввода Координаты первого узла и задайте координаты привязки в пространстве первого узла фрагмента: $X(m) = -0,5$; $Y(m) = -0,5$; $Z(m) = 0$.

В таблице диалогового окна задайте параметры фундаментной плиты:

Шаг вдоль первой оси: $L(m) = 0,5$; $N = 20$

Шаг вдоль второй оси: $L(m) = 0,5$; $N = 26$

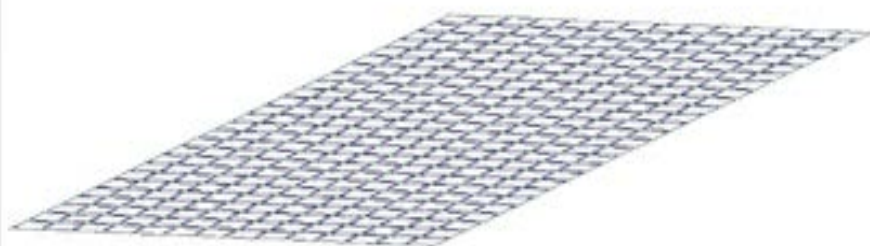


Рис. 5. Фрагментирование фундаментной плиты

На рисунке 6 представлена полученная расчетная модель каркаса.

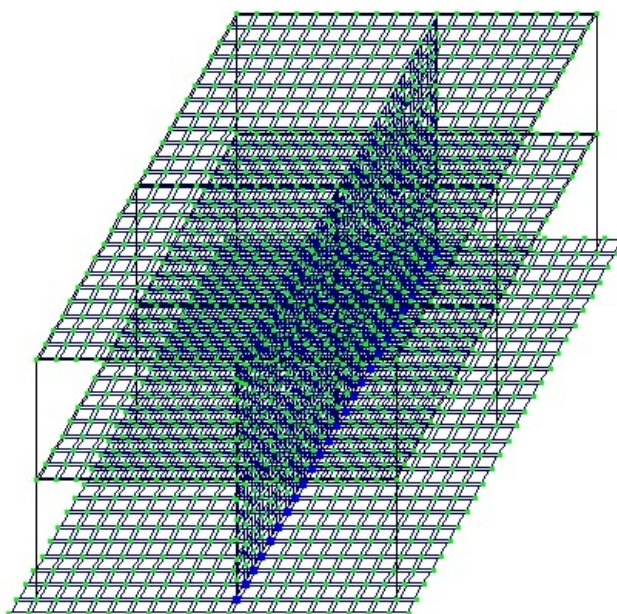


Рис. 6. Расчетная модель каркаса

Этап 3. Задание жесткостных параметров и параметров материалов элементов схемы

Формирование типов жесткости (рис. 7)

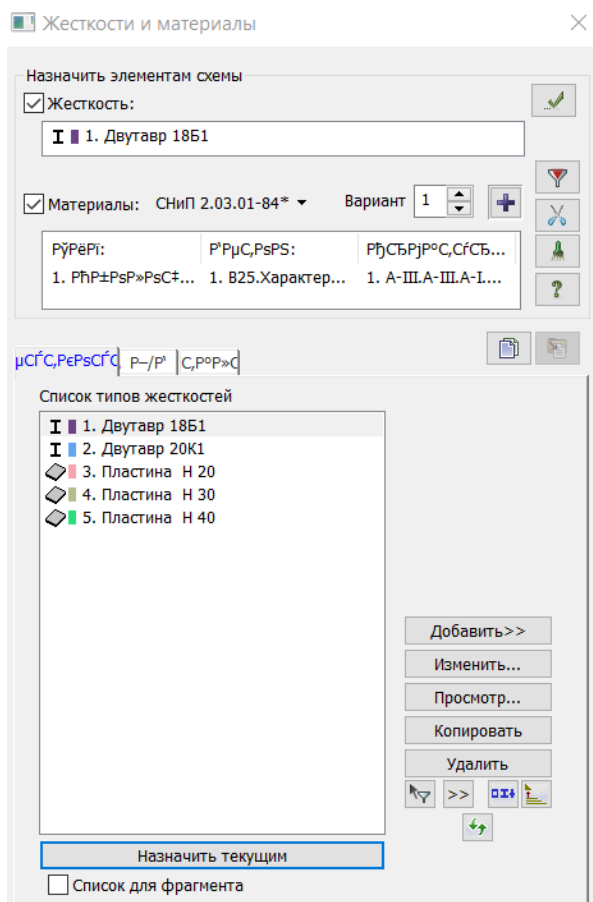


Рис. 7. Жесткости и материалы

Принимаем двутавр с параллельными гранями полок типа Б (балочный). Актуализированный, профиль 18Б1.

Принимаем двутавр с параллельными гранями полок типа К (колонный). Актуализированный, профиль 20К1.

Далее принимаем пластины. В окне Задание жесткости для пластин (рис. 8) задайте параметры сечения Пластины (для плиты перекрытия):

Рис. 8. Задание жесткости для пластин

- модуль упругости – $E = 3e6 \text{ т/м}^2$
- коэф. Пуассона – $V = 0.2$;
- толщина – $H = 20 \text{ см}$;
- удельный вес материала – $R_0 = 2.75 \text{ т/м}^3$.

Далее похожим способом назначаем жесткость для диафрагмы и фундаментной плиты.

Задание материалов для железобетонных конструкций

В диалоговом окне Жесткости и материалы щелкните по второй закладке Ж/Б. После этого включите радиокнопку Тип и щелкните по кнопке Добавить. На экран выводится диалоговое окно Общие характеристики (рис. 9), в раскрывающемся списке Модуль армирования выберите строку Оболочка; в строке Комментарий задайте Оболочки; все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.

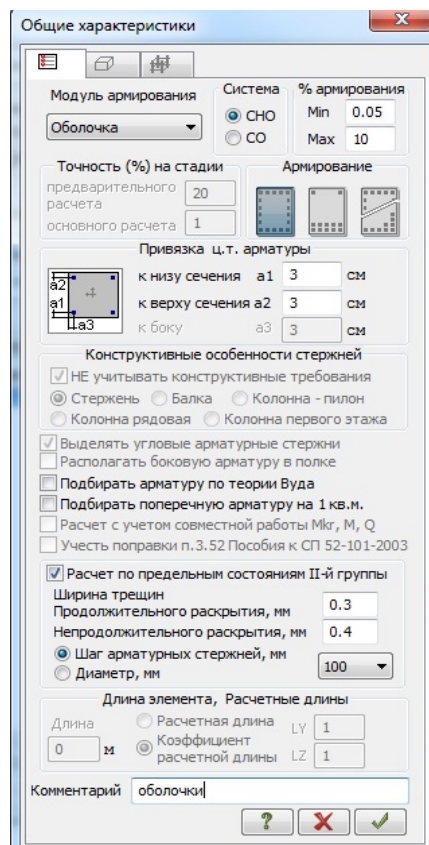


Рис. 9. Диалоговое окно. Общие характеристики

Задание материалов для варианта конструирования стальных конструкций

Перед тем как приступить к заданию материалов для стальных конструкций, в диалоговом окне Жесткости и материалы в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости 1. Двутавр 18Б1 и щелкните по кнопке назначить текущим.

После этого для задания материалов для стальных конструкций, в диалоговом окне Жесткости и материалы щелкните по третьей закладке Сталь.

Далее включите радиокнопку Материал и щелкните по кнопке Добавить.

На экран выводится диалоговое окно Параметры, в котором в раскрывающемся списке Сталь задайте марку С245.

Затем в диалоговом окне Жесткости и материалы включите радиокнопку Дополнительные характеристики и щелкните по кнопке Добавить.

В новом окне Параметры задайте параметры для балок:

- в поле Тип элемента включите радиокнопку Балка;
- в поле Комментарий задайте Балки;

Все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.
Еще раз щелкните по кнопке Добавить в диалоговом окне Жесткости и материалы.

В новом окне Параметры задайте параметры для колонн:
в поле Тип элемента включите радиокнопку Колонна;
в поле Расчетные длины установите флажок использовать коэффициенты длины;

- задайте коэффициент длины относительно оси $Z1$ $K_z = 1$;
- коэффициент длины относительно оси $Y1$ $K_y = 1$;
- коэффициент длины для расчета Φb $K_b = 0,85$;

В поле Комментарий задайте Колонны; все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.

Назначение жесткостей и материалов элементам схемы

Выделяем поочередно элементы и назначим жесткость (рис. 10).

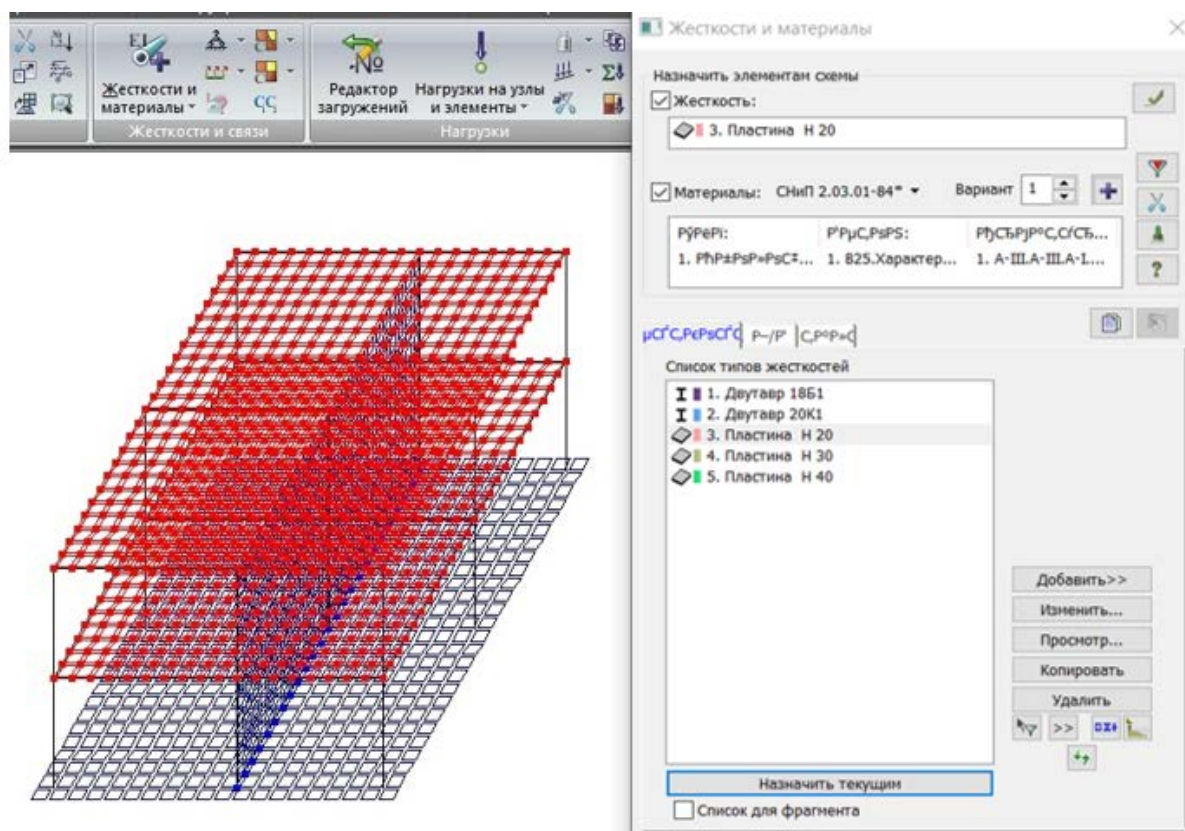


Рис. 10. Назначение жесткостей и материалов элементам схемы

Этап 4. Задание параметров упругого основания

Выделяем фундаментную плиту.

Щелчком по кнопке – Коэффициенты постели C_1 , C_2 в этом окне (рис. 11) для задания коэффициентов постели в поле C_{1z} введите значение коэф. жесткости упругого основания на сжатие $C_{1z} = 1000 \text{ т/м}^3$.

Задание коэфф. C_1 и C_2

Назначить на элементы типа:

- ☐ Стержни
- ☒ Пластины
- ☐ Двухузловые КЗ 53
- ☐ Одноузловые КЗ 54

Односторонняя работа упр. основания

☐ Назначить элементам

Коэффициенты постели

☐ Получить по модели грунта
 P_z т/м²

☒ Назначить

☒ C_{1z} т/м³

☒ C_{2z} т/м

Расчет C_1, C_2

☒ $B_c=B$ B_c см

☐ Учет C_{1y}, C_{2y}

C_{1y} т/м³

C_{2y} т/м

H_c см

Угол зоны грунта

☒ F_i ° ☐ рад

Рис. 11. Задание коэффициентов C_1 и C_2

Этап 5. Задание граничных условий

В диалоговом окне Фильтр для элементов перейдите на предпоследнюю закладку Сечения и отсечения и для выбора сечущей плоскости включите радиокнопку YOZ. Укажите курсором любой узел стыковки диафрагмы с фундаментной плитой.

Для отображения на экране только отмеченных узлов и элементов схемы, выполните фрагментацию

Для представления расчетной схемы в проекции на плоскость YOZ, щелкните по кнопке – Проекция на YOZ.

Далее выделяем узлы и запрещаем им перемещение по оси X. После этого выбираем узел средней колонны и запрещаем ему перемещение по оси Y и UZ.

Этап 6. Задание нагрузок

Формирование загрузки № 1

Добавляем собственный вес схемы (рис. 12).

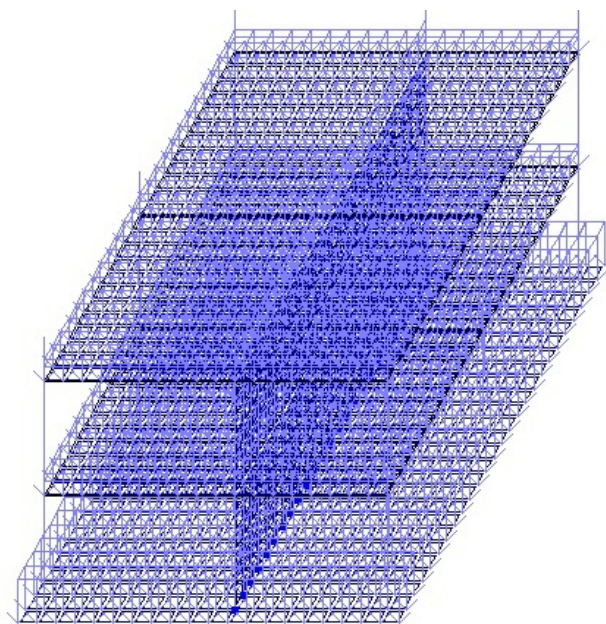


Рис. 12. Нагрузка от собственного веса каркаса

Формирование загрузки № 2

Смените номер загрузки щелчком по кнопке – Следующее загрузки в строке состояния. Выделите плиты перекрытия 1-го и 2-го этажа. Вызовите диалоговое окно Задание нагрузок. Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно Параметры. В этом окне задайте интенсивность нагрузки $g_1 = 1 \text{ т/м}^2$ (рис. 13).

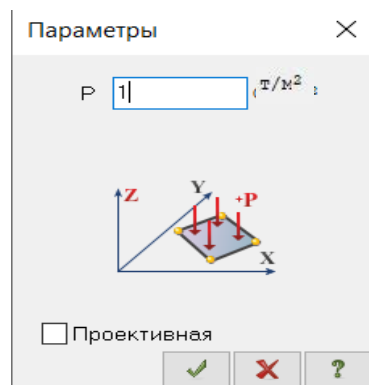


Рис. 13. Временная нагрузка g_1

Убираем старые выделения. После выделяем фундаментную плиту и задаем на нее нагрузку $g_2 = 1 \text{ т/м}^2$.

Формирование загрузки № 3

Смените номер текущего загрузки щелчком по кнопке – Следующее загрузка в строке состояния. Выделите плиту перекрытия 3-го этажа и задаем снеговую нагрузку $0,09 \text{ т/м}^2$ (рис. 14).

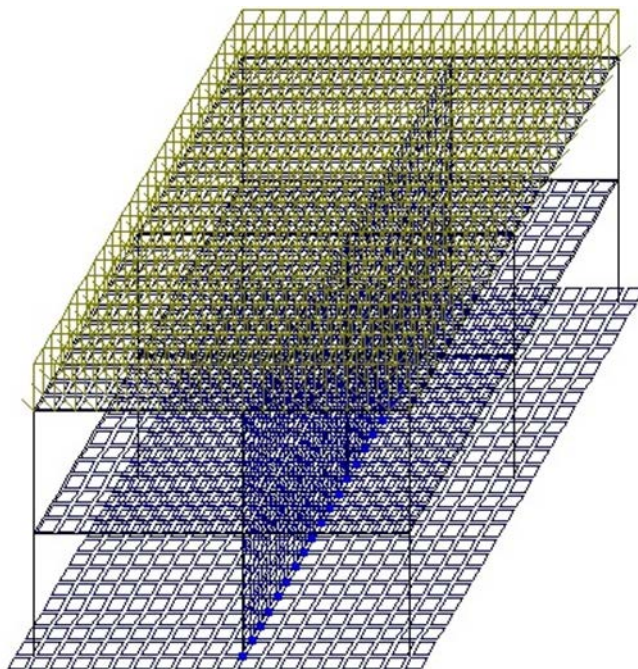


Рис. 14. Снеговая нагрузка

Задание расширенной информации о загрузках

Вызовите диалоговое окно Редактор загрузок (рис. 15) и задайте вид каждому загрузке.

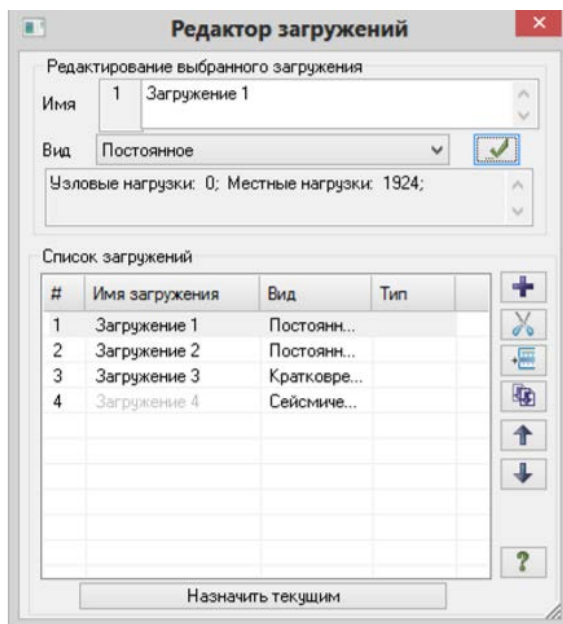


Рис. 15. Редактор загрузок

Этап 7. Формирование динамических нагрузений из статических

Вызовите диалоговое окно Формирование динамических нагрузений из статических (рис. 16). И задайте следующие параметры: № динамического нагружения – 4; № соответствующего статического нагружения – 1; Коэф. преобразования – 0.9.

Сформировать матрицу масс на основании:

☒ - загрузки (код 1)
☐ - плотности элементов (код 2)

№ динамического нагружения: 4
№ соответствующего статического нагружения: 3
Коэф. преобразования: 0.5

Сводная таблица:

№ дин. з...	№ стат. ...	Коэфф.	Код
4	1	0.9	1
4	2	0.9	1
4	3	0.5	1

Рис. 16. Формирование динамических нагрузений

Для формирования второй строки сводной таблицы, в этом же окне задайте следующие параметры: № динамического нагружения – 4; № соответствующего статического нагружения – 2; Коэф. преобразования – 0.9.

Для формирования третьей строки сводной таблицы, в этом же окне задайте следующие параметры: № динамического нагружения – 4; № соответствующего статического нагружения – 3; Коэф. преобразования – 0.5.

Этап 8. Формирование таблицы параметров динамических воздействий

Вызовите диалоговое окно Задание характеристик для расчета на динамические воздействия (рис. 17). В этом окне задайте следующие параметры: № загрузки – 4; Наименование воздействия – Сейсмическое /01.01.2000/СП 14.13330.2011/(35); Количество учитываемых форм колебаний – 10.

#	№	Имя загрузки...	Тип	Параметры...	Параметры динамического возд
1	4	Загрузка 4	СЕЙСМ	35 10 0 0 0	1.00 3 0.00 1 1 7 1.000 1.00 1.00
2					

Рис. 17. Задание характеристик для расчета на динамическое воздействие

В диалоговом окне Параметры расчета на сейсмические воздействия задайте следующие параметры: направляющие косинусы равнодействующей сейсмического воздействия в основной системе координат – $CX = 1$; остальные параметры принимаются по умолчанию.

Этап 9. Генерация таблицы РСУ

Щелчком по кнопке – Таблица РСУ вызовите диалоговое окно Расчетные сочетания усилий (рис. 18).

Расчетные сочетания усилий

Строительные нормы: СНИП 2.01.07-85*

Номер загрузки: 3 Загрузка 3

Вид загрузки: Кратковременное (2) По умолчанию

N группы объединяемых временных нагрузений: 0

Учитывать знакопеременность: ☐

N группы взаимоисключающих нагрузений: 0

NN сопутствующих нагрузений: 0 0

Коэффициент надежности: 1.40

Доля длительности: 0.35

Не учитывать для II-го пред. сост. ☐

Ограничения для кранов и тормозов: Кран ☐ Тормоз ☐

Сводная таблица для вычисления РСУ:

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(6 С)	5 сочет.	6 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00
4	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

№	Имя загрузки...	Вид	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	Загрузка 1	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Загрузка 2	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
3	Загрузка 3	Кратковременное...	2 0 0 0 0 0 1.40 0.35	1.00 0.90 0.50 0.80
4	Загрузка 4	Сейсмическое...	5 0 1 0 0 0 1.00 0.00	0.00 0.00 1.00

Рис. 18. Расчетные сочетания усилий

В этом окне при выбранном Своде правил СП 20.13330. 2016 задайте следующие данные: в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую третьему нагружению. Затем в текстовом поле Коэффициент надежности задайте величину 1.4.

Этап 10. Генерация таблицы РСН

Щелчком по кнопке – РСН вызовите диалоговое окно Расчетные сочетания нагрузок (рис. 19). В этом окне в раскрывающемся списке выберите СП 20.13330.2016. Далее в списке видов нагружений задайте вид для каждого нагружения после двойного щелчка мыши по ячейке таблицы Вид:

- для первого нагружения – Постоянная (P_d);
- для второго нагружения – Постоянная (P_d);
- для третьего нагружения – Кратк. доминир. 1 (P_{t1});
- для четвертого нагружения – Сейсмическое (P_{se});
- для четвертого нагружения задайте +/-.

Для третьего нагружения задайте коэффициент надежности по нагрузке, равный 1.4.

Расчетные сочетания нагрузок

СП 20.13330.2011 ☒ Не учитывать сейсмику для II-го ПС ☒ Не учитывать особое загруз. для II-го ПС

	N загруз.	Наименование	Вид	Знакоперем.	Взаимоискл.	Коз.ф. надежн.	Доля
1	1	Загрузка 1	Постоянное (P)	+		1.0	
2	2	Загрузка 2	Постоянное (P)	+		1.0	
3	3	Загрузка 3	Кратк. доминир.1 (Pt1)	+		1.4	
4	4	Загрузка 4	Сейсмическое (Pse)	+/-		1.0	

Удалить сочетание
Удалить все сочетания
Расчет
Выход
Справка

Основное сочетание (II ПС)
Особое сочетание (II ПС)
Основное сочетание (II ПС)
Особое сочетание (II ПС)

$$P^d + \psi_{11} \cdot P_{11}^d + \sum_{i=2}^{n1} \psi_{1i} \cdot P_{1i}^d + \psi_{t1} \cdot P_{t1}^d + \psi_{t2} \cdot P_{t2}^d + \sum_{j=3}^{nt} \psi_{tj} \cdot P_{tj}^d$$

Коз.фициенты
Сохранить данные
Добавить

Рис. 19. Расчетные сочетания нагрузок

Этап 11. Назначение конструктивных элементов

Щелкните по кнопке – Отметка горизонтальных стержней на панели инструментов. Последовательно назначаем конструкционные элементы сначала для всех горизонтальных элементов. После отдельно для каждого этажа назначаем конструкционные элементы центральных колонн.

Этап 12. Назначение раскреплений в узлах изгибаемых элементов

Выделяем все горизонтальные элементы.

Щелкаем по кнопке – Раскрепления для прогибов в появившемся окне (рис. 20), при установленных флажках раскреплений – Y1, Z1, выберите в раскрывающемся списке строку Создать в узлах с несоосными элементами.

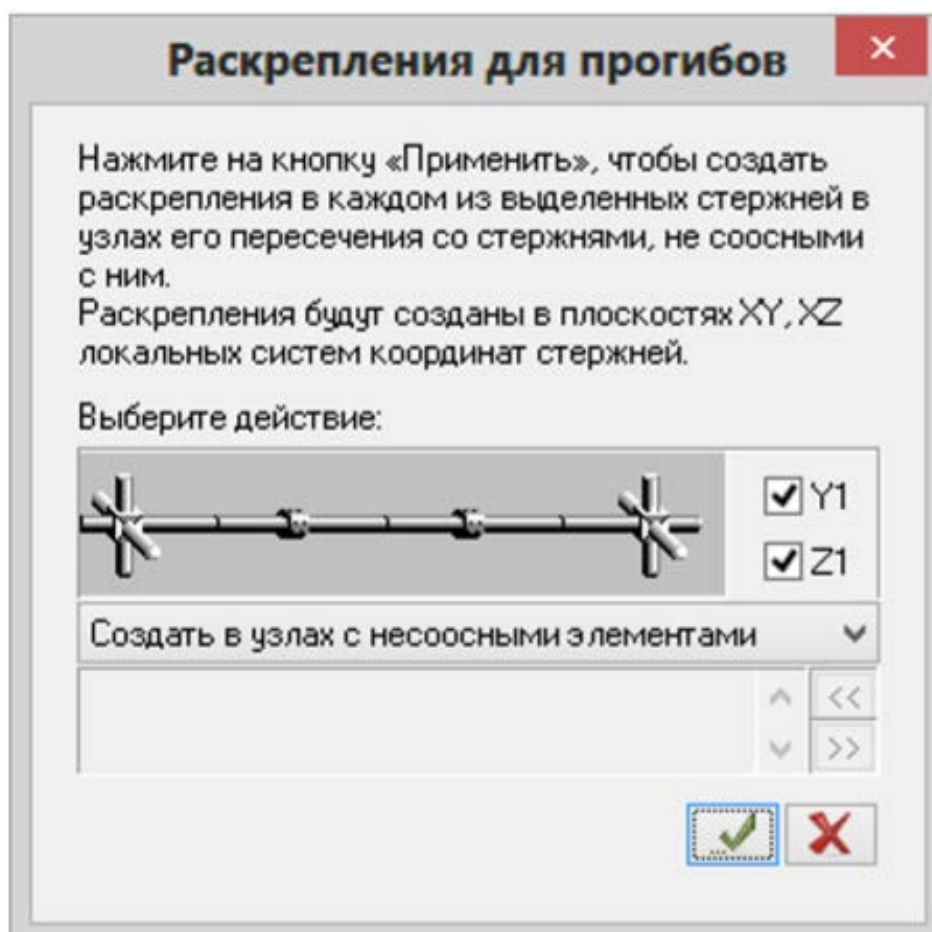


Рис. 20. Раскрепление для прогибов

Этап 13. Полный расчет схемы

Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке – Выполнить расчет.

Этап 14. Просмотр и анализ результатов статического и динамического расчетов

Для вывода мозаик изгибающих моментов M_x необходимо щелкнуть по кнопке M_x (на верхней панели усилий в элементах) (рис. 21). На рисунках (22–24) приведены изополя и мозаики других внутренних усилий M_y , N_x , N_y . На рисунках 25 и 26 даны мозаики перемещений вдоль осей Y и Z .

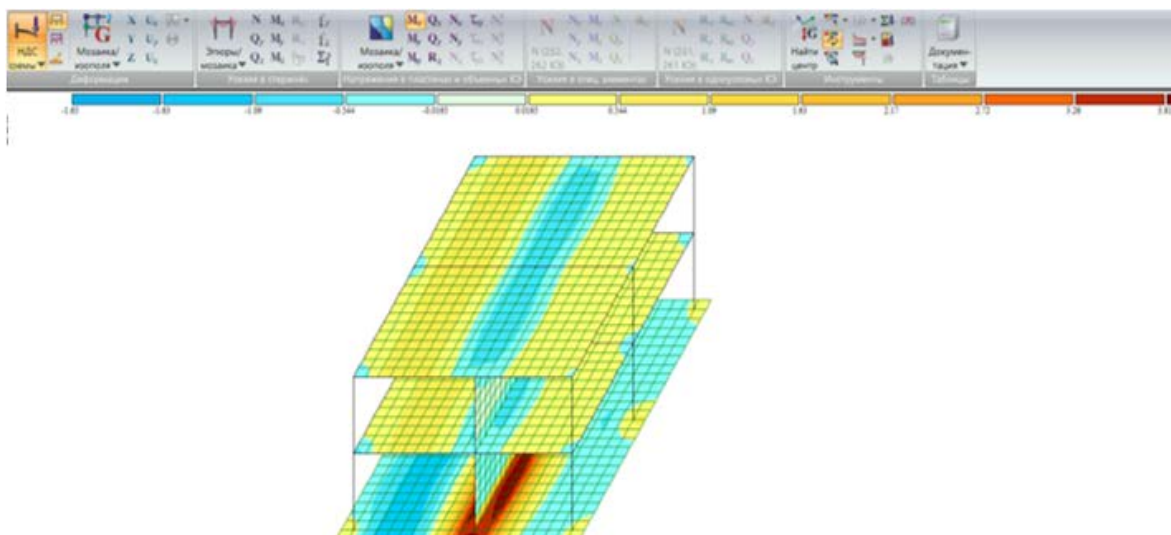


Рис. 21. Изополя и мозаика M_x

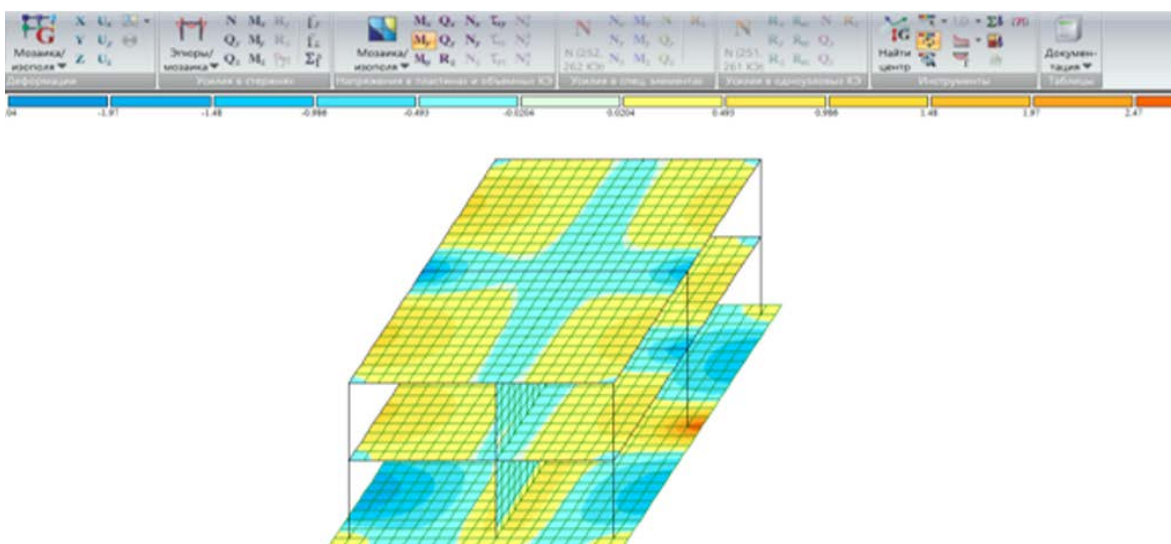


Рис. 22. Изополя и мозаика M_y

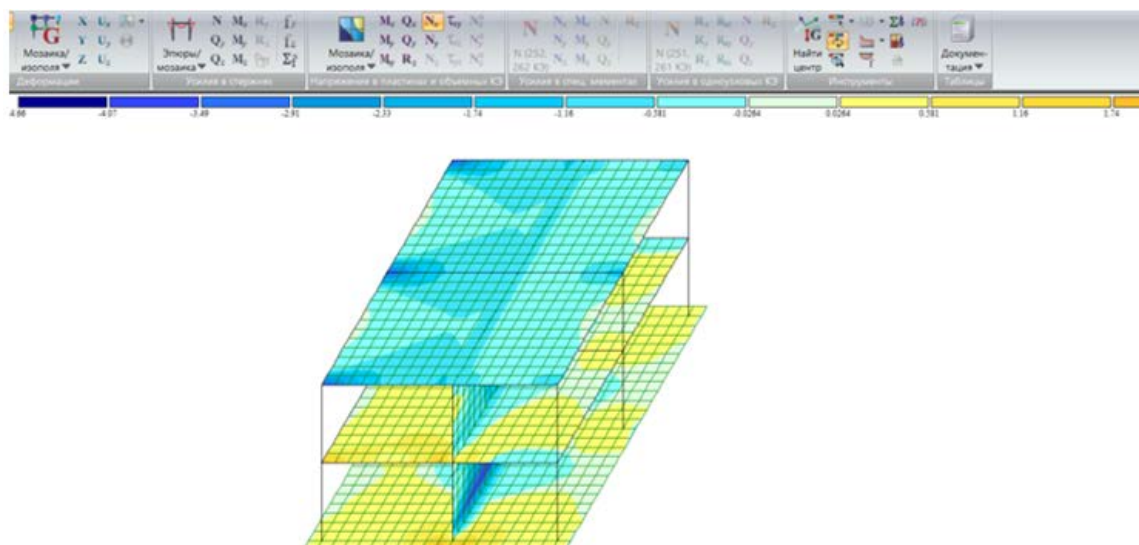


Рис. 23. Изополя и мозаика N_x

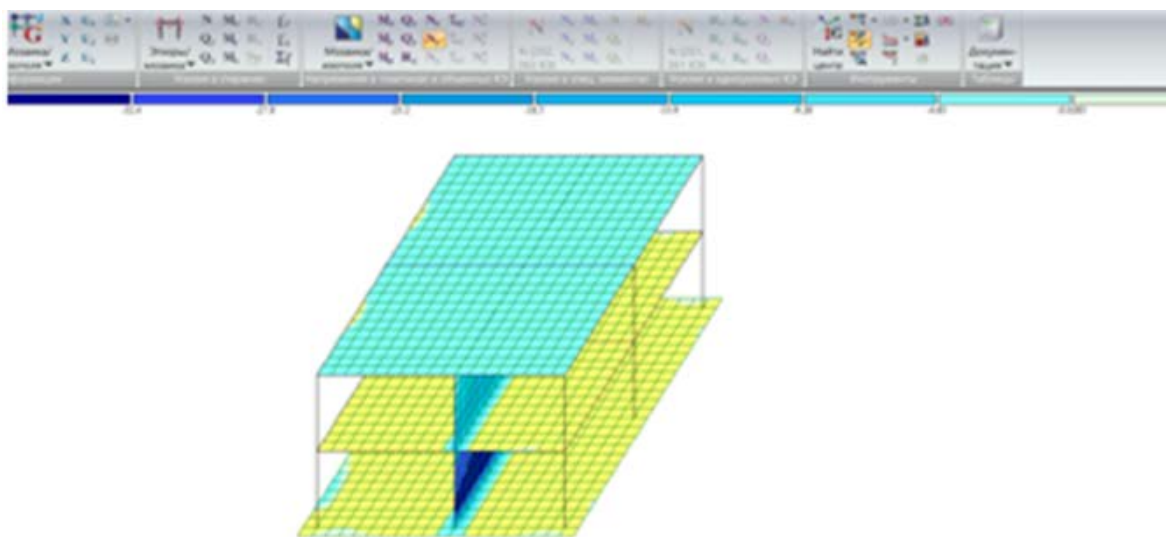


Рис. 24. Изополя и мозаика N_y

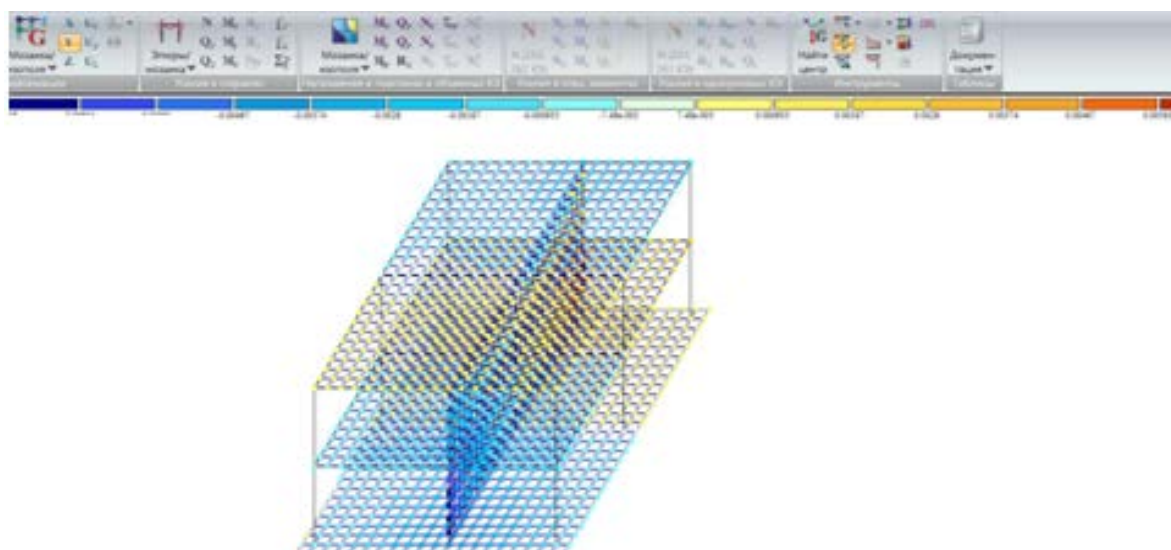


Рис. 25. Мозаика перемещений Y

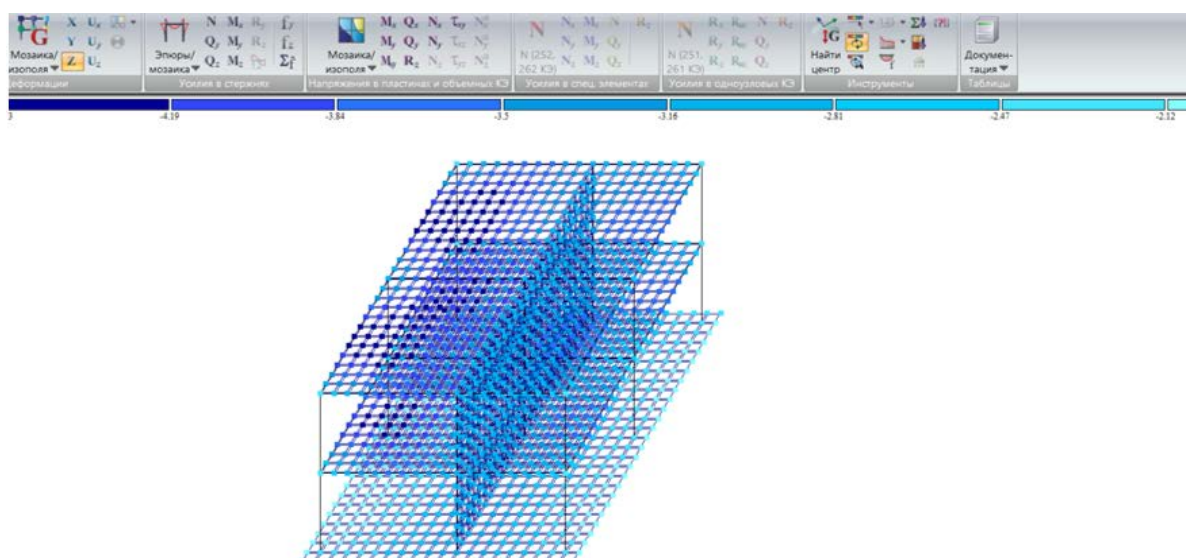


Рис. 26. Мозаика перемещений Z

Для вывода изополей или мозаик отдельного конструктивно-го элемента необходимо при помощи команды выделения выбрать необходимые нам элементы, а затем инструментом фрагментацией отсечь интересующую конструкцию. В качестве примера на рисунке 27 показана выделенная диафрагма с мозаикой изгибающих моментов M_x .

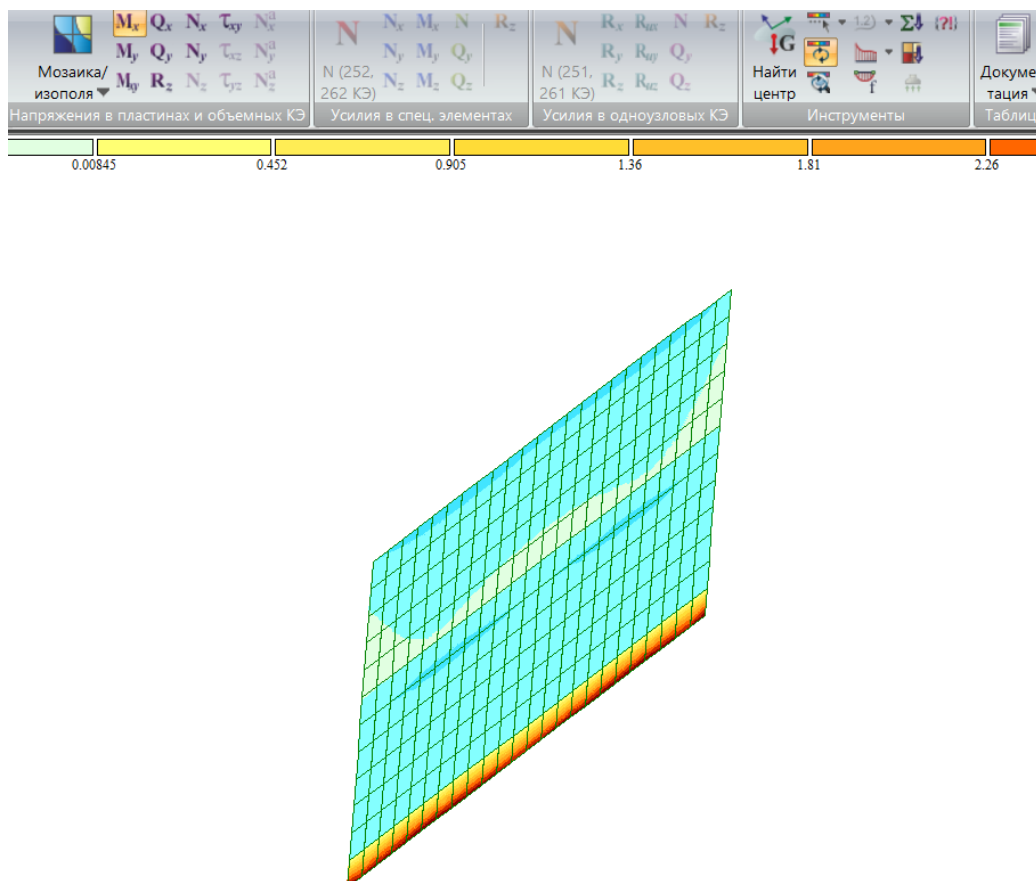


Рис. 27. Мозаика усилий M_x конструктивного элемента диафрагма

Для выполнения оценки результатов проделанной работы необходимо сравнить полученные данные с результатами расчета аналогичной модели и произвести расчеты внутренних усилий и деформаций в конструктивных элементах каркаса приближенными инженерными методами [1-4; 10, 11].

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 08.05.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ», СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ «СТРОИТЕЛЬСТВО БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Общие положения

Для специальности 08.05.01 студенты должны решить более сложные пространственные задачи с использованием совместных программ Лира и САПФИР.

В Лабораторной работе № 3 студенты осваивают методику расчета пространственного каркасно-стенового многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости (рис. 2.1). Исходные данные к лабораторной работе № 3 «Расчет пространственного каркасно-стенового многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости» даны в таблице 2.1.

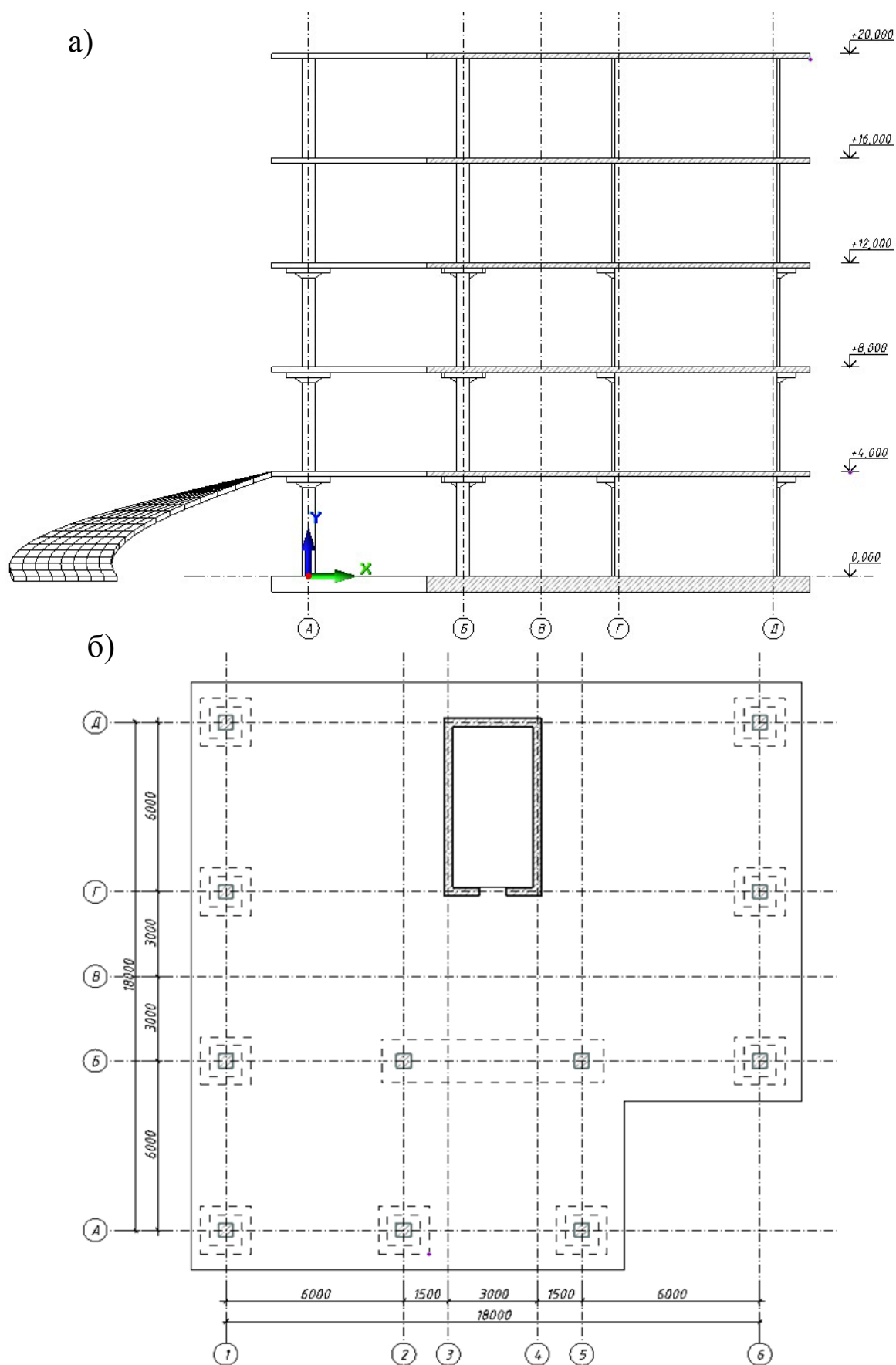


Рис. 2.1. Пример пространственного каркасно-стенового многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости с условными размерами:
а – поперечный разрез; б – план

Таблица 2.1

Контрольные задания к лабораторной работе № 3
«Расчет пространственного каркасно-стенового многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости»*

Первая буква фамилии	Размеры здания в плане, м	Количество этажей	Размеры сечения колонн, мм	Толщина элементов, мм			Последняя цифра зачет- ки (кода)	Нагрузки, т/м ²			
				Плита перекрытия	Стены	Фундамент плита		g ₁	g ₂	g ₃	g ₄ снеговая нагрузка
А	18x18	9	600x600	220	200	600	1	1.6	1.5	0.3	0.08
Б	24x18	10	600x600	200	300	800	2	1.5	1.6	0.3	0.1
В	18x18	8	600x500	220	300	700	3	1.5	1.4	0.2	0.05
Г	18x18	6	500x500	200	200	600	4	1.6	1.5	0.2	0.08
Д	36x24	11	600x600	200	300	800	5	1.5	1.6	0.3	0.1
Е	18x18	7	600x500	180	300	700	6	1.3	1.5	0.3	0.06
Ж	24x24	10	600x600	180	300	800	7	1.4	1.3	0.3	0.06
З	24x24	11	800x500	180	300	800	8	1.5	1.6	0.2	0.1
И	24x24	10	600x500	200	300	700	9	1.3	1.6	0.3	0.09
К	24x18	12	800x500	200	300	800	0	1.6	1.5	0.2	0.1
Л	24x18	14	800x600	200	300	900					
М	24x24	16	900x600	180	300	1000					
Н	30x30	16	900x600	200	300	1000					
О	30x30	16	900x600	220	300	1000					
П	24x30	16	900x600	220	300	1000					
Р	24x30	16	900x600	200	300	1000					
С	30x36	16	900x600	200	300	1000					
Т	36x36	16	900x600	180	300	1000					
У	24x30	14	800x600	220	300	900					
Ф	18x18	12	800x500	200	300	800					
Х	24x24	14	800x600	220	300	1000					
Ц	36x36	16	800x600	200	300	1200					
Ч	24x24	12	600x400	200	300	800					
Ш	36x24	14	600x600	220	300	800					
Щ	18x18	15	800x600	220	300	800					
Э	15x15	12	800x500	200	300	600					
Ю	15x15	14	800x600	200	300	800					
Я	12x12	6	500x500	200	300	500					

*) Высоту типового этажа и размеры капителей принять, как в примере № 6 [12].

Утолщение плиты перекрытия не делать.

В Лабораторной работе № 4 студенты осваивают методику расчета пространственного стержневого каркаса металлической башни. На рисунке 2.2 показана схема каркаса с условными размерами. Контрольные задания для Лабораторной работы № 4 «Расчет пространственного стержневого каркаса металлической башни» даны в таблице 2.2.

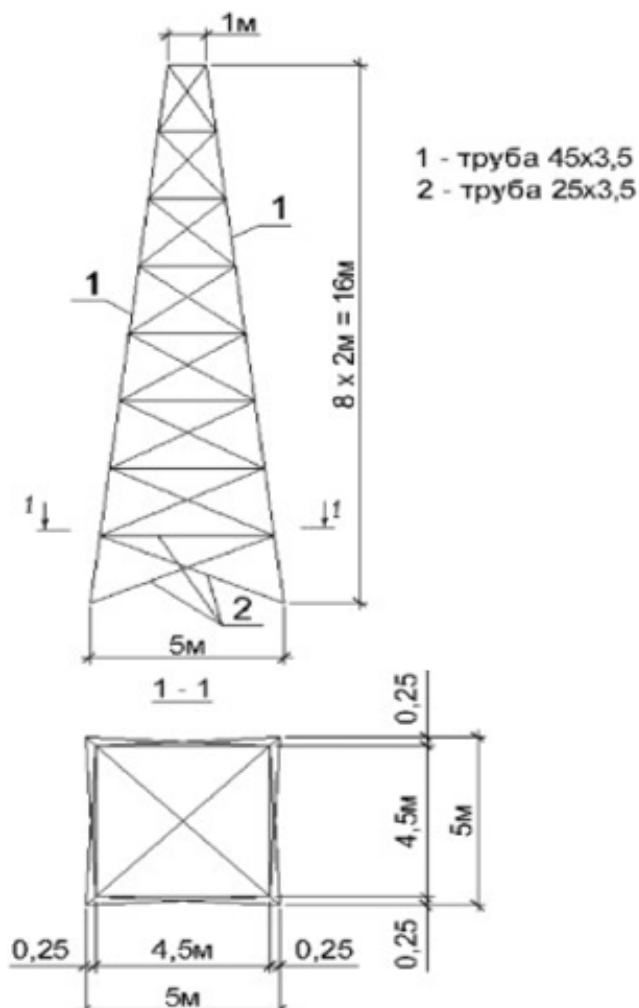


Рис. 2.2. Схема стержневого каркаса металлической башни с условными размерами

Нагрузки:

- загрузка 1 – собственный вес; кратковременная равномерно распределенная нагрузка, приложенная на верхние стержни;
- загрузка 2 – гололедная нагрузка;
- загрузка 3 – ветровая статическая нагрузка;
- загрузка 4 – ветровая нагрузка с учетом пульсации.

Таблица 2.2

Контрольные задания для лабораторной работы № 4
«Расчет пространственного стержневого каркаса металлической башни»

Первая буква фамилии	Высота башни, (м)	Размеры в плане по дошве, (м)	Размеры в плане поверху башни (м)	Вид сечения - трубы		Последн. Цифра зачетки (кода)	Нагрузки, т/м			
				Стержней решетки	Сток		p_1	p_2 гололед	p_3 ветров статич на высоте до 10 м	Ветров. статич. на высоте более 10 м
А	16	6х6	1х1	25х2.5	45х3	1	1	1.5	0.08	0.08; 0.1
Б	18	7х7	1х1	26х2.5	51х3.5	2	2	1	0.08	0.08; 0.12
В	18	8х8	1.2х1.2	26х2.5	51х3.5	3	1	2	0.1	0.1; 0.14
Г	18	9х9	1.2х1.2	26х2.5	51х3.5	4	1	1.5	0.08	0.08; 0.12
Д	20	10х10	1.5х1.5	27х2.5	60х3.8	5	2.5	1	0.06	0.06; 0.12
Е	16	5.5х5.5	1х1	25х2.5	45х3	6	2	2.5	0.06	0.06; 0.08
Ж	16	6.5х6.5	1х1	25х2.5	45х3	7	1	2	0.06	0.06; 0.08
З	18	8.5х8.5	1.2х1.2	26х2.5	51х3.5	8	2	1	0.1	0.1; 0.14
И	18	9.5х9.5	1.2х1.2	26х2.5	51х3.5	9	2.5	2	0.1	0.1; 0.14
К	20	10.5х10.5	1.5х1.5	27х2.5	60х3.8	0	2	2.5	0.1	0.1; 0.16
Л	20	11х11	1.5х1.5	27х2.5	60х3.8					
М	20	12х12	1.6х1.6	27х2.5	60х3					
Н	20	11.5х11.5	1.6х1.6	27х2.5	60х3					
О	20	12.5х12.5	1.6х1.6	27х2.5	60х3					
П	18	7.5х7.5	1.2х1.2	26х2.5	51х3.5					
Р	20	13х13	1.5х1.5	27х2.5	60х3					
С	20	14х14	1.5х1.5	27х2.5	60х3					
Т	20	13.5х13.5	1.2х1.2	27х2.5	60х3					
У	22	14.5х14.5	1.8х1.8	28х2.5	70х4					
Ф	22	15х15	2х2	28х2.5	70х4					
Х	22	15.5х15.5	2х2	28х2.5	70х4					
Ц	24	16х16	2х2	30х2.5	76х4					
Ч	24	16.5х16.5	2х2	30х2.5	76х4					
Ш	14	4х4	1х1	25х2.5	45х3					
Щ	14	4.5х4.5	1х1	25х2.5	45х3					
Э	15	5х5	1х1	25х2.5	45х3					
Ю	15	5.5х5.5	1х1	25х2.5	45х3					
Я	16	6.6х6.6	1х1	25х2.5	45х3					

Лабораторная работа № 3

Расчет пространственного каркасно-стенового многоэтажного железобетонного здания с ядром жесткости

Для лучшего понимания студентами поставленной задачи приведена последовательность выполнения опций в виде 16 этапов.

Этап 1. Создание нового проекта и настройка его свойств

Для создания нового проекта надо открыть меню приложения и выберите пункт «Новый» (кнопка  на панели инструментов).

Настройка свойств проекта.

Вызвать диалоговое окно «Параметры» щелчком по кнопке – «Свойства проекта» (панель  «Проект» на вкладке «Создание»)

В этом диалоговом окне убедиться, что в качестве текущего норматива выбран СП 63.13330.2018. Остальные параметры оставьте по умолчанию (рис. 1).

Щелкнуть по кнопке «Применить».

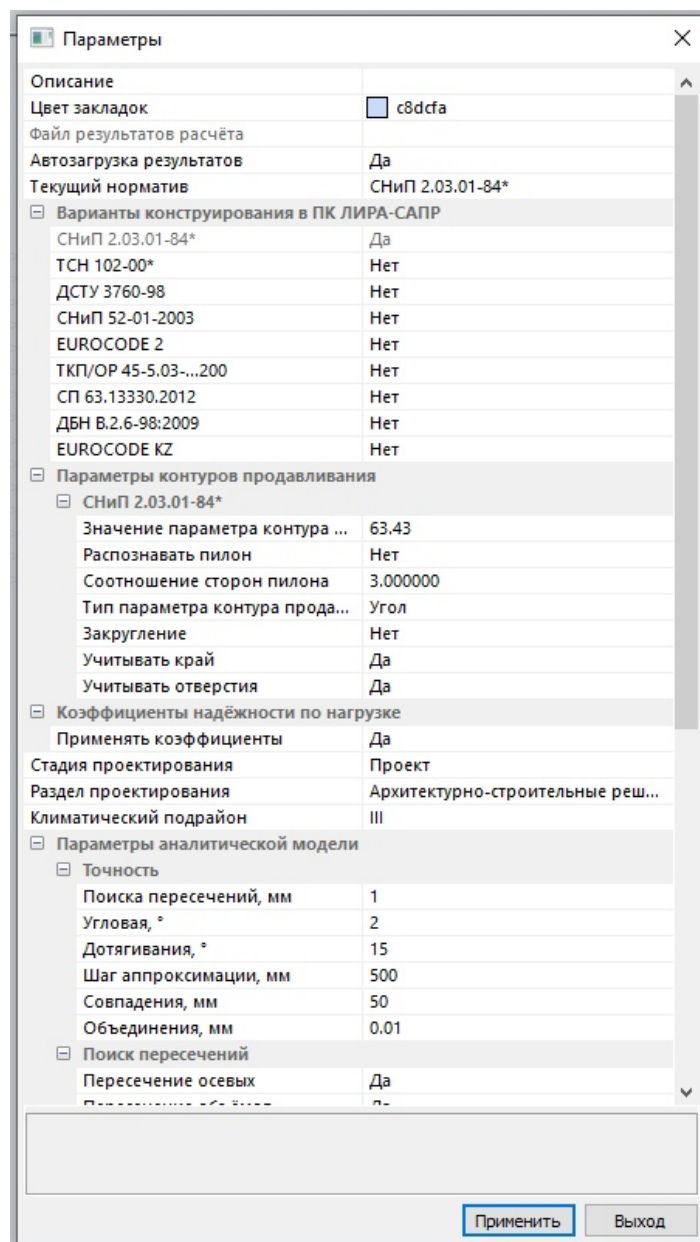


Рис. 1. Диалоговое окно «Параметры»

Визуализация рабочего пространства.

Для настройки визуализации рабочего пространства щелкните по кнопке  «Настройки визуализации» на панели инструментов «Визуализация».

В открывшемся диалоговом окне «Настройки визуализации» следует задать следующие характеристики (рис. 2):

1. Установить флажок для метрической сетки – Только в 1-м квадранте;
2. Задать кол-во ячеек – 20.

После этого щелкнуть по кнопке «Подтвердить», чтобы закрыть диалоговое окно и применить сделанные изменения.

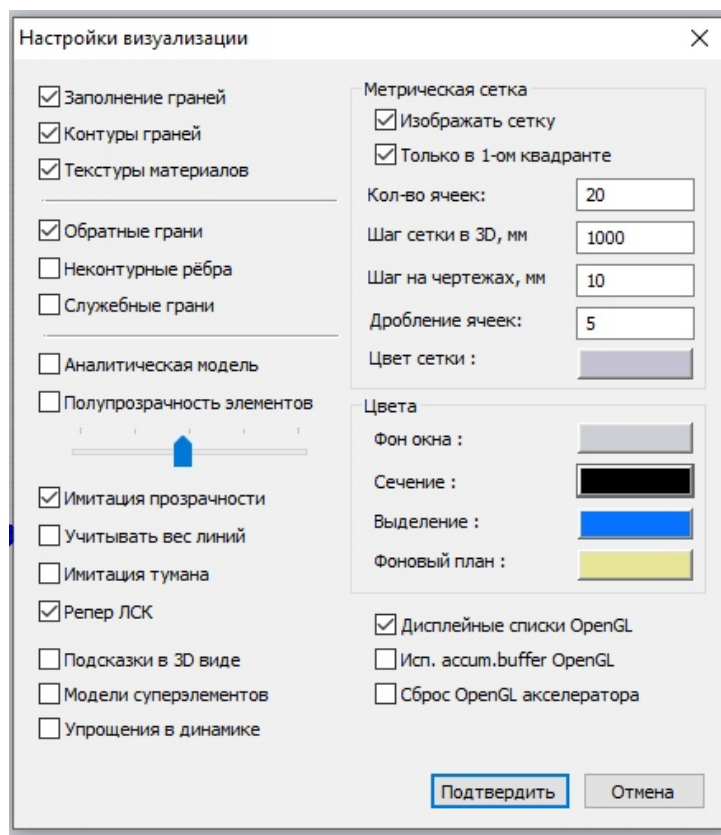


Рис. 2. Диалоговое окно «Настройки визуализации»

Задание имени проекта.

Для сохранения информации о проекте открыть меню приложения и выбрать пункт «Сохранить» (кнопка  на панели быстрого доступа).

В появившемся диалоговом окне «Сохранить как» задайте:

1. имя файла – пример 6;
2. папку, в которую будет сохранен этот проект.

Щелкните по кнопке «Сохранить».

Этап 2. Корректировка свойств этажа

Щелкнуть по строке  1-й этаж 0,000 (4) в окне «Структура» в правой части рабочего пространства, чтобы отобразить свойства этажа в диалоговом окне «Свойства».

В диалоговом окне «Свойства» задать:

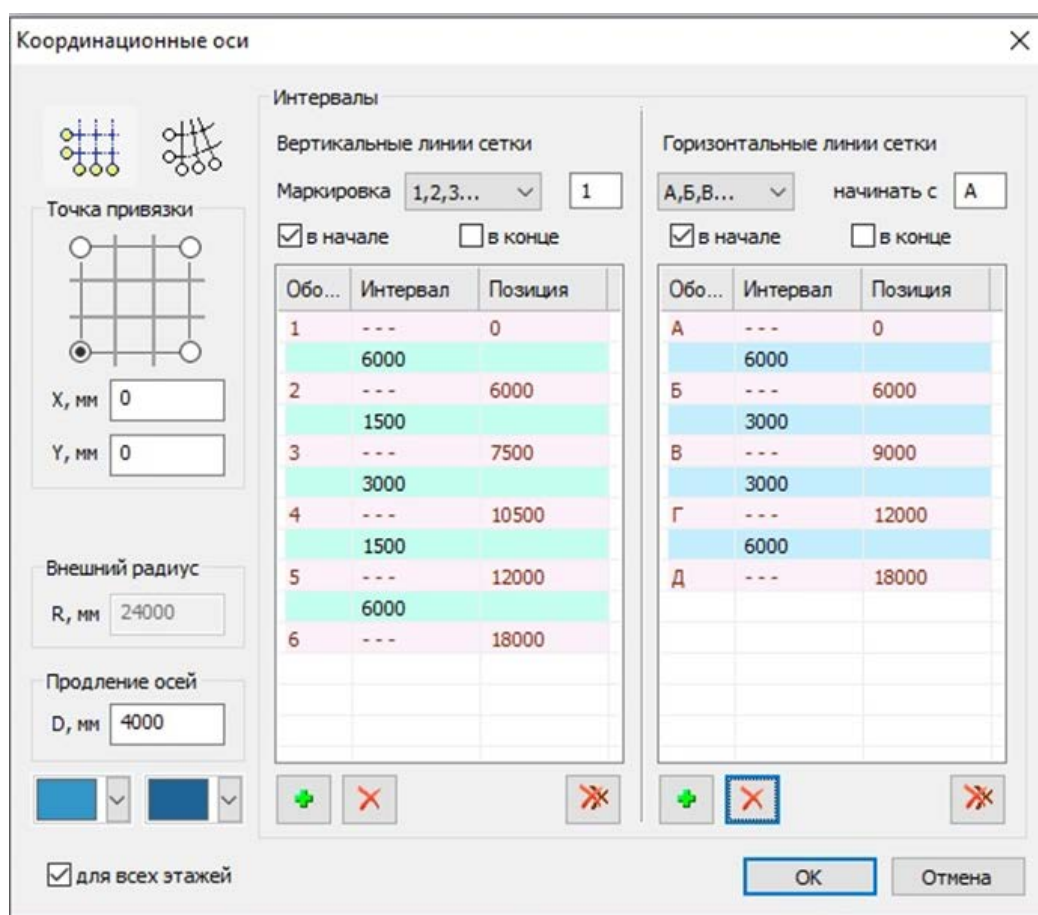
1. Высота этажа, мм – 4000.
2. Остальные параметры принимаются по умолчанию.

После этого щелкните по кнопке  – «Применить к объекту» в диалоговом окне «Свойства» (клавиша «Enter» на клавиатуре).

Этап 3. Создание координационных осей

Создание прямоугольной сетки в осях 1-6 и А-Д

Чтобы вызвать диалоговое окно «Координационные оси» (рис. 3) выберите команду  – «Оси» в раскрывающемся списке «Оси» (панель «Инструменты построения» на вкладке «Создание»).



Обо...	Интервал	Позиция
1	---	0
	6000	
2	---	6000
	1500	
3	---	7500
	3000	
4	---	10500
	1500	
5	---	12000
	6000	
6	---	18000

Обо...	Интервал	Позиция
A	---	0
	6000	
Б	---	6000
	3000	
В	---	9000
	3000	
Г	---	12000
	6000	
Д	---	18000

Рис. 3. Диалоговое окно «Координационные оси»

В этом диалоговом окне задать следующие параметры:

1. Выбрать тип сетки – «Прямоугольная сетка осей» (по умолчанию левый нижний угол указан как точка привязки; координаты точки привязки – $X = 0$ мм, $Y = 0$ мм;
2. Задайте продление осей $D = 4000$ мм;
3. Щелкните по кнопке  – «Добавить интервал» в поле для вертикальных линий сетки;

4. Выделить значение в столбце «Интервал» и измените его на 6000;

5. Добавьте таким способом еще несколько интервалов между вертикальными линиями сетки (маркировка вертикальных линий выполняется арабскими цифрами 1, 2, 3...) со значениями 1500, 3000, 1500, 6000 мм. Результирующие позиции осей высчитываются автоматически;

6. Выбирать для горизонтальных линий сетки из раскрывающегося списка маркировку А, Б, В...

7. Задайте интервалы между горизонтальными линиями сетки – 6000, 3000, 3000, 6000 мм. Результирующие позиции осей высчитываются автоматически.

После этого щелкните по кнопке «ОК» (в результате в графическом окне получаем изображение прямоугольной сетки координационных осей – рис. 4).

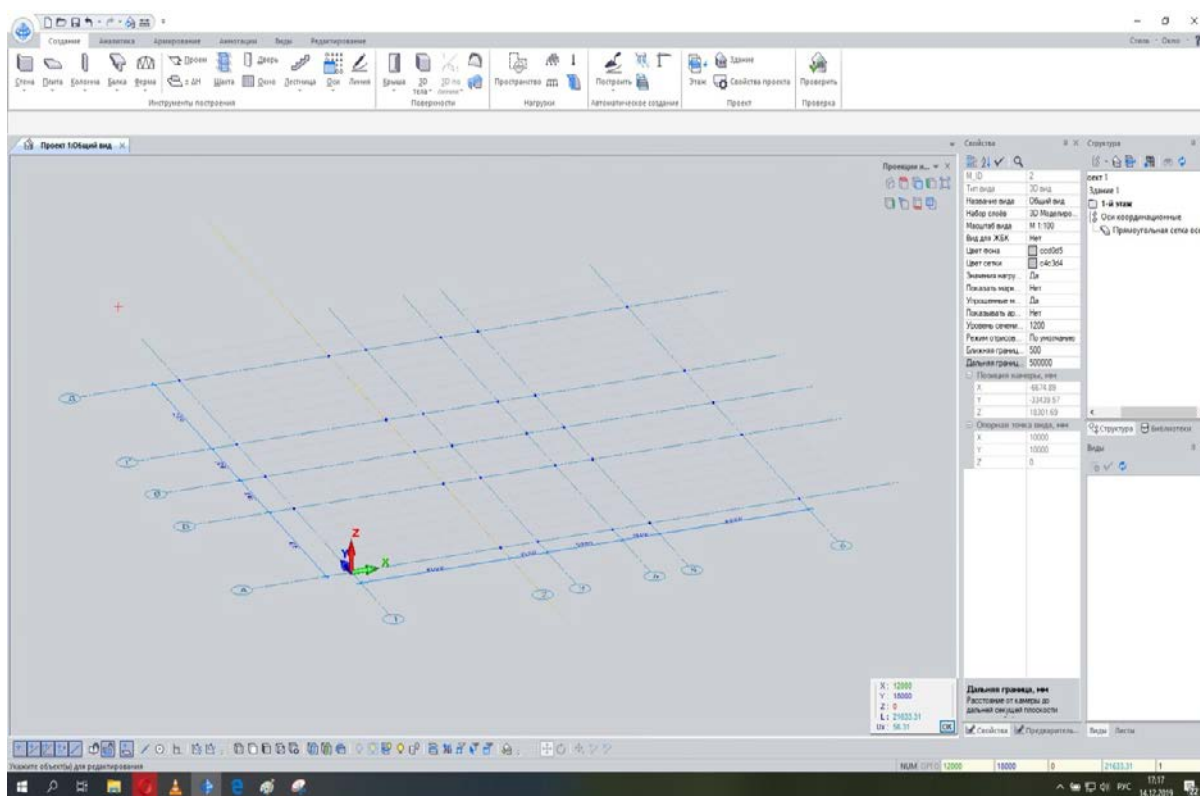


Рис. 4. Изображение прямоугольной сетки координационных осей

Автоматическая простановка размеров для сетки координационных осей.

Выделить сетку координационных осей с помощью курсора (сетка окрасится в голубой цвет). В строке свойств инструмента Оси щелкните по кнопке  – «Обозначить размеры».

Нажать клавишу «Esc» на клавиатуре, чтобы снять выделение с осей.

Этап 4. Создание колонн

Выполнить щелчок по кнопке  – «Колонна» в раскрывающемся списке «Колонна» (панель «Инструменты построения» на вкладке «Создание»). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения колонны.

В диалоговом окне «Свойства построения»: «Колонна» щелкнуть напротив строки «Материал».

В открывшемся диалоговом окне «Материалы» (рис. 5) выбирать из списка материал Бетон В30.

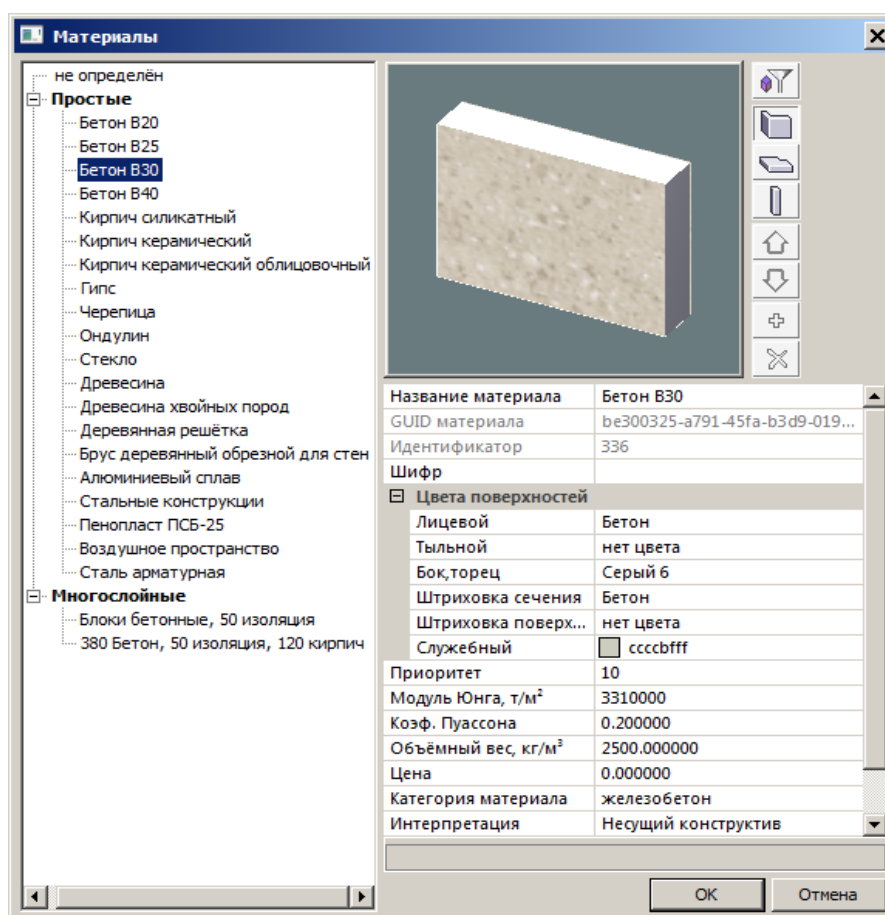
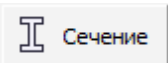


Рис. 5. Диалоговое окно «Материалы»

После этого щелкнуть по кнопке «ОК» (после закрытия списка строка Бетон Б30 демонстрируется напротив параметра «Материал» как текущий выбранный материал).

Вызвать диалоговое окно «Параметры сечения» (рис. 6) щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента «Колонна».

В открывшемся диалоговом окне задать следующие параметры:

1. В списке типов сечений выбирать тип «Прямоугольник (S0)»;

2. Задайте параметр $b = 600$ мм;

3. Задайте параметр $h = 800$ мм

После этого щелкните по кнопке «ОК».

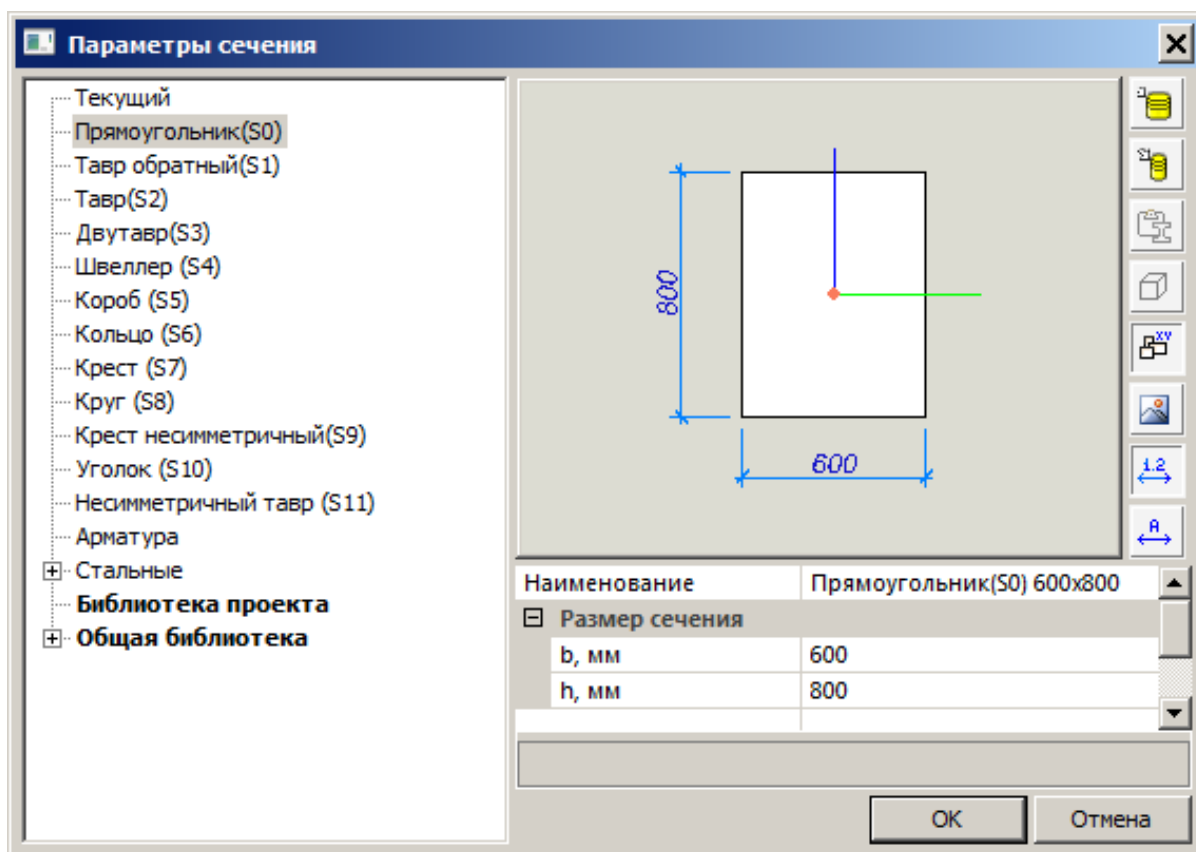
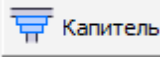


Рис. 6. Диалоговое окно «Параметры сечения»

В окне «Свойства построения: Колонна» установить «Формировать АЖТ» – «Да» для автоматической генерации АЖТ (абсолютно жесткого тела) в теле плиты по контуру сечения колонны.

После этого щелкнуть по кнопке  – «Применить к объекту». Расположить колонны на пересечениях осей Б-2 и Б-5.

Создание колонн с капителями.

Вызвать диалоговое окно «Капитель» (рис. 49) щелчок по кнопке  в строке свойств инструмента «Колонна».

В открывшемся диалоговом окне щелкнуть по кнопке  – «Добавить ступень», чтобы создать ступень капители и введите для нее следующие данные: h , мм = 200; b , мм = 300, затем установите флажок – «Наклон».

Еще раз щелкнуть по кнопке  - «Добавить ступень», чтобы создать вторую ступень капители и введите для нее следующие данные: h , мм = 200; b , мм = 300.

Установите флажок «Аналитическая модель» для визуализации вида созданной капители в аналитике.

После этого щелкните по кнопке «Применить».

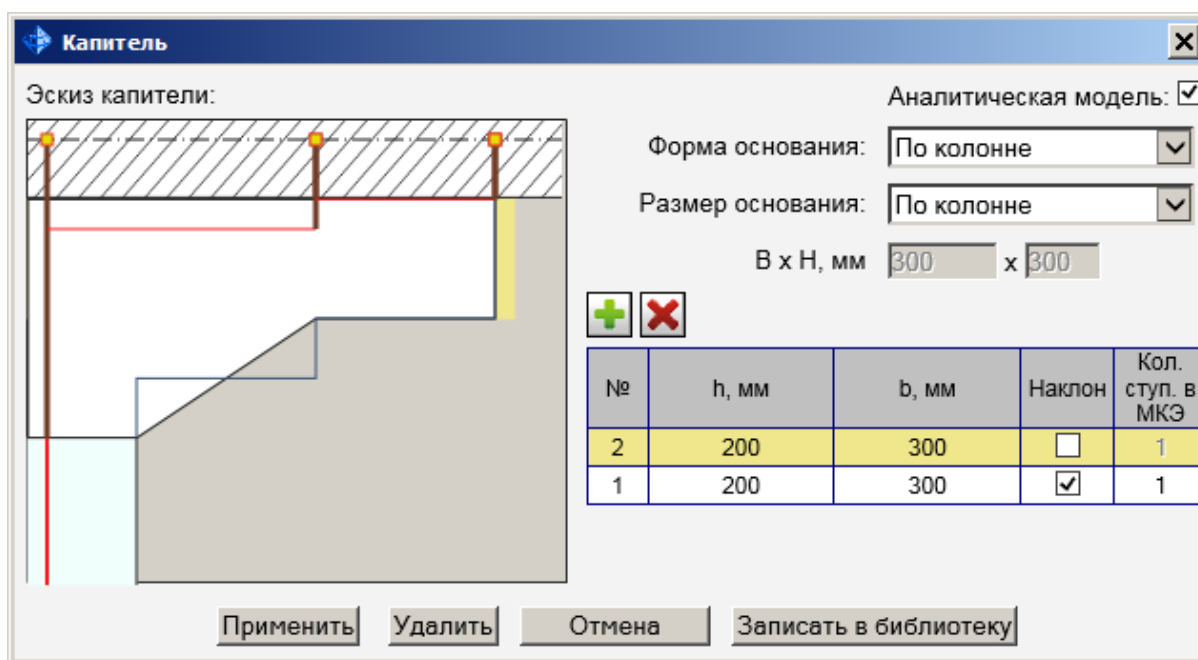


Рис. 7. Диалоговое окно «Капитель»

Расположить колонны, как показано на рисунке 8.

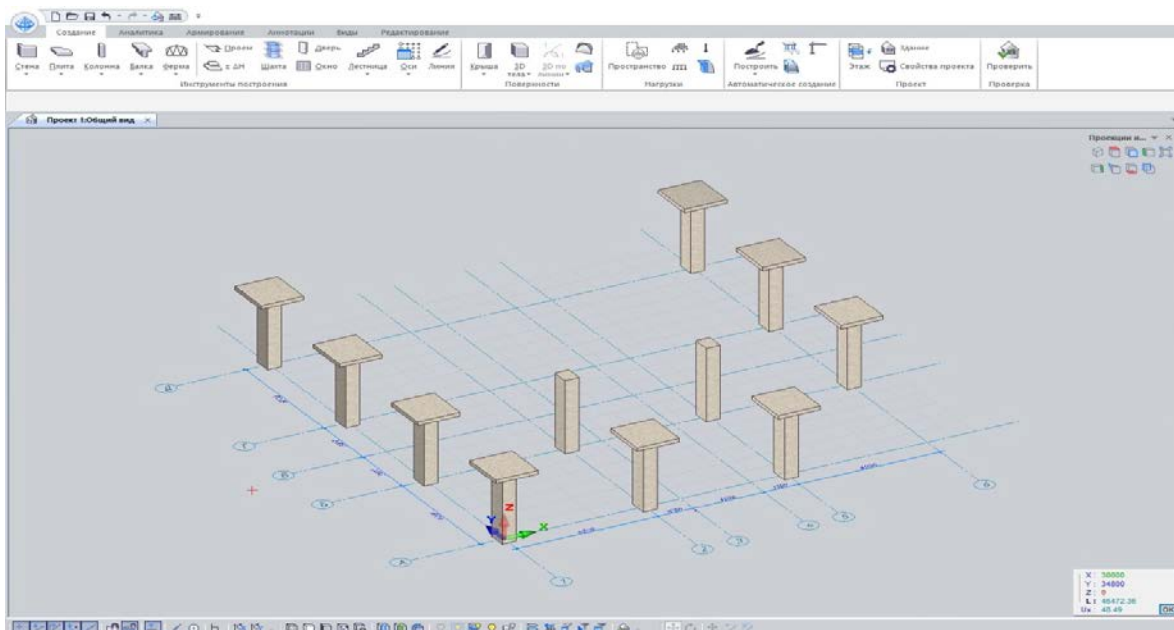


Рис. 8. Схема расположения колонн

Нажать клавишу «Esc» на клавиатуре, чтобы завершить построение колонн.

Этап 5. Создание стен

Создание стен для лестничной клетки.

Щелкнуть по кнопке  – «Несущая стена» в раскрывающемся списке «Стена» (панель «Инструменты» построения вкладка «Создание»).

В диалоговом окне «Свойства построения: Стена» задать следующее:

1. Материал – Бетон Б25;
2. Формировать АЖТ – «да».

После этого щелкнуть по кнопке  – «Применить».

В строке свойств инструмента «Стена» задать следующее:

1. Способ построения  – «Прямоугольник»;
2.  – «Толщина» – 200;
3. Привязка – по оси;
4. Уровень основания – 0;
5. Верхняя отметка – 0 от верха этажа.

Выполнить построение ядра жесткости, последовательно вводя пару точек 2Д-4Г (рис. 9).

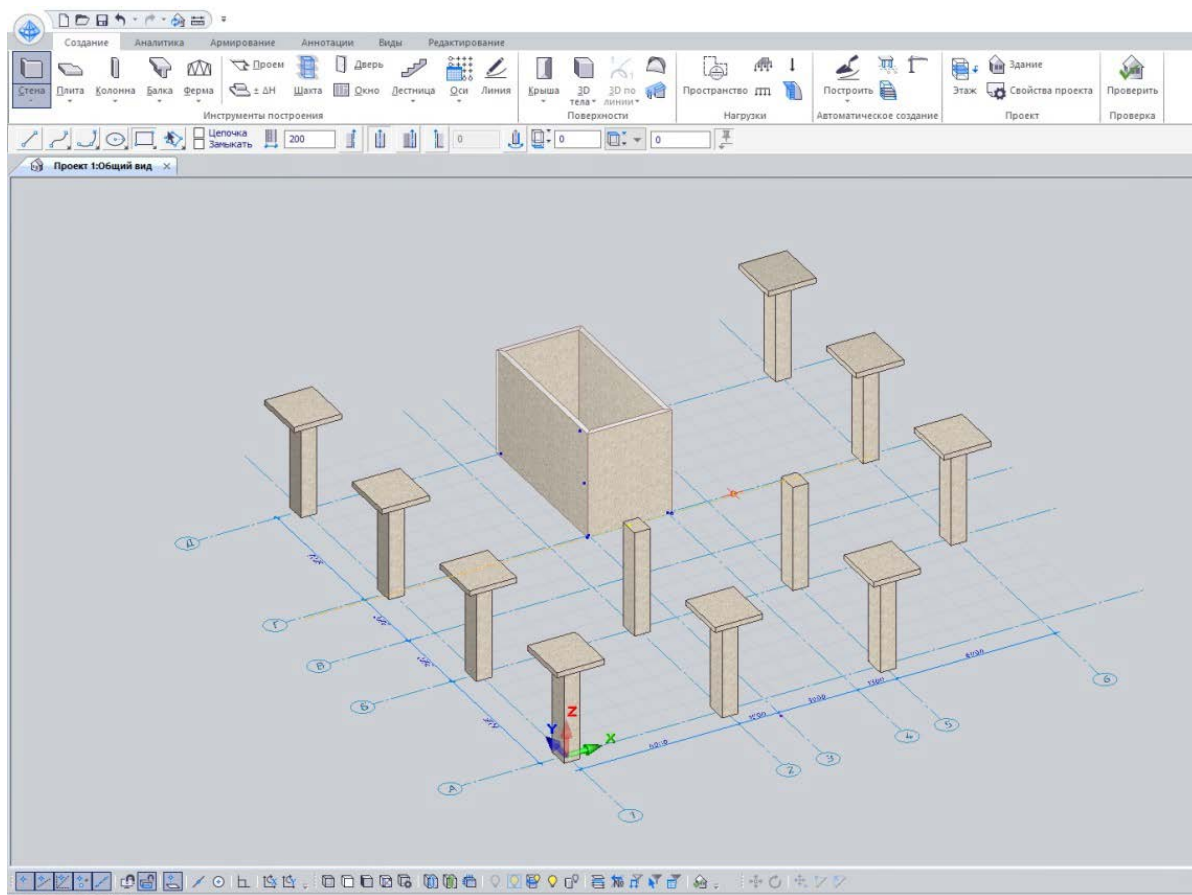
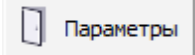


Рис. 9. Схема расположения колонн, стен и ядра жесткости

Этап 6. Задание дверного проема

Выполнить щелчок по кнопке  – «Дверь» (панель «Инструменты построения» вкладка «Создание»).

В строке свойств инструмента «Дверь» щелчком по кнопке  «Параметры» вызвать диалоговое окно «Параметры дверей» (рис. 10).

В открывшемся диалоговом окне выполнить следующее:

1. Развернуть список «Прямоугольные» и выберите тип дверей – «Прямоугольный проем».

После этого выполнить щелчок по кнопке «ОК».

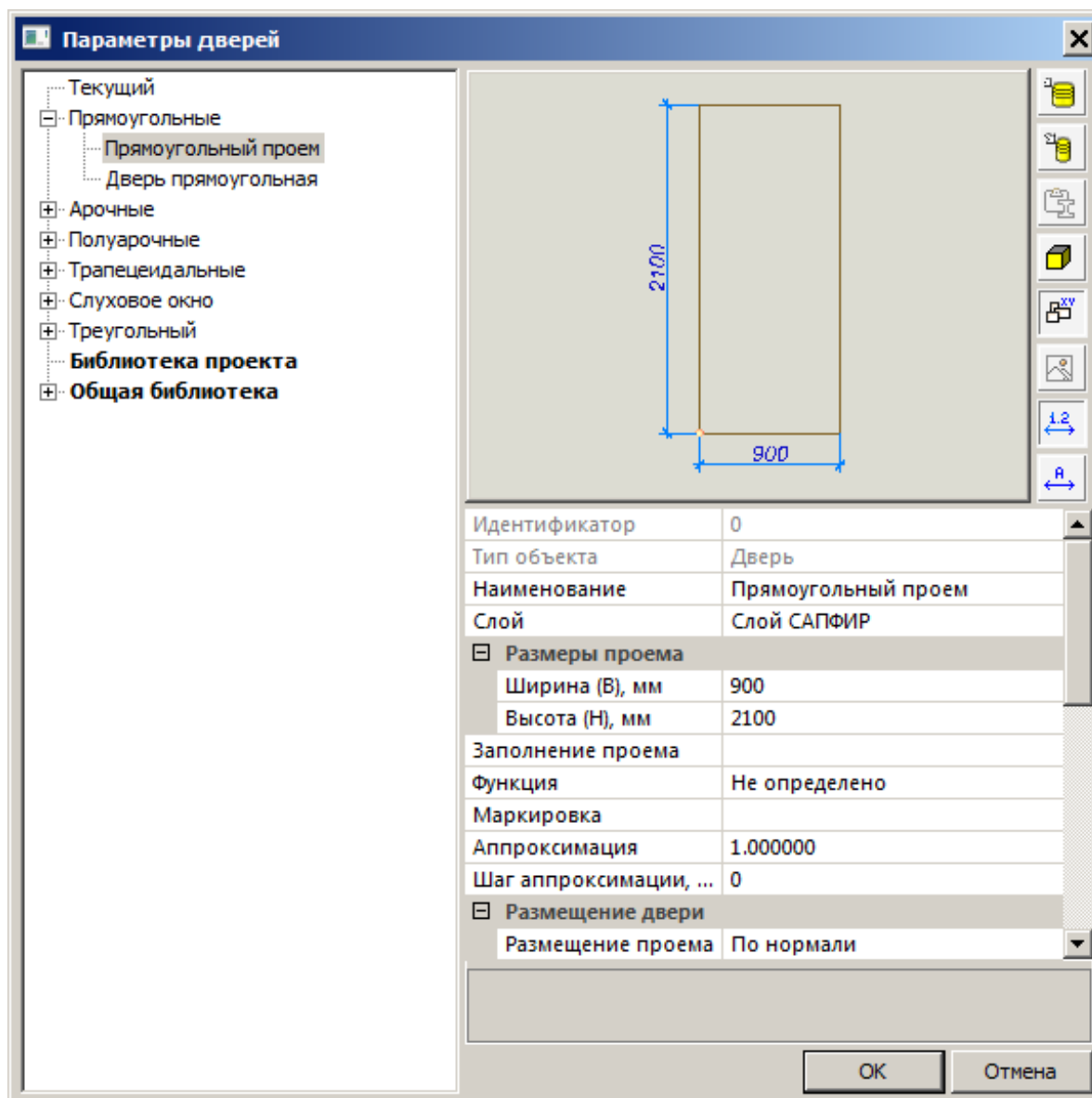


Рис. 10. Диалоговое окно «Параметры дверей»

В строке свойств инструмента Дверь задайте следующее:

1. Привязка двери – по центру;
2. Ширина двери – 900 мм;
3. Высота двери – 2100 мм.

Установить проем в центр стены (для центра стены отображается треугольный розовый маркер привязки), расположенной на оси Г (рис. 11).

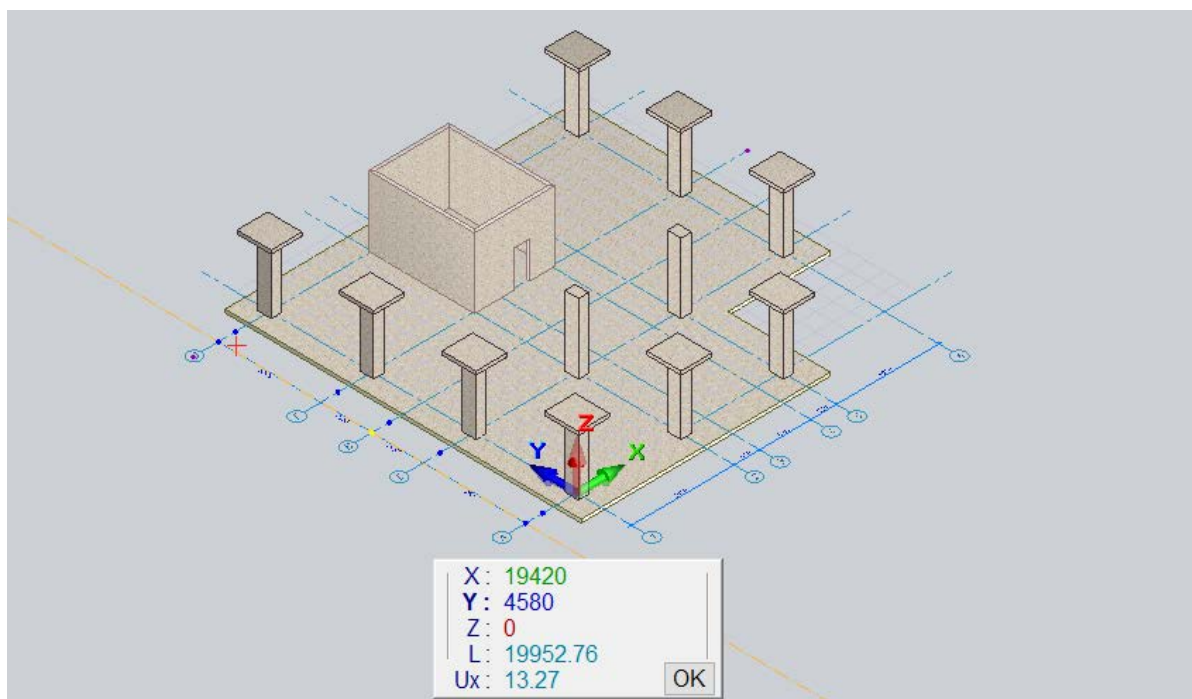


Рис. 11. Схема расположения колонн и стен с дверным проемом

Этап 7. Создание и редактирование плиты перекрытия

Выполнить щелчок по кнопке  - «Плита» в раскрывающемся списке «Плита» (панель «Инструменты построения» вкладка «Создание»)

Для ввода координат точки, в которую необходимо перенести ЛСК выполнить следующие действия:

В диалоговом окне «Свойства построения: Плита» задать следующее:

1. Материал – Бетон Б25;

После этого щелкнуть по кнопке  – «Применить».

В строке свойств инструмента Плита задать следующее

1. Способ построения  – «Прямоугольник»;
2.  Толщина – 200;
3. Уровень  – 0 от низа этажа;

Начать построение последовательно вводя 2 точки (начало и конец диагонали прямоугольника):

1. Нажать клавишу X на клавиатуре (активируется поле ввода координаты X в окне координат) и введите значение (–1170);

2. Переключитесь с помощью стрелки вниз на клавиатуре на координату Y и введите для нее значение (–1420);

3. Подтвердите ввод координат клавишей «Enter» на клавиатуре (введется первая точка диагонали плиты и в динамике будет отрисовываться строящаяся плита);

4. Набрать с клавиатуры 19420 (число попадет в поле редактирования для координаты Y , как последняя вводимая координата);

5. Переключится с помощью стрелки вверх с клавиатуры на координату X и введите значение 19420;

6. Нажать клавишу «Enter» для подтверждения ввода координат. На рисунке 12 можно увидеть созданный контур плиты.

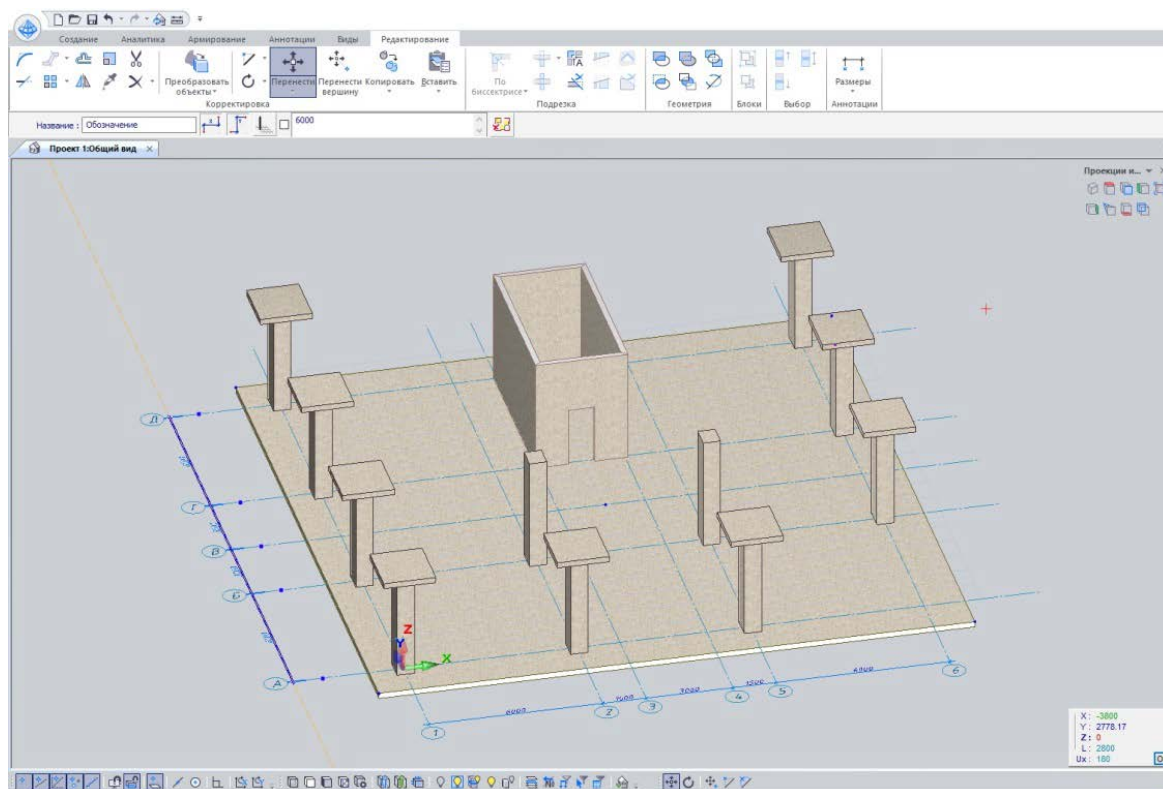


Рис. 12. Контур плиты перекрытия

Перенос обозначения.

Выделить размерную цепочку по X для осей (программа автоматически активирует вкладку «Редактирование»).

Указать базовую точку одну из контрольных точек размерной линии (вначале или в конце), нажмите ЛКМ и удерживая ее нажатой потяните размерную цепочку. Отпустить ЛКМ.

Выполнить щелчок в месте, где хотите расположить размерную линию.

Нажать «Esc» на клавиатуре, чтобы снять выделение с размеров. Повторить тоже самое для размерной цепочки по Y .

Редактирование контура плиты перекрытия.

Выделите плиту перекрытия (автоматически активируется вкладка «Редактирование»).

Щелкнуть по кнопке  – «Вставить вершину» (панель «Корректировка» на вкладке «Редактирование»).

Повернуть модель таким образом, чтобы правый угол плиты оказался на переднем плане (пересечение осей 6 и А).

Щелкнуть в грань плиты параллельную оси X (ближнюю к оси A) и удерживая нажатой ЛКМ потянуть грань на себя (контур плиты начнет ломаться).

Ввести с клавиатуры координаты точки ($X = 13420$, $Y = -1420$).

Нажать клавишу «Enter» для подтверждения.

Между созданной вершиной 1 и правым углом плиты вставить вершину 2 с координатами ($X = 13420$, $Y = 4580$) (рис. 13).

Перенесите правый угол плиты в точку с координатами ($X = 19420$, $Y = 4580$).

Нажать «Esc» на клавиатуре, чтобы снять выделение с плиты.

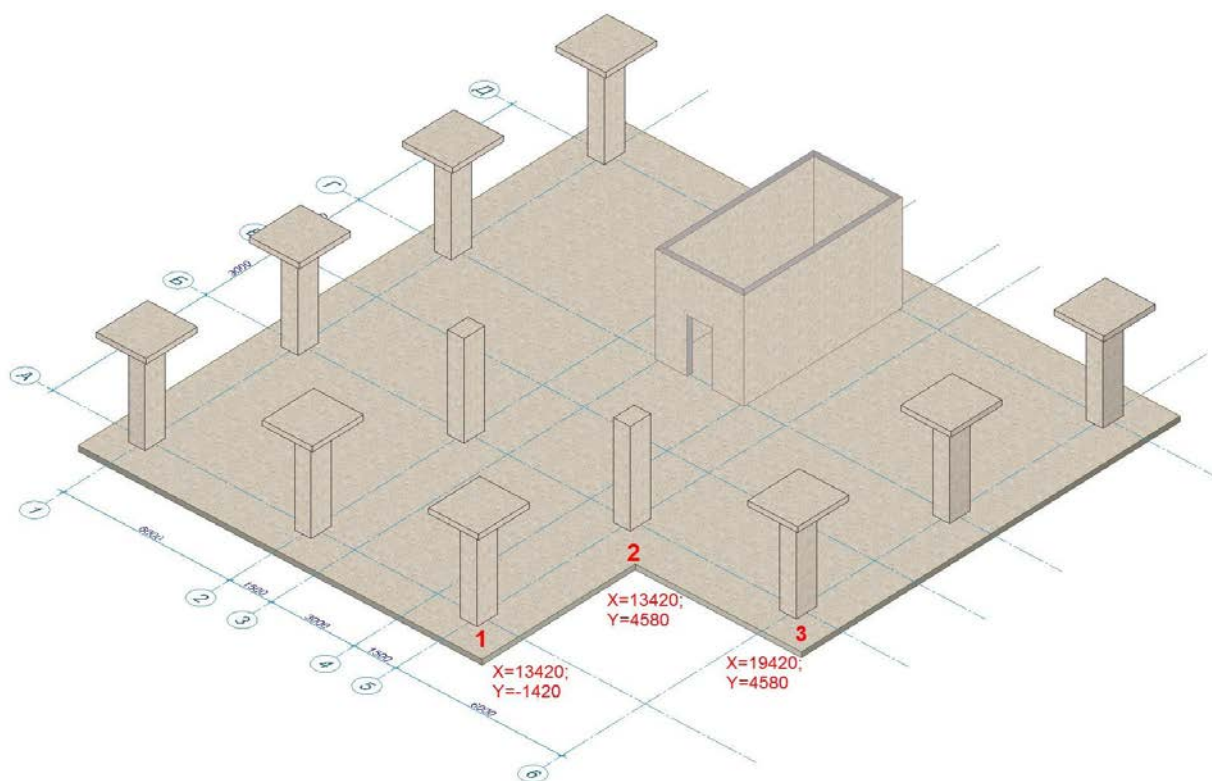


Рис. 13. Контур плиты после корректировки

Создание отверстия в плите перекрытия.

Чтобы отобразить модель в проекции на горизонтальную плоскость XOY щелкнуть по кнопке  – «Вид сверху» на панели инструментов «Проекция».

Щелкнуть по кнопке  – «Проем» (панель «Инструменты построения» на вкладке «Создание»).

Выделить плиту перекрытия.

В строке свойств инструмента «Проем» выберите способ построения  – «Прямоугольник».

Задать прямоугольное отверстие для лестничной клетки в ядре жесткости, вводя последовательно пару точек вершин прямоугольника по диагонали (рис. 14).

Нажать клавишу «Esc» на клавиатуре, чтобы снять выделение с плиты.

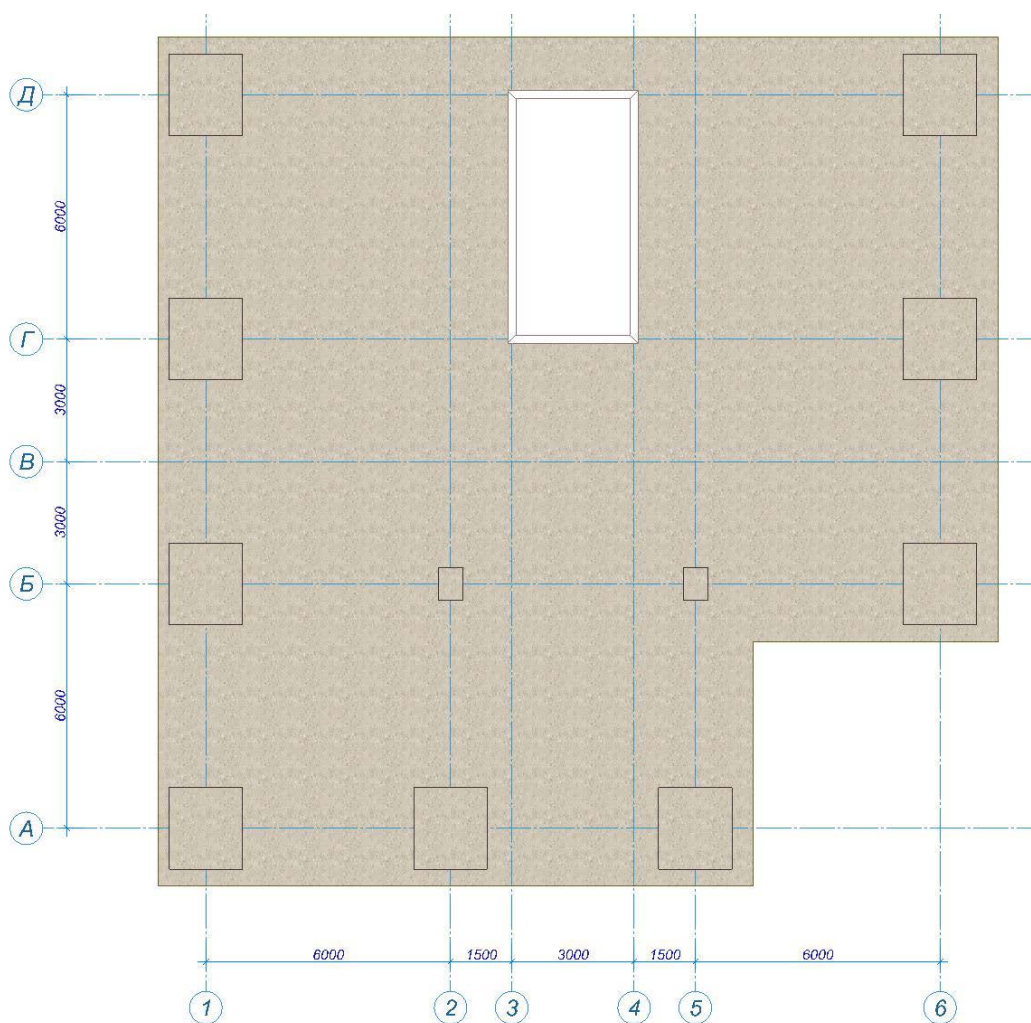


Рис. 14. Расположение проема в плите перекрытия вид сверху

Этап 8. Копирование этажей

Вызовите диалоговое окно «Создать новый этаж» (рис. 15) щелчком по кнопке  – «Этаж» (панель «Проект» на вкладке «Создание»).

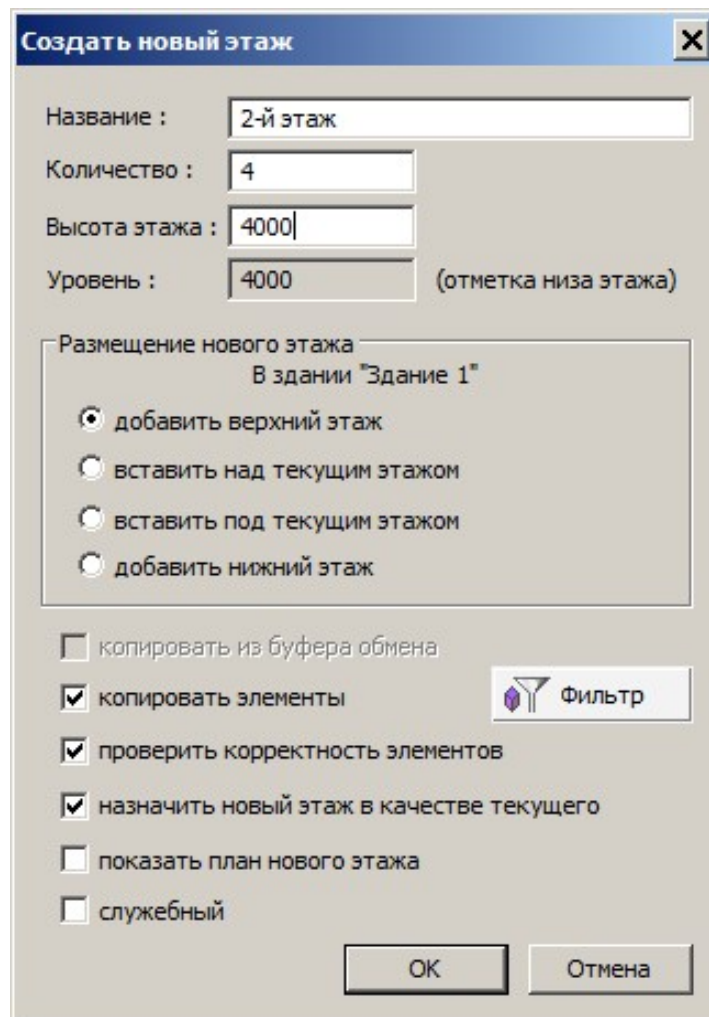


Рис. 15. Диалоговое окно «Создать новый этаж»

В открывшемся диалоговом окне введите следующие данные:

1. Количество – 4;
2. Высота этажа – 4000 мм;
3. Копировать элементы;
4. Щелкните по кнопке  и снимите флажки со всех элементов, щелкнув по кнопке  – «Отключить все»;
5. Установите флажки для элементов, которые будут скопированы: стена, колонна, перекрытие;
6. Щелкните по кнопке «ОК»;
7. После этого щелкните по кнопке «ОК».

Чтобы увидеть изображение модели целиком щелкните по кнопке  – Показать все (двойной щелчок средней кнопкой мыши в графической области).

Корректировка 4-го и 5-го этажей.

В диалоговом окне Структура (рис. 16) щелчком по строке  4-й этаж +12,000 разверните список элементов 4-го этажа.

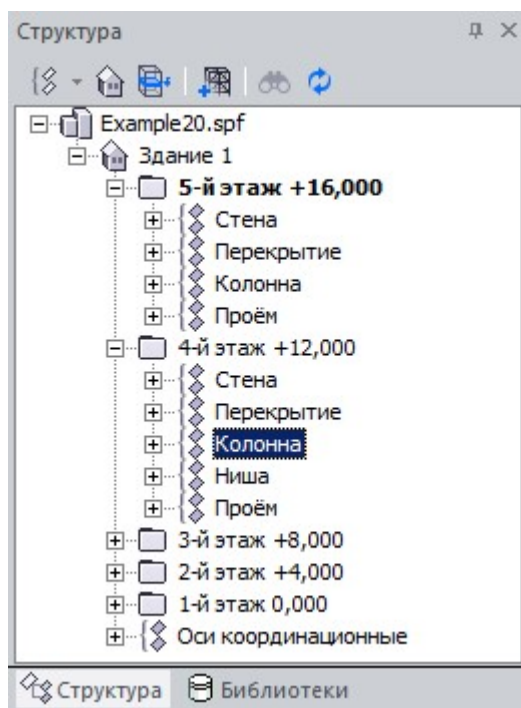


Рис. 16. Диалоговое окно «Структура»

Выделите строку «Колонна» и щелкните правой кнопкой мыши.

В появившемся контекстном меню выберите команду «Выделить» для выделения всех колонн 4-го этажа.

Выделите строку Колонна и щелкните правой кнопкой мыши.

В появившемся контекстном меню выберите команду Выделить для выделения всех колонн 4-го этажа.

Щелкните по кнопке  – Выделить вверх (панель Выбор на вкладке Редактирование), чтобы выделить колонны 5-го этажа.

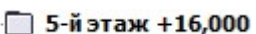
В диалоговом окне Параметры 11 объектов задайте следующее:

- щелкните напротив строки Капитель;
- В открывшемся диалоговом окне Капитель выполните щелчок по кнопке Удалить.

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с колонн.

При нажатой правой кнопке мыши, поверните камеру таким образом, чтобы было видно утолщение в плите пола 5-го этажа.

Выделите утолщение в плите пола 5-го этажа.

Щелкните по кнопке  – Удалить (панель Корректировка на вкладке Редактирование). Проверьте в диалоговом окне Структура, чтобы  был выбран в качестве текущего (текущий этаж выделяется жирным цветом).

Выделите плиту пола 5-го этажа.

Щелкните по кнопке  – Копировать (Ctrl+C) в раскрывающемся списке Копировать (панель Корректировка на вкладке Редактирование).

Выполните щелчок по кнопке  – Вставить (Ctrl+V) в раскрывающемся списке Вставить (панель Корректировка на вкладке Редактирование), чтобы вставить копию плиты на 5-й текущий этаж.

В строке свойств инструмента Плита задайте уровень –  – от верха этажа.

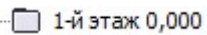
Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с плиты.

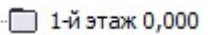
Используя колесо прокрутки, приблизьтесь к проему лестничной клетки в верхней плите перекрытия и выделите его, щелкнув в грань проема.

Щелкните по кнопке  – Удалить (панель Корректировка на вкладке Редактирование).

Чтобы увидеть отображение всей модели на экране щелкните по кнопке  – Показать все (двойной щелчок средней кнопкой мыши в графической области) на панели Проекция.

Редактирование фундаментной плиты.

В диалоговом окне Структура выделите строку  и щелкните правой кнопкой мыши.

Выберите команду Назначить этаж текущим из контекстного меню (двойной щелчок по строке ).

Приблизьтесь к плите в уровне низа первого этажа, используя колесо прокрутки.

Выделите утолщение в плите и проем лестничной клетки, удерживая нажатой клавишу Shift на клавиатуре.

Щелкните по кнопке ✕ – Удалить (панель Корректировка на вкладке Редактирование). Выделите плиту в уровне низа первого этажа.

В строке свойств инструмента Плита введите  – Толщина 600 мм.

В диалоговом окне Свойства в блоке Граничные условия задайте следующее:

- CI , тс/м – 1000;
- вызовите диалоговое окно Связи (рис. 17) щелчком напротив строки Связи; в открывшемся диалоговом окне установите флажок по X, Y;
- щелкните по кнопке ОК.

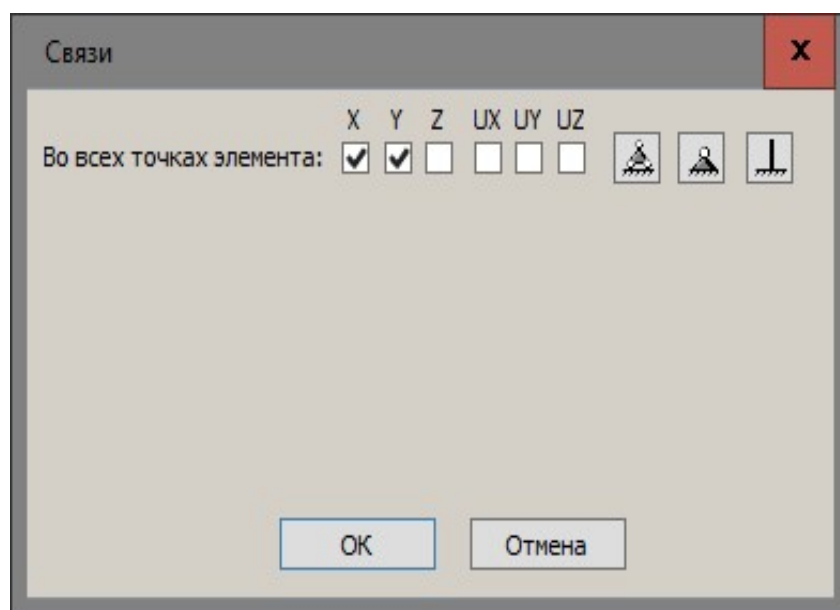


Рис. 17. Диалоговое окно «Связи»

После этого щелкните по кнопке ✓ – Применить к объекту.

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с фундаментной плиты. Полученный результат выглядит следующим образом (рис. 18).

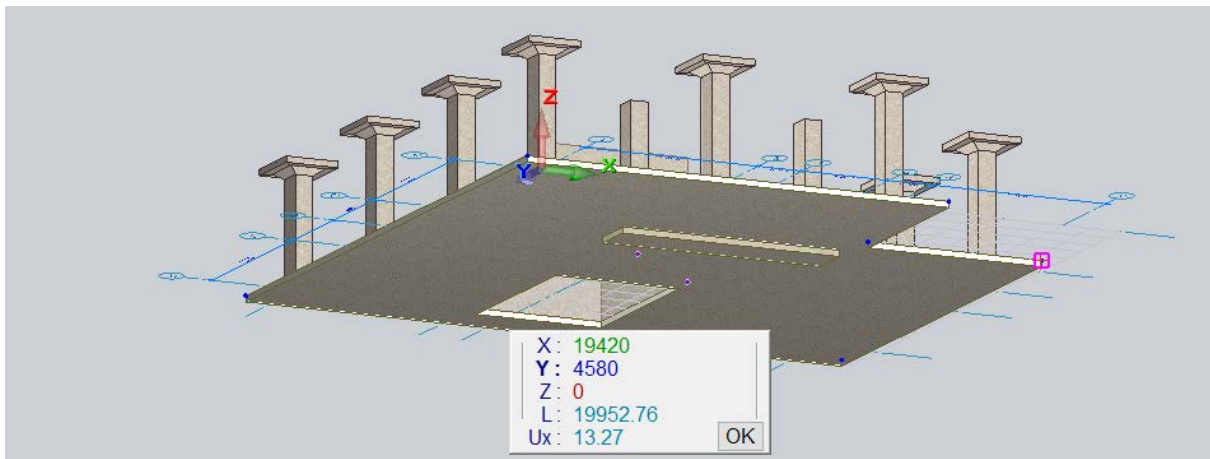


Рис. 18. Утолщение фундаментной плиты

Этап 9. Моделирование пандуса

Изменение положения ЛСК в пространстве.

Щелкните правой кнопкой мыши в графической области и выберите из контекстного меню команду ЛСК повернуть.

В открывшемся диалоговом окне Ввод угла поворота задайте угол поворота локальной системы координат 270 градусов.

Щелкните по кнопке ОК, чтобы применить сделанные изменения и закрыть диалоговое окно.

Перенесите ЛСК в левую ближнюю точку плиты, притянувшись к этой точке и воспользовавшись командой контекстного меню правой кнопки мыши ЛСК в точку (Ctrl+. На клавиатуре).

Создание траектории и образующих для пандуса.

Щелкните по кнопке  – Линия (панель Инструменты построения на вкладке Создание). В строке свойств инструмента Линия задайте следующее:

- Способ построения  – Отрезок;
- Проконтролируйте, чтобы флажки Цепочка и Замыкать были сняты
- Вес линии  – Основная 6;
- Цвет – красный.

Выполните построение 1-й образующей линии по следующим точкам:

- Начальная точка ($X = 0, Y = 2000$);
- Конечная точка ($X = 0, Y = 6000$).

Выполните построение 2-й образующей линии по следующим точкам:

- Начальная точка ($X = 10000$, $Y = 14000$);
- Конечная точка ($X = 6000$, $Y = 14000$).

В строке свойств инструмента Линия задайте следующее:

- Нажмите и удерживайте нажатой кнопку  – Дуга до появления раскрывающегося списка;

- Выберите из раскрывающегося списка способ построения  – Дуга T1 T3 T2. Выполните построение дуговой траектории по следующим точкам:

- первая точка траектории ($X = 0$, $Y = 2000$) – начальная точка 1-ой образующей; вторая точка траектории ($X = 10000$, $Y = 14000$) – начальная точка 2-ой образующей;
- третья точка траектории ($X = 8000$, $Y = 6000$).

Дважды нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы выйти из построения линий. Выделите 1-ю образующую.

Вызовите диалоговое окно Перемещение объектов (рис. 19) щелчком по кнопке  – Перенос по координатам в раскрывающемся списке Перенести (панель Корректировка на вкладке Редактирование).

В открывшемся диалоговом окне задайте следующее: приращение Z, мм – 4000. После этого щелкните по кнопке выполнить.

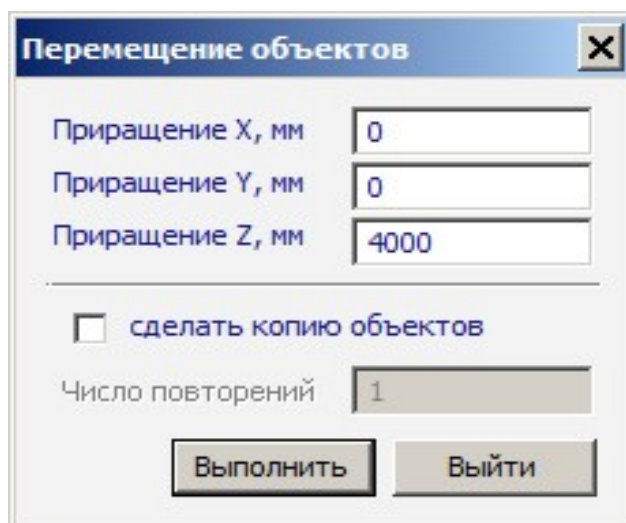


Рис. 19. Диалоговое окно Перемещение объектов

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с перемещенной линии.

Создание пандуса.

Выделите последовательно траекторию, 1-ю и 2-ю образующие (порядок имеет значение), удерживая нажатой клавишу Shift на клавиатуре.

Переключитесь на вкладку Создание и выберите команду  – 1 траектория 2 образующие в раскрывающемся списке 3D по линии (панель Поверхности на вкладке Создание).

Переключитесь на вкладку Редактирование и щелкните по кнопке  – Удалить (панель Корректировка).

Выделите созданную поверхность.

В диалоговом окне Свойства задайте следующее:

- материал – Бетон Б25;
- интерпретация – Несущий конструктив; число участков образующей – 8 толщина оболочки, мм – 180. После этого щелкните по кнопке  – Применить к объекту.

Этап 10. Создание загруженный и назначение нагрузок

Загрузка № 1 (Постоянная нагрузка).

Щелкните по кнопке  – Линейная нагрузка (панель Нагрузки на вкладке Создание). В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:

- способ построения  – Осевая;
- вызовите диалоговое окно Редактор загрузок щелчком по кнопке ; в открывшемся диалоговом окне щелкните по строке Нагрузки на плиты;
- щелкните еще раз в название загрузки Нагрузки на плиты и переименуйте его в Постоянная нагрузка;
- установите для него вид загрузки – Постоянное;
- щелкните по загрузке Временные нагрузки на плиты и переименуйте его в Полезная нагрузка;
- установите для него вид загрузки – Временное длит./Длительное;
- выделите строке Загрузка прочее;
- щелкните по кнопке  – Удалить;

- выделите загрузку Постоянная нагрузка (сделайте его текущим) (рис. 20);
- после этого щелкните по кнопке ОК; нагрузка в начале $1,6 \text{ тс/м}^2$;
- в конце $1,6 \text{ тс/м}^2$.

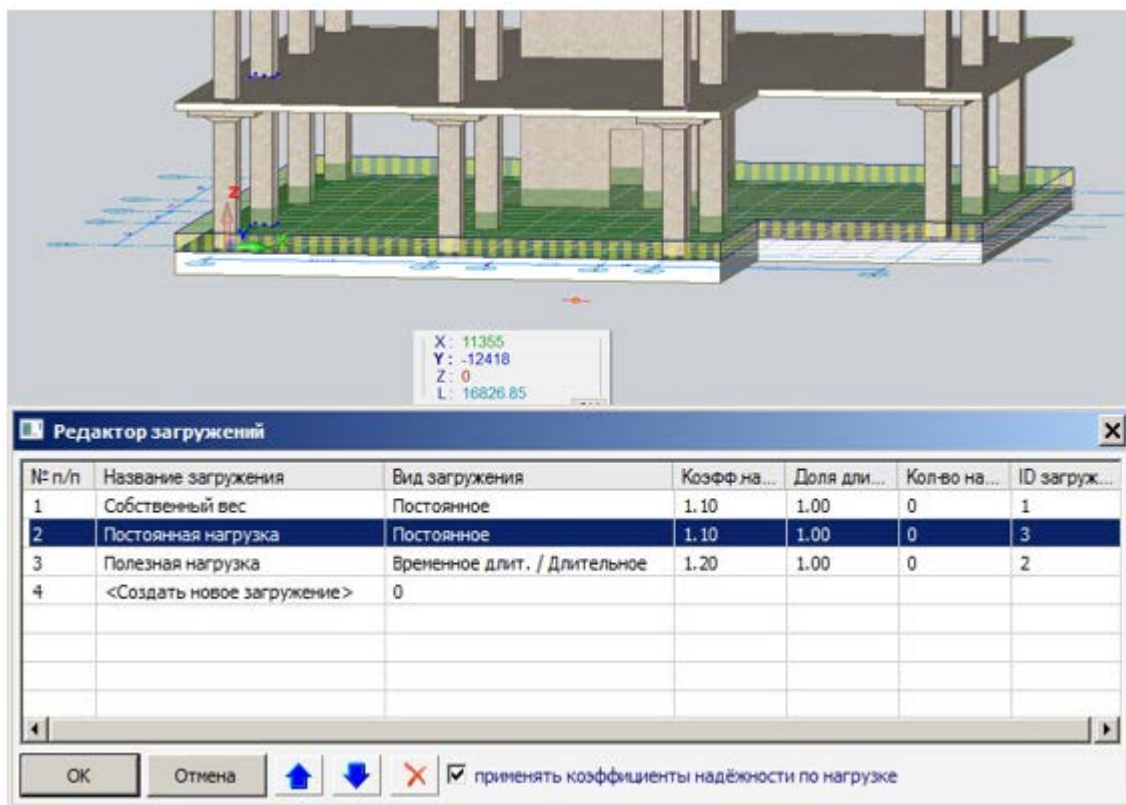


Рис. 20. Диалоговое окно Редактор загрузок

Щелкните в грань фундаментной плиты, чтобы взять ее осевую линию (по периметру плиты появится легкий зеленый контур).

Нажмите клавишу Enter на клавиатуре для подтверждения выбранной осевой линии.

Нагрузка по периметру фундаментной плиты.

В строке свойств инструмента Нагрузка выберите способ построения  – Отрезок. Постройте линейную нагрузку по следующим координатам:

- Первая точка ($X = 3000$, $Y = 7500$);
- Вторая точка ($X = 3000$, $Y = 13500$).

Щелкните по кнопке  – Штмп нагрузки (панель Нагрузки на вкладке Создание). В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:

- Способ построения  – Осевая;
- В начале 0.3 тс/м^2 ;
- В конце 0.3 тс/м^2 .

Щелкните в грань фундаментной плиты, чтобы взять ее осевую линию (по периметру плиты появится легкий зеленый контур) и нажмите клавишу Enter на клавиатуре для подтверждения.

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы выйти из построения нагрузки.

Корректировка контура линейной нагрузки.

Выделите линейную нагрузку.

Вызовите диалоговое окно Эквидистанта (рис. 21) щелчком по кнопке  – Эквидистанта (панель Корректировка на вкладке Редактирование).

В открывшемся диалоговом окне задайте значение отступа – 100 мм.

После этого щелкните по кнопке Выполнить.

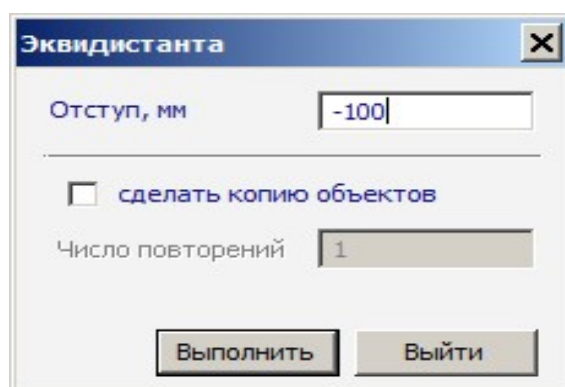


Рис. 21. Диалоговое окно Эквидистанта

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы выйти из построения нагрузки.

Загружение № 2 (длительная нагрузка).

Щелкните по кнопке  – Штмп нагрузки (панель Нагрузки на вкладке Создание). В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:

- загрузка – Полезная нагрузка;

- в начале – 0.5 тс/м^2 ;
- в конце – 0.5 тс/м^2 ;
- цвет – зеленый.

Щелкните в грань фундаментной плиты, чтобы взять ее осевую линию и нажмите клавишу Enter на клавиатуре для подтверждения.

В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:

- способ построения  – Прямоугольник;
- в начале – 2 тс/м^2 ;
- в конце – 2 тс/м^2 ;
- цвет – красный.

Выполните построение распределенной нагрузки по площади по следующим точкам:

- 1-я точка диагонали ($X = 13000, Y = 11000$);
- 2-я точка диагонали ($X = 15500, Y = 15000$).

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы выйти из режима построения нагрузки (рис. 22).

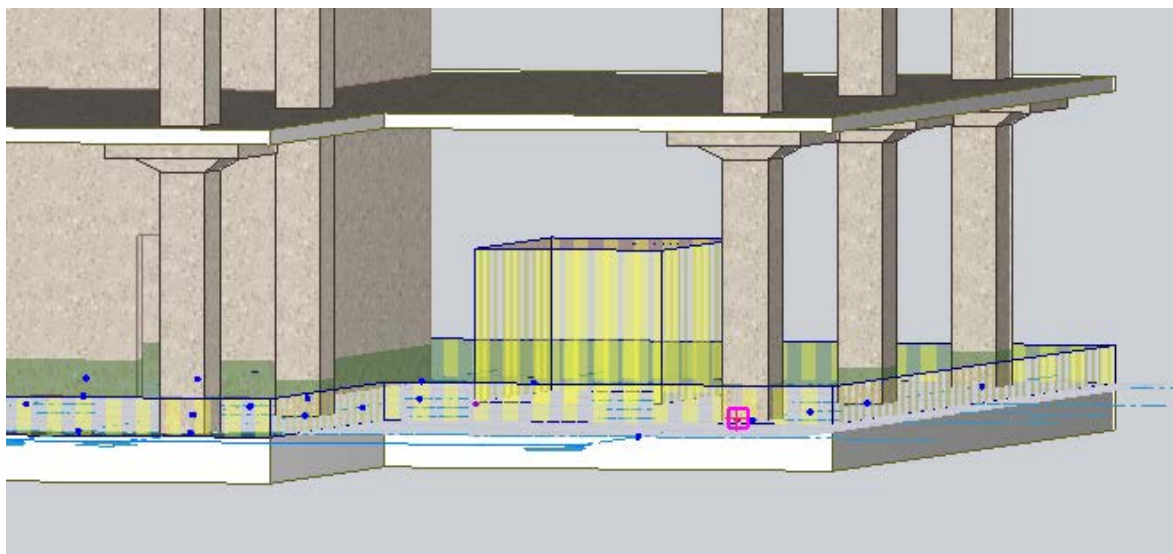


Рис. 22. Распределенная нагрузка на площади

Тиражирование нагрузок по этажам.

Вызовите диалоговое окно Фильтровать элементы (рис. 23) щелчком по кнопке  – Фильтр на панели инструментов Визуализация.

В открывшемся диалоговом окне установите флажок Нагрузка. Щелкните по кнопке Выделить.

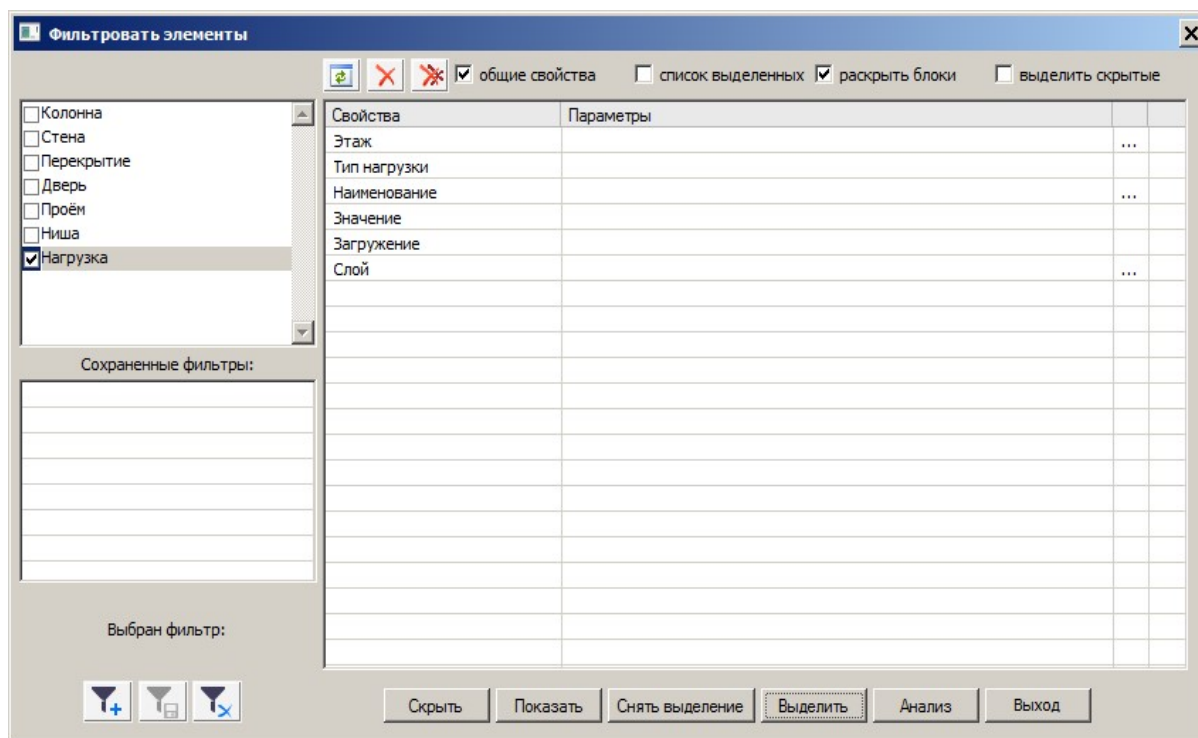


Рис. 23. Диалоговое окно фильтровать элементы

Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – Заккрыть.

Вызовите диалоговое окно Выбор этажей (рис. 24) щелчком по кнопке  – Вставить на выбранные этажи (панель Корректировка на вкладке Редактирование).

В открывшемся диалоговом окне выделите все этажи кроме первого, удерживая нажатой клавишу Shift.

Установите флажок для всех выделенных этажей.

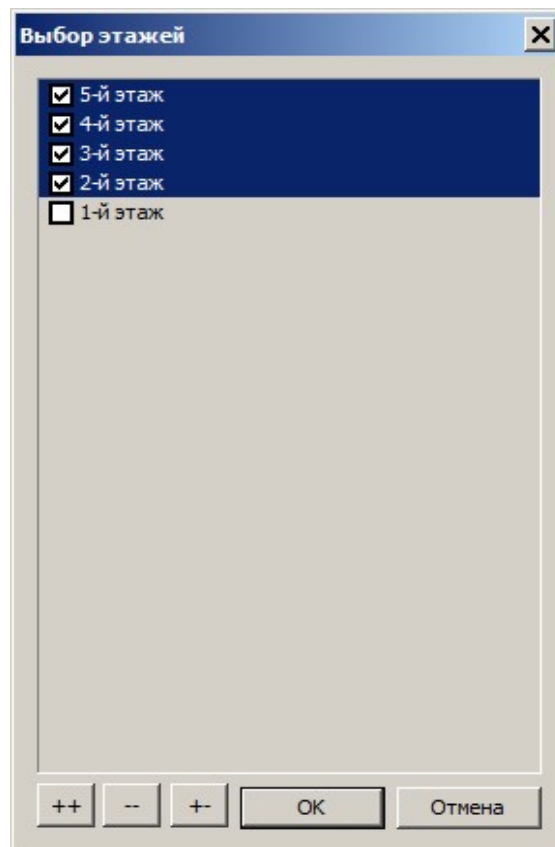


Рис. 24. Диалоговое окно Выбор этажей

Щелкните по кнопке ОК для подтверждения.

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с нагрузки.

Задание нагрузки от покрытия.

В диалоговом окне Структура двойным щелчком назначьте 5-й этаж +16,000 текущим.

Щелкните по кнопке  – Штмп нагрузки (панель Нагрузки на вкладке Создание). В строке свойств инструмента Нагрузка задайте следующее:

- способ построения  – Осевая;
- загрузка – Постоянная нагрузка;
- в начале – 0.1 тс/м^2 ;
- в конце – 0.1 тс/м^2 ;
- цвет – синий.

Щелкните в грань плиты покрытия, чтобы взять ее осевую линию и нажмите клавишу Enter на клавиатуре для подтверждения.

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы выйти из построения нагрузки. Результат представлен на рисунке 25.

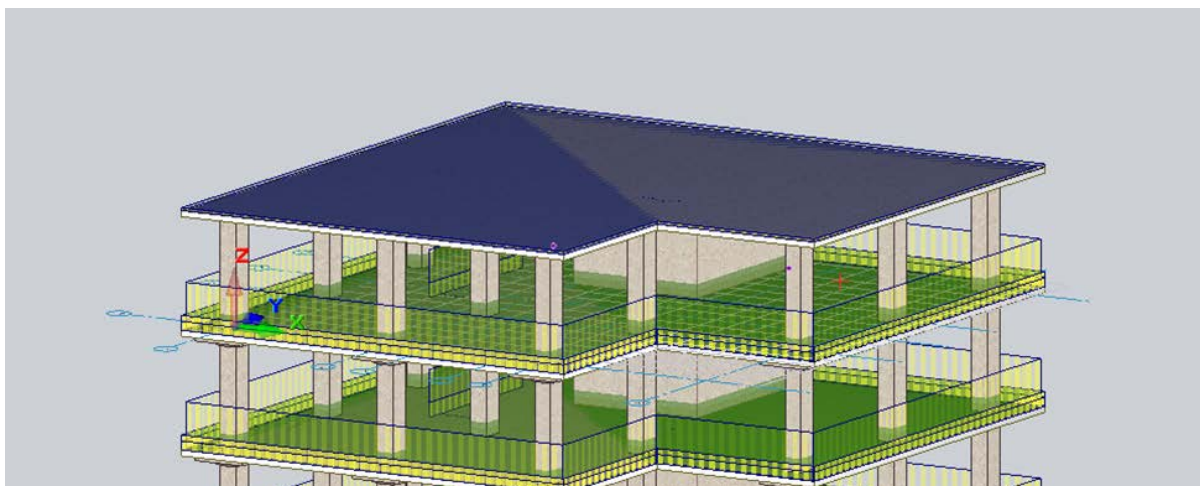


Рис. 25. Нагрузка от покрытия

Этап 11. Создание конечно-элементной модели в системе САПФИР-КОНСТРУКЦИИ

Создание расчетной модели.

Вызовите диалоговое окно Создать новую расчетную модель щелчком по кнопке 

Расчетная модель (на вкладке Аналитика).

В открывшемся диалоговом окне щелкните по кнопке ОК (откроется новая закладка окна под названием Example23.spf: Расчетная модель) (рис. 26).

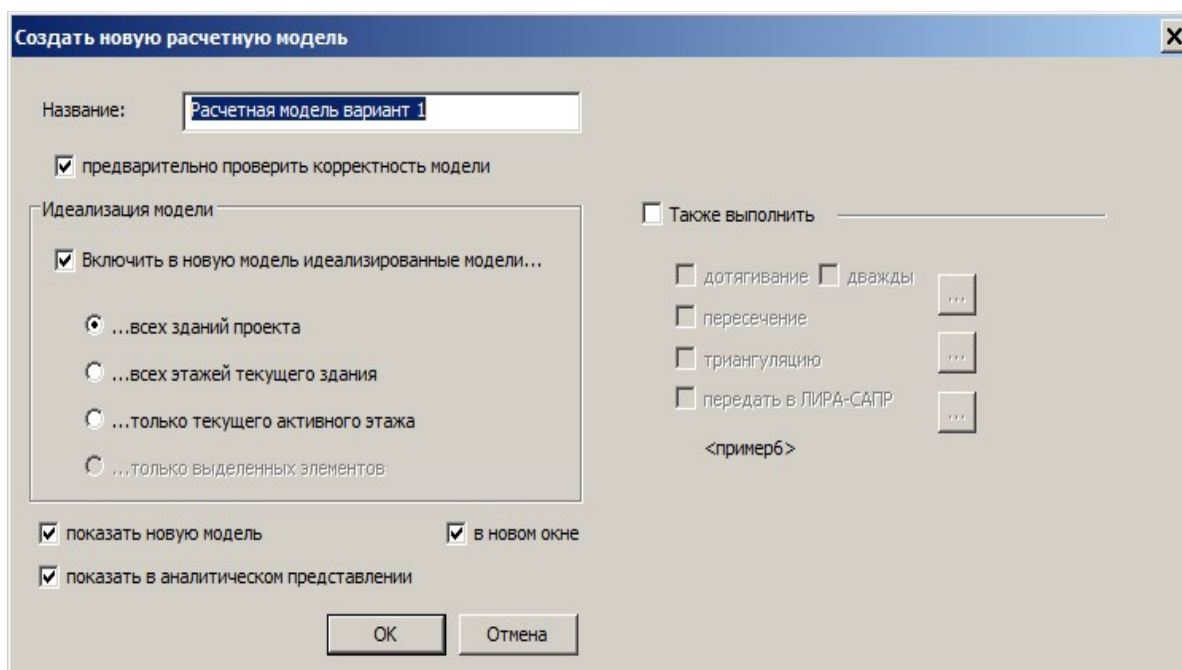


Рис. 26. Диалоговое окно создать новую расчетную модель

Корректировка свойств расчетной модели.

Вызовите диалоговое окно Параметры (рис. 27) щелчком по кнопке  – Свойства расчетной модели (панель Расчетная модель: создание на вкладке Аналитика).

В открывшемся диалоговом окне задайте L поиска – 350 мм. После этого щелкните по кнопке ОК.

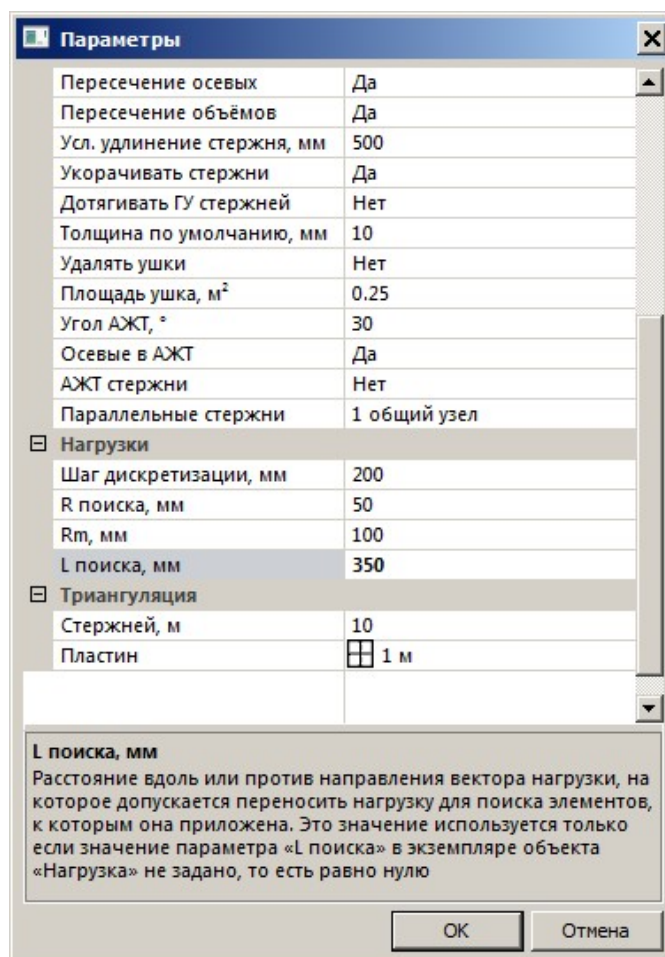


Рис. 27. Диалоговое окно Параметры

Идеализация модели.

Для корректности дальнейшего поиска пересечений и устранения мелких архитектурных неточностей щелкните по кнопке  – Дотянуть дважды в раскрывающемся списке Дотянуть (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика). В открывшемся диалоговом окне САПФИР (рис. 28) щелкните по кнопке Да.

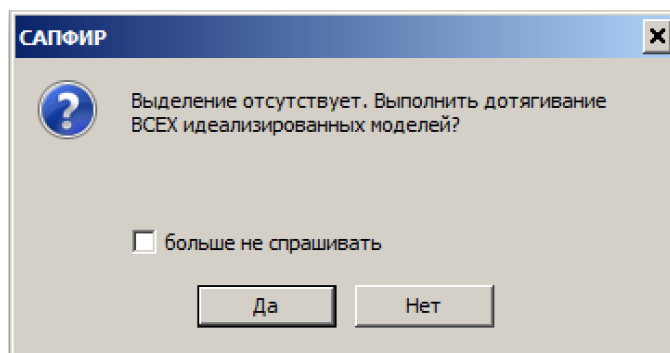


Рис. 28. Диалоговое окно САПФИР

Расчетная модель с выполненными пересечениями будет выглядеть следующим образом (рис. 29).

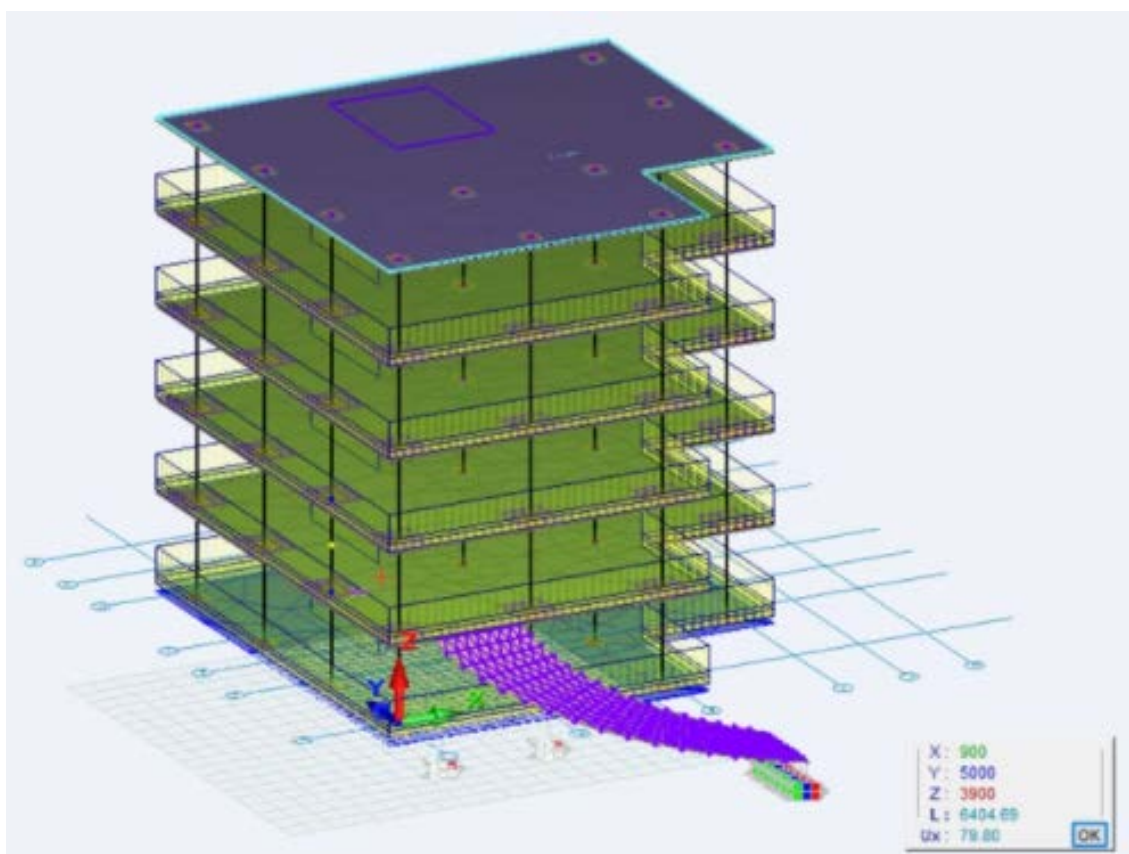


Рис. 29. Расчетная модель с выполненными пересечениями

Триангуляция модели.

Вызовите диалоговое окно Настройки триангуляции (рис. 30) щелчком по кнопке  – Настройки (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика). В открывшемся диалоговом окне задайте следующее:

- триангуляция пластин – адаптивная четырехугольная;
- шаг, м – 5.

После этого щелкните по кнопке Назначить.

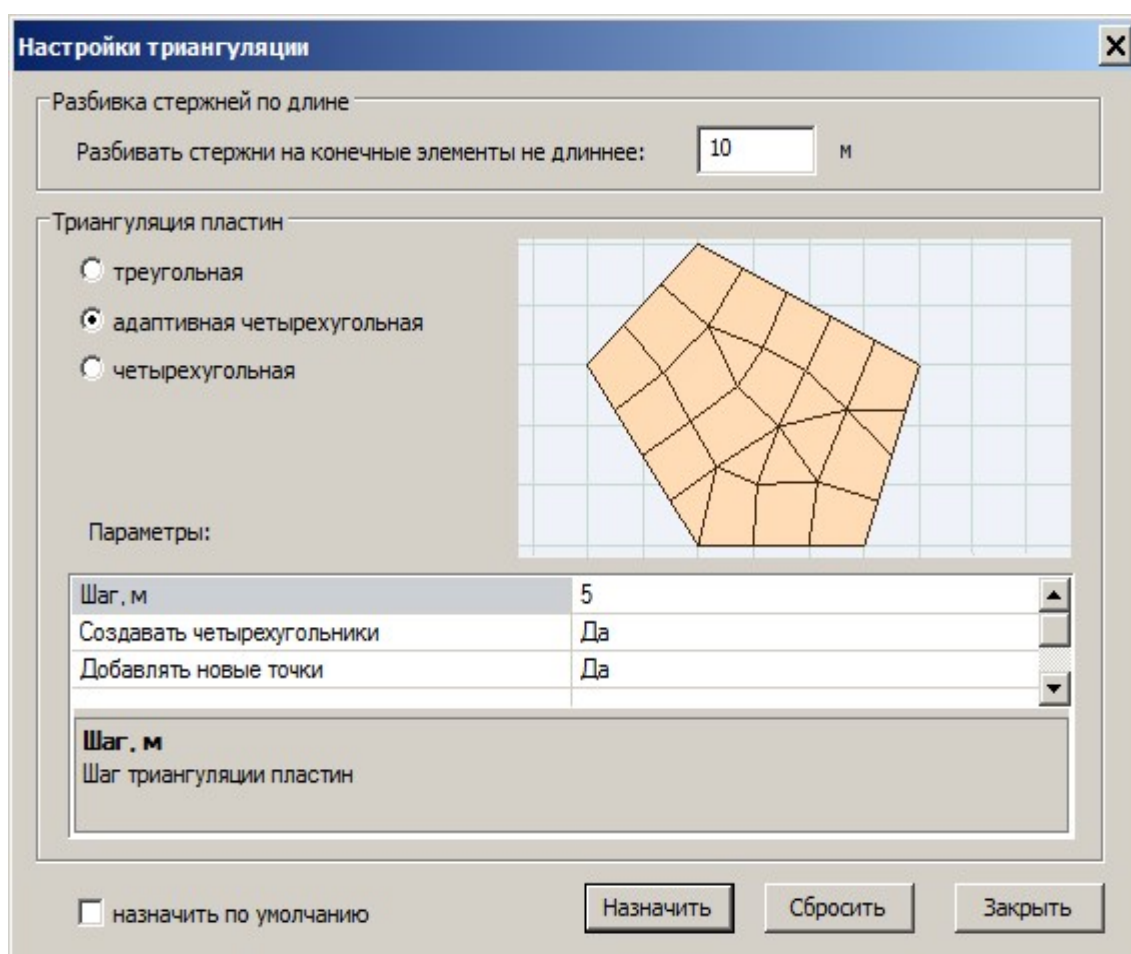


Рис. 30. Диалоговое окно Настройки триангуляции

Выполните щелчок по кнопке  – Вид сверху на панели инструментов Проекции. Выделите элементы пандуса резиновой рамкой слева направо.

Для разбивки пандуса на КЭ щелкните по кнопке  – Создать триангуляционную сеть в раскрывающемся списке Сеть (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).

Вызовите диалоговое окно Настройки триангуляции щелчком по кнопке  – Настройки (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).

В открывшемся диалоговом окне измените шаг, м на 0,6. После этого выполните щелчок по кнопке Назначить.

Щелкните по кнопке  – Вид слева на панели инструментов Проекции.

Выделите все элементы модели кроме пандуса резиновой рамкой слева направо.

Для разбивки на КЭ щелкните по кнопке  – Создать триангуляционную сеть в раскрывающемся списке Сеть (панель Расчетная модель: триангуляция на вкладке Аналитика).

Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с элементов.

Назначение граничных условий на элементы пандуса

Переключитесь на проекцию ХОУ щелчком по кнопке  – Вид сверху на панели инструментов Проекции.

Выделите резиновой рамкой справа налево нижний ряд элементов пандуса.

В диалоговом окне Параметры 16 объектов в блоке Граничные условия задайте следующее:

- Вызовите диалоговое окно Связи (рис. 31) щелчком напротив строки Связи;
- В открывшемся диалоговом окне для группы Снизу щелкните по кнопке ;
- Щелкните по кнопке ОК.

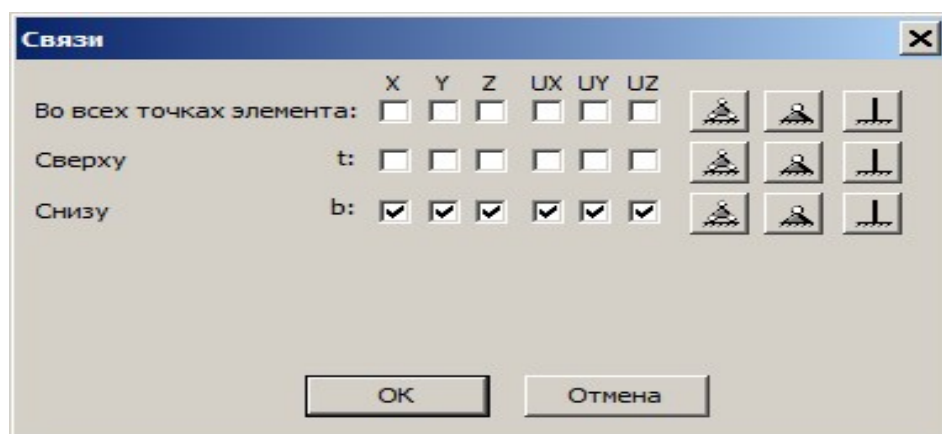


Рис. 31. Диалоговое окно Связи

После этого щелкните по кнопке  – Применить к объекту. Нажмите клавишу Esc на клавиатуре, чтобы снять выделение с элементов пандуса.

Этап 12. Создание файла для ПК ЛИРА САПР

Чтобы открыть конечно-элементную схему в ПК ЛИРА-САПР щелкаем по кнопке  – Открыть в раскрывающемся списке Открыть (панель Расчет в ЛИРА-САПР на вкладке Аналитика).

После выполнения сохранения файла в окне Служебная информация появится сообщение для части нагрузки не найдены конечные элементы, к которым она приложена. Потеряно 4,58%. (Потерянная часть нагрузки располагается над проемом лестничной клетки).

Этап 13. Открытие расчетной схемы в ПК ЛИРА САПР

При открытии расчетной схемы в ВИЗОР-САПР система выдаст сообщение (рис. 32).

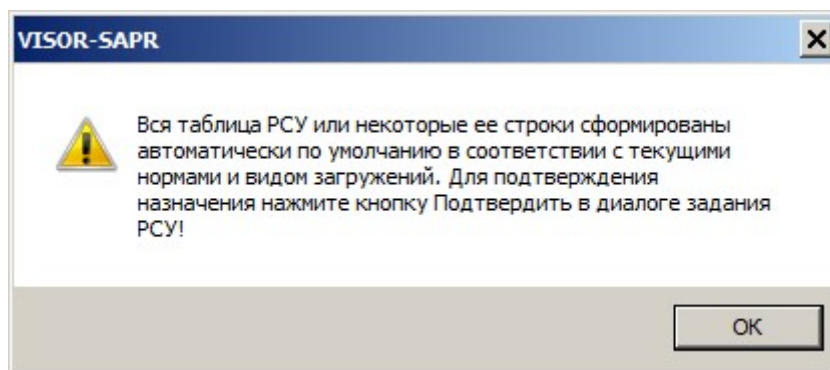


Рис. 32. Диалоговое окно VISOR-SAPR

Щелкаем по кнопке ОК.

В открывшемся диалоговом окне Расчетные сочетания усилий (рис. 33) щелкаем по кнопке



– Подтвердить.

Расчетные сочетания усилий

Строительные нормы: СНиП 2.01.07-85*

Номер загрузки: 1 Стадия 1

Вид загрузки: Постоянное(0) По умолчанию

N группы объединяемых временных нагрузений: 0

Учитывать знакопеременность: ☐

N группы взаимоисключающих нагрузений: 1

NN сопутствующих нагрузений: 0 0

Коэффициент надежности: 1.10

Доля длительности: 1.00

Не учитывать для II-го пред. сост.: ☐

Ограничения для кранов и тормозов: Кран ☐ Тормоз ☐

Коэффициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(6 С)	5 сочет.	6 сочет.	7 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	
3	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	
4	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	
5	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№.	Имя загрузки...	Вид	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	Стадия 1	Постоянное(0)	0 0 0 1 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Стадия 2	Постоянное(0)	0 0 0 1 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
3	Стадия 3	Постоянное(0)	0 0 0 1 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
4	Стадия 4	Постоянное(0)	0 0 0 1 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
5	Стадия 5	Постоянное(0)	0 0 0 1 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
6	Собственный...	Неактивное(...)	9 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	0.00 0.00 0.00
7	Постоянная ...	Неактивное(...)	9 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	0.00 0.00 0.00
8	Полезная на...	Неактивное(...)	9 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	0.00 0.00 0.00

Рис. 33. Диалоговое окно Расчетные сочетания усилий

Этап 14. Задание параметров материалов элементам схемы
Задание материалов для железобетонных конструкций.

Щелчком по кнопке  – Ж/б (панель Конструирование на вкладке Создание и редактирование) вызываем диалоговое окно Жесткости и материалы (рис. 34).

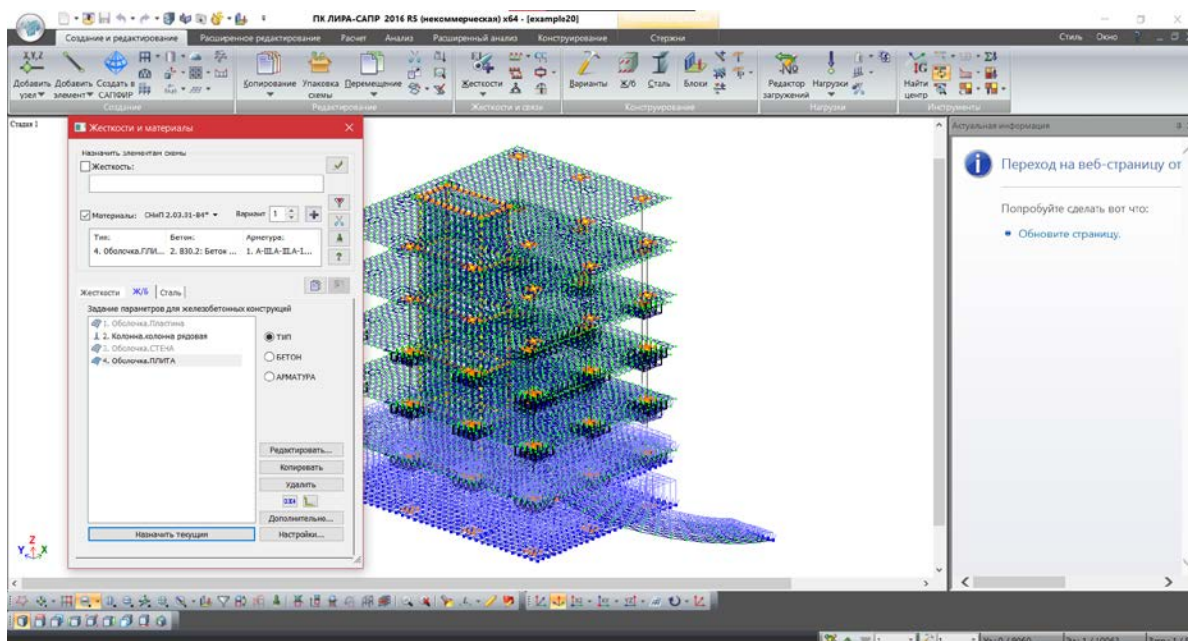


Рис. 34. Диалоговое окно Жесткости и материалы

После этого выделяем строку 2.стержень колонная рядовая и щелкаем по кнопке Изменить.

На экран выводится диалоговое окно Общие характеристики (рис. 35), в котором задаем следующие параметры для колонн:

- в раскрывающемся списке Модуль армирования выбираем строку Стержень;
- в поле Расчет по предельным состояниям II группы в раскрывающемся списке выбираем строку, соответствующую диаметру арматуры 25 мм;
- в поле Длина элемента, Расчетные длины измените коэффициенты расчетной длины $LY = 0.7$, $LZ = 0.7$;
- все остальные параметры остаются заданными по умолчанию.

После этого щелкаем по кнопке  – Подтвердить.

Рис. 35. Диалоговое окно Общие характеристики

В диалоговом окне Жесткости и материалы включите радиокнопку Арматура.

Щелкаем по кнопке Изменить.

На экран выводится диалоговое окно Характеристики арматуры (рис. 36), в котором в раскрывающемся списке Максимальный диаметр арматурных стержней выбираем строку, соответствующую диаметру арматуры 25 мм.

Для ввода данных щелкаем по кнопке  – Подтвердить.

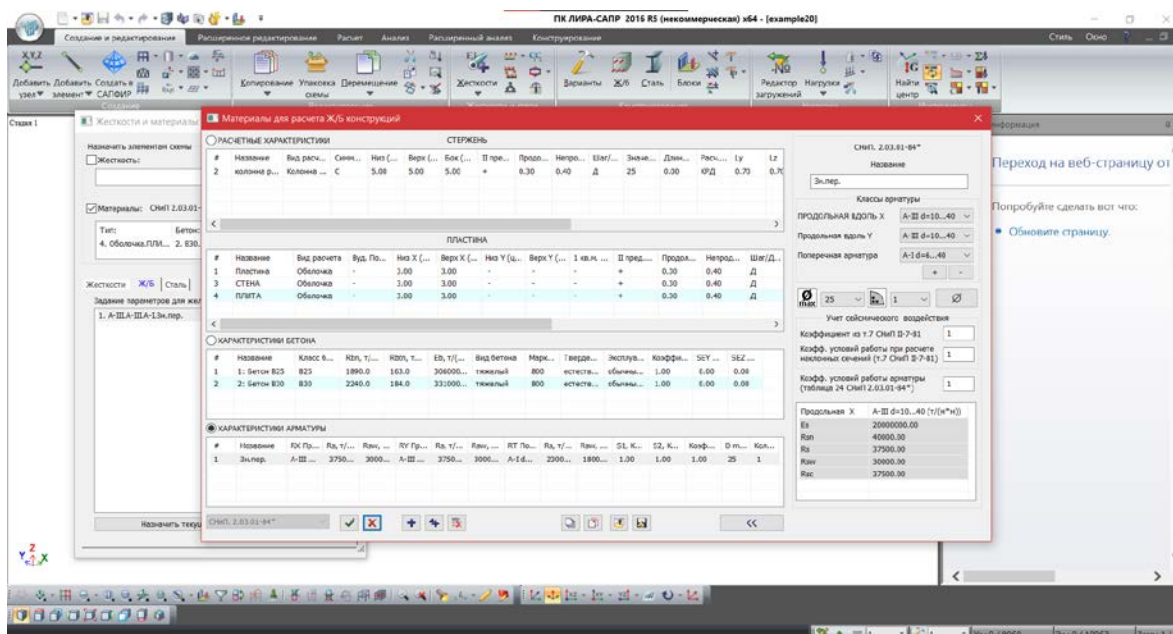


Рис. 36. Диалоговое окно Характеристики арматуры

Закройте диалоговое окно Жесткости и материалы щелчком по кнопке  – Заккрыть.

Этап 15. Согласование местных осей пластин

Переключаемся в проекцию XOY щелчком по кнопке  – Вид сверху на панели инструментов Проекции.

Щелкаем по кнопке  – Отметка элементов в раскрывающемся списке Отметка элементов на панели инструментов Панель выбора.

Выделяем с помощью резиновой рамки слева направо элементы пандуса.

Вызываем диалоговое окно Местные оси пластин щелчком по кнопке  – Местные оси пластин (панель Редактирование пластин на вкладке Пластины).

В этом диалоговом окне щелкаем на второй закладке Секущая плоскость.

После этого включить радиокнопку XOZ и щелкаем по кнопке  – Применить.

Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – Заккрыть.

Щелкаем по кнопке  – Отметка элементов в раскрывающемся списке Отметка элементов на панели инструментов Панель выбора, чтобы снять активность с операции выделения 6 элементов.

Этап 16. Полный расчет схемы

Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке  – Выполнить расчет (панель Расчет на вкладке Расчет).

Этап 17. Просмотр и анализ результатов статического расчета

В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов для первой стадии монтажа. Для отображения схемы без учета перемещений узлов щелкаем по кнопке  – Исходная схема (панель Деформации на вкладке Анализ).

Вывод на экран эпюр внутренних усилий.

Выведите на экран эпюру M_y щелчком по кнопке M_y – Эпюры M_y (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).

Для вывода эпюры Q_z щелкаем по кнопке Q_z – Эпюры поперечных сил Q_z (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).

Для вывода эпюры N щелкаем по кнопке N – Эпюры продольных сил N (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).

Чтобы вывести мозаику усилия N , выбираем команду  – Мозаика усилий в стержнях в раскрывающемся списке Эпюры/мозаика усилий (панель Усилия в стержнях на вкладке Анализ).

Смена номера текущего загрузки.

В строке состояния (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке Сменить номер загрузки выбираем строку соответствующую второй стадии монтажа и щелкаем по кнопке  – Применить.

Вывод на экран изополей перемещений.

Чтобы вывести на экран изополя перемещений по направлению Z , выбираем команду  – Изополя перемещений в глобальной системе в раскрывающемся списке Мозаика/изополя пе-

ремещений и после этого щелкаем по кнопке **Z** – Изополя перемещений по Z (панель Деформации на вкладке Анализ).

Вывод на экран мозаик напряжений.

Чтобы вывести на экран мозаику напряжений по M_x , выбираем команду  – Мозаика напряжений в раскрывающемся списке Мозаика/изополя напряжений и после этого щелкаем по кнопке **M_x** – Мозаика напряжений по M_x (панель Напряжения в пластинах и объемных КЭ на вкладке Анализ).

Для отображения мозаики напряжений по N_x , щелкаем по кнопке **N_x** – Мозаика напряжений по N_x (панель Напряжения в пластинах и объемных КЭ на вкладке Анализ).

В качестве примера на рисунках (37–39) представлены мозаики внутренних усилий – продольных сил и изгибающих моментов, полученных в результате конструирования и расчета напряженно-деформированного состояния сооружения.

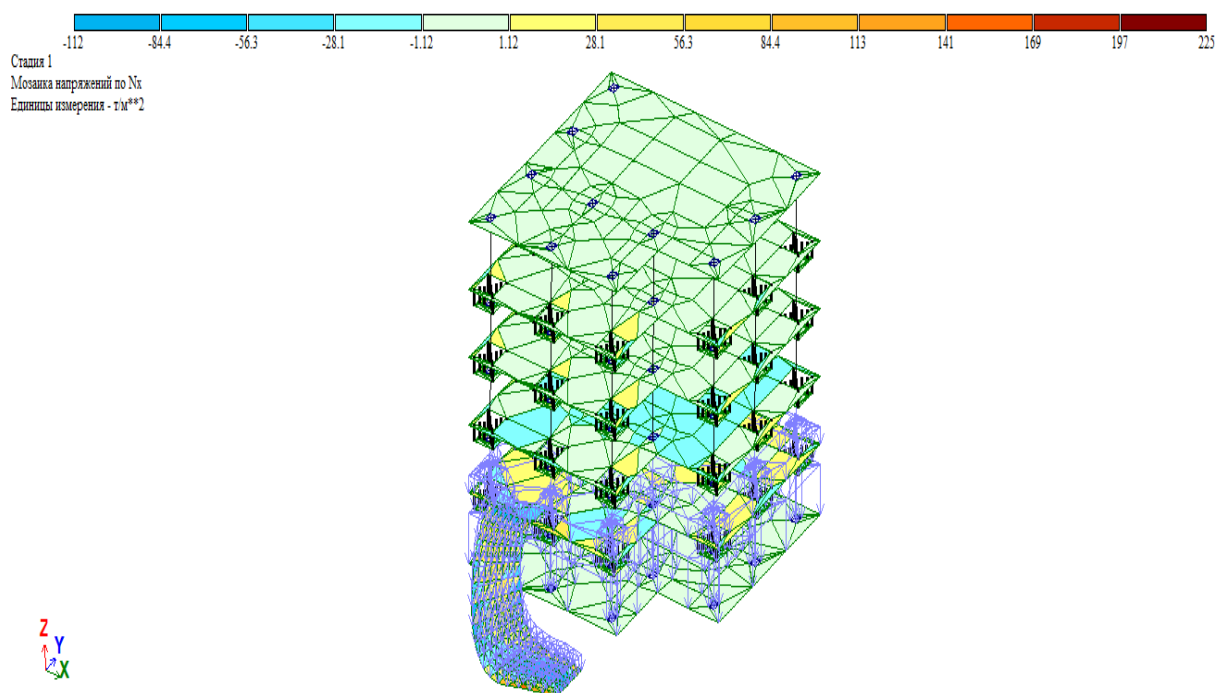


Рис. 37. Мозаика N_x

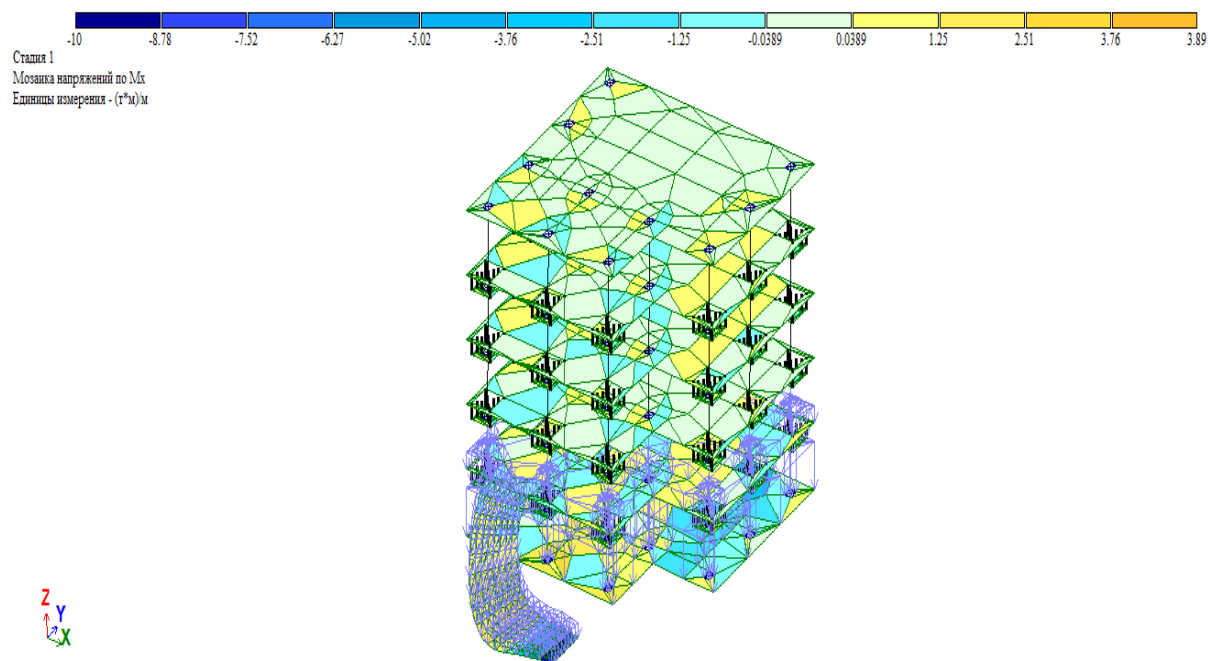


Рис. 38. Мозаика M_x

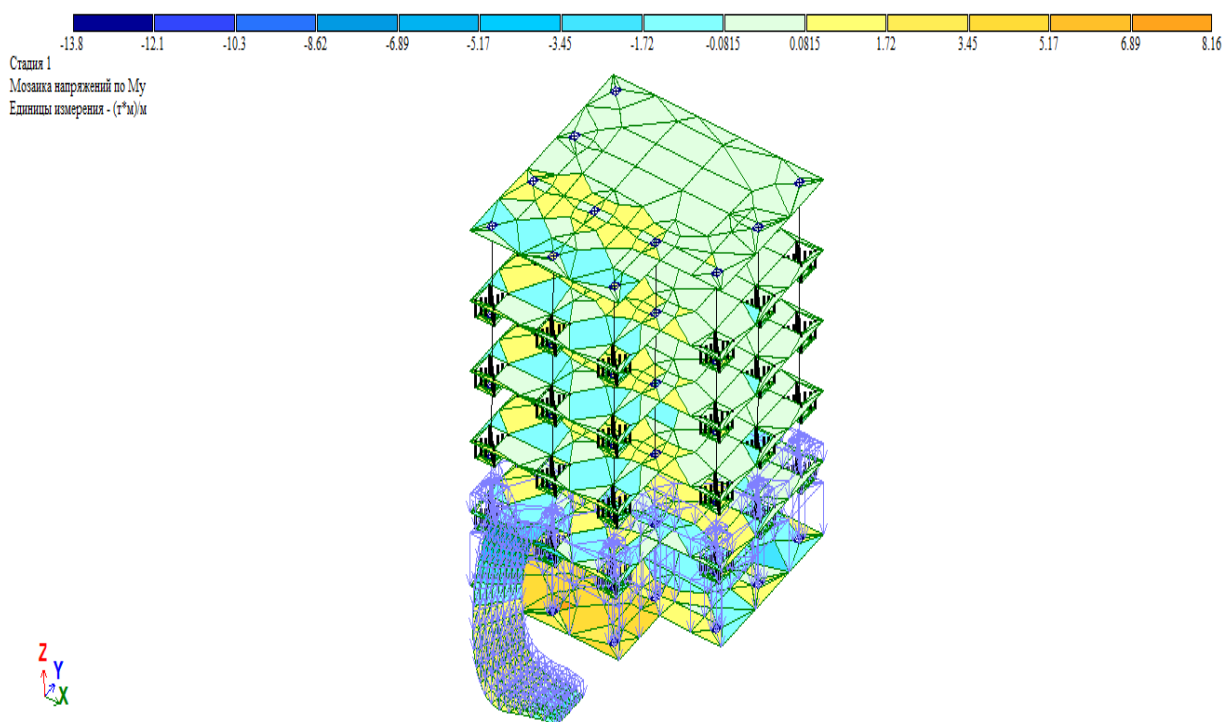


Рис. 39. Изополя M_y

Лабораторная работа № 4

Расчет пространственного стержневого каркаса металлической башни

Пространственные строительные конструкции имеют различные конструктивные решения. В данной работе студенты должны выполнить расчет стержневой металлической конструкции башни. Для лучшего понимания создания компьютерной конечно-элементной модели и произведения расчета напряженно-деформированного состояния сооружения приводится последовательность выполнения девяти этапов опций.

Этап 1. Создание новой задачи

Для создания новой задачи открываем меню Приложения и выбираем пункт Новый (рис. 1).

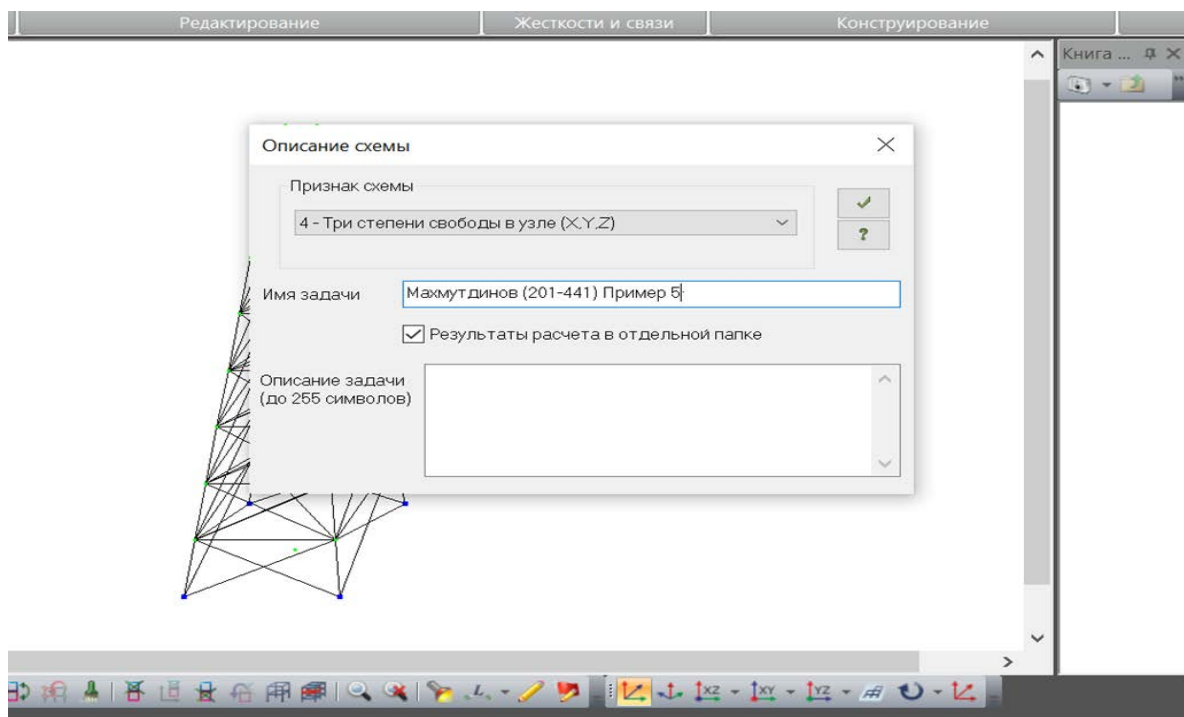


Рис. 1. Описание схемы

Этап 2. Создание геометрической схемы

Вызываем диалоговое окно – Добавить узел щелчком по кнопке Добавить узел (панель Создание на вкладке Создание и редактирование).

В этом диалоговом окне задаем следующие координаты 1го базового узла (рис. 2): $X = 0$; $Y = 0$; $Z = 0$.

После этого щелкаем по кнопке – Применить.

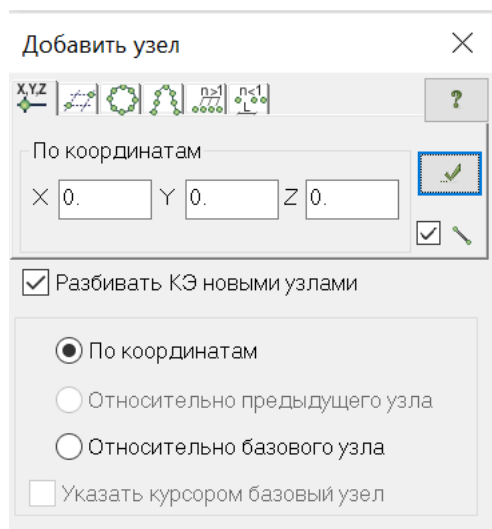


Рис. 2. Добавление нового узла

Повторяем действия для нижнего левого узла башни с координатами: $X = -2,5$; $Y = -2,5$; $Z = 0$.

После этого щелкаем по кнопке – Применить.

И для верхнего левого узла башни с координатами: $X = -0,5$; $Y = -0,5$; $Z = 16$.

После этого щелкаем по кнопке – Применить.

Вывод на экран номеров узлов

Щелкаем по кнопке – Флаги рисования на панели инструментов – Панель выбора (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна);

В диалоговом окне – Показать (рис. 3) перейдем на вторую вкладку – Узлы и установим флажок – Номера узлов;

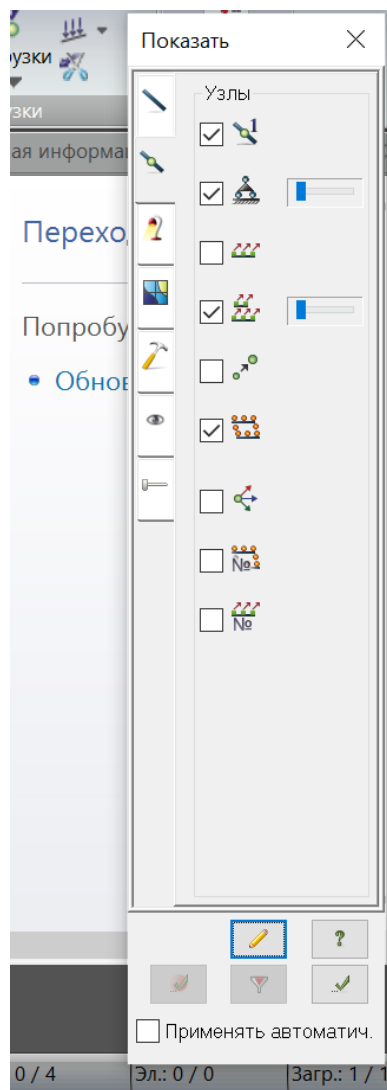


Рис. 3. Диалоговое окно – Показать

После этого щелкаем по кнопке – перерисовать;

Добавление стержневых элементов

В диалоговом окне – Добавить узел перейдем на закладку – Разделить на N равных частей.

В поле ввода введем значение $N = 8$.

При установленных флажках – Указать узлы курсором и – Соединить узлы стержнями укажем последовательно курсором узлы № 2 и 3 (при этом между ними протягивается резиновая нить, рис. 4).

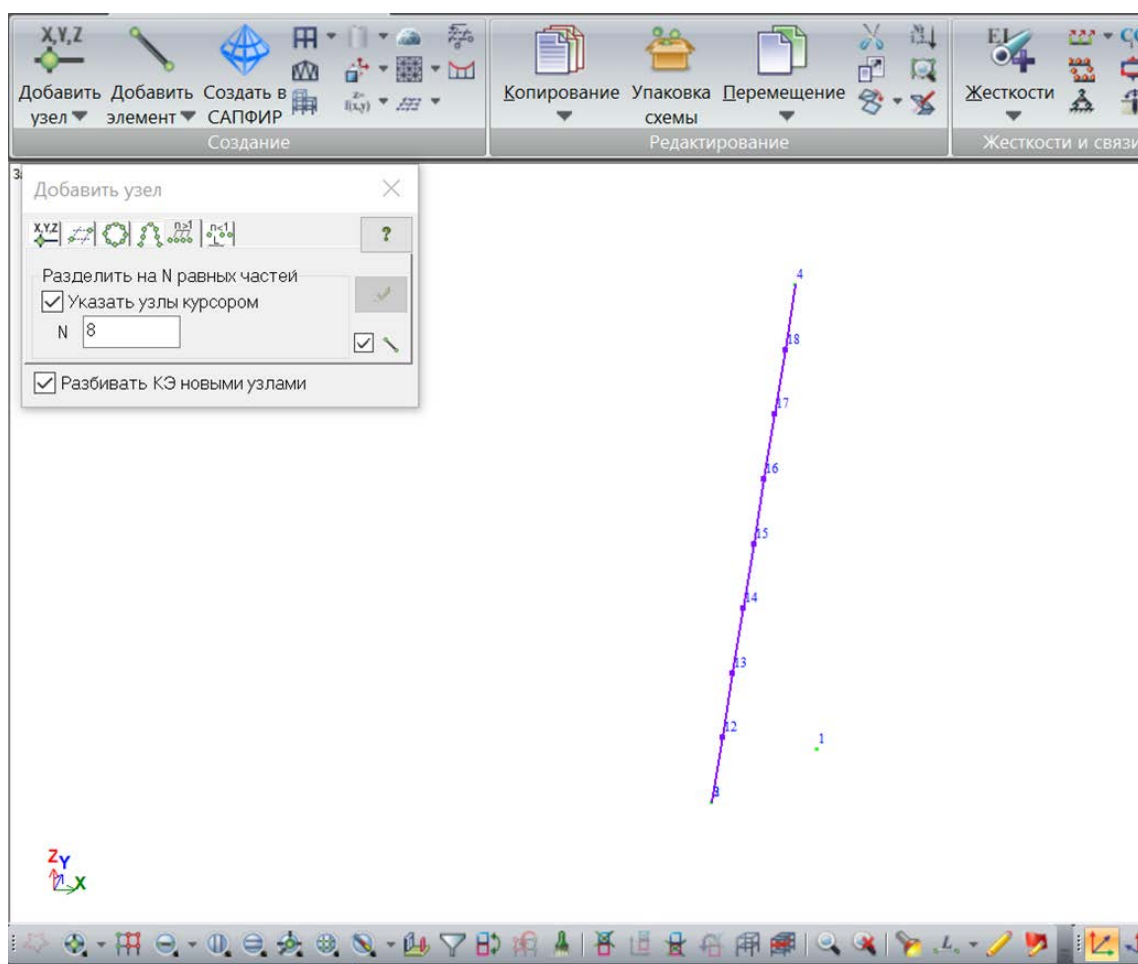


Рис. 4. Стержневые элементы

Копирование элементов

Щелчком по кнопке – Отметка элементов в раскрывающемся списке Отметка элементов на панели инструментов Панель выбора;

С помощью курсора выделим все элементы схемы;

Вызовем диалоговое окно – Копирование объектов щелчком по кнопке – Копирование

В этом окне перейдем на последнюю закладку Копирование симметрично (рис. 5).

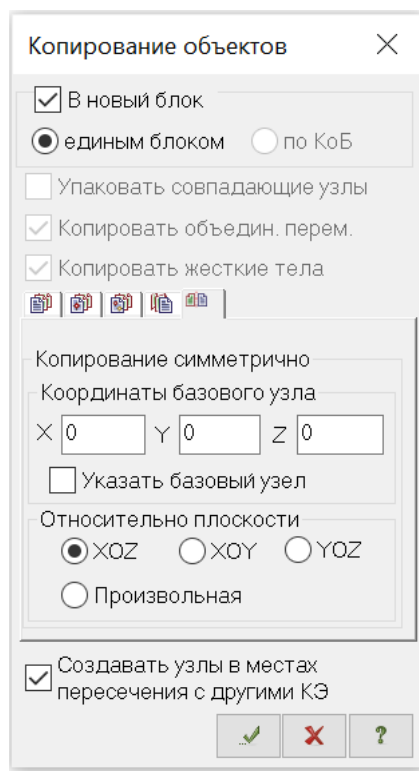


Рис. 5. Окно копирование объектов

Укажем плоскость копирования – YOZ, относительно которой будет произведено копирование

Копирование произведем относительно базового 1-го узла (рис. 6).

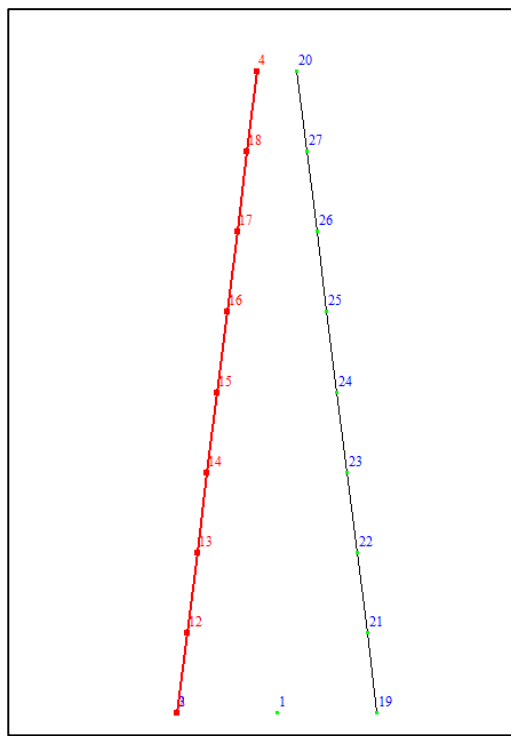


Рис. 6. Элементы схемы башни

Добавление стержневых элементов

После создание основных элементов схемы башни, добавим стержневые элементы между узлами – диагональные стрелки и горизонтальные стержни для создания сетки сопротивления (рис. 7).

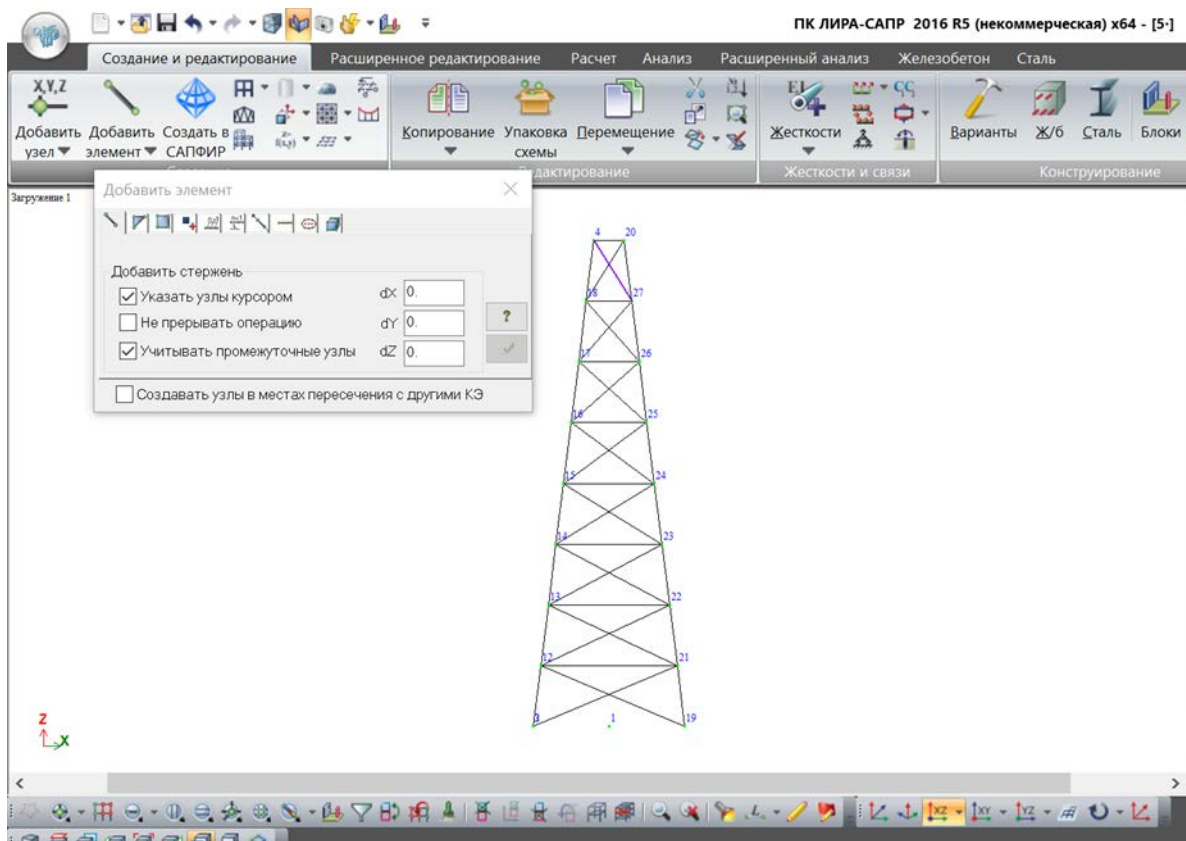


Рис. 7. Схема фасада башни

Этап 3. Задание граничных условий

Задание граничных условий в узлах опирания.

Узлы опирания, мы ограничиваем по перемещению в 3х направлениях: вдоль оси X , вдоль оси Y , вдоль оси Z , тем самым создавая жесткое соединения для опор нашей башни.

Этап 4. Задание жесткостных параметров

Формирование типов жесткости.

Щелчком по кнопке — Жесткости и материалы элементов (панель Жесткости и связи на вкладке Создание и редактирование) вызываем диалоговое окно Жесткости и материалы (рис. 8, а).

В этом окне щелчком по кнопке Добавить вызываем диалоговое окно Добавить жесткость, для того чтобы вывести список стандартных типов сечений (рис. 8, б).

Выбираем двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения Труба (на экран выводится диалоговое окно для задания жесткостных характеристик выбранного типа сечения, (рис. 8, в).

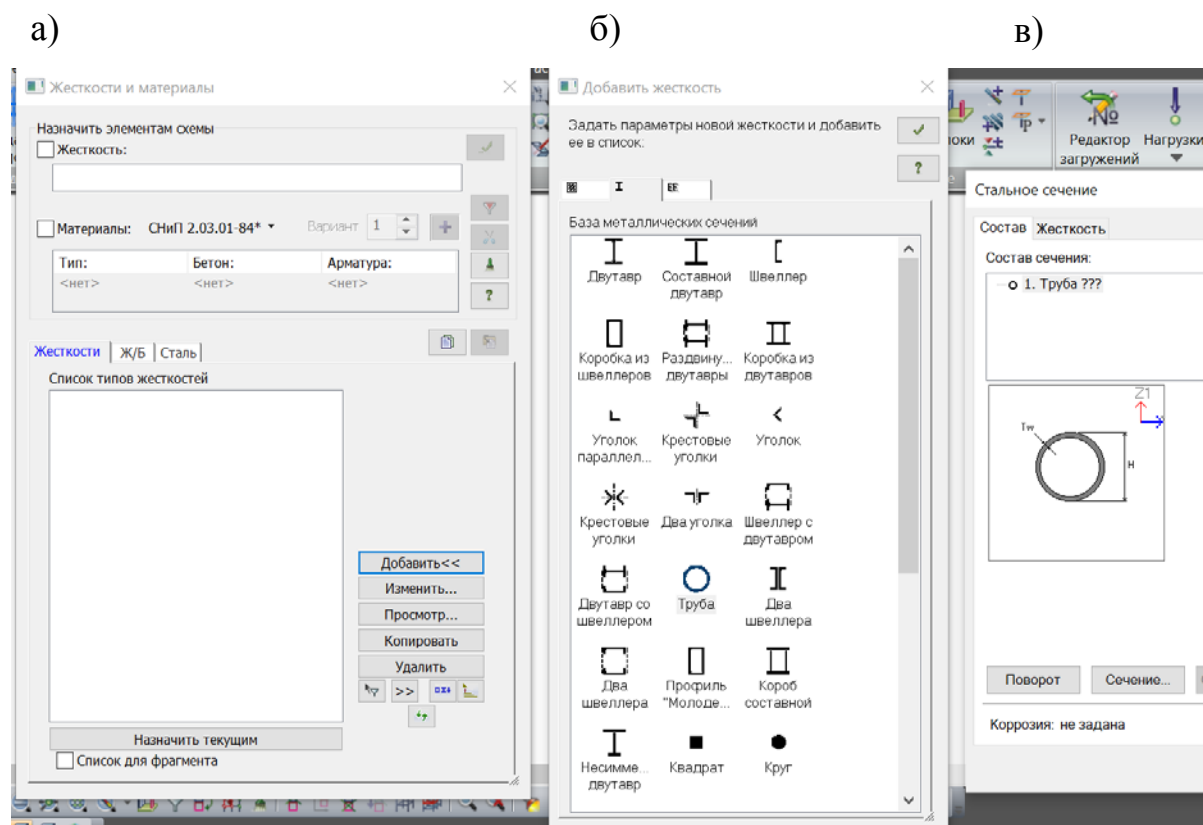


Рис. 8. Жесткости и материалы элементов:
а – жесткости и материалы, б – добавить жесткость,
в – стальное сечение

Добавим сечения труб, перечисленные в исходных данных: труба $45 \times 3,5$ и труба $2 \times 3,5$.

Назначение жесткостей.

Используя фильтрацию элементов, мы будем сначала выделять элементы раскосов башни для присвоения им свойств – труба $25 \times 3,5$. Затем присвоим стойкам башни – труба $45 \times 3,5$.

Этап 5. Корректировка схемы

Копирование существующего фрагмента схемы.

После того, как создали фрагмент схемы, скопируем его радиально под углом 90 градусов. Таким образом, создадим полную схему башни (рис. 9).

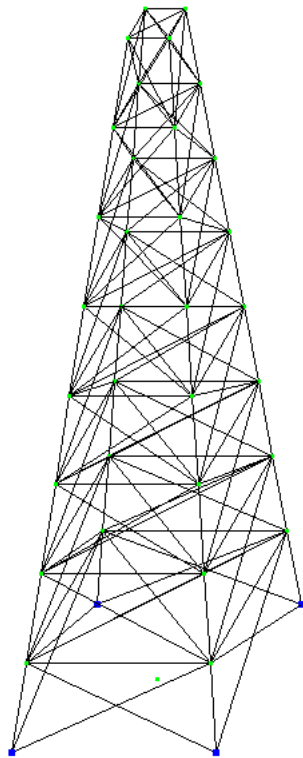


Рис. 9. Полная схема башни

Упаковка схемы

Для сшивки совпадающих узлов и элементов, а также для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов мы воспользуемся функцией – Упаковка схемы.

Добавление стержневых элементов решетки башни.

Завершающим шагом в построении расчетной модели башни является добавление решетки башни. Данным стержневым элементам мы также назначили тип жесткости – труба 25 × 3,5.

Этап 6. Задание нагрузок

Зададим нагрузки, исходя из индивидуальных исходных данных: загрузка – собственный вес конструкции с коэффициентом надежности 1,05 (в соответствии с СП 16.13330. 2017), загрузка 1 – временная нагрузка, приложенная на верхние стержни горизонтальной площадки; загрузка 2 – гололедная нагрузка; загрузка 3 – ветровая статическая горизонтальная нагрузка;

загрузка 4 – ветровая нагрузка, с учетом коэффициентов пульсации. Редактор загрузки башни представлен на рисунке 10.

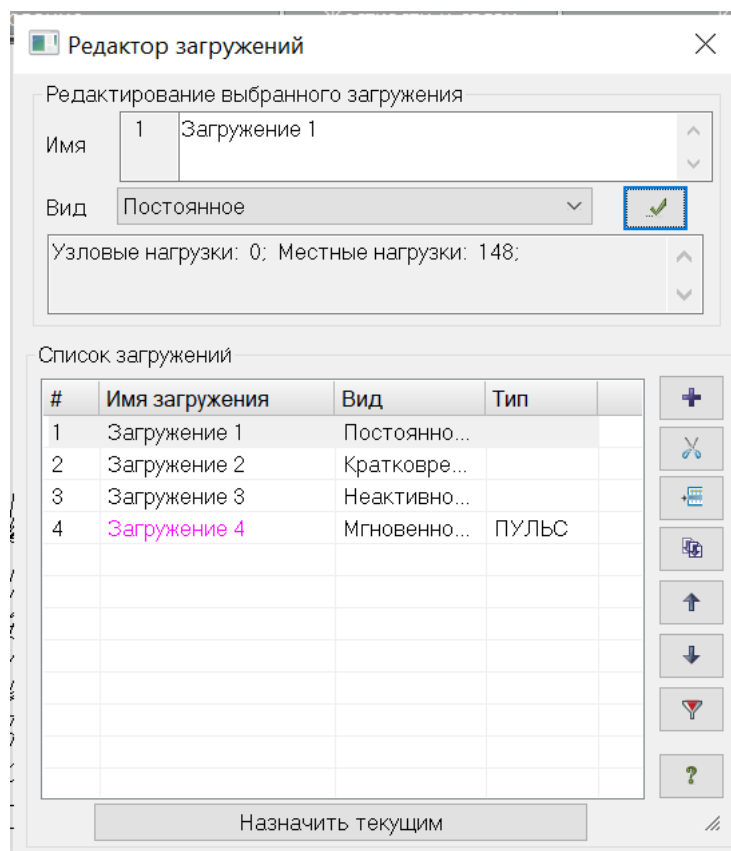


Рис. 10. Редактор загрузки башни

Формирование загрузки – собственный вес конструкции.

Вызываем диалоговое окно Добавить собственный вес щелчком по кнопке – Добавить собственный вес (панель Нагрузки на вкладке Создание и редактирование). В этом окне, при включенной радиокнопке все элементы, в поле Коэф. надежности по нагрузке задаем коэффициент равен 1,05 (так как в системе РС-САПР (Редактируемый сортамент) погонный вес элементов задан нормативным, то его нужно преобразовать в расчетный).

Формирование загрузки № 1.

Щелкаем по кнопке – Отметка горизонтальных стержней на панели инструментов Панель выбора. С помощью курсора выделяем только горизонтальные элементы верхней площадки башни. После этого вызываем диалоговое окно Задание нагрузок на закладке Нагрузки на стержни, выбрав команду – Нагрузка на стержни в раскрывающемся списке Нагрузки на узлы и элементы (панель Нагрузки на вкладке Создание и редактирование). В

этом окне по умолчанию указана система координат Глобальная, направление – вдоль оси Z. Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызываем диалоговое окно Параметры. В этом окне задаем интенсивность нагрузки $p = 0,25$ т/м (рис. 11).

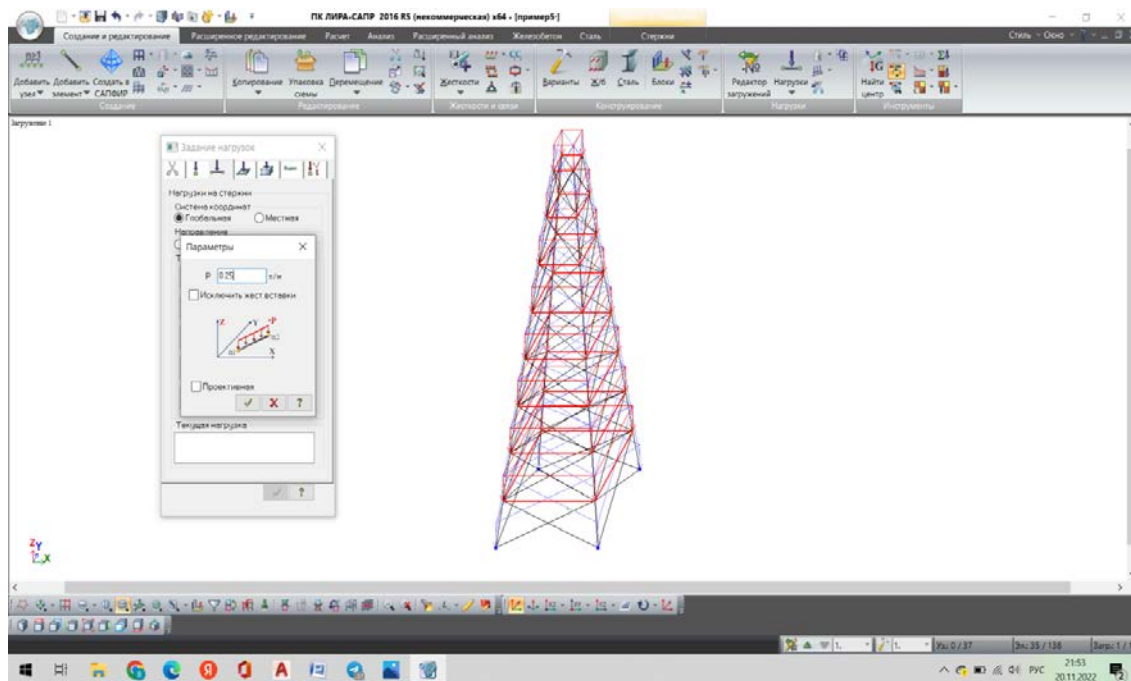


Рис. 11. Нагрузки на стержни верхней площадки башни

Формирование загрузки № 2 (гололедная нагрузка).

Изменяем номер текущего загружения щелчком по кнопке – Следующее загружение в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна). Щелкаем по кнопке – Отметка элементов в раскрывающемся списке Отметка элементов на панели инструментов Панель выбора. С помощью курсора выделяем все элементы башни. В диалоговом окне Задание нагрузок при текущей нагрузке $p = 0,25$ т/м по направлению глобальной оси Z (рис. 12).

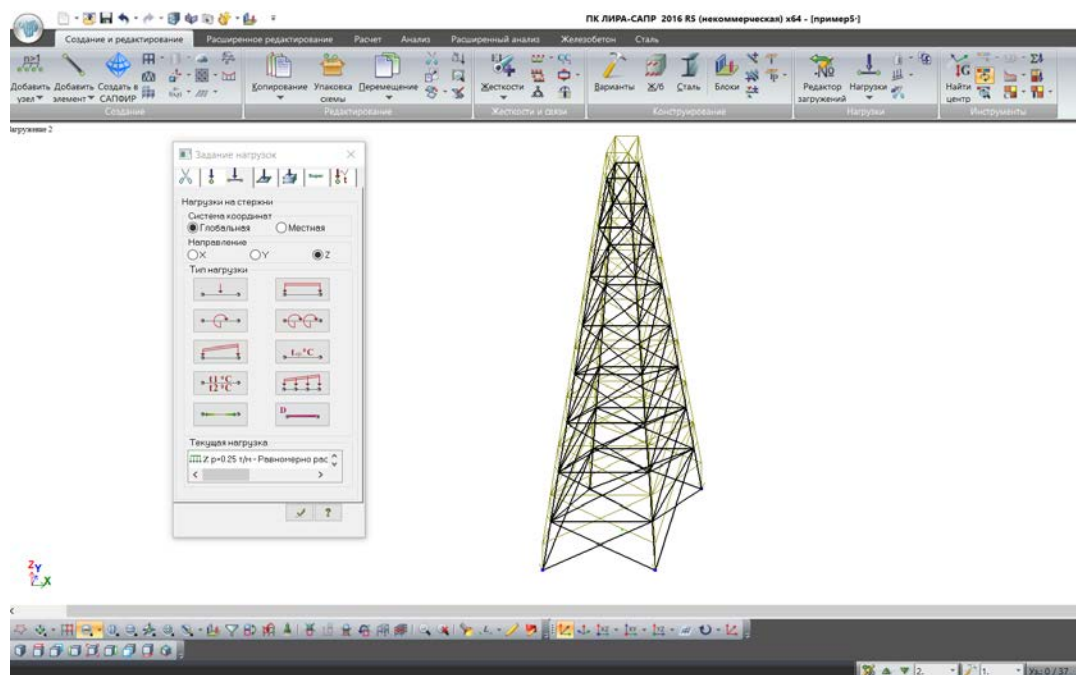


Рис. 12. Формирование загрузки № 2

Формирование загрузки № 3 (статическая составляющая ветровой нагрузки).

Сменяем номер текущего загружения щелчком по кнопке – Следующее загружение в строке состояния. Ввиду того, что в каждом уровне башни имеется жесткий диск, статическое давление ветра можно задать, как сумму скоростного напора ветра и отсоса. Щелкаем по кнопке – Проекция на XOZ на панели инструментов Проекция. Щелчком по кнопке – ПолиФильтр на панели инструментов Панель выбора вызываем диалоговое окно ПолиФильтр. В этом окне перейдем на вторую закладку Фильтр для элементов. Далее установим флажок По жесткости и в раскрывающемся списке выбираем строку 1 – труба 45 × 3,5. Выделяем проекцию пяти нижних элементов правой грани башни растягиванием резинового окна слева направо (рис. 13).

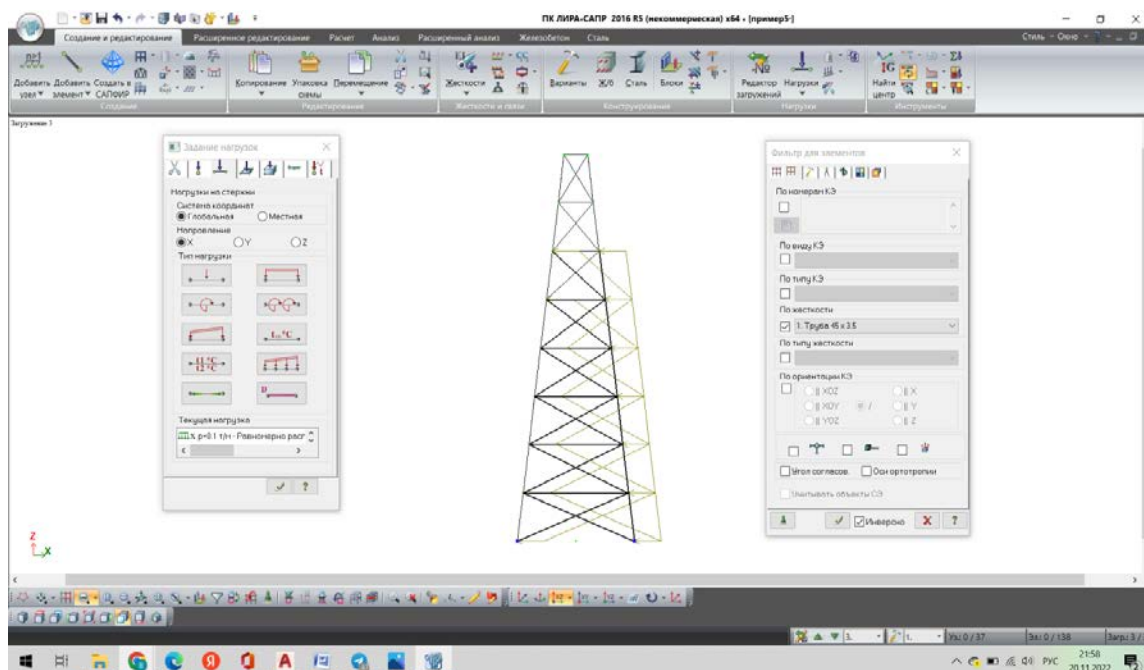


Рис. 13. Формирование нагружения № 3 (равномерная статическая ветровая нагрузка на участке высотой 10 м)

В диалоговом окне Задание нагрузок для изменения направления нагрузки включаем радиокнопку X. Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызываем диалоговое окно Параметры. В этом окне задаем интенсивность нагрузки $p = 0.1$ т/м. Щелкаем по кнопке – Подтвердить. Выделите проекцию трех верхних элементов правой грани башни растягиванием резинового окна. В диалоговом окне Задание нагрузок щелчком по кнопке трапециевидной нагрузки на группу стержней вызываем диалоговое окно Неравномерная нагрузка (рис. 14). В этом окне задаем значение нагрузки в начале и в конце ее приложения: $p_1 = 0.1$ т/м, $p_2 = 0.12$ т/м. Для указания направления изменения величины нагрузки включаем радиокнопку Вдоль оси Z.

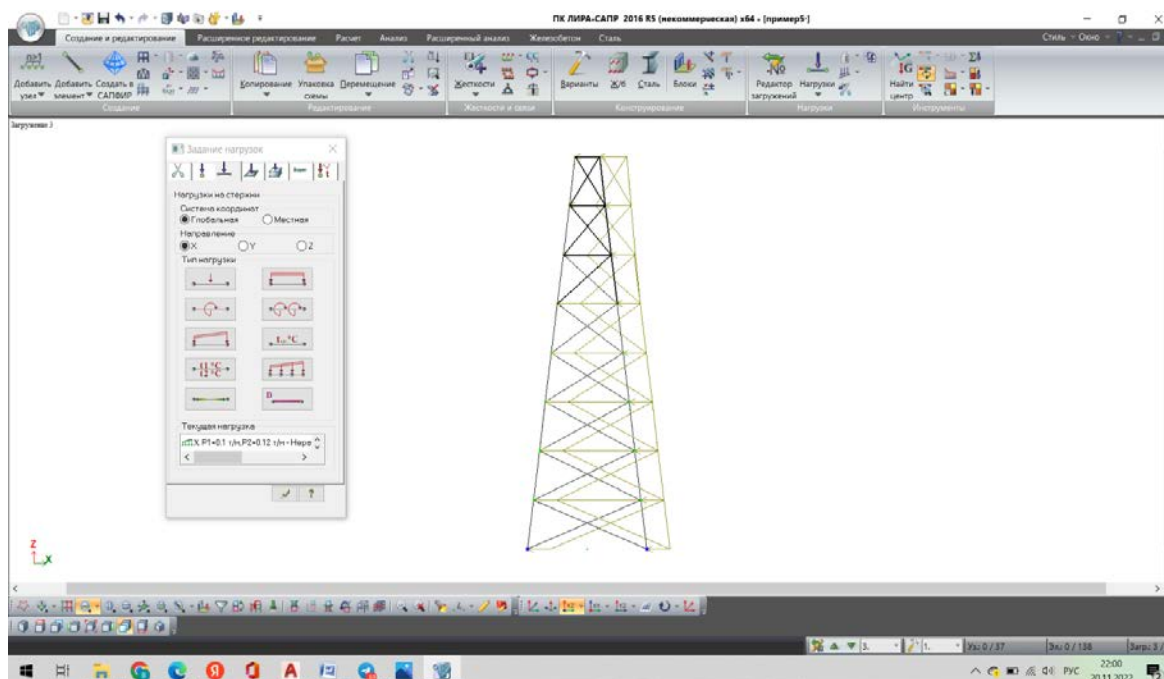


Рис. 14. Задание неравномерной статической составляющей ветровой нагрузки на участке высотой более 10 м

Этап 7. Формирование динамических загружений из статических

Сформируем динамические загрузки с помощью коэффициентов преобразования 1 и 0,9 соответственно. Данные параметры расчета произведем в соответствии с нормами СП 20.13330. 2016.

Этап 8. Генерация РСУ

Щелчком по кнопке – Таблица РСУ вызовем диалоговое окно – Расчетные сочетания усилий (рис. 15).

Расчетные сочетания усилий

Номер таблицы РСУ: + — 📌 📄 📁 ✓ ?

Имя таблицы РСУ:

Строительные нормы:

Номер загрузки: Загрузка 1

Вид загрузки: ✓ По умолчанию

N группы объединяемых временных нагрузений:

Учитывать знакопеременность: ☐

N группы взаимоисключающих нагрузений:

NN сопутствующих нагрузений:

Коэффициент надежности:

Доля длительности:

Не учитывать для II-го пред. сост.: ☐

Ограничения для кранов и тормозов:

Кран ☐ Тормоз ☐

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загр...	Вид	Параметры РСУ	Коэфф
1	Загруже...	Постоян...	0 0 0 0 0 0 0 1.05 1....	1.00 1.
2	Загруже...	Кратков...	2 0 0 0 0 0 0 1.30 0....	1.00 0.
3	Загруже...	Неактив...	9 0 0 0 0 0 0 0.00 0....	0.00 0.
4	Загруже...	Мгновен...	7 0 1 0 0 0 0 1.40 0....	1.00 0.

Коэффициенты для РСУ:

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(C)	Особ.(б.C)	5 сочет.	6 сочет.	7 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.0
2	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00	0.0
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
4	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00	0.0

Рис. 15. Расчетные сочетания усилий

Этап 9. Статический расчет башни

Выполним полный расчет, запустив задачу по кнопке – Выполнить полный расчет.

В качестве примера, результаты расчета представлены на рисунках 16 и 17 в виде мозаики продольных и поперечных сил.

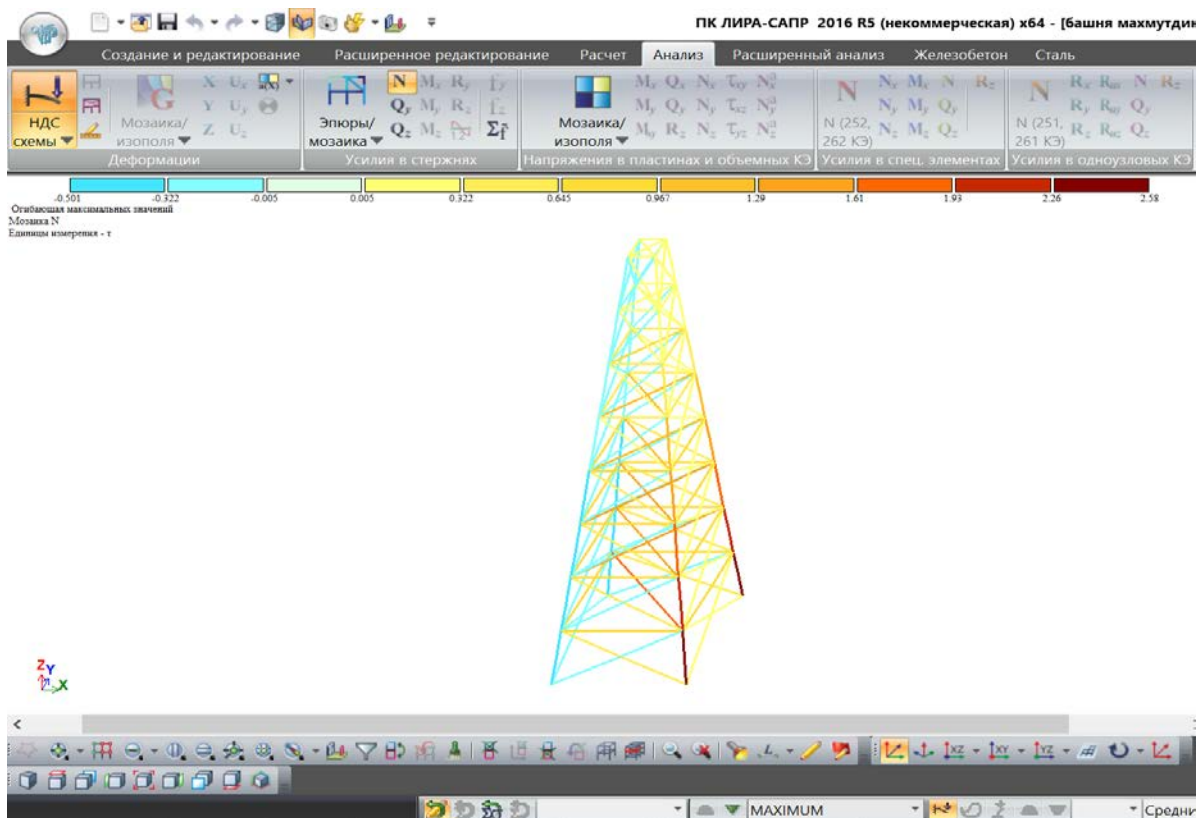


Рис. 16. Мозаика усилий N в стержнях при комбинировании нагрузок

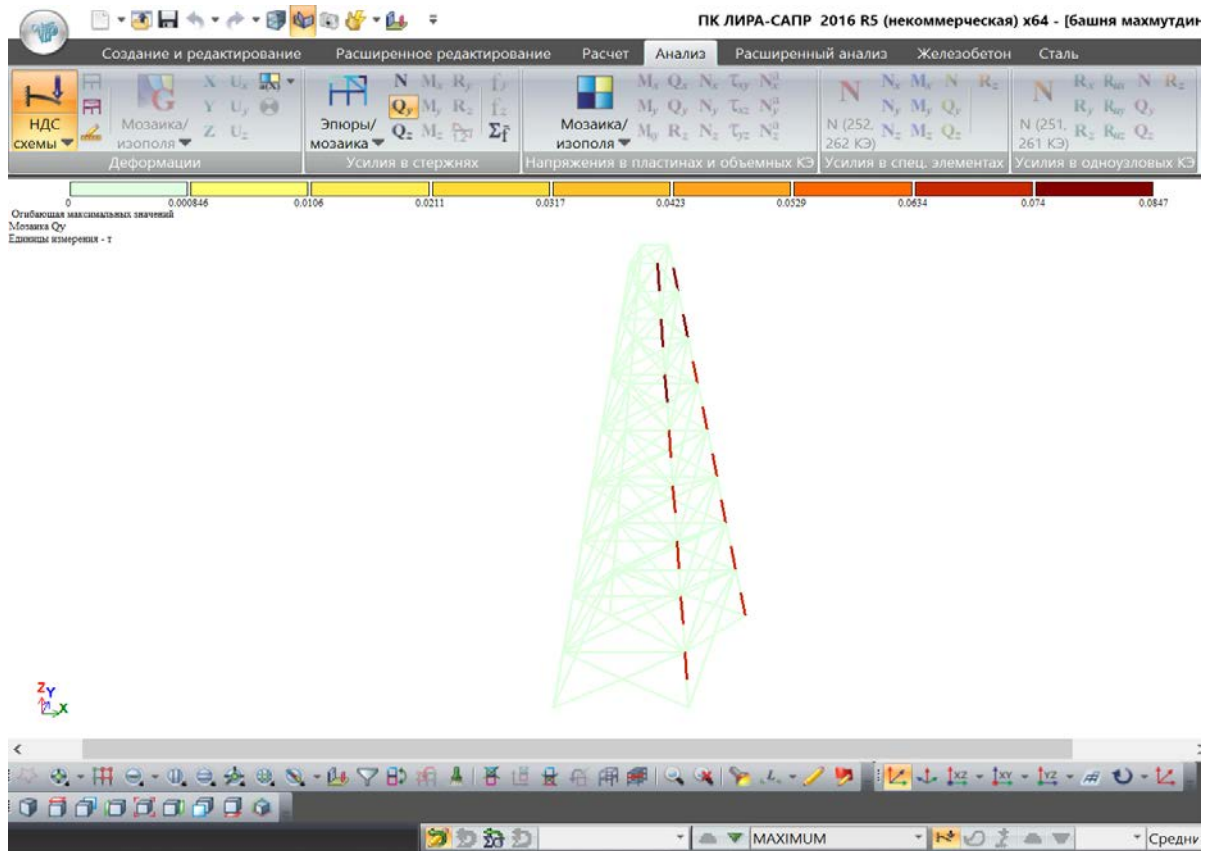


Рис. 17. Мозаика усилий Q_y в стержнях при комбинировании нагрузок

Заключение

Выполнив лабораторные работы, обучающийся получит навыки создания конечно-элементных моделей различных сооружений и умения приложения постоянных и временных внешних нагрузок к конструктивным элементам моделей, а также научиться учитывать различные расчетные сочетания нагрузок. Произведя полный расчет моделей, студент изучит результаты расчета: внутренние усилия, напряжения и деформации в конструкциях.

Освоив работу с компьютерными лабораторными моделями, обучающийся в будущем сможет решать более сложные задачи по исследованию напряженно-деформированного состояния реальных зданий и сооружений, в том числе уникальных зданий. Самое главное в работе исследователя-инженера и исследователя-бакалавра – уметь выполнить оценку полученных результатов. Это достигается опытом работы путем сравнения с ранее полученными результатами на идентичных моделях и владением расчетами строительных конструкций приближенными инженерными методами, знания которых студенты получают во время лекций и практических занятий.

Список литературы

1. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции.
4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.
5. ГОСТ Р 58901–2020. Профили стальные.
6. ГОСТ 23118–2019. Конструкции стальные строительные.
7. ГОСТ 21.502–2016 ЕСКД. Правила выполнения чертежей металлических конструкций
8. ГОСТ 19903–2015. Прокат листовой горячекатаный. Сор-тамент.
9. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СП 16.13330.2017).
10. Металлические конструкции. Изд. 7-е / под ред. Ю.И. Ку-дишина. М.: Изд-во «Академия», 2010.
11. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А. Железобетонные конструкции. В 2-х частях. Изд-во ООО «Бумажник», 2018.
12. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций // М. Издательство АСВ. 2009. – 360 с.
13. Водопьянов Р.Ю. Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК ЛИРА-САПР 2017 // Жилищное строитель-ство. 2017. № 3. С. 42–48.
14. Городецкий А.С., Барабаш М.С. Учет нелинейной работы железобетона в ПК ЛИРА-САПР. Метод «инженерная нелиней-ность» // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций, АСВ, 2016. Т. 12, № 2. С. 92–98.
15. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство поль-зователя. Обучающие примеры / Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е., Ромашкина М.А. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание. 2017. – 535 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

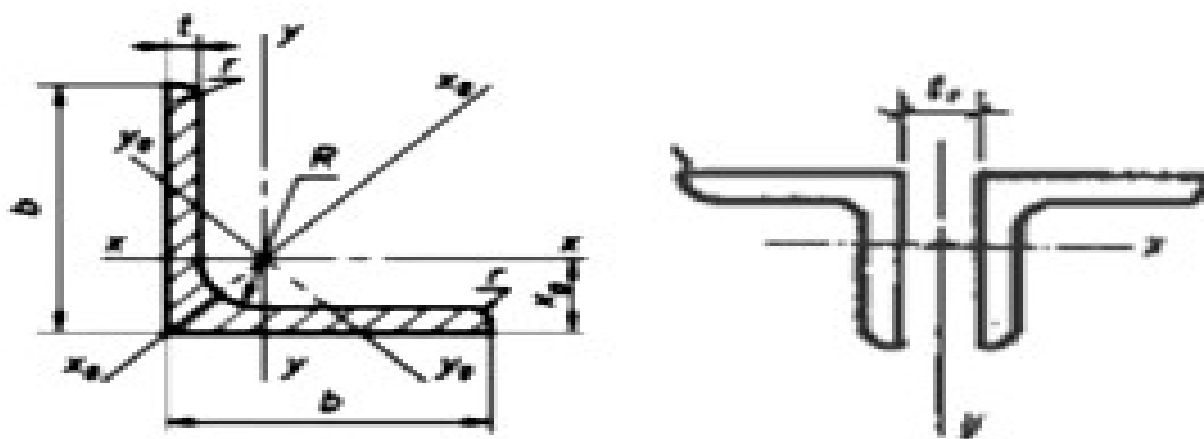


Рис. П1. Уголки стальные горячекатаные равнополочные

Сортамент. Уголки стальные горячекатаные равнополочные

№	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>F</i> , см2	Справочные значения для осей										Масса 1 м, кг
	мм					<i>X – X</i>			<i>X₀ – X₀</i>		<i>y₀ – y₀</i>			<i>ixy</i> , 4 см	<i>x₀</i> , см	
						<i>I_x</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см3	<i>i_x</i> , см	<i>I_{y0}</i> max, см	<i>I_{y0}</i> max, см	<i>I_{y0}</i> min, см	<i>W_{y0}</i> , см ³	<i>I_{y0}</i> min, см			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	0,39	0,23	0,60	0,89
		4	3,5	1,2	1,46	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	0,38	0,28	0,64	1,15
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,47	0,73	1,12
		4	3,5	1,2	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,59	0,76	1,46
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,68	0,80	1,27
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85	0,85	1,36
		4	4,0	1,3	2,27	1,84	0,87	0,90	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	1,08	0,89	1,78
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	1,03	0,89	1,46
		4	4,5	1,5	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	1,32	0,94	1,91
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97	1,60
		4	4,5	1,5	2,67	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,75	1,01	2,10
		5	4,5	1,5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	2,10	1,05	2,58
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09	1,85
		4	5,0	1,7	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13	2,42
		5	5,0	1,7	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17	2,98
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21	2,08
		4	5,0	1,7	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26	2,73
		5	5,0	1,7	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30	3,37
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33	2,32
		4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	4,25
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72

Окончание таблицы П1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88	4,87
		5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39
		7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02	8,37
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80
		6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96
		8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17	6,78
		6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33
		7	10,0	3,3	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64
		8	10,0	3,3	13,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93
		9	10,0	3,3	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20
10	100	6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68	10,06
		7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79
		8	12,0	4,0	15,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63
		16	12,0	4,0	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06	23,30
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50

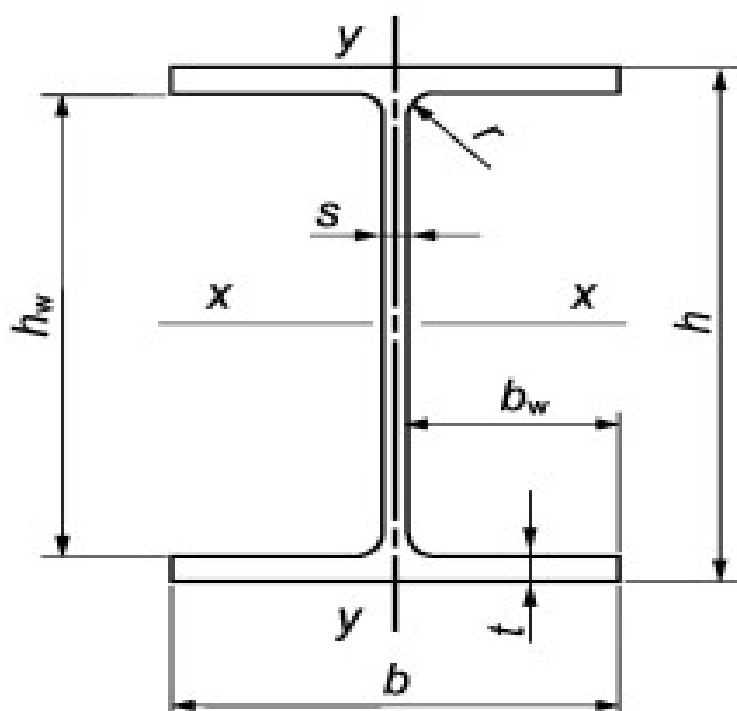


Рис. П2. Поперечное сечение двутавра:

h – высота двутавра; h_w – высота стенки двутавра
(в свету между полками); b – ширина полки; b_w – свес полки;
 t – толщина полки; s – толщина стенки; r – радиус сопряжения

Таблица П2.1

Сортамент. Номинальные размеры двутавров и площадь поперечного сечения, масса 1 м длины, справочные величины для осей по ГОСТ Р 57837–2017

Номер профиля	Номинальные размеры, мм							Номиналь- ная площадь попереч- ного сечения F_n см ²	Номиналь- ная масса 1 м двутав- ра, кг	Справочные величины для осей профиля							
	h	b	S	t	h_w	b_w	r			I_x , см ⁴	W_x , см ³	S_x , см ³	i_y , мм	I_y , см ⁴	W_y , см ³	S_y , см ³	i_y , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Тип Б – Балочные двутавры																	
10Б1	100,0	55,0	4,1	5,7	88,6	25,45	7,0	10,32	8,10	171,01	34,20	19,70	40,70	15,92	5,79	4,57	12,42
12Б1	117,6	64,0	3,8	5,1	107,4	30,10	7,0	11,03	8,70	257,38	43,80	24,94	48,30	22,39	7,00	5,49	14,25
12Б2	120,0	54,0	4,4	6,3	107,4	29,80	7,0	13,21	10,40	317,75	53,00	30,36	49,04	27,67	8,65	6,79	14,47
14Б1	137,4	73,0	3,8	5,6	126,2	34,60	7,0	13,39	10,50	434,86	63,30	35,80	56,98	36,42	9,98	7,76	16,49
14Б2	140,0	73,0	4,7	6,9	126,2	34,15	7,0	16,43	12,90	541,22	77,30	44,17	57,40	44,92	12,31	9,62	16,54
16Б1	157,0	62,0	4,0	5,9	145,2	39,00	9,0	16,18	12,70	689,28	87,80	49,55	65,27	54,43	13,27	10,35	18,34
16Б2	160,0	62,0	5,0	7,4	145,2	36,50	9,0	20,09	15,80	889,29	108,70	61,93	65,78	68,31	18,68	13,05	18,44
18Б1	177,0	91,0	4,3	6,5	164,0	43,35	9,0	19,58	15,40	1062,74	120,10	67,66	73,68	81,89	18,00	13,98	20,45
16Б2	160,0	91,0	5,3	8,0	164,0	42,85	9,0	23,95	18,80	1316,96	146,30	83,21	74,16	100,85	22,16	17,30	20,52
20Б0	198,0	99,0	4,5	7,0	184,0	47,25	11,0	23,18	18,20	1581,56	159,80	89,88	82,60	113,62	22,95	17,88	22,14
20Б1	200,0	100,0	5,5	8,0	184,0	47,25	11,0	27,16	21,30	1844,26	184,40	104,73	82,41	133,91	26,78	20,97	22,21
20Б2	203,0	101,0	6,5	9,5	184,0	47,25	11,0	32,19	25,30	2218,49	218,60	124,99	83,02	163,93	32,46	25,50	22,57
20Б3	208,0	102,0	8,0	12,0	184,0	47,00	11,0	40,24	31,60	2852,62	274,30	158,46	84,20	213,50	41,86	33,02	23,03
25Б1	246,0	124,0	5,0	8,0	232,0	59,50	12,0	32,68	25,70	3537,11	285,30	159,68	104,04	254,85	41,11	31,80	27,93
25Б2	250,0	125,0	6,0	9,0	232,0	59,50	12,0	37,68	29,60	4051,73	324,10	182,93	103,73	293,85	47,02	36,55	27,93
25Б3	255,0	126,0	7,5	11,5	232,0	59,25	12,0	47,62	37,40	5238,18	410,80	233,88	104,88	384,79	61,08	47,67	28,43
25Б4	260,0	127,0	9,0	14,0	232,0	59,00	12,0	57,68	45,30	6481,01	498,50	286,25	106,00	480,07	75,60	59,24	28,85
30Б1	298,0	149,0	5,5	8,0	282,0	71,75	13,0	40,80	32,00	6318,22	424,00	237,53	124,44	442,00	59,33	45,88	32,91
30Б2	300,0	150,0	6,5	9,0	282,0	71,75	13,0	46,78	36,70	7209,26	480,60	271,08	124,14	507,53	67,67	52,56	32,94
30Б3	305,0	151,0	8,0	11,5	282,0	71,50	13,0	58,74	46,10	9254,92	606,90	344,37	125,52	661,88	67,67	68,31	33,57
30Б4	310,0	152,0	9,5	14,0	282,0	71,25	13,0	70,80	55,60	11381,41	734,30	419,40	126,79	822,37	108,21	84,60	34,06
35Б1	346,0	174,0	6,0	9,0	328,0	84,00	14,0	52,68	41,40	11094,49	641,30	358,09	145,12	791,54	90,98	70,11	38,76
35Б2	350,0	175,0	7,0	11,0	328,0	84,00	14,0	63,14	49,60	13559,01	774,80	433,96	146,54	984,34	112,50	86,79	39,48

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
35Б3	355,0	176,0	8,5	13,5	328,0	83,75	14,0	77,06	60,50	16797,02	946,30	\$33,54	147,62	1229,36	139,70	106,13	39,94
35Б4	361,0	177,0	10,0	16,5	326,0	83,50	14,0	92,89	72,90	20719,71	1147,90	651,07	149,35	1528,90	172,76	134,02	40,57
40Б1	396,0	199,0	7,0	11,0	374,0	96,00	16,0	72,16	56,60	20018,83	1011,10	563,93	166,56	1447,14	145,44	111,97	44,78
40Б2	400,0	200,0	8,0	13,0	374,0	96,00	16,0	84,12	66,00	23704,43	1185,20	663,13	167,87	1736,39	173,64	133,82	45,43
40Б3	406,0	201,0	9,5	16,0	374,0	95,75	16,0	102,05	80,10	29352,45	1445,90	813,38	169,60	2169,89	215,91	166,74	46,11
40Б4	412,0	202,0	11,0	19,0	374,0	95,50	16,0	120,10	94,30	35196,83	1706,60	966,65	171,19	2616,25	259,03	200,47	46,67
45Б1	446,0	199,0	8,0	12,0	422,0	95,50	18,0	84,30	66,20	28697,35	1286,90	725,06	184,50	1580,03	158,80	123,29	43,29
45Б2	450,0	200,0	9,0	14,0	422,0	95,50	18,0	96,76	76,00	33450,76	1486,70	839,53	185,93	1871,57	187,16	145,46	43,98
45Б3	456,0	201,0	10,5	17,0	422,0	95,25	18,0	115,43	90,60	40710,41	1785,50	1012,55	187,80	2307,62	229,61	178,81	44,71
45Б4	462,0	202,0	12,0	20,0	422,0	95,00	16,0	134,22	105,40	48197,42	2066,50	1188,75	189,50	2756,66	272,94	213,01	45,32
50Б1	492,0	199,0	8,8	12,0	468,0	95,10	20,0	92,38	72,50	36841,89	1497,60	853,45	199,70	1581,96	158,99	124,86	41,38
50Б2	496,0	199,0	9,0	14,0	468,0	95,00	20,0	101,27	79,50	41869,08	1688,30	957,23	203,33	1844,89	185,42	144,88	42,68
50Б3	500,0	200,0	10,0	16,0	468,0	95,00	20,0	114,23	89,70	47846,05	1913,80	1087,59	204,66	2140,79	214,08	167,48	43,29
50Б4	506,0	201,0	12,0	20,0	468,0	94,50	20,0	139,99	109,90	59953,57	2360,40	1348,82	206,94	2717,85	270,43	212,23	44,06
50Б5	516,0	202,0	15,0	24,0	468,0	93,50	20,0	170,59	133,90	73345,26	2842,80	1642,68	207,35	3315,53	328,27	260,04	44,09
55Б1	543,0	220,0	9,5	13,5	\$160	105,25	24,0	113,36	89,00	55677,42	2050,70	1164,94	221,62	2405,54	218,69	171,67	46,06
55Б2	547,0	220,0	10,0	15,5	5160	105,00	24,0	124,74	97,90	62784,45	2295,60	1301,49	224,34	2761,34	251,03	196,56	47,05
55Б3	553,0	221,0	12,0	18,5	516,0	104,50	24,0	148,63	116,70	75321,22	2724,10	1554,49	225,11	3342,92	302,53	237,99	47,42
55Б4	560,0	222,0	14,0	22,0	516,0	104,00	24,0	174,86	137,30	89907,09	3211,00	1842,20	226,75	4032,07	363,25	286,76	48,02
60Б1	596,0	199,0	10,0	15,0	566,0	94,50	22,0	120,45	94,60	68715,90	2305,90	1325,36	238,85	1979,66	198,96	157,64	40,54
60Б2	600,0	200,0	11,0	17,0	566,0	94,50	22,0	134,41	105,50	77632,25	2587,70	1489,36	240,32	2278,16	227,82	180,72	41,17
60Б3	604,0	201,0	12,5	19,0	566,0	94,25	22,0	151,28	118,80	87472,10	2896,40	1675,38	240,46	2586,62	257,38	205,28	41,35
60Б4	612,0	202,0	15,0	23,0	566,0	93,50	22,0	181,97	142,90	106509,50	3480,70	2026,68	241,93	3182,62	315,11	253,12	41,82
70Б1	691,0	260,0	12,0	15,5	690,0	124,00	24,0	164,74	129,30	125922,20	3644,60	2094,79	276,47	4557,35	350,57	276,64	52,60
70Б2	697,0	260,0	12,5	16,5	660,0	123,75	24,0	183,64	144,16	145004,02	4186,63	2392,68	281,87	5437,68	418,28	328,41	54,41
70Б3	702,0	261,0	14,5	21,0	660,0	123,25	24,0	210,26	165,10	167085,05	4760,30	2736,06	281,89	6248,49	478,81	378,10	54,51
70Б4	710,0	262,0	17,0	25,0	660,0	122,50	24,0	248,14	194,80	199679,98	5624,60	3249,28	283,67	7531,16	574,90	456,29	55,09
Тип К – Колонные двутавры																	
15К1	147,0	149,0	6,0	8,5	130,0	71,50	11,0	34,17	26,80	1366,78	186,00	103,63	63,25	46921	62,98	48,05	37,06
15К2	150,0	150,0	7,0	9,0	130,0	71,50	11,0	40,14	31,50	1641,33	218,80	123,04	63,95	56328	75,10	57,36	37,46
15К3	156,0	151,0	6,5	12,5	130,0	71,25	11,0	49,84	39,10	2117,61	273,20	155,69	65,18	718,46	95,16	72,78	37,97
15К4	160,0	152,0	10,0	15,0	130,0	71,00	11,0	59,64	46,80	2629,16	328,60	189,67	66,40	879,68	115,74	88,65	38,41
15К5	166,0	153,0	12,0	18,0	130,0	70,50	11,0	71,72	56,30	3291,43	396,60	232,39	67,74	1077,13	140,80	108,12	38,75

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
20K1	196,0	199,0	6,5	16,0	176,0	96,2S	13,0	52,69	41,40	3846,06	392,50	216,41	85 44	1314,47	132,11	100,38	49 95
20K2	200,0	200,0	8,0	12,0	176,0	96,00	13,0	63,53	49,90	4715,63	471,60	262,75	86,15	1601,53	160,15	121,91	50,21
20K3	204,0	201,0	9,0	14,0	176,0	96,00	13,0	73, \$7	57,80	5602,48	\$49,X	308,35	87,26	1896,76	188,73	143,72	50,78
20K4	210,0	201,0	10,5	17,0	176,0	95,25	13,0	88,27	69,30	6962,62	663,10	376,57	88 81	2303,59	229,21	174,72	51,09
20K5	214,0	202,0	12,0	19,0	176,0	95,00	13,0	99,33	78,00	7970,40	744,90	426,84	89,58	2613,87	258,80	197,63	51,30
20K6	220,0	202,0	14,0	22,0	176,0	94,00	13,0	114 97	90,30	9488,15	882,60	S00,34	90 84	3027,75	299,78	229,45	51,32
20K7	226,0	203,0	16,0	25,0	176,0	93,50	13,0	131,11	102,90	11136,66	985,60	578,16	92,16	3493,41	344,18	263,98	51,62
20K8	234,0	203,0	18,0	29,0	176,0	92,50	13,0	150,87	118,40	13375,48	1143 20	679,29	94 16	4053,99	399,41	306,76	\$1 84
25K1	246,0	249,0	8,0	12,0	222,0	120,50	16,0	79,72	62,60	9170,92	745,60	410,68	107,26	3090,06	248,20	188,61	62,26
25K2	250,0	250,0	9,0	14,0	222,0	120,50	16,0	92,18	72,40	10832,61	866,60	480,25	108,41	3648,81	291,90	221,88	62,92
25K3	253,0	251,0	10,0	15,5	222,0	120,50	16,0	102,21	80,20	12153,56	960,80	535,41	109,06	4068,75	325,80	247,85	63,25
25K4	257,0	252,0	11,0	17,\$	222,0	120,50	16,0	114,82	90,10	13927,17	1083,80	607,67	110,14	4672,01	370,79	28218	63,79
25K5	262,0	253,0	12,5	20,0	222,0	120,25	16,0	131,15	103,00	16243,92	1240,00	701,07	111,29	5404,02	427,20	325,48	64 19
25K6	267,0	253,0	14,0	22,5	222,0	119,50	16,0	147,13	115,50	18593,24	1392,80	793,96	112,42	6080,59	480,68	366,65	64,29
25K7	274,0	258,0	16,0	26,0	222,0	121,00	16,0	171,88	134,90	22416,62	1636,30	942,16	114,20	7452,57	577,72	441,04	65,85
25K8	281,0	259,0	18,0	29,5	222,0	120,50	16,0	194,97	15310	26169,72	1862,60	1083 49	115,86	8556,67	660,75	505,09	66,25
25K9	288,0	260,0	20,0	33,0	222,0	120,00	16,0	218,20	171,30	30128,76	2092,30	1228,96	117,51	9685,85	745,07	570,29	66,63
25K10	298,0	261,0	23,0	38,0	222,0	119,00	160	251,62	197,50	36112,37	2423,70	1442 84	119,80	1128810	864,99	663,49	86,98
30K1	298,0	299,0	9,0	14,0	270,0	145,00	18,0	110,60	87,00	18848,66	1265,00	694,64	130,43	6241,19	417,47	316,82	75,06
30K2	300,0	300,0	10,0	15,0	270,0	145 00	180	119 78	94,00	20410,21	1360,70	750,59	130,54	8754,83	450,32	342,13	75,10
30K3	300,0	306,0	15,0	15,0	270,0	145,00	18,0	134,78	105,60	21535,21	1435,70	806,84	126,40	7104,76	465,89	358,04	72,60
30K4	304,0	301,0	11,0	17,0	270,0	145 00	180	134,82	10580	23380,49	1538,20	852,74	131,69	7732,59	513,79	390,46	75,73
30K5	306,0	301,0	120	19,0	270,0	144,50	18,0	149,56	117,40	26362,99	1711,90	963,96	132,77	8642,78	574,27	438,61	76,02
30K6	312,0	302,0	13,0	21,0	270,0	144,50	18,0	164,72	129,30	29508,74	1891,60	105944	133,84	9648,60	638,98	485,99	76,53
30K7	316,0	302,0	14,5	23,0	270,0	143,75	180	160,85	142,00	32732,42	2071,70	1167,93	134,53	10569,09	699,94	533,09	76,45
30K8	316,0	357,0	14,5	23,0	270,0	171,25	18,0	206,15	161,80	38173,52	2416,10	1353,26	136,08	17452,10	977,71	741,50	92,01
30K9	322,0	3S80	16,0	26,0	270,0	171,00	180	232,14	18220	43963,21	2731,90	1541,80	137,65	1989606	1111,51	843,38	92,58
30K10	328,0	359,0	18,0	29,0	270,0	170,50	18,0	259,60	203,80	50113,52	3065,70	1738,68	138,94	22381,16	1246,86	947,13	92,85
30K11	334,0	360,0	20,0	32,0	270,0	170,00	18,0	287,18	225,40	56488,07	3382,50	193998	140,25	24906,98	1383,72	1062,2 5	93,13
30K12	341,0	361,0	220	35,5	270,0	169,50	18,0	318,49	250,00	64158,87	3763,00	217626	141,93	27866,03	1543,82	1175,0 2	93,54

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
30K13	350,0	3620	24,0	40,0	270,0	169,00	18,0	357,18	280,40	74376,59	4250,10	2481,31	144,30	31663,84	1749,38	1332,1 1	94,1\$
30K14	356,0	371,0	27,0	43,0	270,0	172 00	18,0	394,74	30990	83542,72	4693,40	276090	146,48	36649,59	197572	1606,6 8	96,36
30*15	364,0	372,0	30,0	47,0	270,0	171,00	18,0	433,46	340,30	93889,39	5158,80	3062,80	147,17	40396,23	2171,84	1659,0 3	96,54
30K16	374,0	373,0	33,0	52,0	270,0	170,00	180	479,80	376,60	107317,14	5738,90	3441,68	149,56	45068,65	2418,55	1848,2 8	96,92
30K17	384,0	374,0	36,0	57,0	270,0	169,00	18,0	526,34	413,20	121512,35	6328,80	3831,76	151,94	49816,72	2664,00	2040,0 4	97,29
30K18	396,0	375,0	39,0	63,0	270,0	168,00	180	580,58	455,80	139424,86	7041,70	430716	154,97	55520,26	2981,08	2289,4 5	97,79
30K19	406,0	385,0	43,0	69,0	270,0	171,00	18,0	650,18	510,40	162282,28	7956,00	4912 82	167,99	65823,94	3419,43	2622,8 3	100,62
30K20	422,0	387,0	47,0	76,0	270,0	170,00	18,0	717,92	563,60	18707237	8866 00	5534 78	161,42	73671,75	3807,33	2923,9 9	101,30
30K21	440,0	389,0	52,0	85,0	270,0	168,50	18,0	804,48	631,50	221339,16	10060,90	6361,10	165,87	83732,23	4305,00	3311,0 1	102,02
35K1	342,0	3480	10,0	15,0	312,0	169,00	20,0	139,03	109,10	31247,91	1827,40	1001,17	149,92	10542,21	606,87	459,67	87,06
35K1,5	346,0	349,0	11,0	17,0	312,0	169,00	20,0	156,41	122,80	35711,23	2064,20	1135,84	151,10	12051,44	690,63	524,08	87,78
35K2	350,0	350,0	12,0	19,0	312,0	169,00	20,0	173,87	136,50	40295,09	2302,60	1272,61	152,23	13585,82	776,33	589,29	88,39
35K3	355,0	351,0	13,5	21,5	312,0	168,75	20,0	196,48	154,20	46230,77	2604,60	1448 68	153,39	15506,81	883,58	671,24	88,34
35K4	360,0	352,0	15,0	24,0	312,0	168,50	20,0	219,19	172,10	52353,70	2908,50	1627,80	154,55	17459,86	992,04	754,25	89,25
35K5	365,0	353,0	16,5	26,5	312,0	168,25	20,0	242,00	190,00	58667,44	3214,70	1810 04	155,70	19445,30	1101,72	838,34	89,64
35K6	369,0	360,0	18,0	28,5	312,0	171,00	20,0	264,79	207,90	64960,86	3520,90	1991,80	156,63	22183,47	1232,42	938,35	91,53
35K7	376,0	361,0	20,0	32,0	312,0	170,50	20,0	296 87	233,10	74398,83	3957 40	2256 32	158,31	25119,61	1391,67	1060,6 5	91,99
35K8	382,0	362,0	22,0	35,0	312,0	170,00	20,0	325,47	255,50	82894,78	4340,00	2491,98	159,59	27706,51	1530,86	1168,1 7	92,27
35K9	389,0	363,0	24,0	38,5	312,0	169,50	20,0	357,82	280,90	93053,12	4784 20	2767,2S	161,26	30738,03	1693,56	1293,5 7	92,68
35K10	396,0	364,0	28,5	42,0	312,0	168,75	20,0	391,87	307,60	103738 94	5239 20	3054 44	162,70	33819,63	1858,22	1421,6 4	92,90

Продолжение таблицы П2.1

35K11	404,0	374,0	29,0	46,0	312,0	172,50	20,0	437,99	343,80	118982,06	5890,20	3458,40	164,82	40183,36	2148,84	1644,6 3	95,78
35K12	414,0	375,0	32,0	51,0	312,0	171,50	20,0	485 77	381,30	138721,11	6556 60	3886 58	167,15	44924,28	239596	1836,4 2	96,17
35K13	424,0	376,0	35,0	56,0	312,0	170,50	20,0	533,75	419,00	153322,14	7232,20	4326,20	169,49	49742,08	2645,86	2030,8 1	96,54
35K14	434,0	377,0	38,0	61,0	312,0	169,50	20,0	581,93	456,80	171810,18	7917,50	4777,34	171,83	54637,74	2898 55	2227,8 1	96,90
35K15	446,0	378,0	42,0	67,0	312,0	168,00	20,0	640,99	503,20	195206,29	8753,70	5336,35	174,51	60526,72	3202,47	2466,4 8	97,17
35K16	458,0	392,0	46,0	73,0	312,0	173,00	20,0	719,27	564,60	227053,17	9915,00	6094,32	177,67	73566,95	3753,42	2891,6 1	101,13
35K17	472,0	393,0	50,0	80,0	312,0	171,50	20,0	788,23	618,80	258357,05	10947,30	6796,68	181,04	81286,57	4136,72	3191,5 4	101,55
35K18	488,0	394 0	5S,0	88,0	312,0	169,50	20,0	868,47	681,80	296S60,11	121S4,10	7629,66	164,79	90173,86	4S77,35	3538,6 6	101,90
35K19	506,0	395,0	60,0	97,0	312,0	167,50	20,0	956,93	751,20	342451 59	13535,60	8591,51	169,17	100237,84	5075 33	3929,9 2	102,35
35K20	520,0	409,0	65,0	104,0	312,0	172,00	20,0	1056,95	829,70	392963,38	15114,00	9664,42	192,82	119352,51	5836,31	4520,4 3	106,26
35K21	540,0	411,0	71,0	114,0	312,0	170,00	20,0	1162,03	91220	454051,02	16816,70	10869,85	197,67	132896,31	6466,97	5017,7 1	106,94
35K22	562,0	413,0	77,0	125,0	312,0	168,00	20,0	1276,1?	1001,80	526659,93	18742,40	12243,01	203,15	148011,27	7167,62	5568,8 9	107,69
35K23	580,0	426,0	84,0	134,0	312,0	171,00	20,0	1407,19	1104,70	606878,23	20926,80	13777,86	207,67	174271,92	8181,78	6362,6 1	111,29
35K24	604,0	430,0	92,0	146,0	312,0	169,00	20,0	1546,07	1213,70	704826,44	23338,60	15522,09	213,51	195579,56	9096,72	7087,6 1	112,47
40K1	394,0	398,0	11,0	18,0	358,0	193,50	22,0	186,81	146,70	56145,31	2850,00	1559,22	173,36	18922,62	950,89	720,40	100,64
40K2	400,0	400,0	13,0	21,0	358,0	193,50	22,0	218,69	171,70	66621,41	3331,10	1836,23	174 54	22412,67	1120,63	849,93	101,23
40K3	406,0	403,0	16,0	24,0	358,0	193,50	220	254,87	200,10	78039,22	3844,30	2139,84	174,98	26200,19	1300,26	988,59	101,39
40K4	414,0	405,0	18,0	28,0	358,0	193,50	22,0	295,39	231,90	92771,14	4481,70	2513,15	177,22	31026,87	1532,19	1165,5 6	102,49
40K4,5	420,0	403,0	20,0	31,0	358,0	191,50	220	325,61	256,60	103629,70	4934,80	2786,46	178,40	33850,08	1679,90	1279,6 7	101,96

Окончание таблицы П2.1

40K5	429 0	400,0	23,0	35,5	358,0	18850	220	370,49	290,80	120290,27	5607,90	3198,49	18019	37914,87	1895,74	1447,0 ₈	101,16
40K6	438,0	370,0	25,0	40,0	358,0	172,50	220	389,65	305,90	128432,35	5864,50	3381,88	181,55	33828,59	1826,57	1400,5 ₉	93,18
40K7	4460	371,0	28,0	45,0	358,0	171,50	220	43829	344,10	148100,16	6611,60	3848,78	183,82	38379,67	2066,98	1587,4 ₇	93,58
40K8	458 0	372,0	31,0	50,0	358,0	170,50	220	487,13	382,40	168699,38	7366,80	4327,20	186 09	43005,94	2312,15	1777,0 ₅	93,96
40K9	470,0	373,0	35,0	56,0	3580	169 00	220	547,21	429,60	194740,01	8266,80	4920,70	18865	48584,93	2605,09	2007,2 ₈	94,23
40K10	404,0	374,0	39,0	63,0	358,0	167,50	220	615,01	482,80	226537,95	9361,10	5620,76	191,92	55131,74	2948,22	2276,1 ₈	94,68
40K11	494,0	392,0	43,0	88,0	358,0	174,50	220	69121	54260	261626,63	10592 20	6402,77	194 55	68534,68	3496,67	2700,5 ₂	99,57
40K12	5100	393,0	48 0	78,0	3580	172,50	220	773,35	607,10	303779,05	11912,90	7286,50	19819	77250,09	3931,30	3043 ₆₄	99,94
40K13	S28,0	394,0	53,0	85,0	3580	170,50	220	683 69	678,00	354176,39	13415 80	8303,29	202 50	87133,42	4423,02	3430,9 ₉	100 44
40K14	548 0	395,0	59,0	95,0	358,0	168,00	220	965,87	758,20	414486,60	15127,30	9480,79	207,15	98243,26	4974,34	3858,5 ₂	100,85
40K15	564 0	410,0	650	103,0	3580	172,50	220	1061,45	848,90	482318,02	17103 50	10811, S1	211,18	119192,55	S814,27	4525,4 ₂	104 98
40K16	588 0	412,0	72,0	115,0	3580	170,00	220	1209,51	949,50	569246,79	19362 10	12395 01	216 94	135224,9 ₈	6S64,32	5120,6 ₂	10574
40K17	816,0	414,0	80,0	129,0	3580	167,00	22,0	1358,67	1066,60	679972,83	22077,00	14322 16	22371	154171,5 ₆	7447,90	5823,2 ₅	10652
40K18	6380	430,0	87,0	140,0	3580	171,50	220	1519,61	1192 90	800682,16	25099 80	16419 75	229 54	187578,9 ₆	8724,60	6820,2 ₇	111,10
40K19		435,0	96,0	1550	356,0	169,50	22,0	1696 33	1331,60	952172,58	28508,20	18868,6 4	236,92	215398 09	9903 36	7755,8 ₈	112,68

Примечания

1 Высота профиля (h), ширина полки (b), толщина стенки (s), толщина полки (t) являются контролируемыми размерами.

2 Радиус сопряжения (r), высота стенки двутавра в свету между полками (h_w), свес полки (b_w) являются справочными величинами и на двутаврах не контролируются.

3 Номинальная площадь поперечного сечения, номинальная масса 1 м двутавра, а также справочные величины для осей профиля вычислены по номинальным размерам. Плотность стали принята равной 7850 кг/м³.

Таблица П2.2

**Сортамент. Номинальные размеры труб и площадь поперечного сечения, масса 1 м длины,
справочные величины для по ГОСТ 10704–91**

Наружный диаметр, мм	Теоретическая масса 1 м труб, кг, при толщине стенки, мм										
	1,0	1,2	1,4	(1,5)	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0
10	0,222	0,260						-	-	-	-
10,2	0,227	0,266	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,271	0,320	0,366	0,388	0,410	-	-	-	-	-	-
13	0,296	0,349	0,401	0,425	0,450	-	-	-	-	-	-
14	0,321	0,379	0,435	0,462	0,489	-	-	-	-	-	-
(15)	0,345	0,408	0,470	0,499	0,529	-	-	-	-	-	-
16	0,370	0,438	0,504	0,536	0,568	-	-	-	-	-	-
(17)	0,395	0,468	0,539	0,573	0,608	-	-	-	-	-	-
18	0,419	0,497	0,573	0,610	0,719	0,789	"	-	-	-	-
19	0,444	0,527	0,608	0,647	0,687	0,764	0,838	-	-	-	-
20	0,469	0,556	0,642	0,684	0,726	0,808	0,888	-	-	-	-
21,3	0,501	0,595	0,687	0,732	0,777	0,866	0,952	-	-	-	-
22	0,518	0,616	0,711	0,758	0,805	0,897	0,986	-	-	-	-
(23)	0,543	0,645	0,746	0,795	0,844	0,941	1,04	1,13	1,26	-	-
24	0,567	0,675	0,780	0,832	0,884	0,985	1,09	1,18	1,33	-	-
25	0,592	0,704	0,815	0,869	0,923	1,03	1,13	1,24	1,39	-	-
26	0,617	0,734	0,849	0,906	0,963	1,07	1,18	1,29	1,45	-	-
27	0,641	0,764	0,884	0,943	1,00	1,12	1,23	1,35	1,51	-	-
28	0,666	0,793	0,918	0,980	1,04	1,16	1,28	1,40	1,57	-	-
30	0,715	0,852	0,987	1,05	1,12	1,25	1,38	1,51	1,70	-	-
32	0,765	0,911	1,06	1,13	1,20	1,34	1,48	1,62	1,82	2,02	-

Приложение 3

Таблица П3.1

Марки сталей для нормальных двутавров (типа Б)

Номера профилей	10Б1 – 50Б2	23Б1 – 90Б1	14Б1 – 100Б4	23Б1 – 45Б1	23Б1 – 50Б2
Марки стали	C245	C255	C345-3	C345-4	C375-3

Таблица П3.2

Маркировка сталей для широкополочные двутавров (типа Ш)

Номера профилей	20Ш1 – 40Ш3	30ш1 – 40Ш	20Ш1 – 70Ш5	20Ш1 – 70Ш5
Марки стали	C245 и C255	C375-3	C345-1	C345-3 и C345-4

Таблица П3.3

Маркировка сталей для швеллеров

Номера профилей	8-40 8П-24П	12-40 12П-24П	14-40 14П-24П
Марки стали	C245	C255	C345-3 и C345-4

Колонные двутавры (типа К) прокатывают из стали C245 и C345-3.

Приложение 4

Расчетные сопротивления стали по ГОСТ 27772, сварных и болтовых соединений, кН/см²

Сталь	Вид проката, толщина листа, мм	R_{yn}/R_{un}	R_y	R_p	R_s	R_{wz}	R_{tp}
С235	Лист, фасон:2-20	23,5/36	23	35	13,5	16	47,5
	21-40	22,5/36	22	35	12,5	16	47,5
	Лист, 41-40	21,5/36	21	35	12	16	47,5
	Лист, фасон:2-20	24,5/37	24	36	14	16,5	48,5
С245	Фасон, 21-30	23,5/37	23	36	13,5	16,5	48,5
С255	Лист, 11-20	24,5/38	24	37	14	17	50
	Фасон, 4-10	25,5/38	25	37	14,5	17	50
С275	Лист, 11-20	24,5/37	24	36	14	16,5	48,5
	Фасон, 21-40	23,5/37	23	36	13,5	16,5	48,5
С285	Лист, фасон:2-10	27,5/38	27	37	15,5	17	50
	Лист, 11-20	26,5/37	26	36	15	16,5	48,5
	Фасон, 11-20	27,5/38	27	37	15,5	17	50
	Лист:4-10	27,5/39	27	38	15,5	17,5	51,5
С345	11-20	26,5/38	26	37	15	17	50
	Фасон:4-10	28,8/40	28	39	16	18	52,5
	11-20	27,5/39	27	38	15,5	17,5	51,5
	Лист, фасон:2-10	34,5/49	33,5	48	19,5	22	64,5
С375	11-20	32,5/47	31,5	46	18	21	62
	21-40	30,5/46	30	45	17,5	20,5	60,5
	Лист, фасон:2-10	37,5/51	36,5	50	21	23	67
	11-20	35,5/49	34,5	48	20	22	64,5
С390	21-40	33,5/48	32,5	47	19	21,5	63
С440	Лист, 4-30	39/54	38	53	22	24,5	71
	Лист:4-30	44/59	43	57,5	25	26,5	77,5
	31-50	41/57	40	55,5	23	25,5	75
	Лист, 10-36	54/63,5	51,5	60,5	30	28,5	83

Примечания

1. Для стали С345 и С375 характеристики листового и фасонного проката совпадают.
2. Из сталей С390, С440, С590 фасонный прокат не выпускается.

Приложение 5

Минимальный класс бетона элементов с предварительно напряженной арматурой

Характеристика напрягаемой арматуры	Класс бетона не ниже
<i>Арматура классов:</i>	
A600-A800	B20
A1000	B30
<i>Арматура классов:</i>	
Bp1200, Bp1300,	B30
Bp1400, Bp1600, Bp1600	B20
K1400, K1500, K1600, K1700	B30

Приложение 6

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин – $acr_{c,ult}$ из условия обеспечения сохранности арматуры

Для элементов, к которым не предъявляются требования непроницаемости, значения $acr_{c,ult}$ принимают равными:		
При арматуре классов	При продолжительном раскрытии трещин, мм	При непродолжительном раскрытии трещин, мм
A240-A600 B500	0,3	0,4
A800; A1000 Bp1200-Bp1400 K1400; K1500(K-19) K1500(K-7) K1600 диаметром 12 мм	0,2	0,3
Bp1500 K1500 (K-7), K1600 диаметром 6 и 9 мм	0,1	0,2

Приложение 7

Нормативные сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$

Вид сопротивления	Нормативные сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$ и расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$, МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое (призменная прочность) $R_{b,n}$ и $R_{b,ser}$	7,5	11,0	15,0	18,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0	39,5	43,0
Растяжение осевое $R_{bt,n}$, $R_{bt,ser}$	0,85	1,10	1,35	1,55	1,75	1,95	2,10	2,25	2,45	2,60	2,75

Приложение 8

Расчетные сопротивления бетона R_b и R_{bt}

Вид сопротивления	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} , МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое (призменная прочность), R_b	6,0	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0
Растяжение осевое, R_{bt}	0,56	0,75	0,90	1,05	1,15	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80

Приложение 9

Значения начального модуля упругости бетона E_b

Значение начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19,0	24,0	27,5	30,0	32,5	34,5	36,0	37,0	38,0	39,0	39,5

Приложение 10

Нормативные значения сопротивления арматуры растяжению $R_{s,n}$

Арматура классов	Номинальный диаметр арматуры, мм	Нормативные значения сопротивления растяжению R_{sn} и расчетные значения сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{s,ser}$, МПа
A240	6-40	240
A400	6-40	400
A500	10-40	500
A600	10-40	600
A800	10-32	800
A1000	10-32	1000
B500	3-12	500
Bp500	3-5	500
Bp1200	8	1200
Bp1300	7	1300
Bp1400	4; 5; 6	1400
Bp1500	3	1500
Bp1600	3-5	1600
K1400(K-7)	15	1400
K1500(K-7)	6; 9; 12	1500
K1500(K-19)	14	1500
K1600	6; 9; 12; 15	1600
K1700	6-9	1700

Приложение 11

Расчетные значения сопротивления арматуры растяжению R_s и сжатию R_{sc}

Арматура классов	Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа		Арматура классов	Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа	
	растяжению R_s	сжатию R_{sc}		растяжению R_s	сжатию R_{sc}
A240	210	215	Bp1300	1130	500
A400	350	350	Bp1400	1215	500
A500	435	435	Bp1500	1300	500
A600	520	470	Bp1600	1390	500
A800	695	500	K1400	1170	500
A1000	830	500	K1500	1250	500
B500	435	415	K1600	1390	500
Bp500	415	390	K1700	1475	500
Bp1200	1000	500			
<i>Примечание.</i> Значения R_s в скобках используют только при расчете на кратковременное действие нагрузки.					

Приложение 12

Расчетные сопротивления поперечной арматуры R_{sw}

Класс арматуры	A240	A400	A500	B500
Расчетное сопротивление поперечной арматуры R_{sw} , МПа	170	280	300	300

Приложение 13

Значения модуля упругости арматуры E_s

Класс арматуры	Значения модуля упругости E_s , МПа
Арматура всех классов кроме канатной	200000
Канатная классов К1400; К1500; К1600; К1700	195000

Приложение 14

Расчетные площади поперечных сечений и масса арматуры, сортамент горячекатаной стержневой арматуры периодического профиля, обыкновенной и высокопрочной арматурной проволоки

Диаметр, мм	Расчетные площади поперечных сечений, см ² , при числе стержней										Масса кг/м	Диаметр, мм	Сортамент горячекатаной стержневой арматуры периодического профиля из стали класса						Сортамент арматурной проволоки							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			A240	A400	A500	A600	A800	A1000	B500	Bp500	Bp1200	Bp1300	Bp1400	Bp1500	Bp1600	
3	0.07	0.14	0.21	0.28	0.36	0.43	0.50	0.57	0.64	0.71	0.052	3	—	—	—	—	—	—	X	X	—	—	—	X	X	
4	0.121	0.25	0.38	0.50	0.63	0.76	0.88	1.01	1.13	1.26	0.092	4	—	—	—	—	—	—	X	X	—	—	X	—	X	
5	0.196	0.39	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.76	1.96	0.144	5	—	—	—	—	—	—	X	X	—	—	X	—	X	
6	0.286	0.57	0.85	1.13	1.42	1.70	1.98	2.26	2.55	2.83	0.222	6	X	X	X	—	—	—	X	—	—	—	X	—	—	
7	0.383	0.77	1.16	1.54	1.93	2.31	2.69	3.08	3.47	3.85	0.302	7	—	—	—	—	—	—	X	—	—	X	—	—	—	
8	0.505	1.01	1.51	2.01	2.52	3.02	3.52	4.02	4.53	5.03	0.395	8	X	X	X	—	—	—	X	—	X	—	—	—	—	
9	0.633	1.27	1.91	2.54	3.18	3.82	4.45	5.09	5.72	6.36	0.499	9	—	—	—	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	
10	0.786	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85	0.617	10	X	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	
12	1.131	2.26	3.39	4.52	5.66	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31	0.888	12	X	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	
14	1.539	3.08	4.62	6.16	7.70	9.23	10.7	12.31	13.85	15.39	1.208	14	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
16	2.011	4.02	6.03	8.04	10.06	12.07	14.08	16.09	18.10	20.11	1.578	16	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
18	2.54	5.09	7.64	10.18	12.73	15.27	17.82	20.36	22.91	25.45	1.998	18	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
20	3.1425	6.28	9.43	12.57	15.71	18.85	21.9	25.14	28.28	31.42	2.466	20	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
22	3.801	7.60	11.4	15.2	19.01	22.81	26.69	30.41	34.21	38.01	2.984	22	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
25	4.90	9.82	14.73	19.64	24.5	29.4	34.31	39.27	44.18	49.09	3.853	25	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
28	6.159	12.32	18.4	24.6	30.75	36.95	43.16	49.26	55.42	61.58	4.834	28	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
32	8.048	16.08	24.17	32.13	40.21	48.25	56.21	64.34	72.38	80.42	6.313	32	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	
36	10.182	20.3	30.53	40.77	50.9	61.0	71.29	81.44	91.62	101.8	7.990	36	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
40	12.56	25.12	37.68	50.24	62.80	75.36	87.92	100.40	113.04	125.60	9.870	40	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Учебное электронное издание

**РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Лабораторный практикум
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01
«Строительство уникальных зданий и сооружений»*

Составители: **Морозова** Дина Вольдемаровна, **Колищак** Лариса Михайловна

*Разработано с помощью программного обеспечения
Microsoft Office Word, Adobe Acrobat Pro*

Издается в авторской редакции

Ответственный за выпуск *А.В. Куркова*
Компьютерная верстка: *Ю.С. Акулышина*

Подписано к использованию 23.10.2025
Объем издания 6,2 Мб. Тираж 15. Заказ № 56/25

Издательство Московского Политеха
107023, Москва, Большая Семёновская, 38
www.mospolytech.ru; e-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru