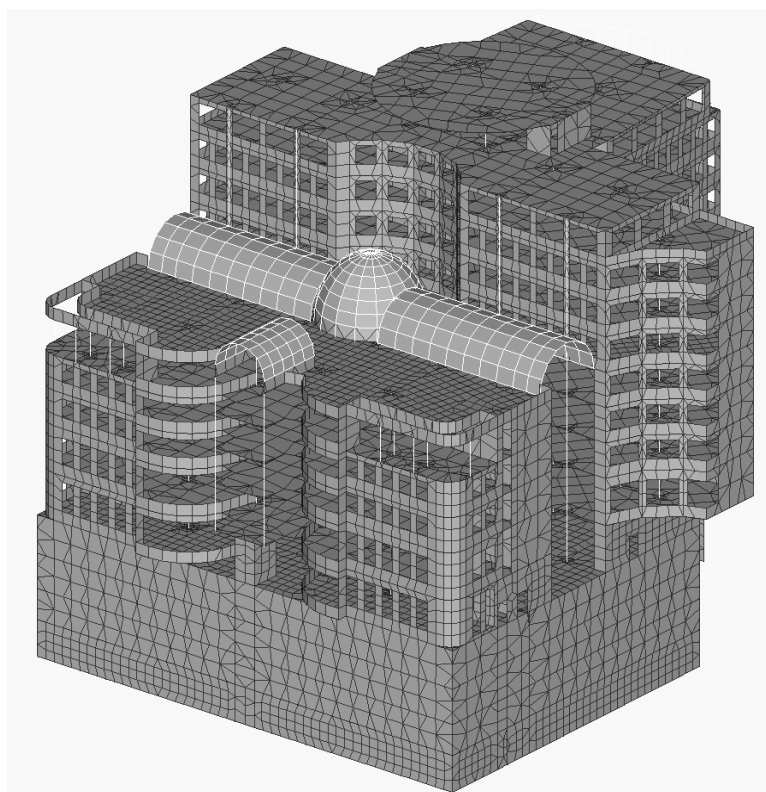


Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов, Б. Б. Лампси

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕПРОЦЕССОРА «ФОРУМ»
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ
МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ**



Учебное пособие

Нижний Новгород
2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет”

Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов, Б. Б. Лампси

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕПРОЦЕССОРА «ФОРУМ»
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ
МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижегород
ННГАСУ
2020

ББК 38
И 88
УДК 624.04(075)

Рецензенты:

В. М. Родюшкин – д-р техн. наук, зав. лабораторией волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты машин института проблем машиностроения РАН

Е. В. Алексеева – директор ООО «ПроектСтрой»

Маркина Ю. Д. Использование препроцессора «Форум» для формирования расчетной схемы многоэтажного здания [Текст]: учеб. пособие / Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов, Б. Б. Лампси; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2020. - 70 с. ISBN 978-5-528-00381-8

В пособии рассматриваются основные особенности работы в препроцессоре «ФОРУМ». Он позволяет создавать пространственные расчетные модели зданий, используя объекты, максимально приближенные по назначению и наименованию к функциональным составным частям реального объекта (колонны, балки, перекрытия, стены, крыши), с целью их последующего использования в программном комплексе SCAD Office. Переход от укрупненной модели к конечно-элементной расчетной схеме комплекса SCAD выполняется путем автоматического или управляемого пользователем преобразования объектов в наборы конечных элементов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль Промышленное и гражданское строительство и специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений.

ББК 38

ISBN 978-5-528-00381-8

© Ю.Д. Маркина, П.А. Хазов,
Б.Б.Лампси, 2020

© ННГАСУ, 2020

Содержание

Введение.....	4
1. Создание новой модели.....	6
2. Задание сетки разбивочных осей	7
3. Ввод элементов первого этажа	14
3.1. Создание нового блока.....	14
3.2. Генерация узлов на пересечении разбивочных осей	14
3.3. Ввод колонн	15
3.4. Ввод диафрагм жесткости и монолитных стен	17
3.5. Построение плиты перекрытия 1-ого этажа	20
3.6. Задание балок.....	23
3.7. Создание отверстий и проемов	23
3.8. Упаковка данных	28
4. Моделирование типовых этажей.....	29
4.1. Копирование расчетной схемы	29
4.2. Настройки нового блока	30
4.3. Корректировка элементов второго этажа.....	31
4.4. Копирование блока второго этажа.....	33
5. Построение технического этажа и кровли	35
6. Построение цокольного этажа и фундаментной плиты.....	40
7. Генерация конечноэлементной модели и её экспорт в SCAD	43
7.1. Генерация результирующего проекта SCAD.....	43
7.2. Моделирование узла пересечения колонны и перекрытия	47
Приложение 1	50
Список литературы	59

Введение

В конечно-элементных моделях в качестве «кирпичиков», из которых строится модель здания, выступают конечные элементы. В основу же расчетной схемы в препроцессоре ФОРУМ положены укрупнённые объекты (элементы), наиболее приближенные по назначению и наименованию к функциональным составным частям реального сооружения. К укрупненным объектам относятся такие часто используемые элементы, как балки, колонны, перекрытия, крыши и стены. Группы элементов могут объединяться пользователем в блоки. Чаще всего объединение производится по позиционному принципу, при котором в один блок входят объекты, моделирующие одну секцию многосекционного здания или один этаж сооружения, хотя возможны и другие параметры группировки (например, за блок можно принять все перекрытия здания).

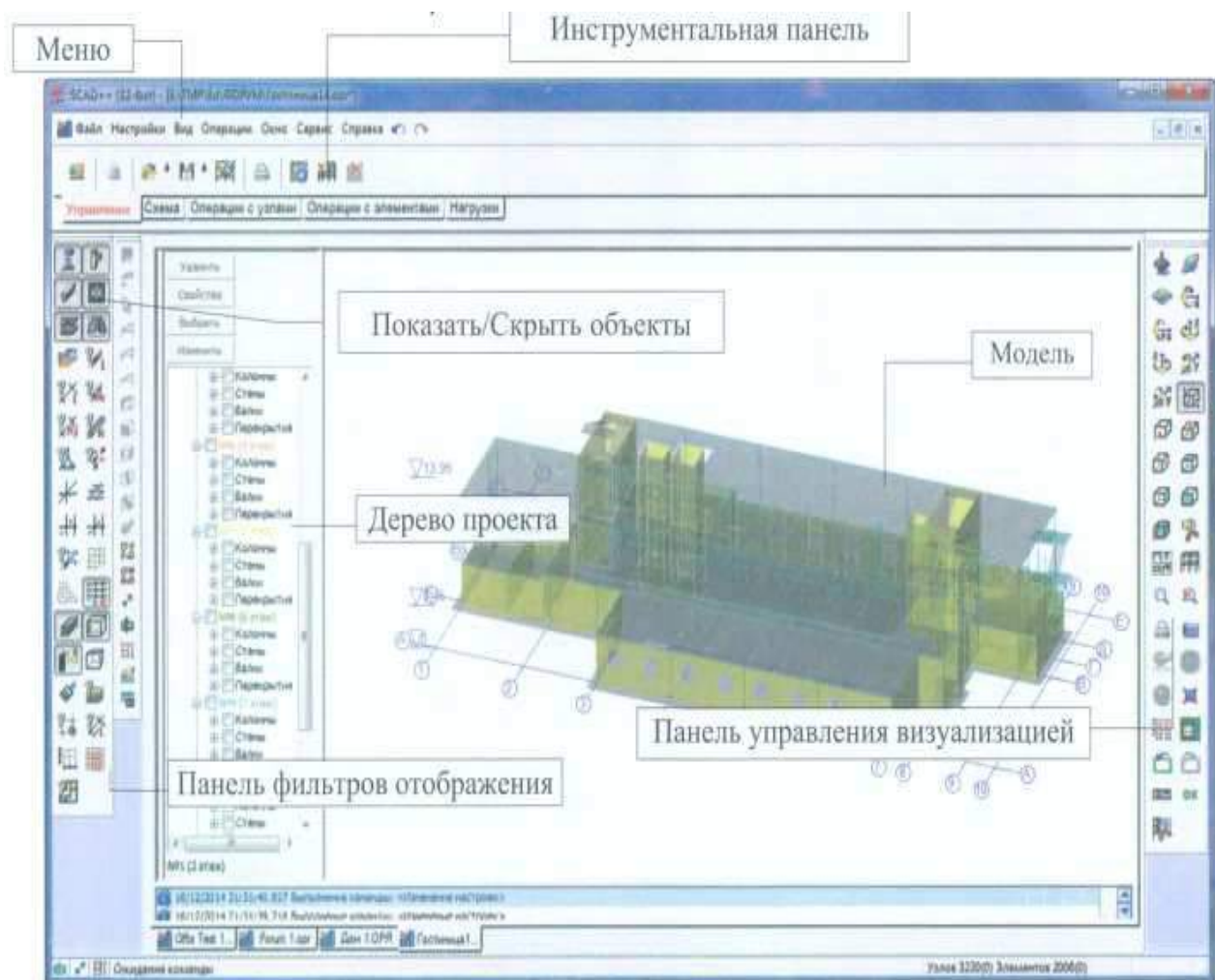


Рис.1. Общий вид рабочего окна препроцессора ФОРУМ

Такой подход к построению упрощает формирование геометрии расчетной схемы, для которой архитектурная модель служит подосновой. За счет этого создание объектов из укрупненных элементов часто используется в системах автоматизированного проектирования архитектурной части проекта и является связующим звеном между архитектурной моделью и расчетной схемой.

Основным преимуществом укрупненных моделей перед конечно-элементными расчетными схемами является их относительная простота, что сильно облегчает контроль и корректировку сложных моделей, включающих большое количество элементов.

Переход от модели из укрупненных объектов к расчетной схеме из конечных элементов производится с помощью управляемого пользователем или автоматического разбиения укрупненных объектов на наборы конечных элементов.¹

В данном пособии предлагается сформировать укрупненную модель многоэтажного здания из монолитного железобетона в препроцессоре ФОРУМ, а затем преобразовать её в конечно-элементную расчетную схему комплекса SCAD автоматической генерацией сетки конечных элементов.

¹ См.: [1] – с. 321-328

1. Создание новой модели

При создании новой модели рекомендуется следующий порядок выполнения операций:

- нажать кнопку **Новый проект** во вкладке **Управление** инструментальной панели;
- в появившемся диалоговом окне **Новый проект** (рис. 1.1) указать параметры расчетной схемы и информацию о проекте и выбрать тип **ФОРУМ**;

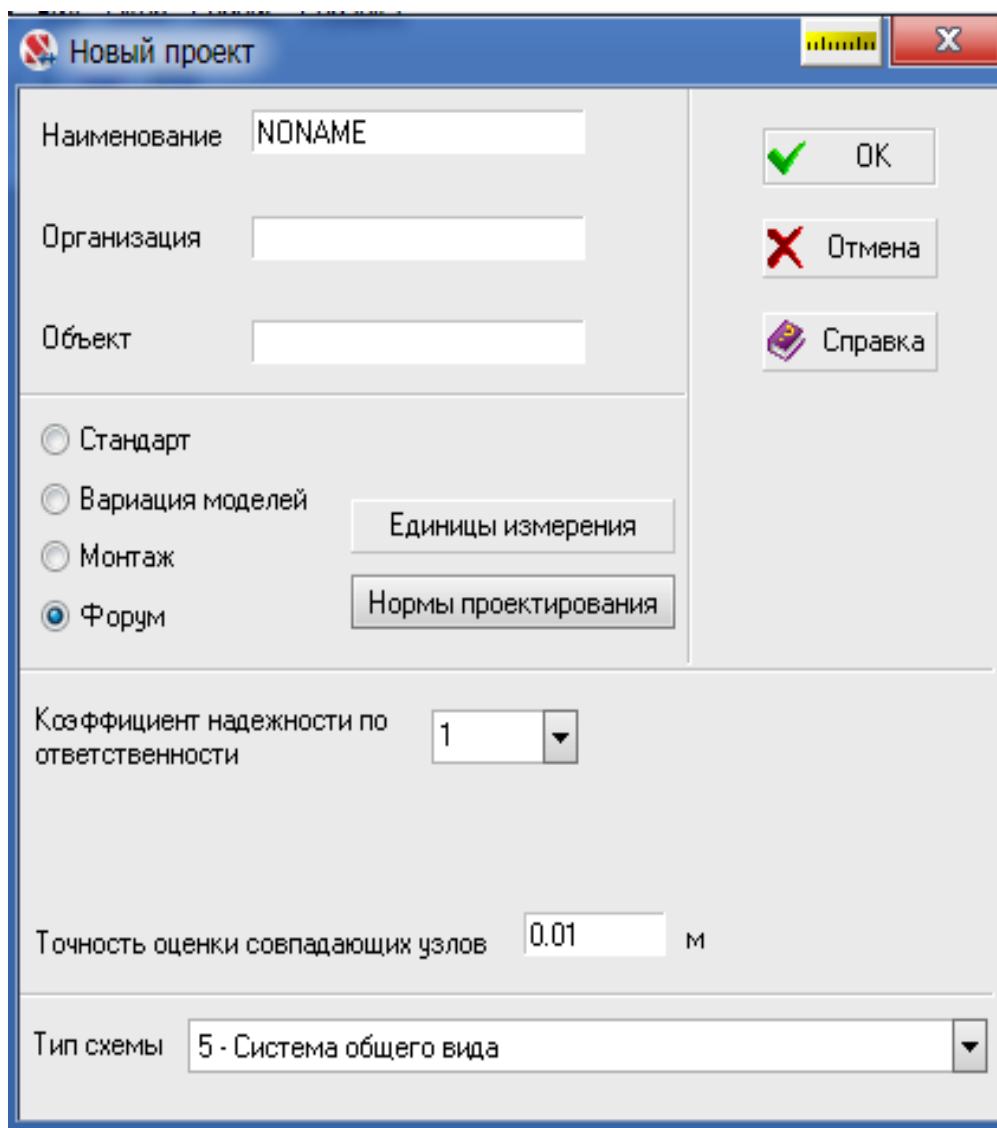


Рис. 1.1. Диалоговое окно **Новый проект**

- закрыть диалоговое окно нажатием кнопки **ОК**;
- задаются имя и путь файла нового проекта в диалоговом окне **Сохранить как...**

2. Задание сетки разбивочных осей

Расчетную схему удобно формировать, основываясь на заданной сетке разбивочных осей. Настройка осей производится в многостраничном диалоговом окне **Задание сетки разбивки** (Схема → Задание сетки разбивочных осей).

На странице **Параметры сетки** (рис. 2.1.) выбираем тип разбивочных осей – прямоугольная сетка.

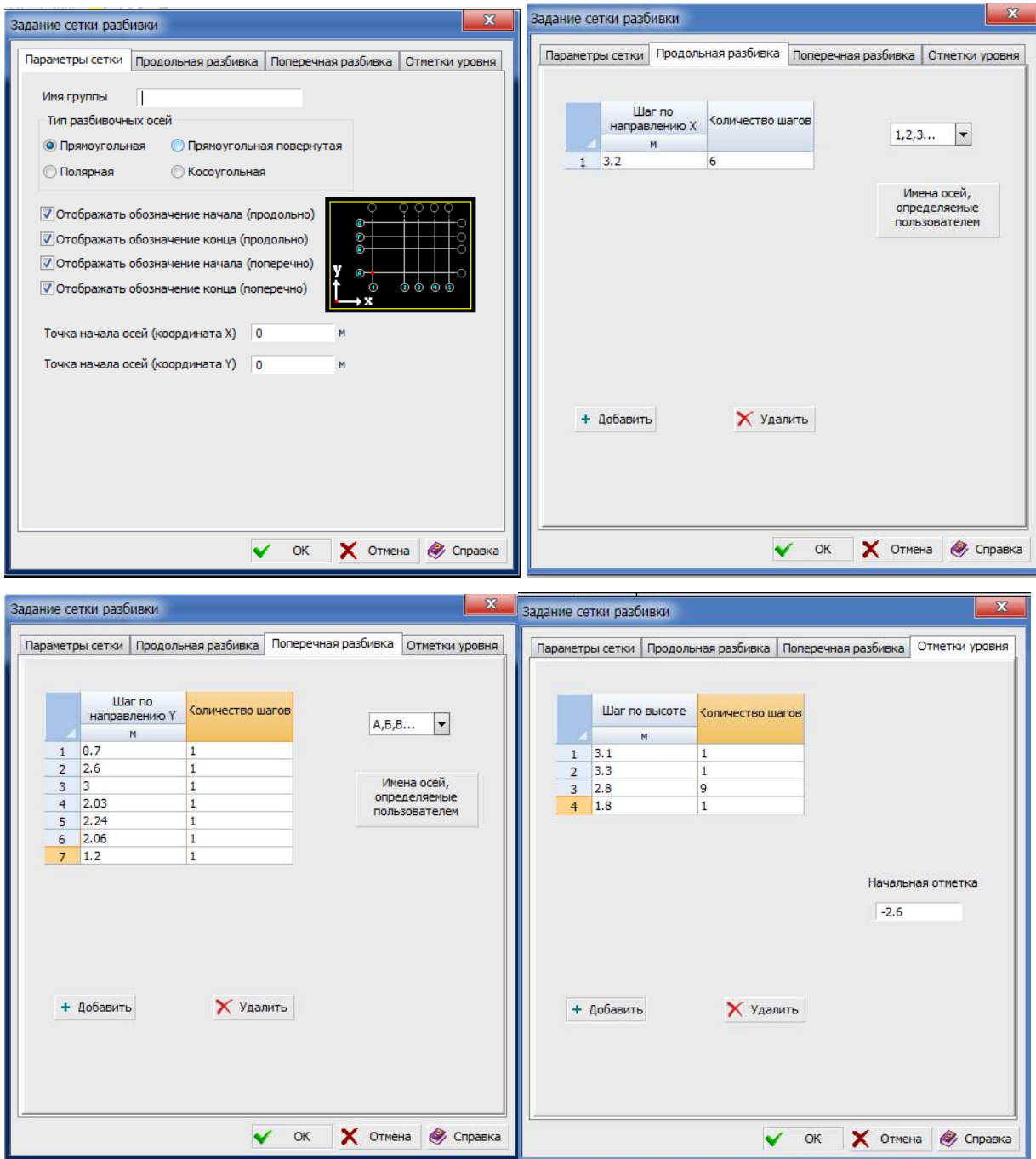


Рис. 2.1. Диалоговое окно **Задание сетки разбивки**

На страницах **Продольная разбивка**, **Поперечная разбивка** задаем необходимые для формирования осей данные по номеру варианта (табл. 2.1.) в соответствии с (рис. 2.2.) **Отметки уровня** принимаем одинаковыми для всех вариантов в соответствии с рис. 2.6. За начальную отметку берем отметку верха фундаментной плиты -2,600. Высоту цокольного этажа принимаем 3,1 м, первого этажа – 3,3 м, последующих девяти этажей – 2,8 м, технического этажа – 1,8 м, машинное помещение возвышается над техническим этажом на 1 м.

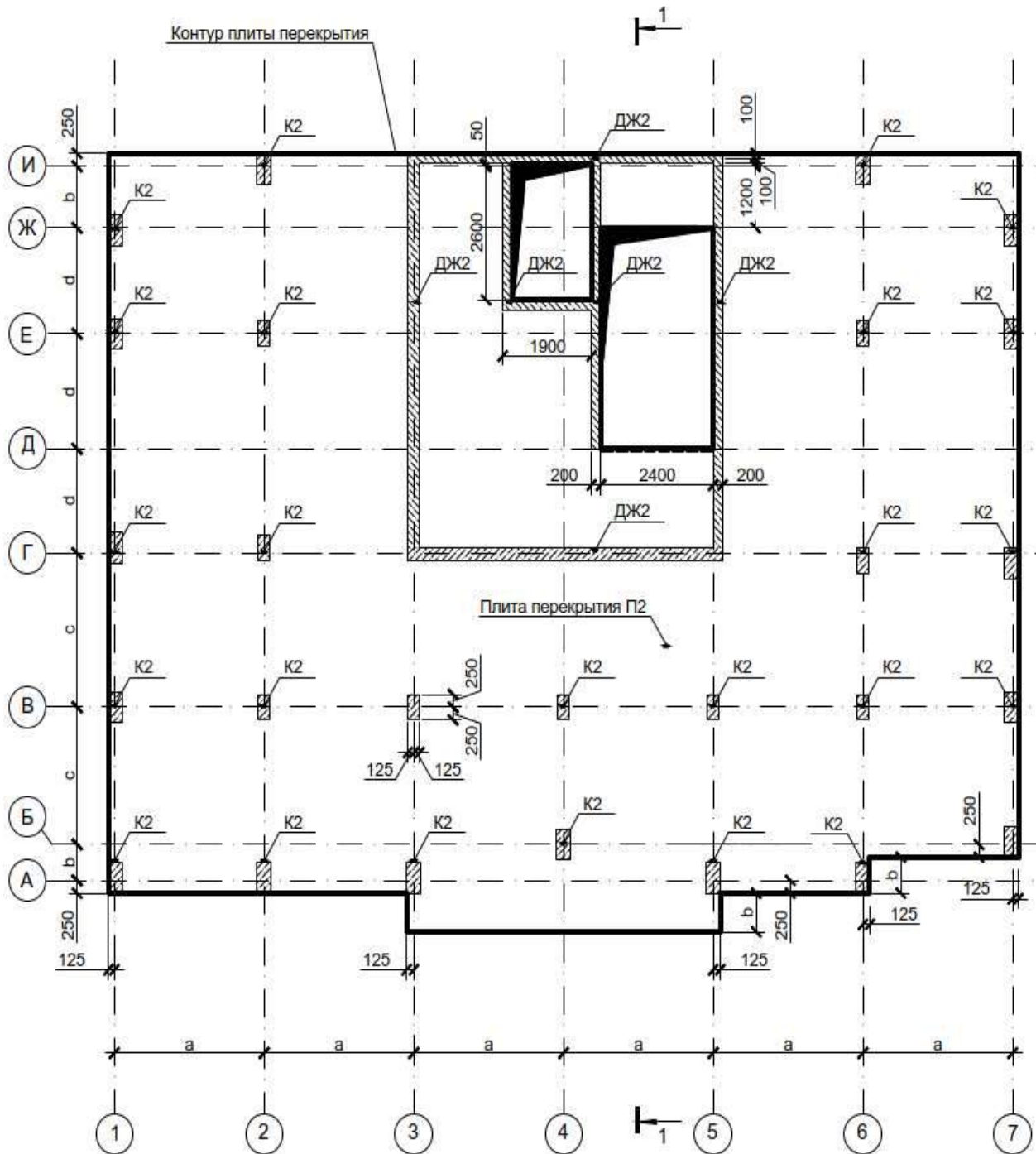


Рис. 2.2. Схема расположения элементов монолитного каркаса на отметках уровня +0.500 ... +29.000

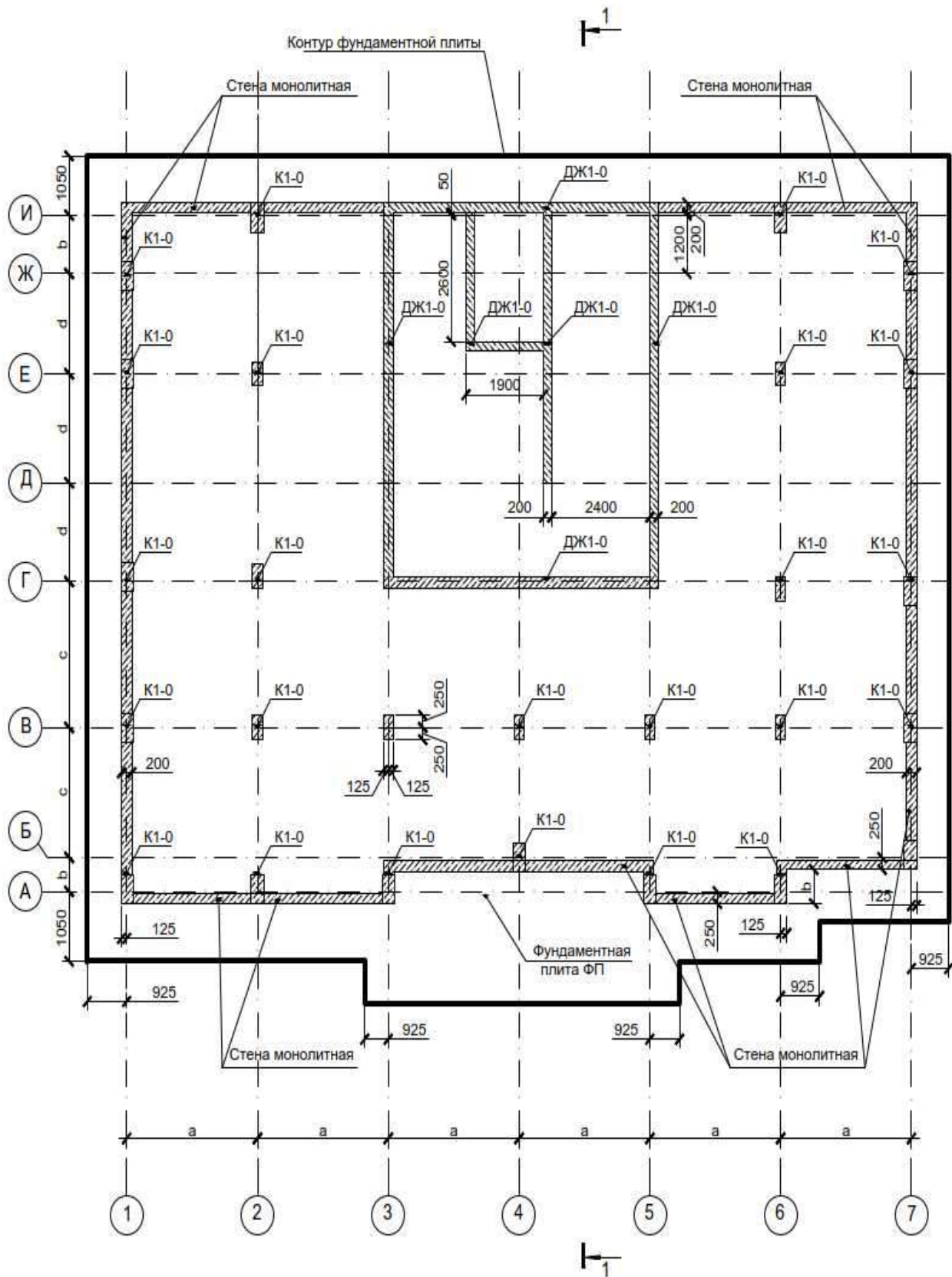


Рис. 2.4. Схема расположения элементов монолитного каркаса

на отметке уровня -2,600

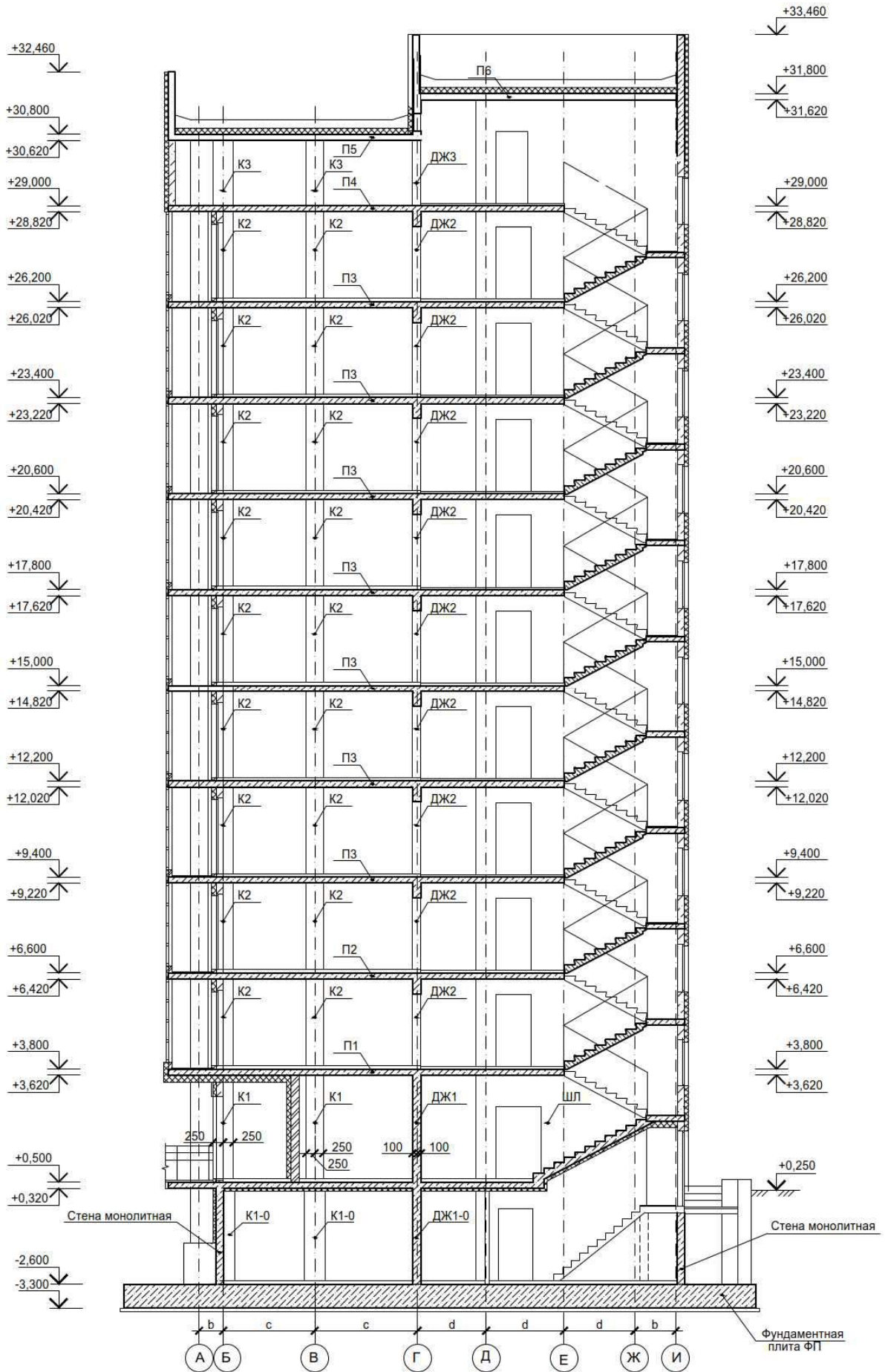


Рис. 2.5. Разрез 1-1

Табл. 2.1. Варианты заданий

№ варианта	a, м	b, м	c, м	d, м
1	3,5	0,7	3,3	1,8
2	3,4	0,8	3,2	1,9
3	3,3	0,9	3,1	2,0
4	3,2	1,0	3,0	2,1
5	3,1	1,1	2,9	2,2
6	3,0	1,2	2,8	2,3
7	3,0	0,7	2,7	2,4
8	3,1	0,8	3,3	2,5
9	3,2	0,9	3,2	1,8
10	3,3	1,0	3,1	1,9
11	3,4	1,1	3,0	2,0
12	3,5	1,2	2,9	2,1
13	3,5	0,7	2,8	2,2
14	3,4	0,8	2,7	2,3
15	3,3	0,9	2,6	2,4
16	3,4	1,0	2,7	2,5
17	3,5	1,1	3,3	2,4
18	3,4	1,2	3,2	2,3
19	3,3	1,1	3,1	2,2
20	3,2	1,0	3,0	2,1
21	3,1	0,9	2,9	2,0
22	3,0	0,8	2,8	1,9
23	3,1	0,7	2,7	1,8
24	3,2	0,8	2,6	1,9
25	3,3	0,9	2,7	2,0
26	3,4	1,0	2,6	2,1

Имена разбивочных осей могут формироваться как автоматически, так и задаваться пользователем. По умолчанию принято, что продольные оси имеют цифровые марки в порядке возрастания от 1, а поперечные — буквенные в алфавитном порядке.

Для активации отображения осей используется кнопка **Отображение разбивочных осей** (рис. 2.6.) на панели фильтров. В программе предусмотрены различные варианты вывода осей: все участки одновременно или в любой их комбинации, целиком или с выбором фрагмента любого из участков, также можно активировать отображение сетки и размеров.

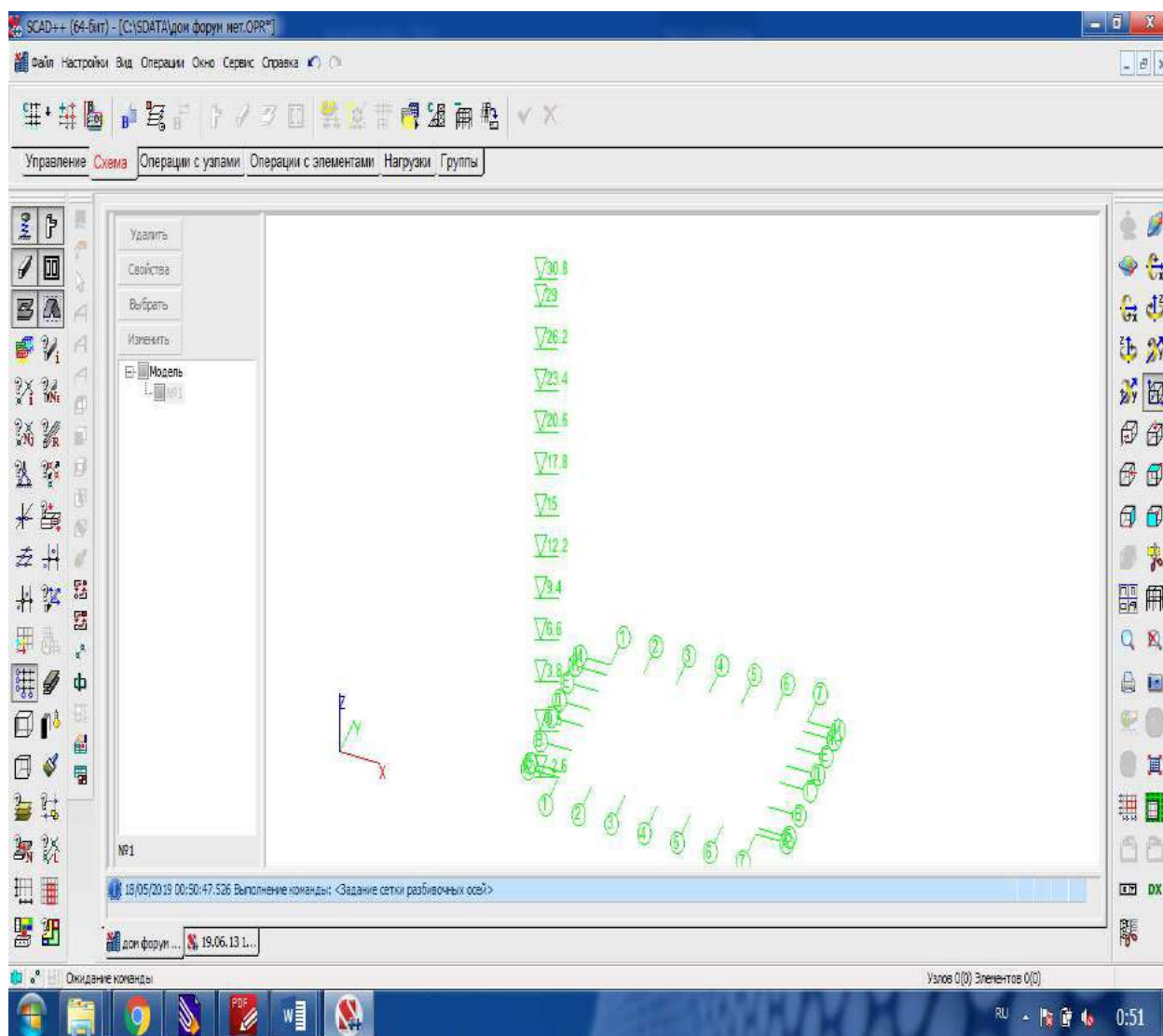


Рис. 2.6. Отображение осей

3. Ввод элементов первого этажа

3.1. Создание нового блока

Моделирование расчетной схемы в препроцессоре ФОРУМ рекомендуется начать с создания блока (кнопка в разделе **Схема**). В появившемся диалоговом окне **Параметры блока** указываются имя и цвет отображения.

Блок можно создать на любом этапе формирования схемы. Новый блок становится активным автоматически. Это означает, что все элементы, построенные непосредственно после введения блока, будут попадать в него. Вновь заданные объекты всегда включаются в активный блок, имя которого выделено в дереве проекта. Для того чтобы активировать блок, необходимо указать курсором на его имя в дереве проекта.

Предусмотрены возможности переноса элементов из одного блока в другой, редактирования и удаления ненужных блоков.

Блоки могут иметь разный физический смысл: отдельно стоящие части сооружения, разделенные температурным швом, этажи, части здания и т. п.

Мы будем подразумевать под блоком один этаж. Сначала зададим элементы первого этажа (порядок задания этажей является произвольным). В диалоговом окне **Параметры блока** укажем соответствующее имя блока.

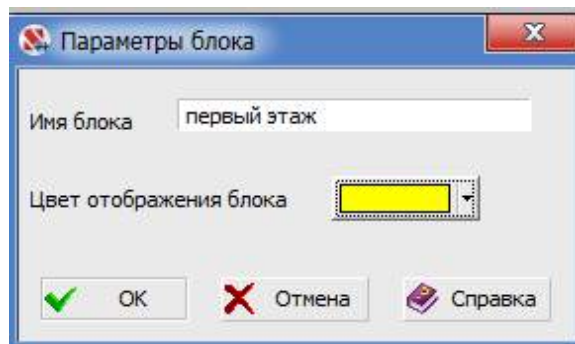


Рис. 3.1. Диалоговое окно **Параметры блока**

3.2. Генерация узлов на пересечении разбивочных осей

Сетку разбивочных осей можно использовать при задании геометрии расчетной схемы, для этого необходимо привязать к сетке узлы. Кнопка вызова операции генерации узлов **Генерация узлов на сетке** расположена в разделах **Схема** и **Операции с узлами** ин-

струментальной панели. Операция позволяет ввести узлы на пересечении осей в заданной области сетки.

Предварительно вводим узлы на пересечении всех продольных и поперечных осей на отметке уровня +0,500, как показано на рис. 3.2..

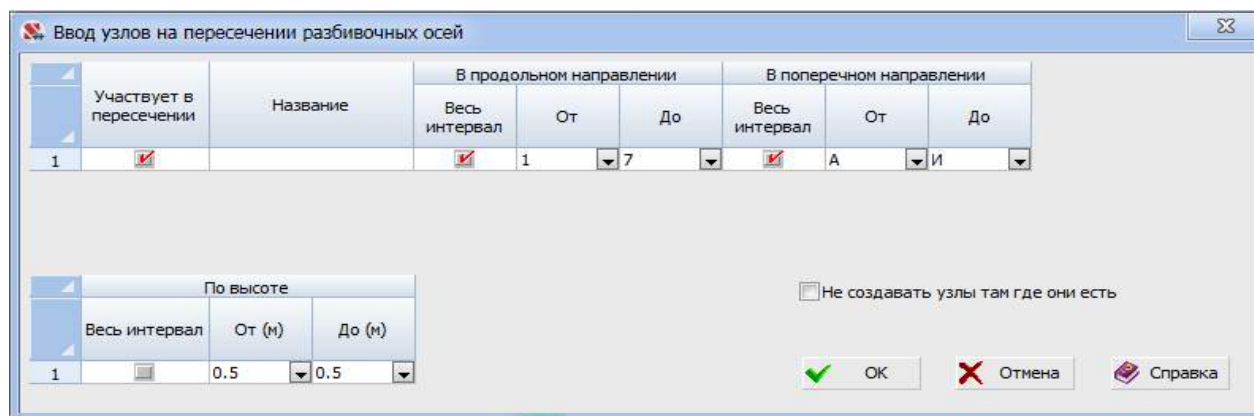


Рис. 3.2. Ввод узлов на пересечении разбивочных осей

3.3. Ввод колонн

В зависимости от назначения модели в сооружении различают пять типов объектов (элементов): колонна, балка, стена, перекрытие и крыша. Первые два (колонна и балка) являются двухузловыми объектами и в конечно-элементной расчетной схеме моделируются стержнями. Три последних (стена, перекрытие и крыша) — плоскостные и могут иметь произвольное число узлов, включать внутренние контуры, моделирующие проёмы и отверстия, и в процессе преобразования в расчетную схему разбиваются на трехузловые и четырехузловые элементы оболочки, плиты или балки-стенки. По умолчанию пластинчатые элементы разбиваются на четырехузловые элементы оболочки. Для каждого типа элемента необходимо задать физико-механические характеристики материала и геометрические параметры. Кроме того, каждый элемент может иметь идентификатор (имя).²

После активации операции ввода колонн (**Схема** → **Колонна**) появляется диалоговое окно **Жесткость стержневых элементов** (рис. 3.3.).

На странице **Общие данные** этого окна задаем марку колонны (К1), назначаем вид сечения (параметрическое), определяем способ ввода (с фиксированной высотой), высоту колонны (3,3м). Назначаем параметры сечения (Бетон В25, прямоугольное сечение 500х250мм).

² См.: [1]

Так как активна опция **Высота колонны**, ввод выполняется указанием на один нижний узел привязки колонны, а высота колонны определяется значением, записанным в поле ввода (при отрицательном значении высоты колонна будет направлена от точки привязки вниз). Вводимые таким способом колонны всегда вертикальны.

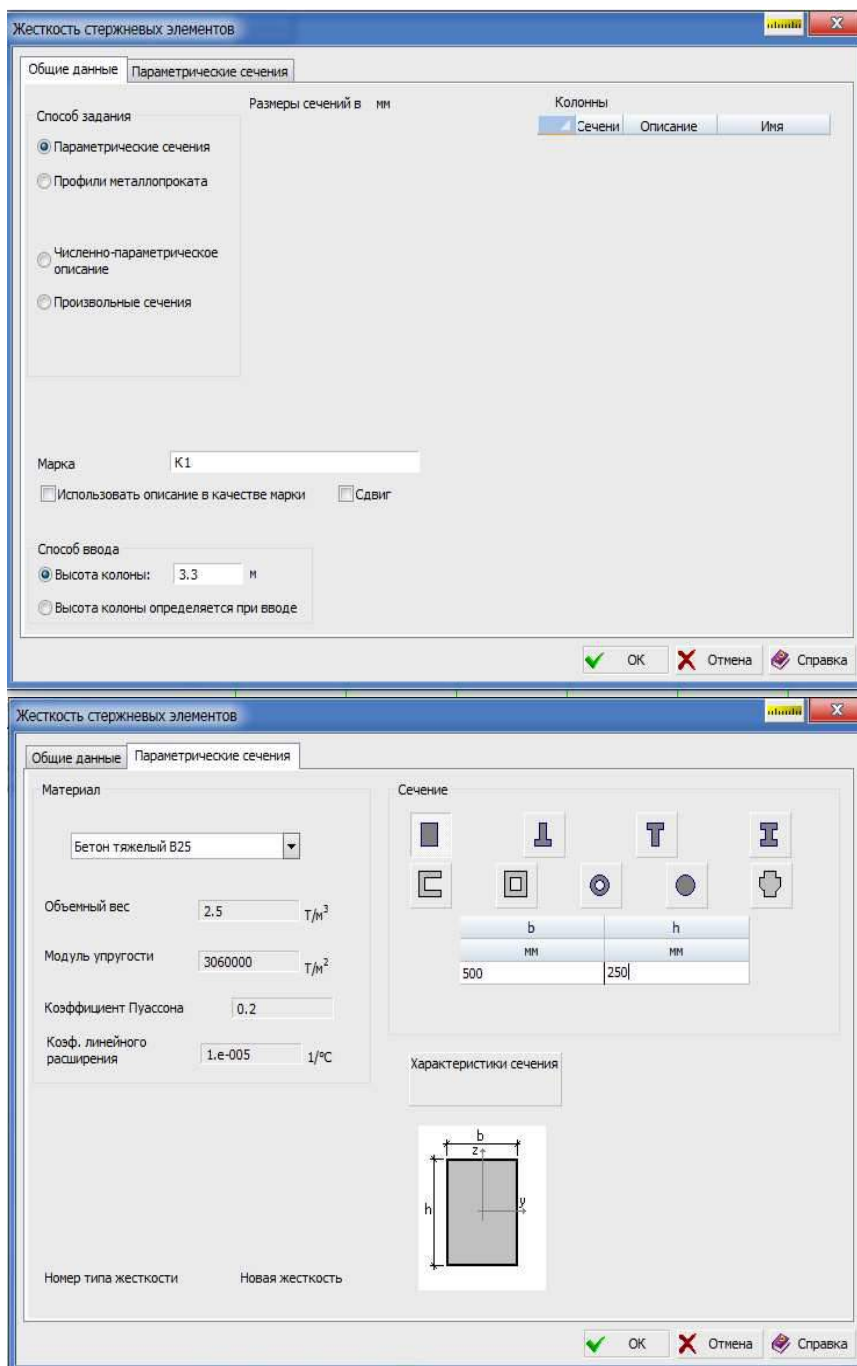


Рис. 3.3. Диалоговое окно **Жесткость стержневых элементов**

После ввода всех необходимых данных закрываем диалоговое окно нажатием кнопки **ОК**, выделяем все узлы, к которым привязаны колонны в соответствии со схемой расположения элементов монолитного каркаса (рис.2.2.), и подтверждаем команду.

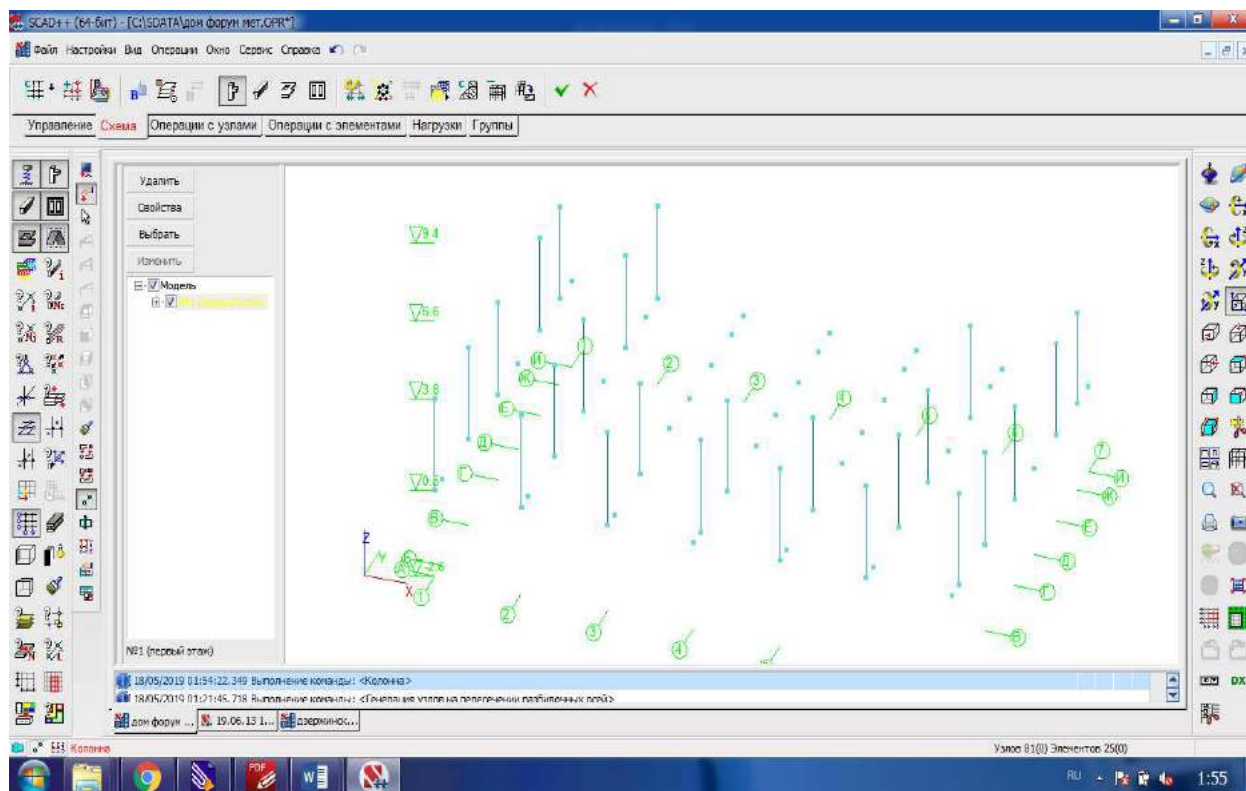


Рис. 3.4. Построение колонн

3.4. Ввод диафрагм жесткости и монолитных стен

На данный момент в системе недостаточно узлов для построения стен, поэтому необходимо ввести новые узлы, также возможно отредактировать координаты существующих.

Например, как видно из схемы расположения элементов монолитного каркаса (рис. 2.2.), ось стены, расположенной в координатных осях 3-5/И, проходит с отклонением от оси И на 150мм. Для переноса узлов в осях 3-5/И используется команда **Перенос узлов**.

Эта операция дает возможность перенести один узел в точку с заданными координатами (то есть, заменить координаты узла), а также перенести один или несколько выбранных узлов на заданный вектор.

При переносе нескольких узлов каждый узел перемещается в пространстве в точку, определяемую путем сложения текущих координат этого узла с приращениями, заданными

по каждому направлению. В результате все выбранные узлы перемещаются на заданное расстояние. Параметры переноса назначаются в диалоговом окне **Перенос узлов**.

Для переноса узлов необходимо:

— нажать кнопку **Перенос узлов** в разделе **Операции с узлами** инструментальной панели;

— в появившемся диалоговом окне **Перенос узлов** с помощью маркера выбрать вид операции (Перенос на заданный вектор);

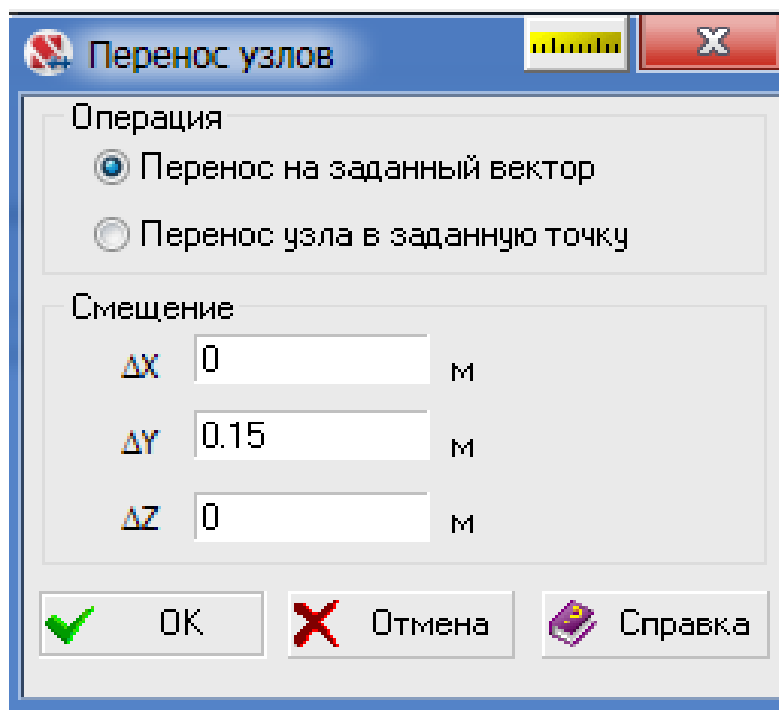


Рис. 3.5. Диалоговое окно **Перенос узлов**

— задать приращения к координатам ($\Delta Y = 0,15\text{м}$);

— выйти из окна по нажатию кнопки **ОК**;

— выбрать узлы на схеме (3 узла в осях 3/И, 4/И и 5/И);

— нажать кнопку **ОК** в разделе инструментальной панели **Операции с узлами** или клавишу **Enter**.

Для ввода остальных узлов, необходимых для построения стен, можно воспользоваться любыми командами инструментальной панели **Операции с узлами**. Инструменты препроцессора ФОРУМ аналогичны инструментам SCAD.

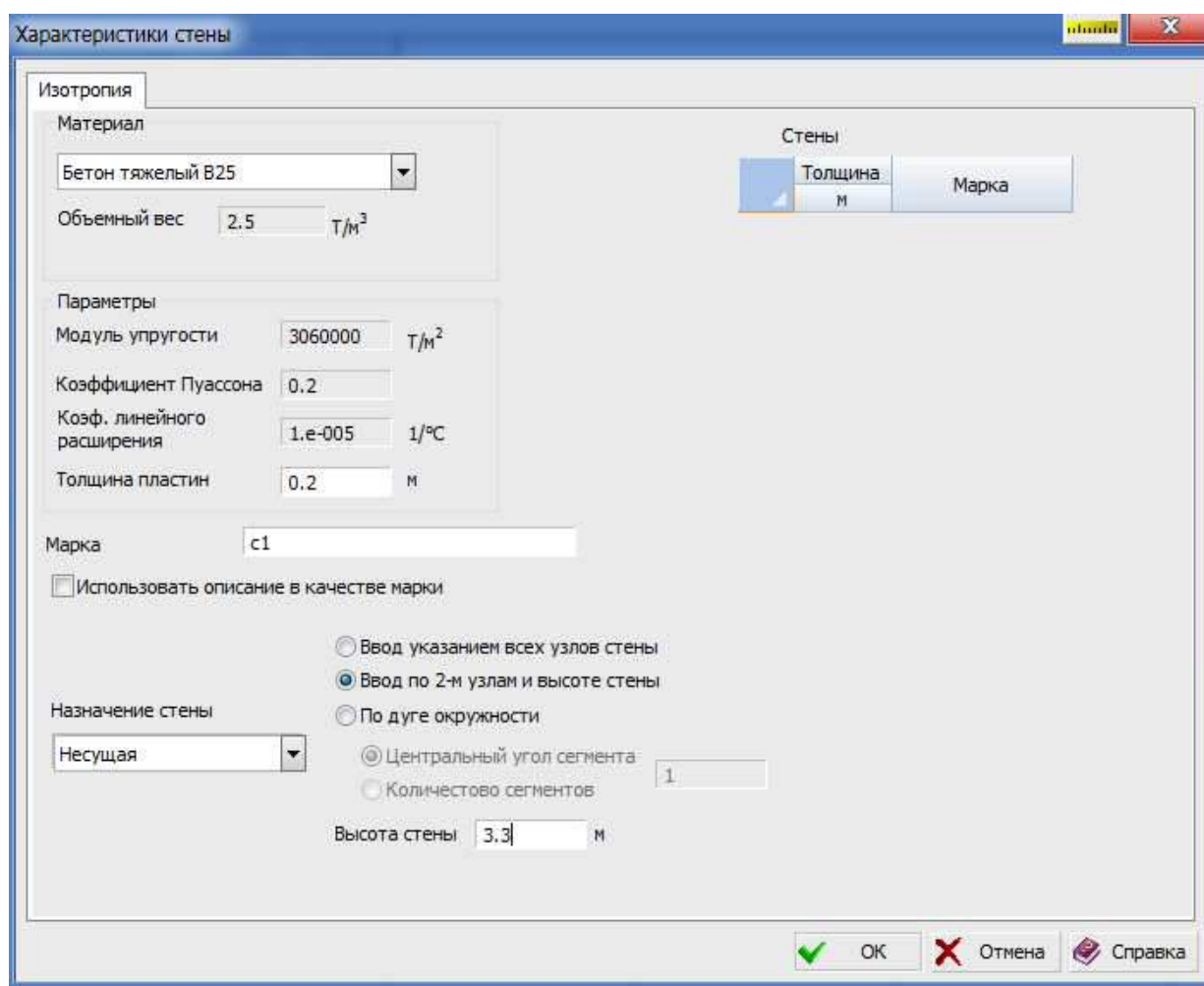


Рис. 3.6. Диалоговое окно **Характеристики стены**

Стена строится как плоский многоузловой элемент произвольной формы.

В диалоговом окне **Характеристики стены**, которое появляется после активации операции (**Схема** → **Стена**), устанавливается марка стены (C1), назначается ее толщина (0,2м) и материал (бетон В25), выбирается способ ввода (ввод по 2-м узлам и высоте стены) и соответствующие параметры (высота стены 3,3м). В списке **Назначение стены** нужно выбрать признак **Несущая**, это обеспечит учет соответствующих свойств стены при формировании расчетной модели. В случае установки признака **Перегородка** в схему включаются только нагрузки.

После ввода всех необходимых данных закрываем диалоговое окно нажатием кнопки **ОК**, соединяем «резиновой нитью» крайние нижние узлы стен в соответствии со схемой расположения элементов монолитного каркаса (рис. 2.2.) и подтверждаем команду.

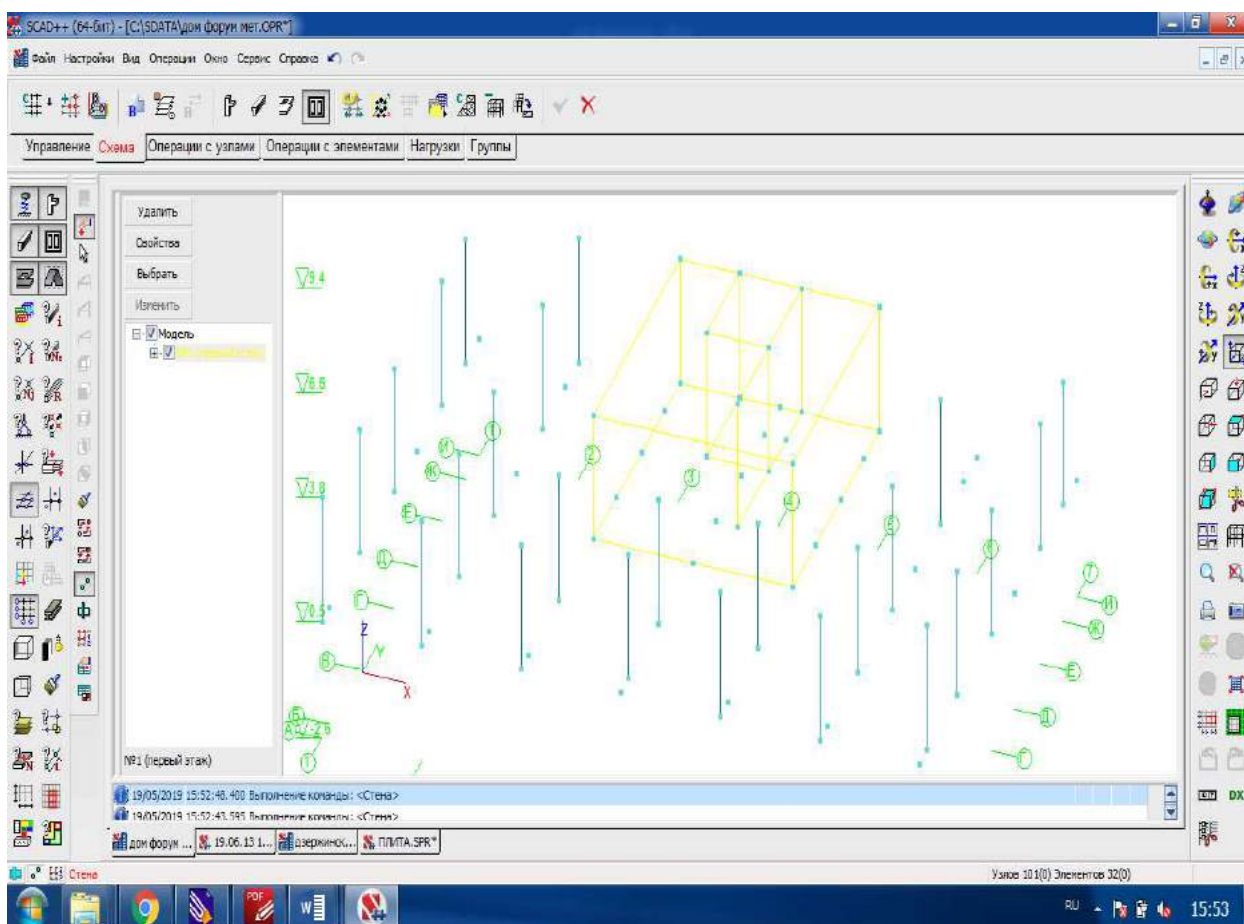


Рис. 3.7. Ввод диафрагм жесткости и монолитных стен

3.5. Построение плиты перекрытия 1-ого этажа

Опираясь на данные своего варианта (табл. 2.1.), в соответствии со схемой расположения элементов монолитного каркаса (рис. 2.2.), строим узлы контура плиты. Для этого можно использовать команду **Узлы и Элементы** → **Узлы** → **Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных**. Она позволяет ввести новые узлы, каждый из которых будет располагаться на заданном расстоянии от выбранных на схеме узлов-прототипов. После нажатия кнопки появляется диалоговое окно **Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных**, в таблице которого задаются приращения к координатам выбранных узлов и их количество. Значения, заданные в каждой последующей строке, рассматриваются как приращения к координатам узлов, введенных по значениям предыдущей строки.

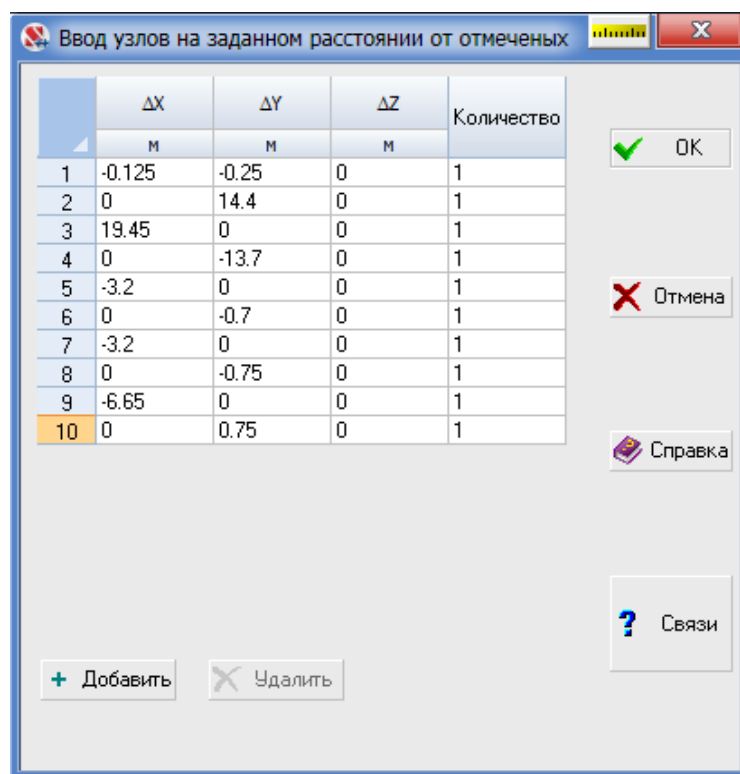


Рис. 3.8. Диалоговое окно **Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных**

Первой строкой вводим в окне расстояние от узла 1 на пересечении осей 1 и А до нижнего левого узла контура плиты ($\Delta X = -0,125$ м; $\Delta Y = -0,25$ м для всех вариантов). Второй строкой вводим расстояние от нижнего левого узла контура плиты до верхнего левого узла контура плиты. Третьей строкой записываем расстояние от верхнего левого узла контура плиты до верхнего правого узла контура плиты и т.д. После задания всех необходимых узлов выходим из окна, нажав кнопку **ОК**. Выбираем на схеме узел-прототип (узел в осях 1/А) и нажимаем кнопку **ОК** инструментальной панели.

После активации операции ввода перекрытия появляется диалоговое окно **Характеристики перекрытая/крыши (плиты)**, в котором указывается марка перекрытия (П1), назначается его толщина (0,18 м) и материал (бетон В25).

Перекрытие строится как плоский многоузловой элемент произвольной формы. Построение производится «резиновой нитью», протягиваемой от узла к узлу, и оканчивается повторным нажатием на узел перекрытия, заданный первым.

Кнопка **Удаление линий невидимого контура** на панели фильтров позволяет показать на расчетной схеме толщины пластинчатых и профили стержневых элементов. Для настройки параметров отображения необходимо нажать правой кнопкой мыши на кнопку **Удаление линий невидимого контура** панели фильтров. В появившемся диалоговом окне

Настройка фильтров отображения информации выбрать **Отображение с удалением невидимых линий** и установить маркеры **Показывать толщину пластин** и **Показывать профиль стержней**. После этого активировать фильтры и выйти из диалогового окна нажатием кнопки **ОК**.

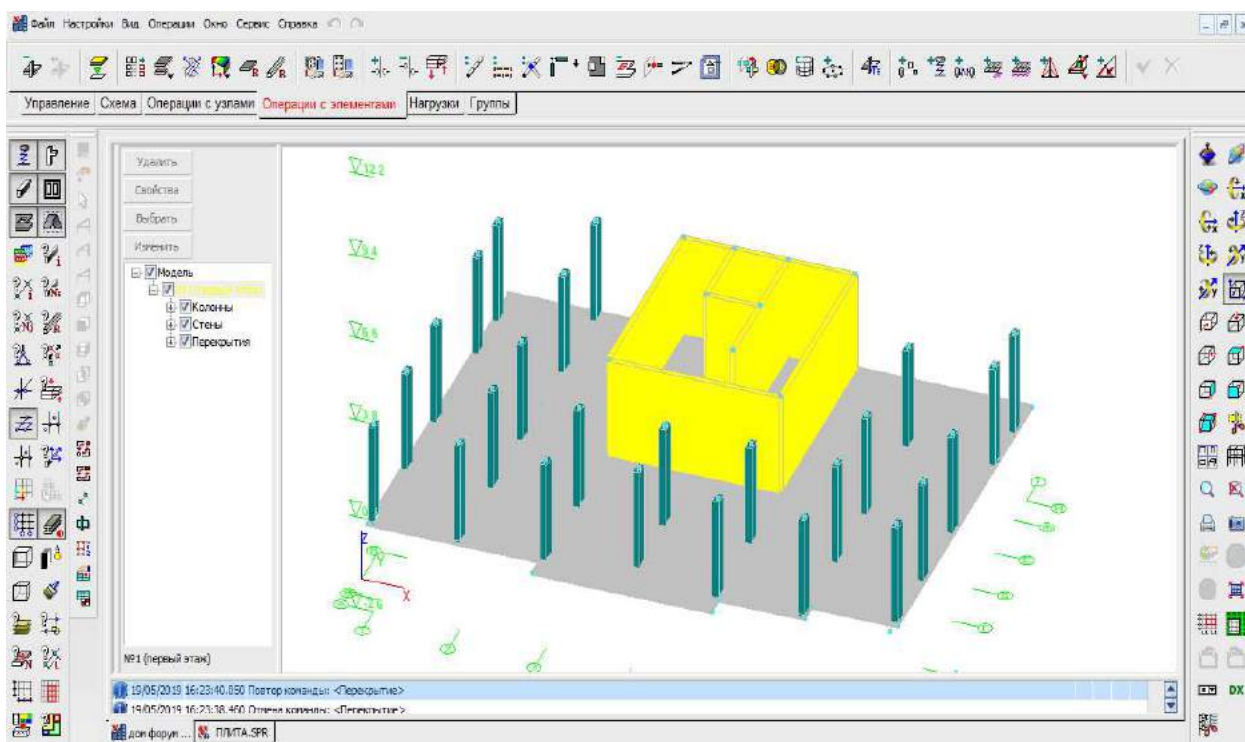
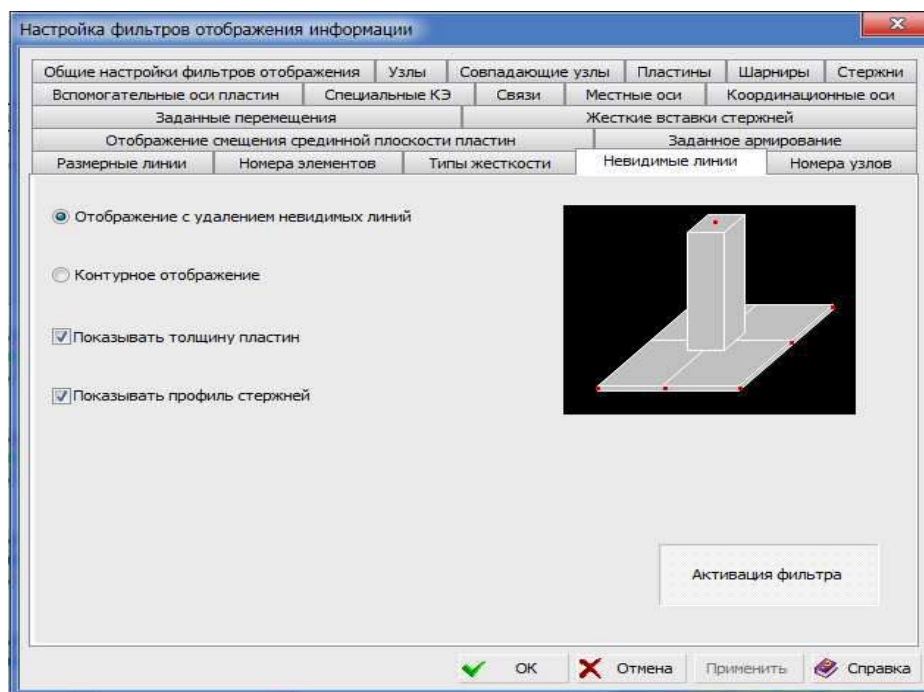


Рис. 3.9. Построение плиты перекрытия 1-ого этажа

3.6. Задание балок

Для удобства приложения ветровой нагрузки по контуру каждой плиты перекрытия, как правило, вводятся условные балки, сечения которых совпадают с толщиной плиты (180 мм * 180 мм).

Ввод балок выполняется аналогично вводу колонн, но всегда по двум узлам, между которыми протягивается «резиновая нить».

Для проверки правильности построения всех балок можно воспользоваться кнопкой **Удаление линий невидимого контура** на панели фильтров.

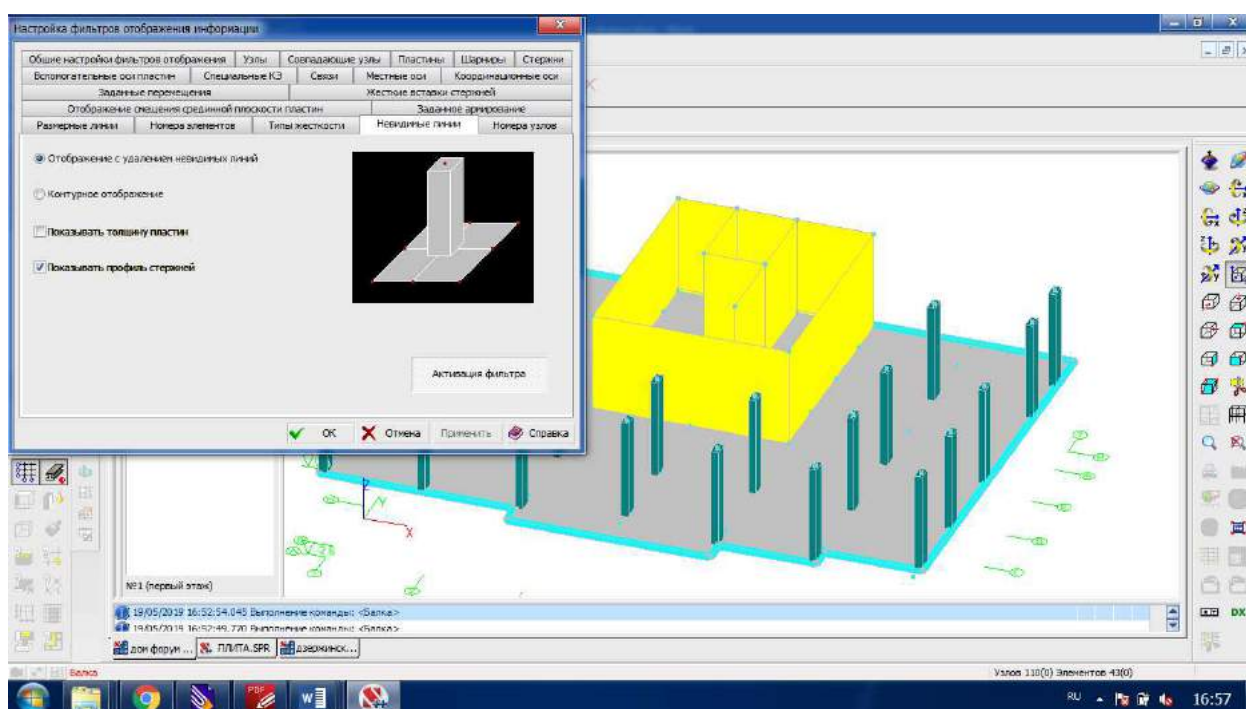


Рис. 3.10. Построение условных балок по контуру плиты перекрытия 1-ого этажа

3.7. Создание отверстий и проемов

Следующим шагом является введение дверных проемов в стены и отверстий под шахты лифтов в плите перекрытия.

Построим два дверных проема в наружной монолитной стене в осях 3-5/И.

Для корректировки геометрии элемента нужно:

- активировать кнопку **Информация об элементе** на панели фильтров;
- выбрать элемент, контур которого необходимо изменить (стена в осях 3-5/И);

— в диалоговом окне **Информация об элементе** выбрать кнопку **Изменить**.

Для выполнения операций по корректировке геометрии вызывается специальная программа, которая представляет собой модификацию программы **Консул**.

В программе **Консул** контур может быть внешним и внутренним, в первом случае он представляет собой очертание элемента, во втором - очертание проема или отверстия. Под вершинами контура подразумеваются узлы.

Все операции в рабочем поле выполняются с помощью курсора. Координаты текущего положения курсора отображаются во втором поле строки состояния в правом нижнем углу окна.

Чтобы перенести начало координат, нужно зайти во вкладку **Редактирование** и выбрать пункт **Начало координат**. В появившемся диалоговом окне **Сдвиг начала координат** указать координаты X и Y. Для того чтобы перенести начало координат в нижнюю левую вершину стены, нужно ввести координаты данной вершины, указанные в **Таблице вершин**, которая отображается в левой части экрана при активации кнопки **Показать/Спрятать таблицу вершин** на панели инструментов.

Для удобства корректировки элементов рекомендуется воспользоваться координатной сеткой, отображение которой включается кнопкой **Отобразить/Спрятать сетку** в инструментальной панели. Ввод параметров координатной сетки выполняется в диалоговом окне **Параметры сетки**, которое появляется после инициализации соответствующей операции. Здесь вводятся шаг сетки по горизонтали и по вертикали (чтобы задать дверные проемы 2,1 м * 1,1 м в стене, можно выбрать шаг сетки 0,1 м в обоих направлениях), угол наклона сетки в градусах относительно горизонтальной оси. Параметры сетки могут меняться в процессе ввода внутренних контуров или корректировки внешнего контура.

В программе реализован режим привязки курсора к узлам сетки. Инициализация режима привязки выполняется нажатием кнопки **Привязка к сетке** на инструментальной панели. Если этот режим включен, то при вводе и корректировке контуров элементов и отверстий новые узлы будут автоматически привязываться к ближайшему к курсору узлу сетки.

Для создания дверных проемов нужно нажать кнопку **Многоугольный внешний контур** на инструментальной панели, которая активирует операцию корректировки внешнего контура элемента

Для корректировки необходимо подвести курсор к любой точке на контуре, после смены вида курсора (перекрестье для произвольной точки или перекрестье с мишенью для точки перелома) нажать левую кнопку мыши и «перетянуть» выбранную точку в новое по-

ложение. Фиксация новой точки перелома выполняется нажатием левой кнопки мыши. Процесс корректировки завершается двойным нажатием левой кнопки мыши. При перемещении вершин не допускается самопересечение ребер, образующих внешний контур элемента, и выход отверстий за границы внешнего контура.

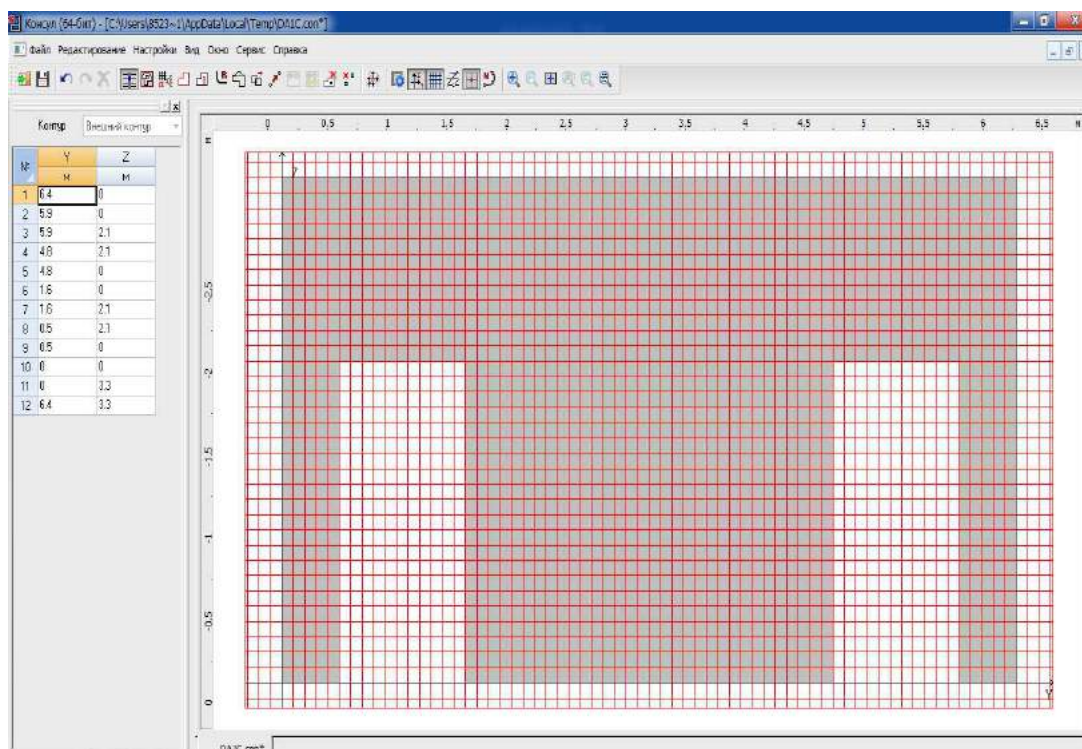


Рис. 3.11. Построение дверных проемов в программе **Консул**

Вводим дверные проемы:

- нажимаем левой кнопкой мыши на правую нижнюю вершину;
- нажимаем левой кнопкой мыши на нижний правый узел правого дверного проема;
- ориентируясь на координаты текущего положения курсора, отображающиеся во втором поле строки состояния в правом нижнем углу окна, перетягиваем точку на высоту 2,1м;
- продолжаем формирование внешнего контура с двумя дверными проемами;
- дважды щелкаем на нижнем левом узле левого дверного проема для завершения корректировки.

Если контур не изменяется, проделываем те же операции, начиная с левой нижней вершины и строя проемы слева направо (редактирование контура всегда возможно только с одной стороны).

Далее необходимо закрыть программу **Консул** с сохранением изменений (при закрытии программа автоматически предлагает сохранение). Таким образом, мы вернемся в окно **ФОРУМ** с выполненными дверными проемами в монолитной стене.

Создание отверстия под шахты лифтов в плите перекрытия выполняется аналогичным образом за тем исключением, что отверстие представляет собой внутренний контур.

В программе **Консул** представлено четыре вида операций для ввода внутренних контуров:

— ввод контура в виде замкнутого полигона – кнопка **Внутренний контур** на инструментальной панели;

— ввод контура в виде окружности с динамическим назначением её размеров – вкладка меню **Редактирование**;

— ввод контура в виде окружности заданного радиуса – вкладка меню **Редактирование**;

— ввод параметрического отверстия (круглое или прямоугольное) – вкладка меню **Редактирование**.

В данном случае необходимо ввести контур в виде замкнутого полигона. Для ввода контура активируем кнопку **Внутренний контур**, подводим курсор к первой точке на редактируемом контуре и нажимаем левую кнопку мыши, и получаем первую точку контура отверстия. Фиксация новой точки перелома выполняется нажатием левой кнопки мыши. Процесс создания отверстия завершается двойным нажатием левой кнопки мыши на последней точке.

Для удобства ввода контура также можно воспользоваться координатной сеткой.

Так как вычисление координат отверстия в плите является трудоемким, рекомендуется построить отверстие следующим способом: задать внутренний контур произвольных размеров в программе **Консул**, а потом привести его в соответствии с заданными размерами в программе **ФОРУМ**.

На рис. 3.12. показана плита перекрытия после введения внутреннего контура произвольных размеров командой **Внутренний контур**.

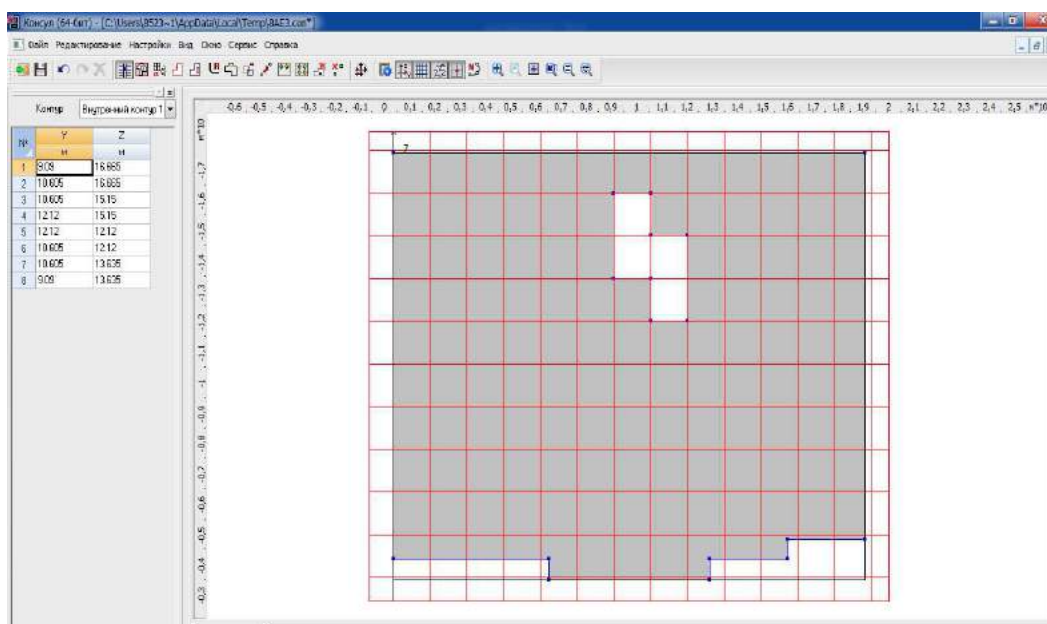


Рис. 3.12. Внутренний контур произвольных размеров в плите перекрытия

Для того чтобы изменить координаты отверстия после возвращения в программу **SCAD**, необходимо закрыть программу **Консул** с сохранением внутреннего контура произвольных размеров и воспользоваться командой **Операции с узлами** → **Замена узла в элементах**. С помощью этой операции для всех элементов, примыкающих к узлу, выполняется замена этого узла на другой. Первым следует выбрать заменяемый узел (маркируется красным цветом), а затем узел, на который осуществляется замена (маркируется зеленым цветом), и нажать кнопку **ОК** инструментальной панели. После выполнения операции узел, помеченный красным, не удаляется. Для того чтобы удалить узлы, не принадлежащие элементам, можно воспользоваться операцией **Управление** → **Упаковка данных**. Также можно использовать команду **Операции с узлами** → **Удаление узлов**. Второй способ является более трудоемким, так как предполагает выделение лишних узлов вручную.

Кроме того, координаты контура можно отредактировать в программе **Консул** вручную в **Таблице вершин**, где отображаются список контуров в порядке их создания, таблица с координатами вершин, ряд функциональных кнопок. Для корректировки координат узлов следует выполнить следующие действия:

- выбрать из списка контур;
- изменить координаты узлов в таблице координат (в процессе работы узлы отмечаются на контуре цветным кружком);
- или удалить выбранный узел (кнопки **Удалить** и **Отменить удаление**);

— подтвердить полученный результат (кнопка **Применить изменения**).

Способ построения отверстия выбирается в зависимости от его сложности и положения.

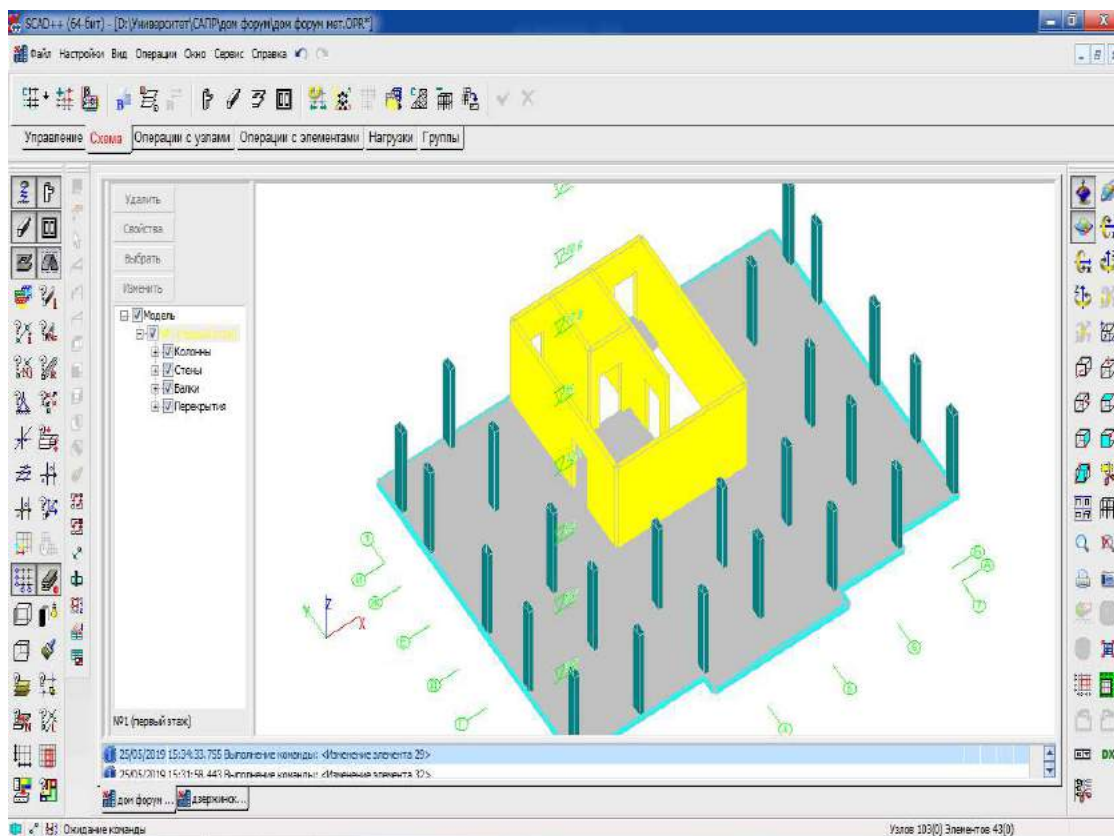


Рис. 3.13. Модель первого этажа

3.8. Упаковка данных

Для того чтобы удалить узлы, не принадлежащие элементам, а также объединить совпадающие узлы, которые могли возникнуть в результате ошибок при задании схемы, рекомендуется воспользоваться операцией **Управление** → **Упаковка данных**. Правила объединения назначаются в диалоговом окне **Упаковка данных**, которое появляется после активации команды.

Операция выполняется после выхода из диалогового окна нажатием кнопки **ОК**.

Узлы считаются совпадающими, если расстояние между ними меньше значения оценки точности совпадения, установленной в диалоговом окне **Упаковка данных**.

4. Моделирование типовых этажей

4.1. Копирование расчетной схемы

Действие данного метода построения расчетной схемы основано на копировании с заданным шагом и направлением схемы-прототипа, в качестве которой используется либо готовая схема, то есть с введенными жесткостными характеристиками, связями, нагрузками и т.п., либо система, для которой задана часть характеристик.

Вызов режима копирования выполняется кнопкой **Копирование** из раздела **Схема**. Копирование может производиться по различным правилам, описанным в гл.5 [1]. Простейший способ – схема просто повторяется заданное количество раз. Для того чтобы в процессе повторений выполнялся контроль совпадения узлов и элементов, необходимо установить маркеры **Удаление совпадающих узлов** и **Удаление совпадающих элементов**.

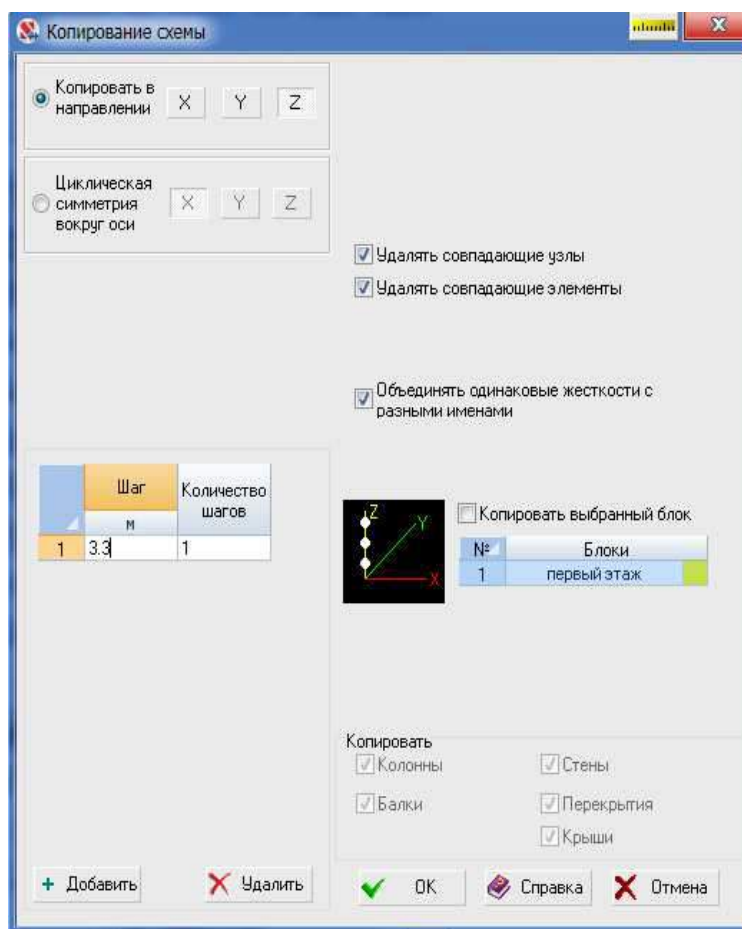


Рис. 4.1. Диалоговое окно **Копирование схемы**

Управление режимом копирования выполняется в диалоговом окне **Копирование схемы**. Здесь устанавливается направление копирования (по прямой вдоль оси Z), шаг повторения прототипа (равен высоте первого этажа), количество повторений каждого шага (так как типовой этаж отличается от первого, предварительно делаем одну копию) и правила копирования.

Копирование выполняется после выхода из диалогового окна нажатием кнопки **ОК**. Каждая копия записывается как самостоятельный блок и имеет имя копируемого блока с добавлением номера копии.

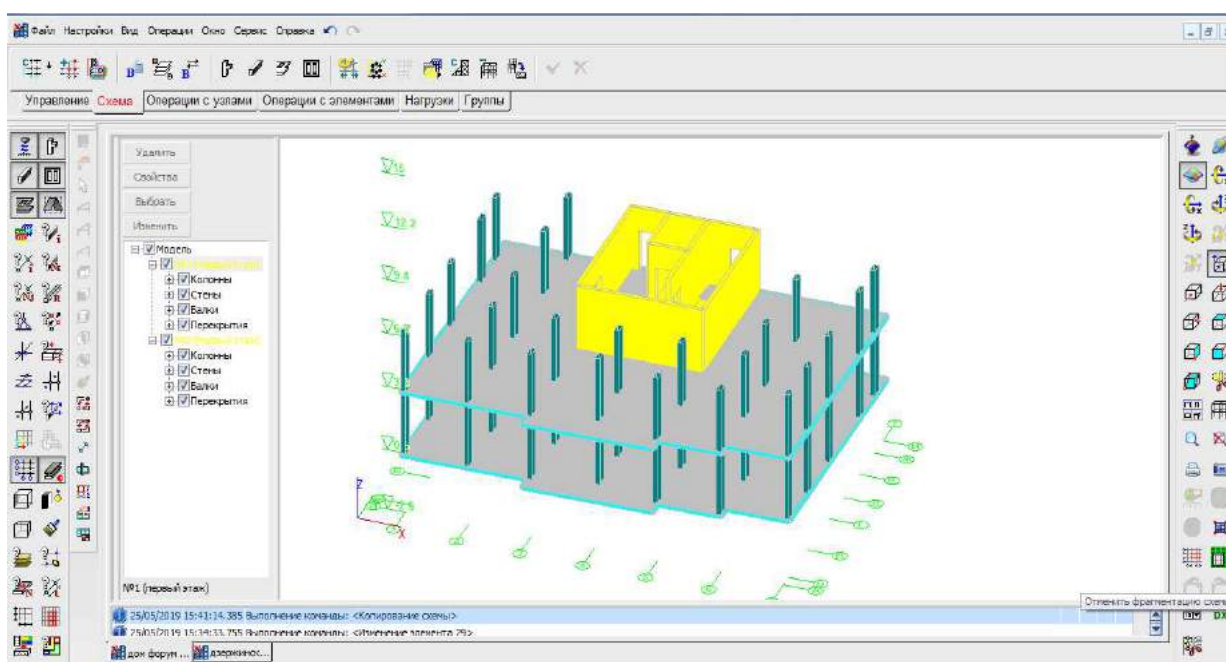


Рис. 4.2. Модель первого и типового этажа

4.2. Настройки нового блока

Перед началом редактирования элементов второго этажа рекомендуется выполнить настройки нового блока, который был создан автоматически при копировании схемы и включает в себя все элементы нового этажа. Для этого в диалоговом окне **Управление блоками**, которое вызывается соответствующей кнопкой во вкладке **Схема**, нужно задать имя и цвет блока второго этажа. Для удобства дальнейшей работы желательно сделать невидимым блок первого этажа, который не будет задействован на ближайших этапах создания модели. Это можно сделать, отключив маркер \checkmark в столбце **Видимость**. После задания всех необходимых настроек закрываем диалоговое окно нажатием кнопки **ОК**.

Отключить и включить отображение на экране любых блоков и объектов можно с помощью маркеров $\sqrt{}$ в дереве проекта, автоматически выстраивающемся в левой части экрана в процессе формирования модели и включающем панель с набором кнопок управления, собственно дерево проекта и информационную строку с наименованием активного блока.

Также для управления отображением модели используются фильтры отображения панели визуализации.

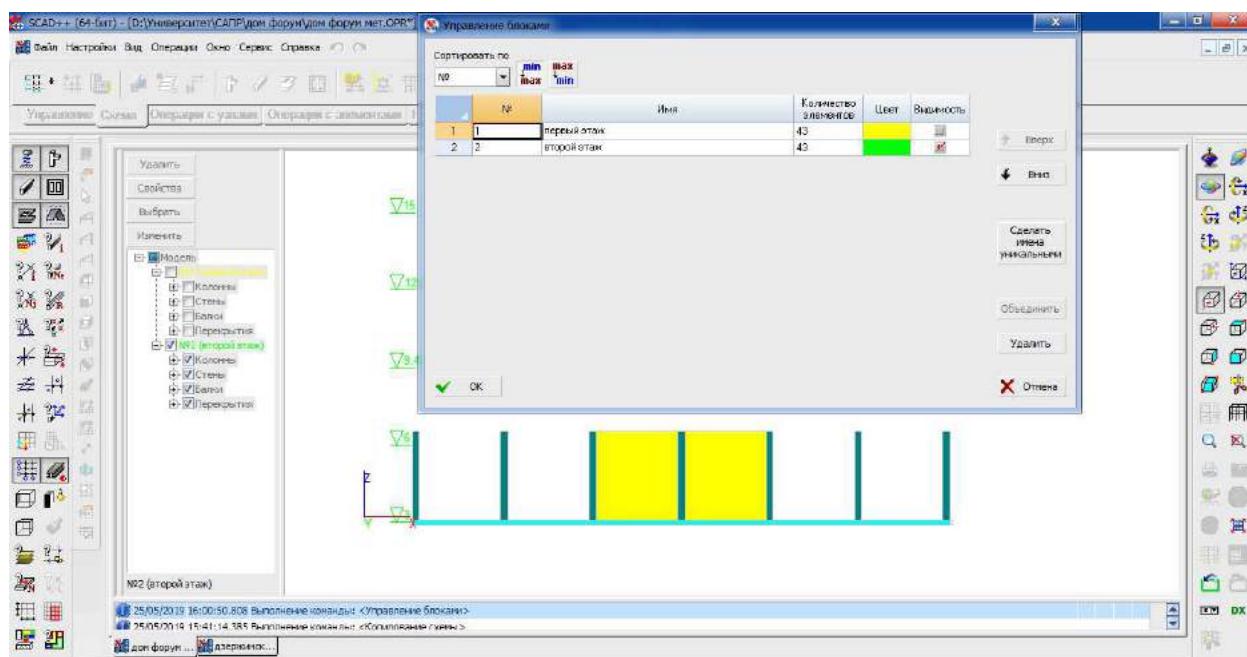


Рис. 4.3. Фрагментирование блока типового этажа

4.3. Корректировка элементов второго этажа

Как было сказано выше, типовой этаж отличается от первого (см. Разрез 1-1 на рис. 4.5.), поэтому, прежде чем принимать его за прототип и копировать на отметке +6,000 ... +29.000, необходимо выполнить корректировку. В данном случае там, где это необходимо по проекту, она будет включать в себя лишь уменьшение высоты этажа и замену дверных проемов на оконные в монолитных стенах.

Уменьшение высоты этажа заключается в уменьшении длин вертикальных элементов, которое легко осуществляется с помощью команды **Перенос узлов (Операции с узлами → Перенос узлов)**, описанной в п. 3.4. настоящего пособия. Для того чтобы одновременно выделить все верхние узлы колонн и стен, необходимо выбрать на панели визуа-

лизации **Проекция на плоскость XOZ (Вид спереди)**, нажать правой кнопкой мыши на расчетную модель и выбрать тип курсора **Прямоугольник**. После этого выделить нужные узлы прямоугольной рамкой и нажать кнопку **Подтверждение** на панели инструментов.

Замена дверных проемов на оконные в монолитных стенах производится в программе **Консул** в соответствии с п. 3.7. данного пособия.

Выполним корректировку геометрии монолитной стены в осях 3-5/И, для этого:

- активируем кнопку **Информация об элементе** на панели фильтров;
- выбираем стену в осях 3-5/И;
- в диалоговом окне **Информация об элементе** нажимаем кнопку **Изменить**;
- в появившемся окне программы **Консул** заходим во вкладку **Редактирование** и выбираем пункт **Начало координат**;
- в диалоговом окне **Сдвиг начала координат** вводим координаты нижней левой вершины стены, указанные в **Таблице вершин**, для того чтобы перенести в нее начало координат;
- выбираем опцию **Параметры сетки** на панели инструментов;
- в появившемся диалоговом окне назначаем шаг сетки 0,1м в обоих направлениях;
- активируем кнопку **Отобразить/Спрятать сетку** на инструментальной панели;
- выбираем команду **Привязка к сетке** на панели инструментов;
- нажимаем кнопку **Удалить вершины** и выбираем в выпадающем меню прямоугольный вид курсора;
- отмечаем 4 верхних узла дверных проемов, тем самым удалив их;
- активируем кнопку **Внутренний контур**;
- ориентируясь на координаты текущего положения курсора, подводим его к первой точке проектируемого оконного проема и нажимаем левую кнопку мыши;
- фиксируем каждый узел проема нажатием левой кнопки мыши;
- завершаем создание отверстия двойным нажатием левой кнопки мыши на последней точке;
- повторяем последние 3 действия для второго оконного проема;
- закрываем программу **Консул** с автоматическим сохранением изменений и возвращаемся в рабочее окно **ФОРУМ**.

После необходимой корректировки геометрии элементов типового этажа можно переходить к следующему этапу создания расчетной модели.

4.4. Копирование блока второго этажа

В препроцессоре ФОРУМ предусмотрена возможность копирования выбранного блока. Для того чтобы сделать копию блока после выбора операции **Копирование** вкладки **Схема**, в диалоговом окне **Копирование схемы** нужно отметить соответствующий маркер и в открывшемся списке имен блоков выбрать нужный (второй этаж). С помощью маркеров группы **Копировать** можно воспроизвести часть элементов активного блока. В остальном работа с операцией проходит по алгоритму, приведенному в п.4.1. данного пособия.

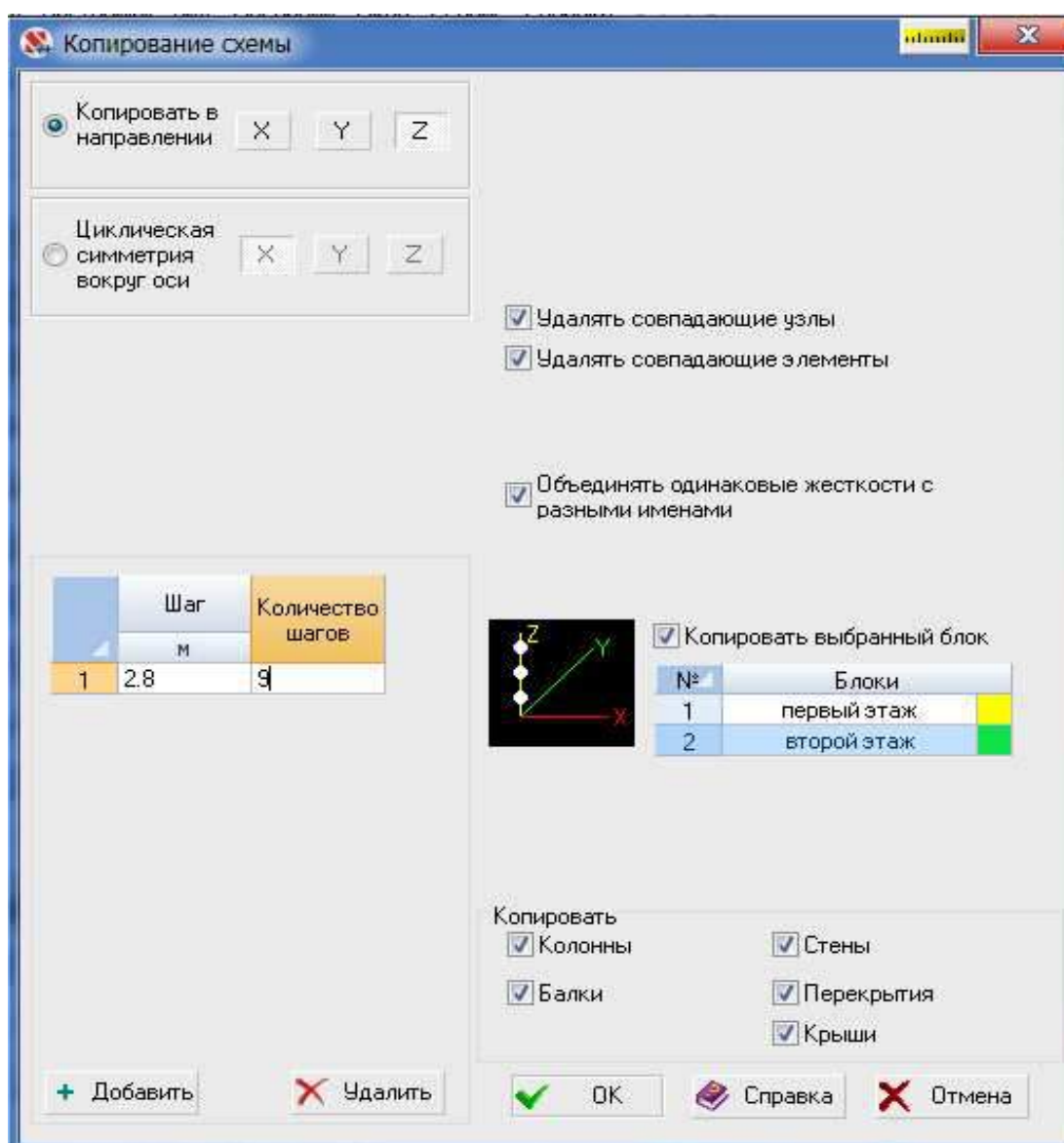


Рис. 4.4. Диалоговое окно **Копирование схемы**

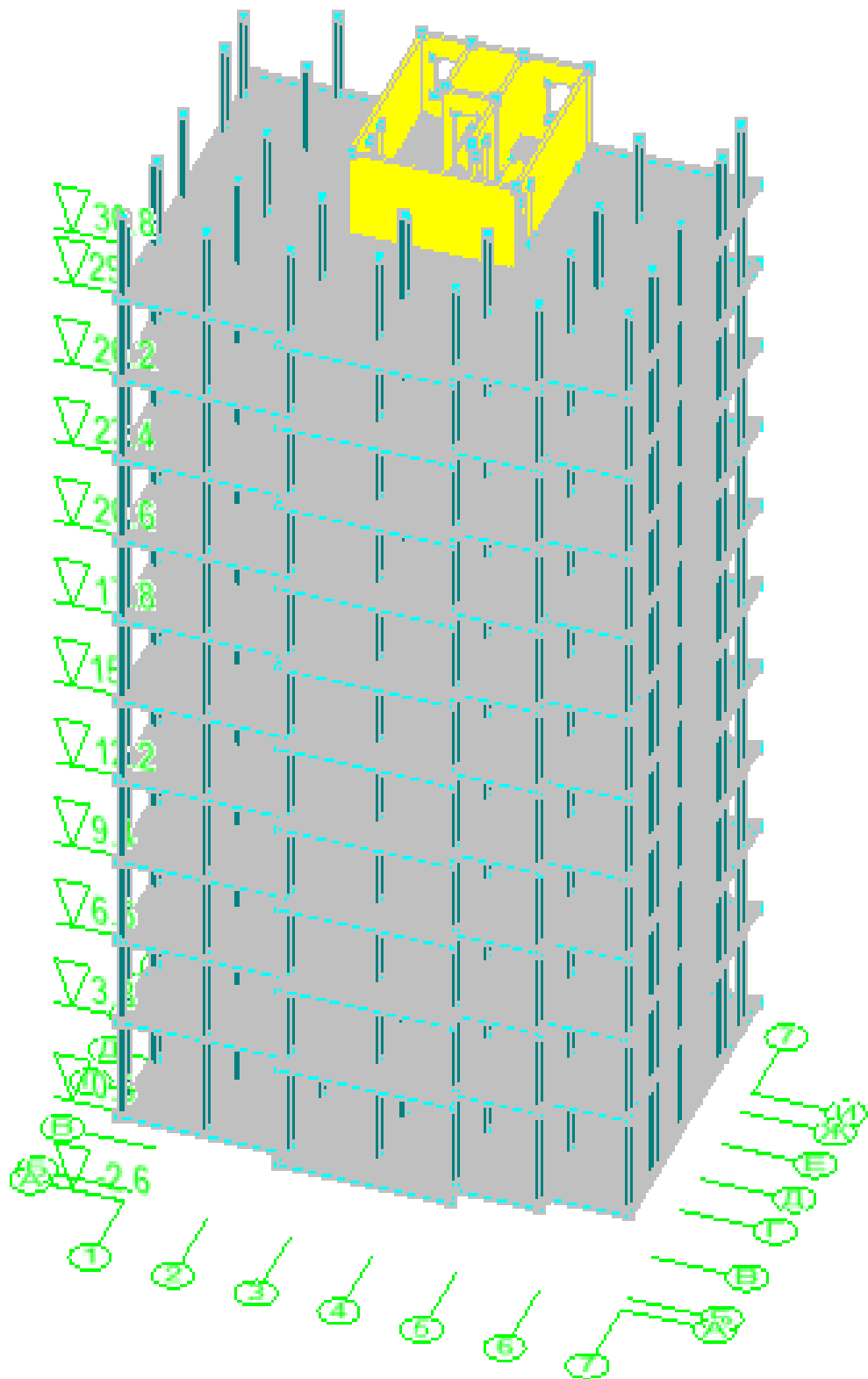


Рис. 4.5. Копирование блока типового этажа

5. Построение технического этажа и кровли

Моделирование технического этажа можно производить как с начала, так и на базе уже построенного типового этажа. Для того чтобы воспользоваться вторым вариантом, необходимо дублировать типовой этаж на отметку технического, что и было сделано в предыдущем пункте.

Так же как и при работе со вторым этажом, перед непосредственным переходом к корректировке рекомендуется выполнить настройки блока, что особенно актуально при проектировании массивных сложных объектов с разнообразными геометрическими формами и переменной по высоте жесткостью вертикальных элементов.

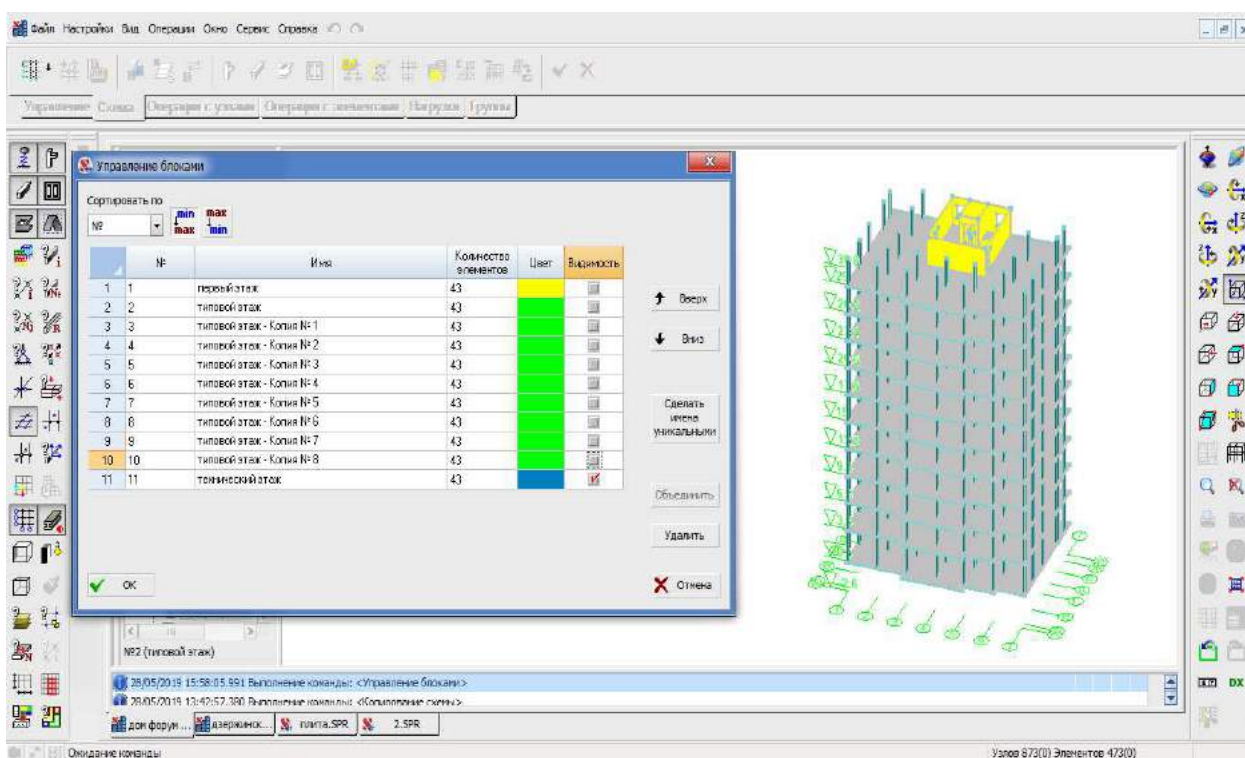


Рис. 5.1. Настройка и фрагментирование блока технического этажа

После регулировки параметров блока можно переходить к редактированию геометрии элементов технического этажа в соответствии со схемой расположения элементов монолитного каркаса на отметке уровня +30,800 (рис. 2.3.) и разрезом 1-1 (рис. 2.5.): изменению длин вертикальных элементов, устранению оконных и дверных проемов в наружных монолитных стенах.

Порядок удаления дверных проемов и переноса узлов для корректировки высоты этажа представлен выше на примере создания типового этажа.

Ликвидировать оконные проемы, которые считаются внутренними отверстиями, возможно без перехода к вспомогательной программе Консул. Для этого используется команда **Удаление проемов** раздела **Операции с элементами**. После активации инструмента необходимо выбрать пластинчатый элемент. В диалоговом окне **Удаление проемов** отображаются все отверстия указанного элемента, любое из них можно удалить, нажав соответствующую кнопку.

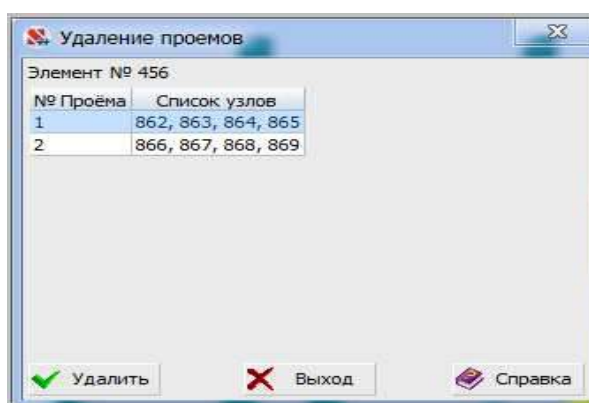


Рис. 5.2. Диалоговое окно **Удаление проемов**

Операция исключает из схемы лишь сами отверстия и оставляет нетронутыми узлы, образующие проемы. Для того чтобы удалить узлы, не принадлежащие элементам, рекомендуется воспользоваться описанной выше командой **Упаковка данных**. Также можно удалить узлы «вручную» с помощью кнопки **Удаление узлов** вкладки **Операции с узлами**.

Машинное отделение лифтов, как правило, возвышается над верхним этажом, в данном проекте оно выступает на 1 м (см. разрез 1-1 на рис. 2.5.). Построить его возможно либо копированием схемы с выбором только монолитных стен блока технического этажа, либо копированием фрагмента схемы, производящимся с помощью одноименной операции в разделе **Схема**. Для того чтобы кнопка стала активна, нужно выбрать предназначенные для повторения элементы расчетной модели с помощью кнопки **Отмена группы элементов** в нижнем левом углу рабочего окна препроцессора ФОРУМ. В диалоговом окне **Копирование фрагмента схемы** задаются шаги повторений выбранного объекта, количество шагов, направление копирования и правила воспроизведения выделенной части схемы.

После ввода элементов машинного отделения необходимо скорректировать их высоту и построить плиты покрытия и условные обвязочные балки на отметках +30,800 м и +31,800 м в соответствии со схемой расположения элементов монолитного каркаса (рис. 2.3.) и разрезом 1-1 (рис. 2.5.).

Ниже приведен один из нескольких возможных вариантов задания плиты покрытия на отметке +30,800 м:

- активация кнопки **Отмена группы элементов** в нижнем левом углу рабочего окна препроцессора ФОРУМ;

- выбор на панели визуализации опции **Проекция на плоскость XOZ (Вид спереди)**;

- нажатие правой кнопкой мыши на экран и выбор типа курсора **Прямоугольник**;

- выделение плиты и балок на отметке +29,000 м прямоугольной рамкой;

- копирование перекрытия и балок с отметки +29,000 м на отметку +30,800 м с помощью операции **Копирование фрагмента схемы**;

- активация команды **Удаление проемов** раздела **Операции с элементами**;

- выбор плиты перекрытия на отметке +30,800 м;

- отметка отверстия в появившемся диалоговом окне **Удаление проемов**;

- нажатие кнопки **Удалить** в диалоговом окне **Удаление проемов**;

- закрытие диалогового окна нажатием кнопки **Выход**;

- активация кнопки **Информация об элементе** на панели фильтров;

- выбор плиты перекрытия на отметке +30,800 м;

- нажатие кнопки **Изменить** в диалоговом окне **Информация об элементе**;

- изменение внешнего контура плиты в появившемся окне программы **Консул**.

Корректировка контура производится в соответствии с п. 3.7. данного пособия.

Сначала переносим начало координат в верхний левый узел плиты. Для этого заходим во вкладку **Редактирование** и выбираем пункт **Начало координат**. В появившемся диалоговом окне **Сдвиг начала координат** вводим координаты X и Y верхнего левого узла плиты. Они указаны в **Таблице вершин**, которая отображается в левой части экрана при активации кнопки **Показать/Спрятать таблицу вершин** на панели инструментов. Включаем отображение сетки кнопкой **Отобразить/Спрятать сетку** на инструментальной панели. Активируем режим привязки курсора к узлам сетки нажатием кнопки **Привязка к сетке** на инструментальной панели. Нажимаем кнопку **Многоугольный внешний контур** на инструментальной панели и вводим прямоугольный контур произвольного размера, как показано на рис. 5.3.

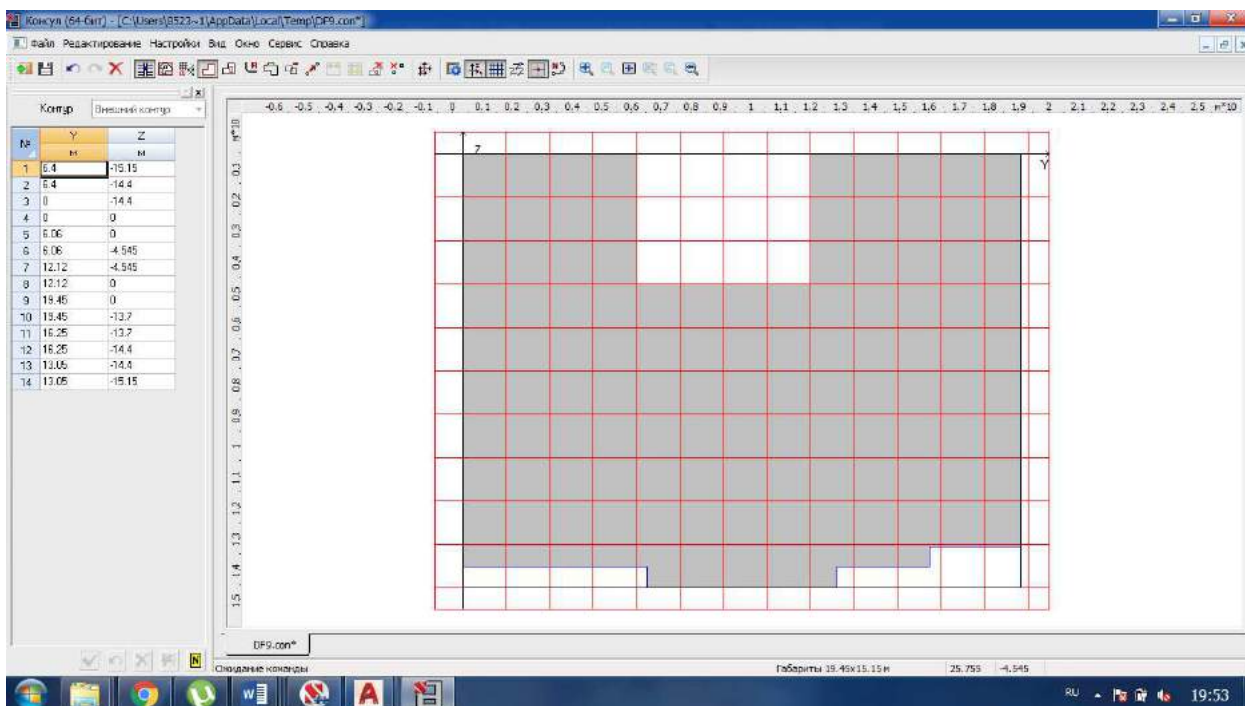


Рис. 5.3. Корректировка внешнего контура плиты перекрытия в программе **Консул**

Далее необходимо закрыть программу **Консул** с сохранением изменений (при закрытии программа автоматически предлагает сохранение). Таким образом, мы вернемся в программу **ФОРУМ** с отредактированным внешним контуром плиты.

Теперь нужно перенести четыре созданных узла внешнего контура в узлы пересечения стен блока машинного помещения (узлы в осях 3/Г, 3/И, 5/Г и 5/И). Узлы в осях 3/И и 5/И можно достроить командой **Ввести узлы на заданном расстоянии от отмеченных**. Перенос созданных узлов производится командой **Операции с узлами** → **Замена узла в элементах**. Первым отмечается заменяемый узел (маркируется красным цветом), вторым выделяется узел, на который осуществляется замена (маркируется зеленым цветом). После нажатия кнопки **ОК** инструментальной панели для всех элементов, примыкающих к первому узлу, выполняется замена первого на второй. Замену узлов в элементах необходимо произвести для четырех созданных узлов внешнего контура (рис. 5.4.).

Построение плиты покрытия и балок на отметке +31,800 м выполняется по п. 3.5. и п. 3.6. данного пособия в соответствии с разрезом 1-1 (рис. 2.5.).

Отредактированный блок технического этажа и машинного помещения показан на рис. 5.5.

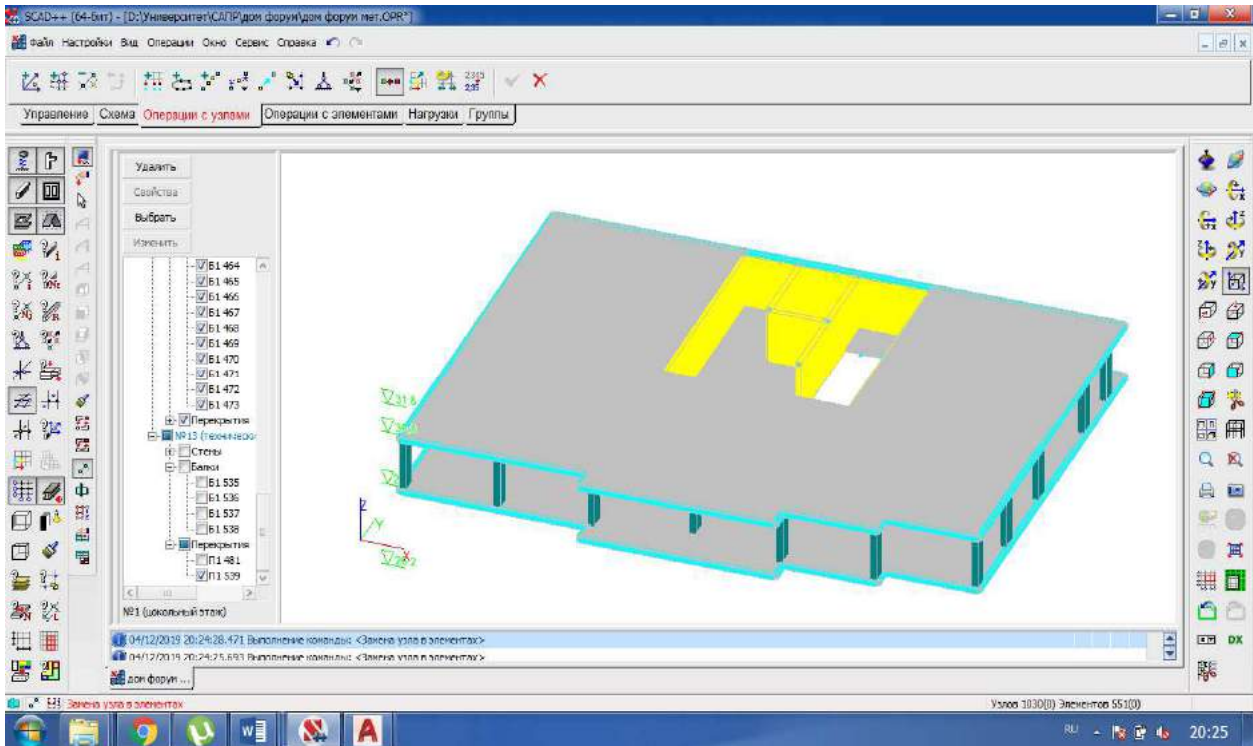


Рис. 5.4. Фрагмент блока технического этажа

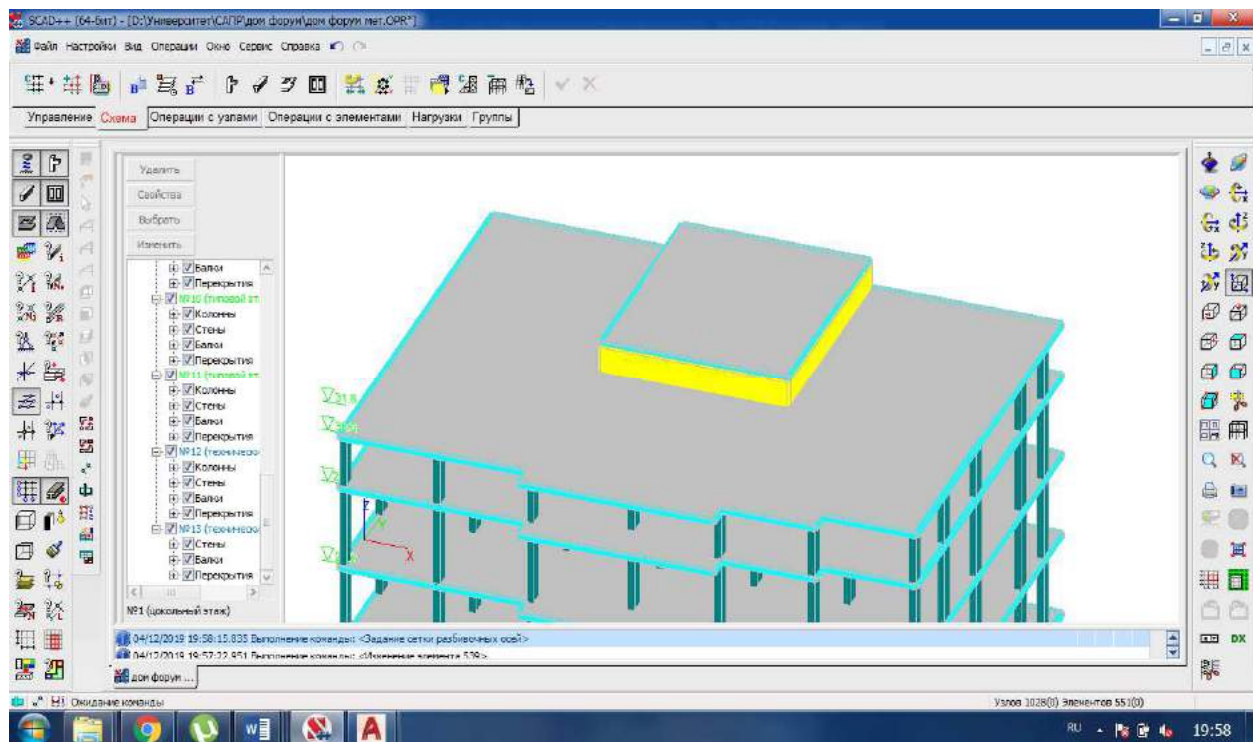


Рис. 5.5. Блок технического этажа и машинного помещения

6. Построение цокольного этажа и фундаментной плиты

Схема расположения элементов монолитного каркаса на отметке уровня -2,600 м показана на рис. 2.4.

При создании цокольного этажа и фундаментной плиты рекомендуется следующий порядок выполнения операций:

— дублирование блока первого этажа на отметку фундаментной плиты операцией **Копирование схемы** (перед копированием блока нужно убедиться в том, что в него входят только элементы первого этажа, и, при необходимости, перенести лишние элементы в соответствующие блоки командой **Операции над блоками**) или операцией **Копирование фрагмента схемы** (для того, чтобы она стала активна, необходимо выделить элементы, предназначенные для копирования);

— настройка блока цокольного этажа;

— фрагментирование элементов рабочего блока;

— изменение длин вертикальных элементов с помощью операции **Перенос узлов** (изменение длин вертикальных элементов цокольного этажа необходимо, так как высота цокольного этажа отличается от высоты первого этажа, это отображено на разрезе 1-1 рис. 2.5.);

— удаление дверных проемов в наружных монолитных стенах с использованием вспомогательной программы **Консул** по алгоритму, описанному в п.п. 4.3.;

— исключение отверстий под лифтовые шахты в плите командой **Удаление проемов** вкладки **Операции с элементами**;

— выполнение операции **Упаковка данных** для устранения узлов, не принадлежащих элементам;

— ввод на отметке -2,600м узлов, необходимых для последующего задания наружных стен в соответствии со схемой расположения элементов цокольного этажа (рис. 2.4.);

— построение стен монолитного цоколя высотой 3,1 м по алгоритму, описанному в п.п. 3.4.;

— назначение толщины (0,7 м) и остальных характеристик фундаментной плиты в диалоговом окне **Параметры стен, перекрытий и крыш**, появляющемся после активации кнопки **Изменение жесткостных характеристик пластинчатых элементов** раздела **Операции с элементами** инструментальной панели;

— удаление условных балок на отметке -2,600 м командой **Операции с элементами** → **Удаление элементов**;

— корректировка размеров фундаментной плиты командой **Расширение плиты отступом от граней** в соответствии со схемой расположения элементов монолитного каркаса на отметке уровня -2,600 м (рис. 2.4.).

На этом построение укрупненной расчетной схемы здания закончено.

Отредактированный блок цокольного этажа показан на рис. 6.1.

Результирующая модель многоэтажного здания из укрупненных элементов показана на рис. 6.2.

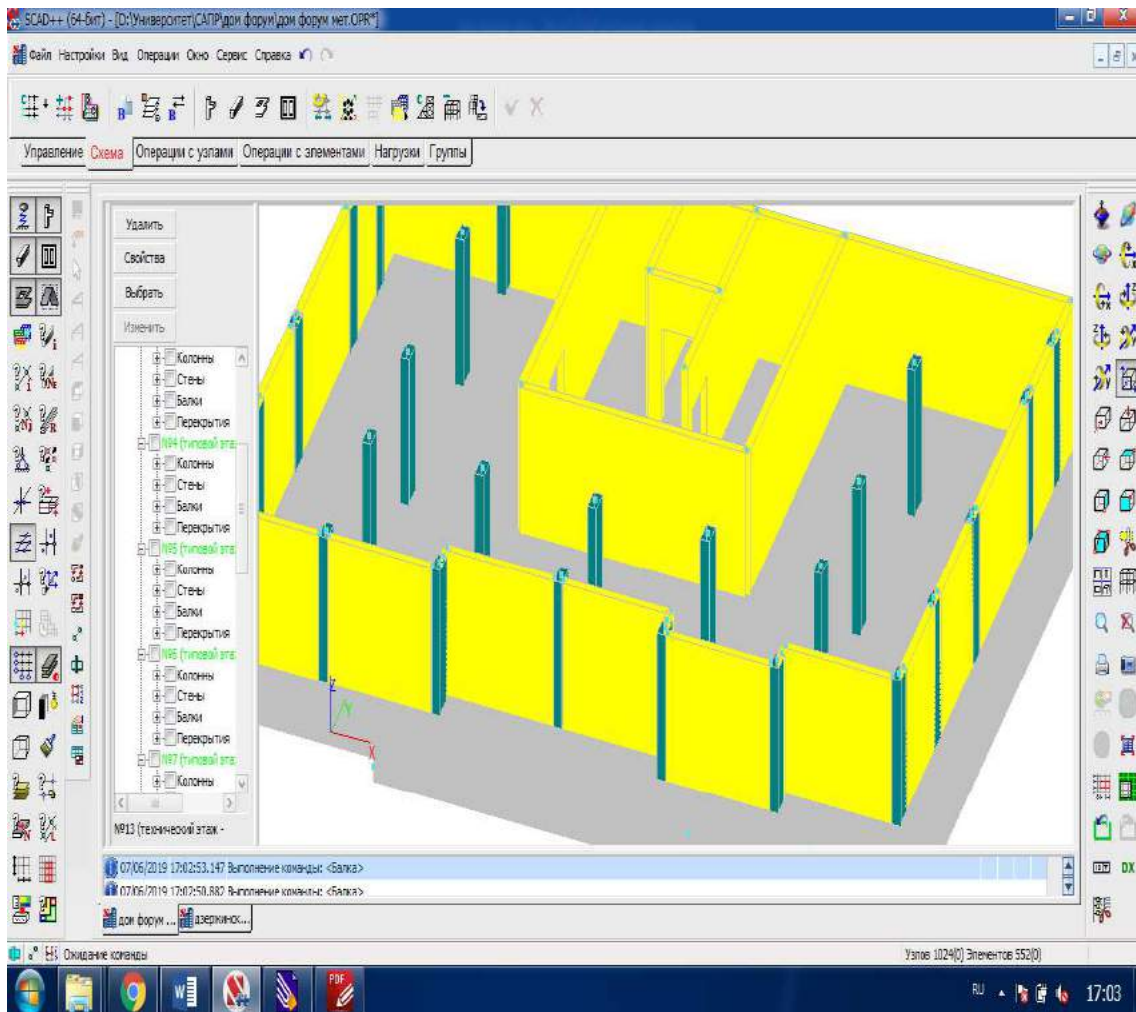


Рис. 6.1. Блок цокольного этажа

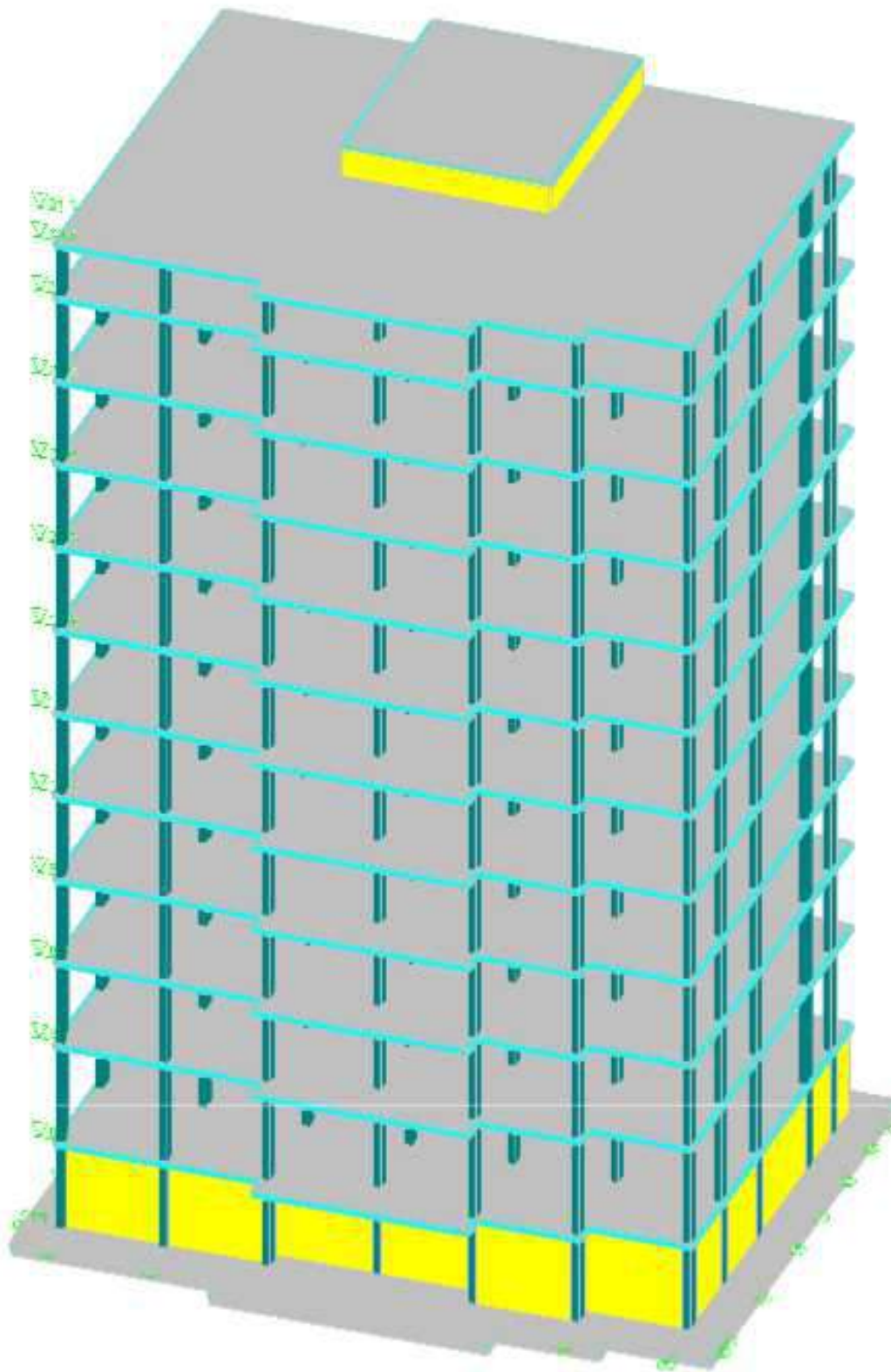


Рис. 6.2. Укрупненная модель здания

7. Генерация конечно-элементной модели и её экспорт в SCAD

7.1. Генерация результирующего проекта SCAD

Переход от укрупненной модели (рис. 6.2.) к расчетной схеме (рис 7.3.), а также управление генерацией сетки конечных элементов осуществляется в диалоговом окне **Генерация проекта SCAD** (рис 7.2.), появляющемся после вызова операции **Генерация результирующего проекта** вкладки **Схема** панели инструментов. При этом все введенные ранее параметры объектов (размеры сечений, жесткостные характеристики и пр.) переходят на соответствующие им конечные элементы.

Важным вопросом при создании результирующего проекта является выбор типов и размеров конечных элементов, так как это напрямую влияет на точность решения задачи.

Вычислительный комплекс SCAD Office, как и другие расчетные программы, основанные на автоматизированном МКЭ, содержит обширную библиотеку конечных элементов. В процессе генерации модели каждому объекту автоматически назначается тип КЭ, который соответствует его размерности, набору допустимых нагрузок и воздействий, классу задачи, признаку расчетной схемы и прочее. Кроме того, не составляет труда изменить тип КЭ после экспорта схемы в SCAD (например, заменить 4-х узловой прямоугольный конечный элемент 8-ми узловым, что увеличит точность и продолжительность расчета).

Корректировка размера конечно-элементной сетки является трудозатратным процессом, поэтому на её моделирование следует обратить особое внимание. В теории МКЭ установлен ряд важнейших теорем о сходимости (о постепенном приближении последовательно вычисляемых решений к предельному по мере того, как сгущается сетка конечных элементов), например, в [2] и [3]. Однако, по утверждениям авторов, [1] с. 51, [4] с. 55, подтвержденными расчетной практикой, теоретические расчеты требуемой густоты сетки конечных элементов не всегда справедливы. Кроме того, они не учитывают способа расположения конечных элементов и их ориентацию по отношению к потокам основных напряжений, что, как наглядно подтверждается показанным на рис.7.1. примером [5], оказывает существенное влияние на точность расчета.

Основываясь на вышесказанном, рекомендуется выбирать размерность сетки конечных элементов не только отталкиваясь от теоретического обоснования, но и на основе опыта решения задач определенного класса, в особенности, имеющих известное точное решение модельных задач, если же опыт расчета подобных конструкций отсутствует, необходимо достигнуть требуемой точности решения путем выполнения необходимого

числа итераций с варьированием размеров конечных элементов. Обратим внимание, что при удовлетворительной сходимости по перемещениям, могут хуже сходиться внутренние усилия и напряжения, так как они получаются путем дифференцирования перемещений, а небольшому изменению функции может соответствовать значительное отклонение производной.

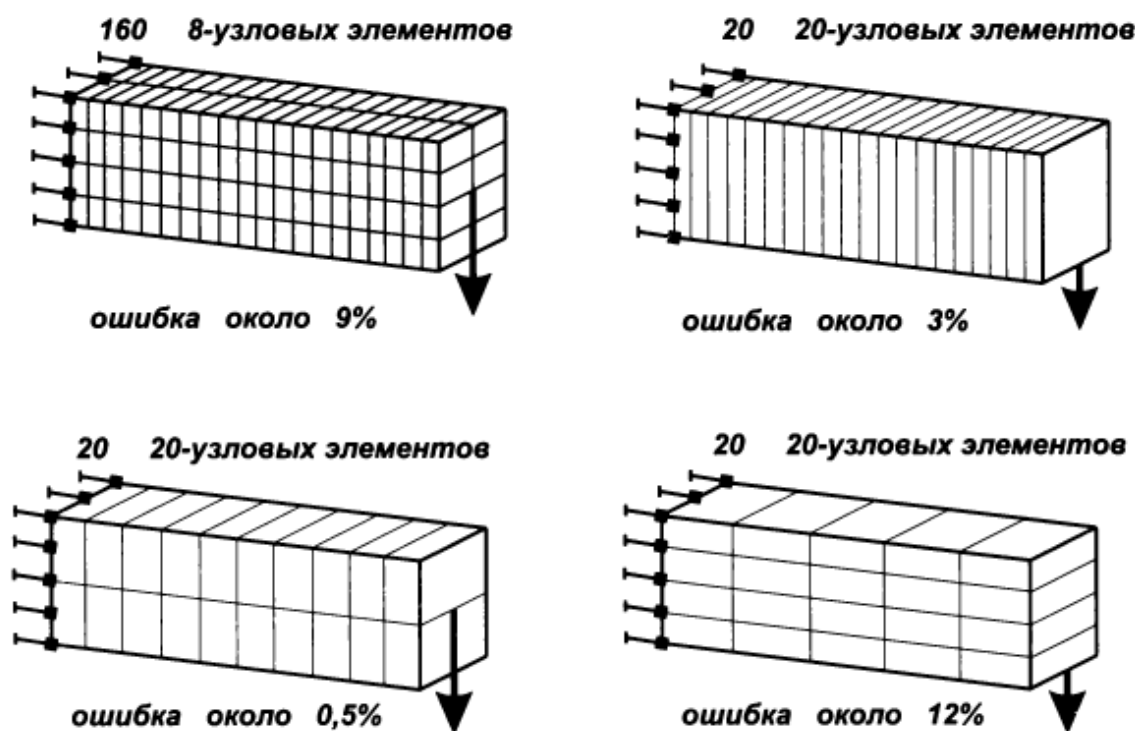


Рис. 7.1. Различные схемы конечно-элементного разбиения и точность расчета

При этом следует помнить, что метод конечных элементов – это метод численного приближения, не дающий абсолютной точности. Погрешность вычислений лишь снижается при учащении шага конечно-элементной сетки, но никогда не устраняется полностью, и, при очень мелком шаге, не приводящем к существенному увеличению точности, размерность задачи может превысить возможности компьютера по размещению рабочих файлов и файлов результатов расчета.

Поэтому рекомендуется назначать мелкий шаг только тем объектам схемы, для которых это необходимо (например, на перекрытиях, где предполагается выполнять подбор арматуры). В препроцессоре **ФОРУМ** программного комплекса SCAD Office при генерации результирующего проекта предусмотрена возможность задания собственных значений шагов сетки для стен, перекрытий и крыш (в диалоговом окне **Генерация проекта SCAD**).

Кроме того, можно задать различные параметры сетки по отдельным видам элементов для каждого блока. Это дает возможность назначать мелкий шаг конечно-элементной сетки для того элемента, в котором предполагается производить детальный расчет и конструирование.

В то же время, для увязки сеток КЭ различных плоскостных элементов необходимо, в первую очередь, увязать между собой их границы, то есть, контуры элементов, чему в большей мере способствует единый шаг разбивки контуров. Таким образом, назначая размер конечных элементов плиты вдвое меньше размера КЭ прилегающих монолитных стен, мы обязательно получим на приграничных участках стен нерегулярную сетку, возможно, с неправильно сформированными элементами, снижающую точность расчета данных объектов. Снижение точности расчета стен не имеет значения, если они использованы в модели только для сбора ветровых нагрузок, но неприемлемо, если для них предполагается выполнить подбор арматуры.

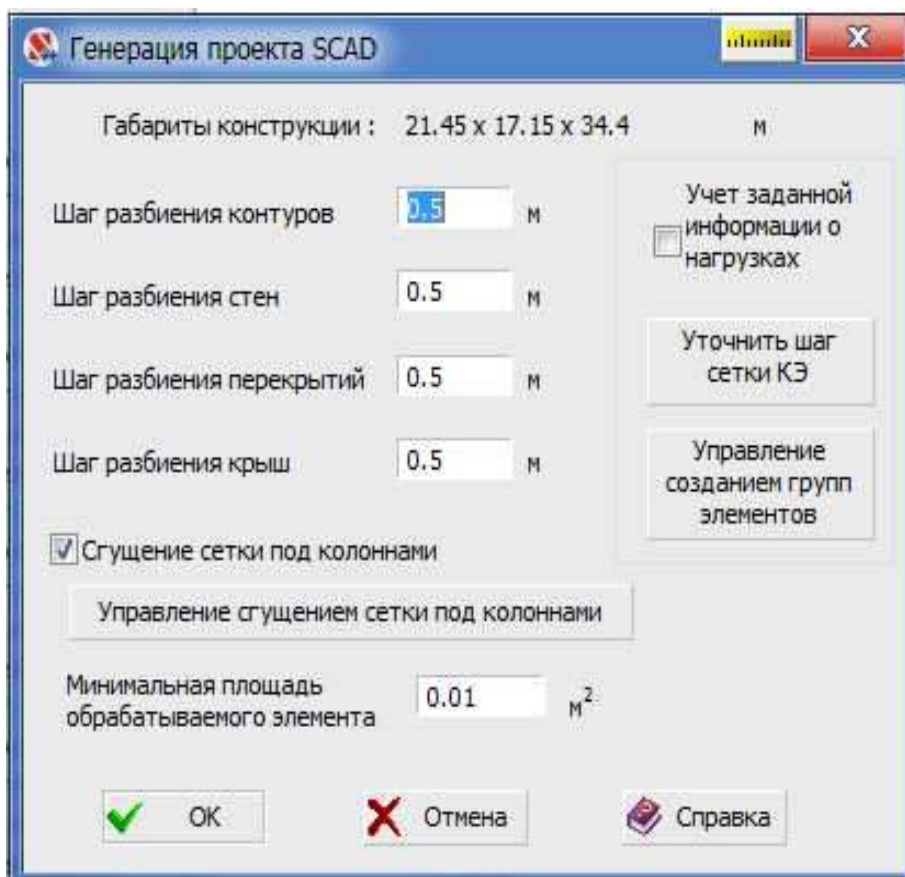


Рис. 7.2. Диалоговое окно **Генерация проекта SCAD**

На основе проектного опыта расчета многоэтажных монолитных зданий принимаем шаг разбиения всех контуров 0,5 м. В том случае, если есть необходимость в получении результатов более высокой точности, рекомендуется произвести несколько итераций с уменьшением размеров конечных элементов до достижения желаемого уровня точности, ориентируясь еще и на возможности компьютера.

Возможность варьирования размеров КЭ в местах ожидаемой концентрации напряжений при экспорте модели в SCAD реализована только опцией **Сгущение сетки под колоннами** в диалоговом окне **Генерация проекта SCAD**.

Параллельно с генерацией сетки в расчетной схеме автоматически создаются группы элементов. По умолчанию в группы объединяются конечные элементы, принадлежащие одному объекту, а также все элементы, входящие в один блок. Правила создания групп можно скорректировать в диалоговом окне **Управление созданием групп элементов**, которое появляется при нажатии на одноименную кнопку.

После назначения необходимых параметров нужно выйти из окна **Генерация проекта** нажатием кнопки **ОК**, затем, в появившемся окне **Сохранить как...** задать путь и имя файла результирующей схемы.

Процесс генерации сетки конечных элементов отображается в окне сообщений и может быть прерван нажатием кнопки **Отмена**. По завершению экспорта модели в SCAD появляется диалоговое окно **Результаты генерации**, содержащее информацию о времени, затраченном на создание конечно-элементной модели, количестве узлов и элементов в результирующем проекте, который автоматически открывается в новой вкладке расчетного комплекса при активации соответствующего маркера. Перед дальнейшей разработкой схемы следует произвести проверку готовности системы к расчету, воспользовавшись одноименной командой в разделе **Управление**. Данная операция поможет контролировать результаты автоматической генерации сетки, выявив вырожденные конечные элементы, непригодные для дальнейшего расчета. Для того чтобы удалить вырожденные конечные элементы из расчетной схемы, необходимо скорректировать геометрию элементов в препроцессоре ФОРУМ, изменить параметры моделирования конечно-элементной модели в диалоговом окне **Генерация проекта SCAD**, повысить качество триангуляции с помощью операции **Улучшение качества триангуляции** раздела **Узлы и элементы** вкладки **Элементы** или внести корректировки в расчетную схему «вручную».

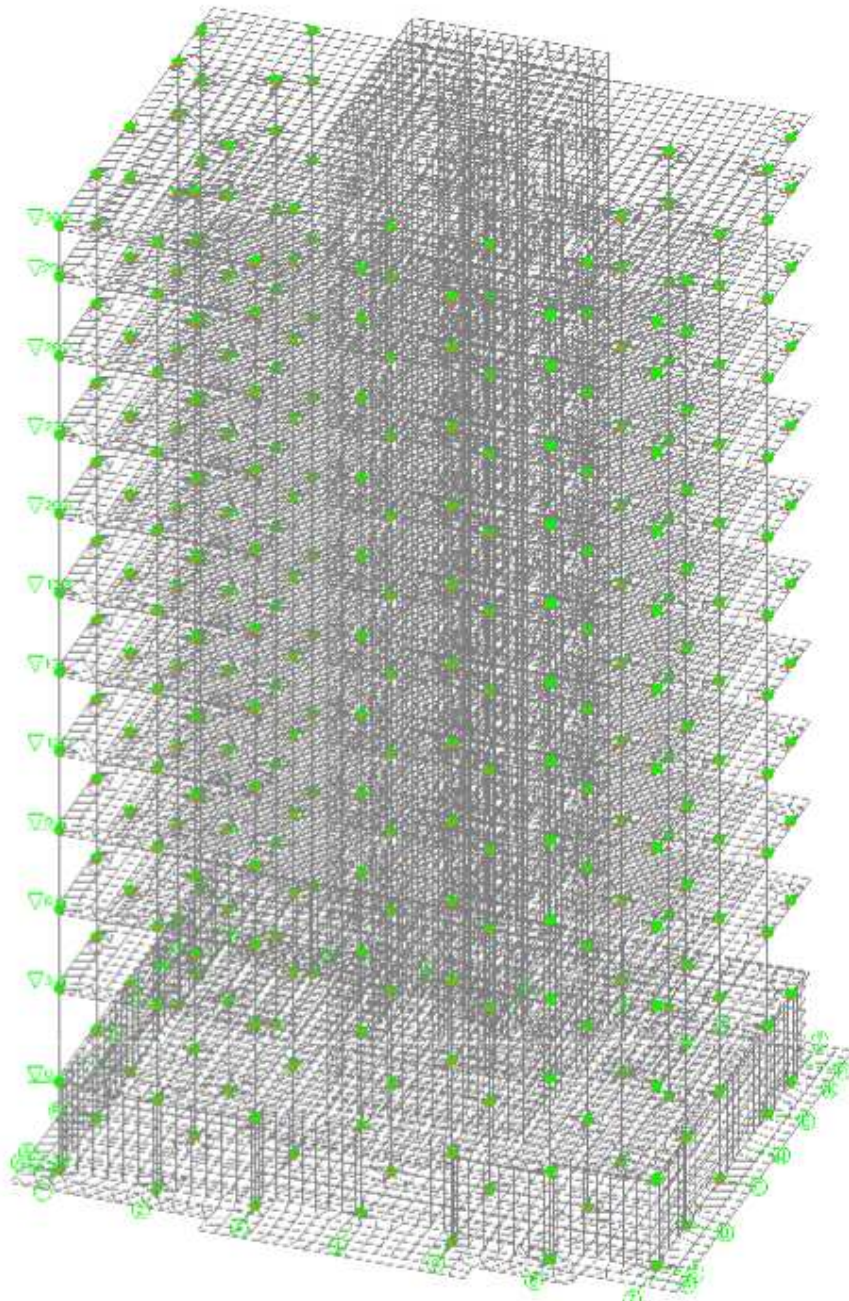


Рис. 7.3. Конечно-элементная расчетная схема здания в программе SCAD

7.2. Моделирование узла пересечения колонны и перекрытия

При включении в диалоговом окне **Генерация проекта** маркера **Сгущение сетки под колоннами** в областях пересечения колонн и перекрытий, в процессе создания конечно-элементной схемы, активируется режим формирования дискретных абсолютно твердых тел, размеры которых равны габаритным размерам прямоугольников, соответствующих сечениям колонн.

Дискретные абсолютно твердые тела, в отличие от непрерывных, накладывают соответствующие условия связи на перемещения только заданных узлов этого тела. На участках пересечения стержневых и пластинчатых элементов они моделируют жесткое сопряжение элементов каркаса с плитой. При отсутствии дискретных абсолютно твердых тел стержни упруго заземлены пластинчатыми элементами, как внешними связями, препятствующими повороту сечений колонн. Коэффициент жесткости этих связей находится в прямо пропорциональной зависимости от шага конечно-элементной сетки плиты. Таким образом, он стремится к нулю при минимальном размере конечных элементов.

Эта особенность совместной работы элементов различной размерности (стержень + пластина) при их стыковке подробно описана и обоснована на стр. 244-268 [6]. Неправильное распределение напряжений в каркасе при этом вызвана тем, что обеспечивается совместность как вертикальных перемещений плиты и колонн, так и соответствующих углов поворота. Когда же сетка плиты сгущается, начиная с некоторой сеточной разбивки, дальнейшее дробление сетки приводит к уменьшению значений изгибающих моментов в стержнях в местах их заделки в плиту. В пределе, при стремлении к нулю размеров сеточной ячейки, изгибающие моменты также стремятся к нулю, это означает, что данная расчетная схема обеспечивает шарнирное присоединение элементов каркаса к плите.

За счет одномерности стержневого элемента изгибающий момент в нем передается на плиту как сосредоточенный в узле сетки вне зависимости от её размеров. При этом плита под действием сосредоточенного изгибающего момента получает бесконечный угол поворота в плоскости действия момента в месте его приложения. Таким образом, плита не оказывает сопротивления на сосредоточенный поворот, и, следовательно, не заземляет элементы каркаса. Значит, полученные в данной расчетной схеме изгибающие моменты в сечениях стоек, примыкающих к плите, являются неверными, что, в свою очередь, сказывается на распределении внутренних усилий в остальных элементах каркаса здания и приводит к неправильному расчету здания в целом.

Вышесказанное справедливо тогда, когда сетка конечных элементов выбирается лишь с тем условием, что стержни каркаса здания попадают в узлы сетчатого разбиения плиты, и при этом не предпринимаются никакие дополнительные меры. Введение в конечно-элементную модель жестких тел, подколонников, капителей и пр. способствует правильному распределению напряжений в элементах каркаса и адекватному расчету здания.

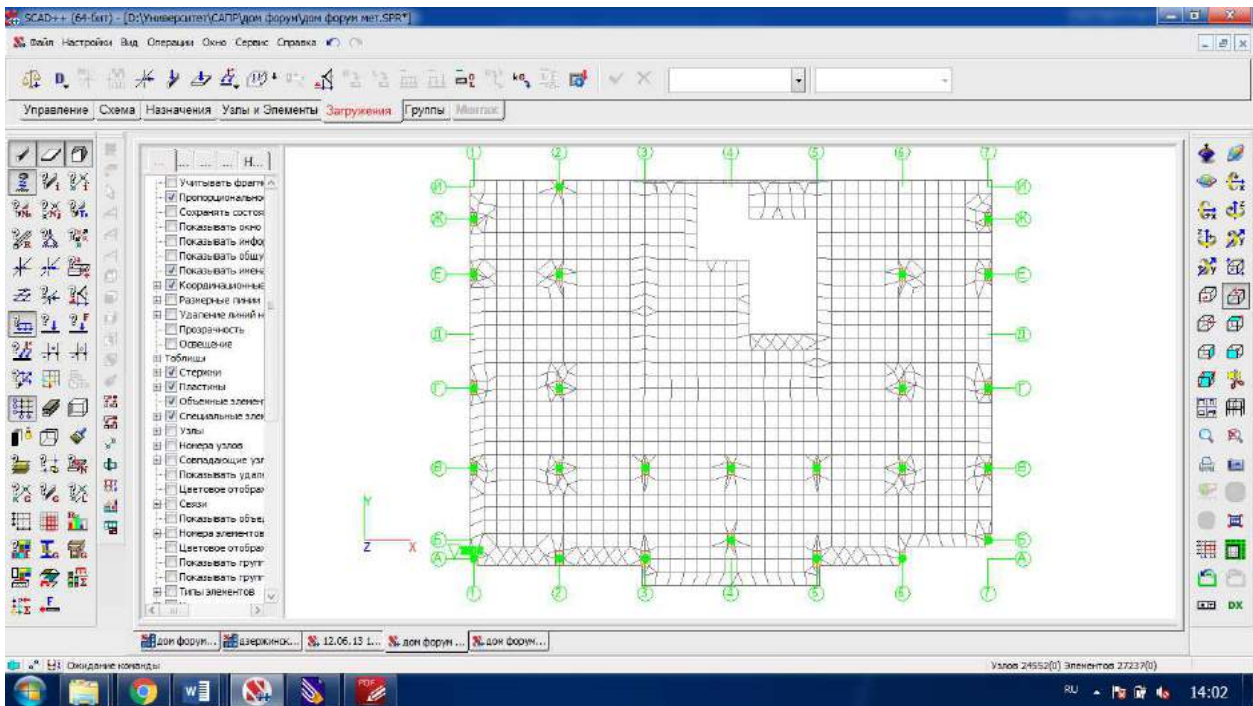


Рис. 7.4. Конечно-элементная модель плиты перекрытия при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

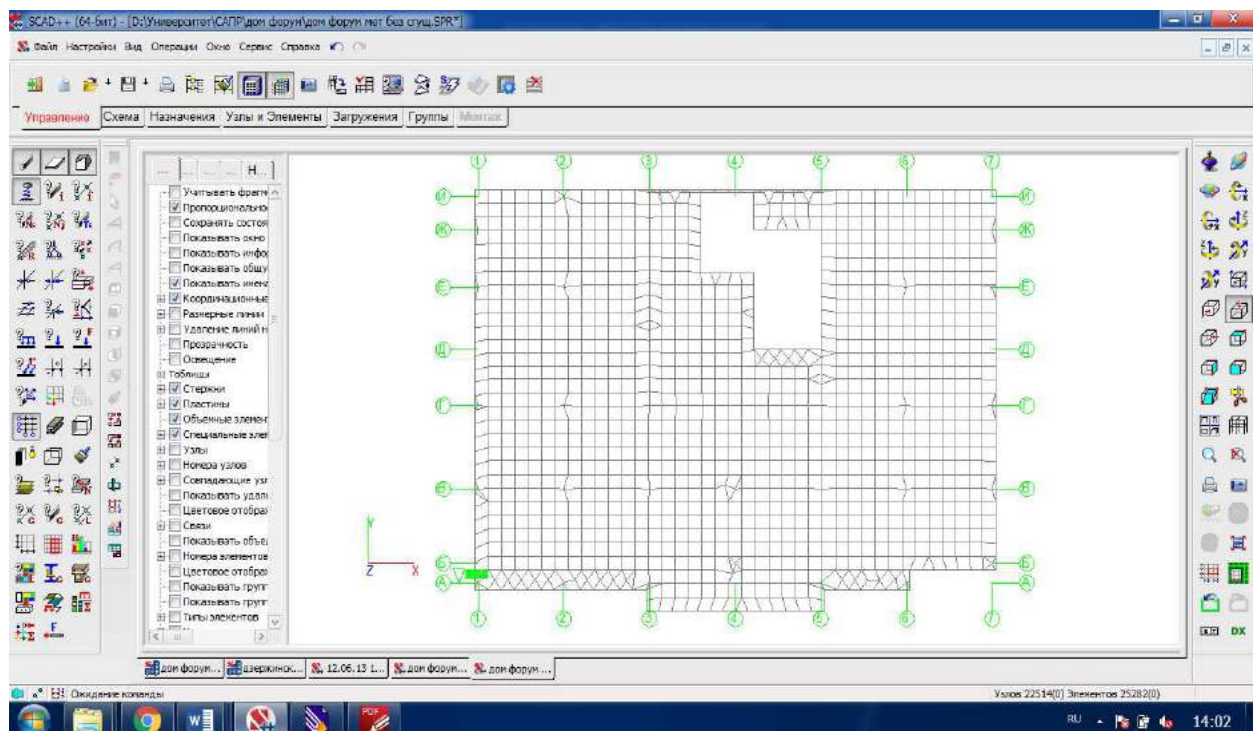


Рис. 7.5. Конечно-элементная модель плиты перекрытия при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

Сравнение напряженно-деформированного состояния монолитного каркаса здания при формировании/отсутствии дискретных абсолютно твердых тел на участках пересечения колонн и перекрытий

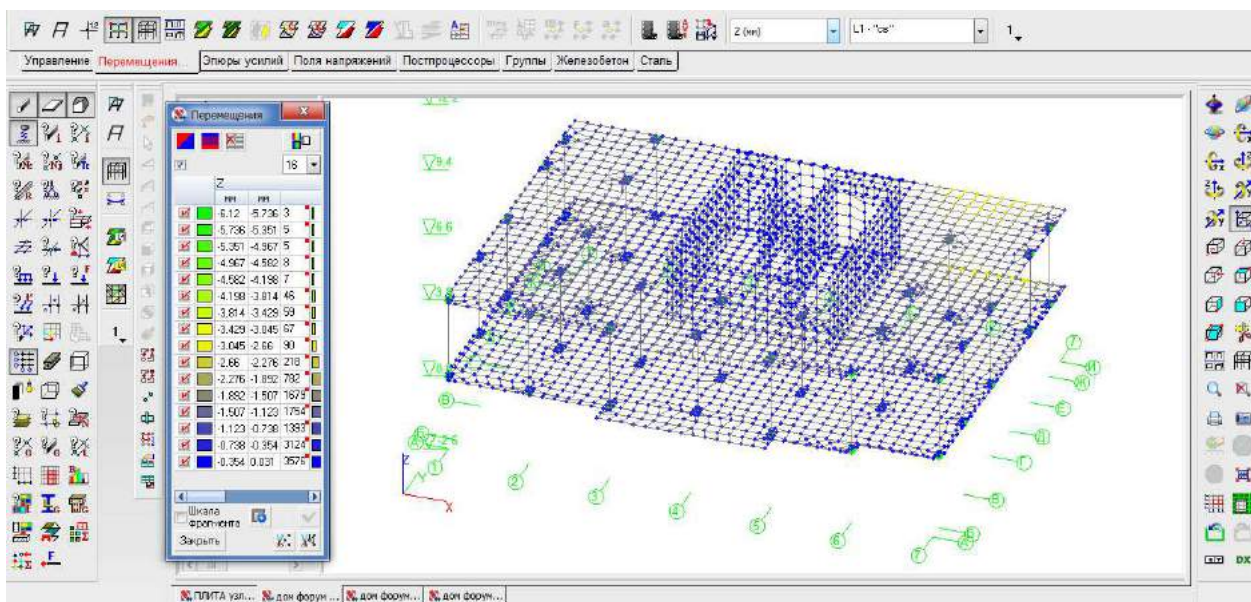


Рис. П.1. Вертикальные перемещения первого этажа от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

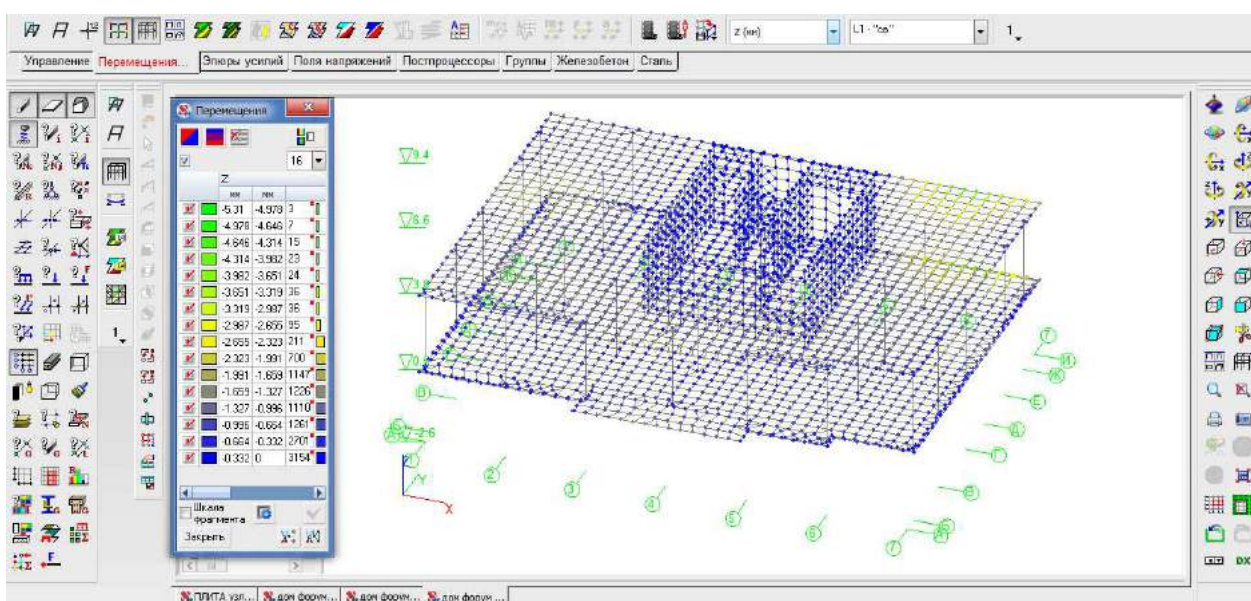


Рис. П.2. Вертикальные перемещения первого этажа от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

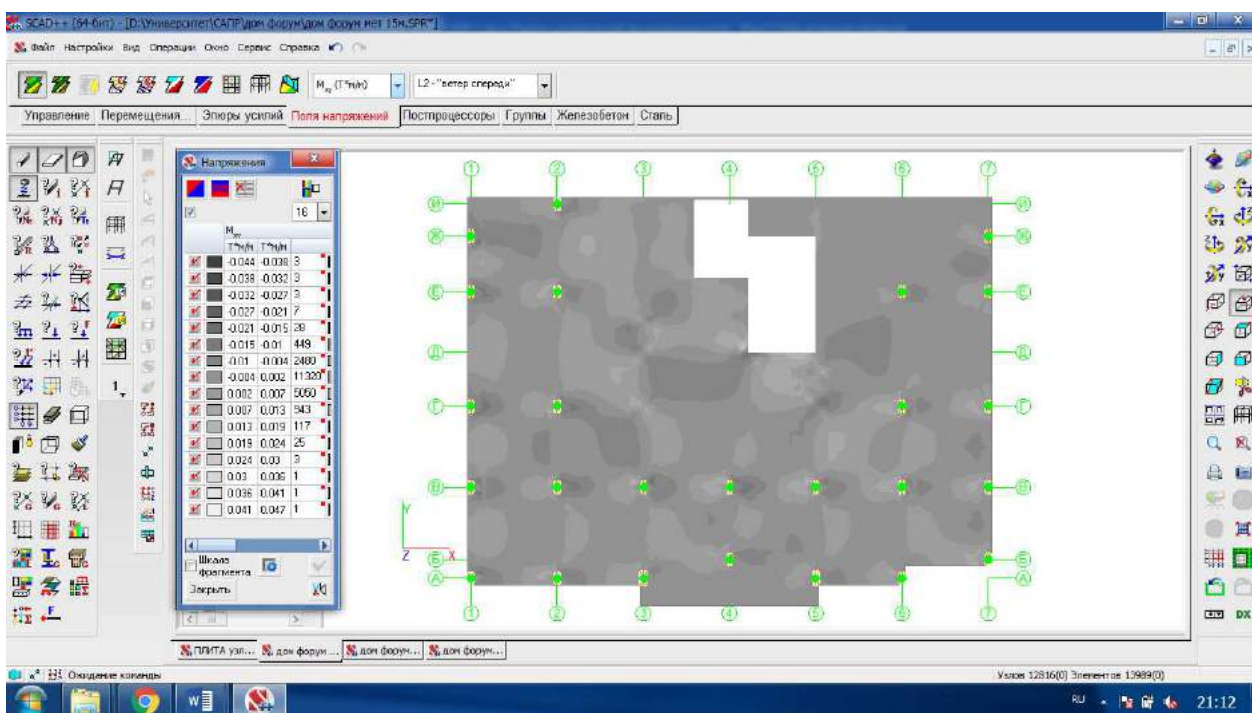


Рис. П.3. Поля напряжений M_{xy} от ветровой нагрузки при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

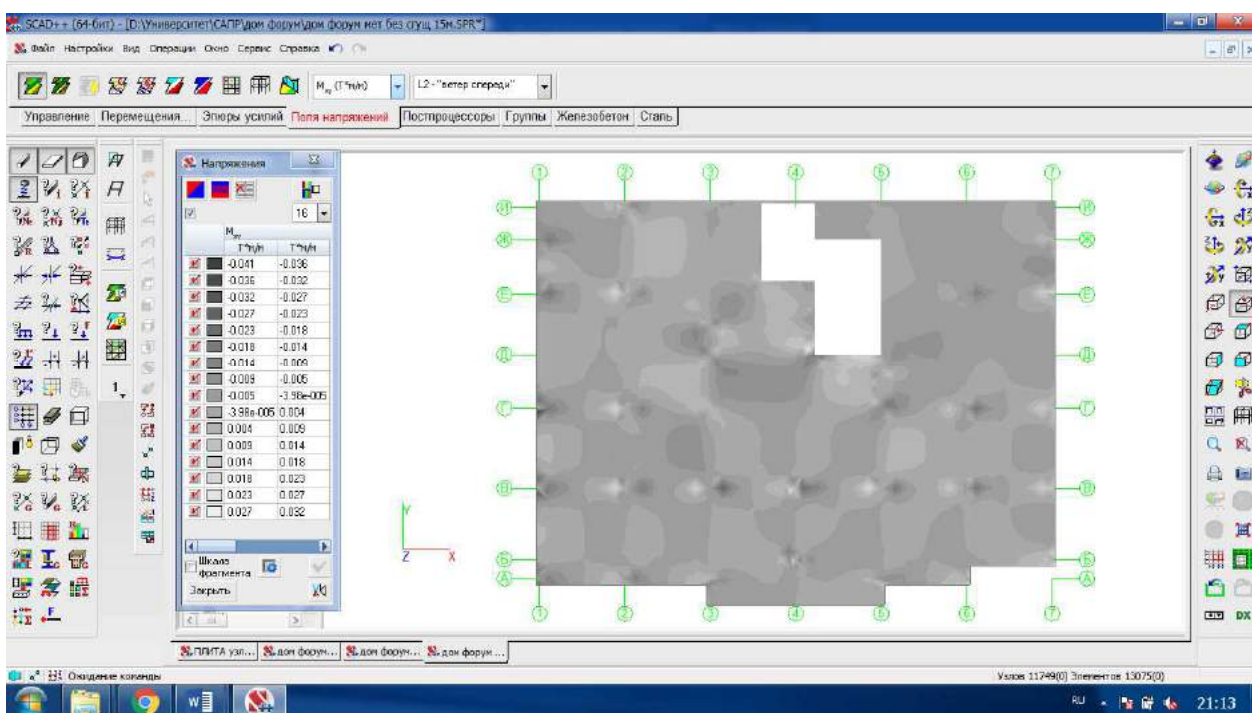


Рис. П.4. Поля напряжений M_{xy} от ветровой нагрузки при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

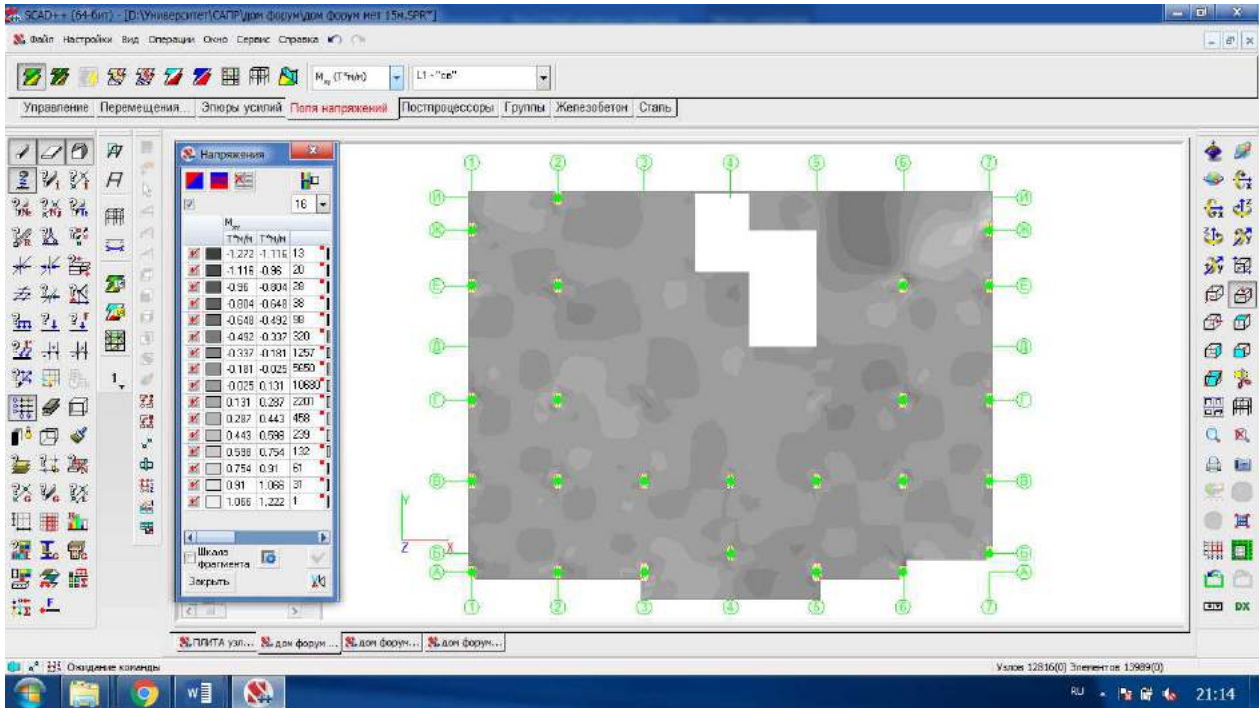


Рис. П.5. Поля напряжений M_{xy} от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

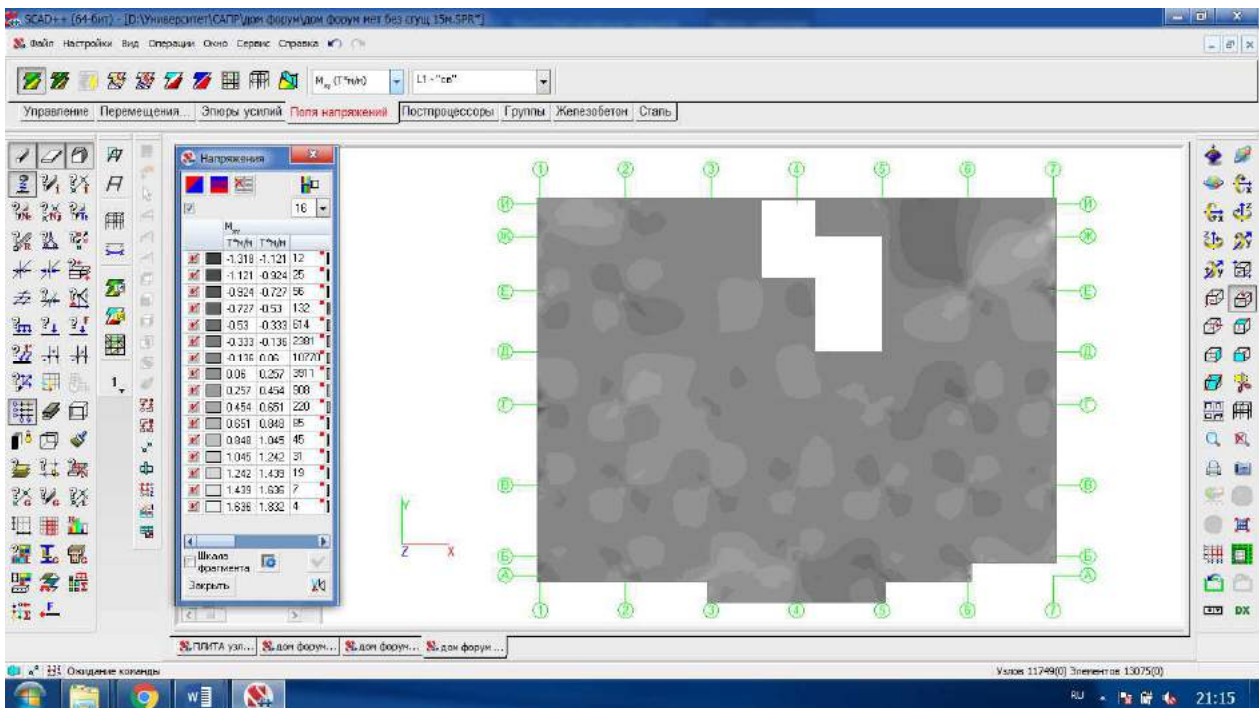


Рис. П.6. Поля напряжений M_{xy} от собственного веса при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий



Рис. П.7. Поля напряжений M_x от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

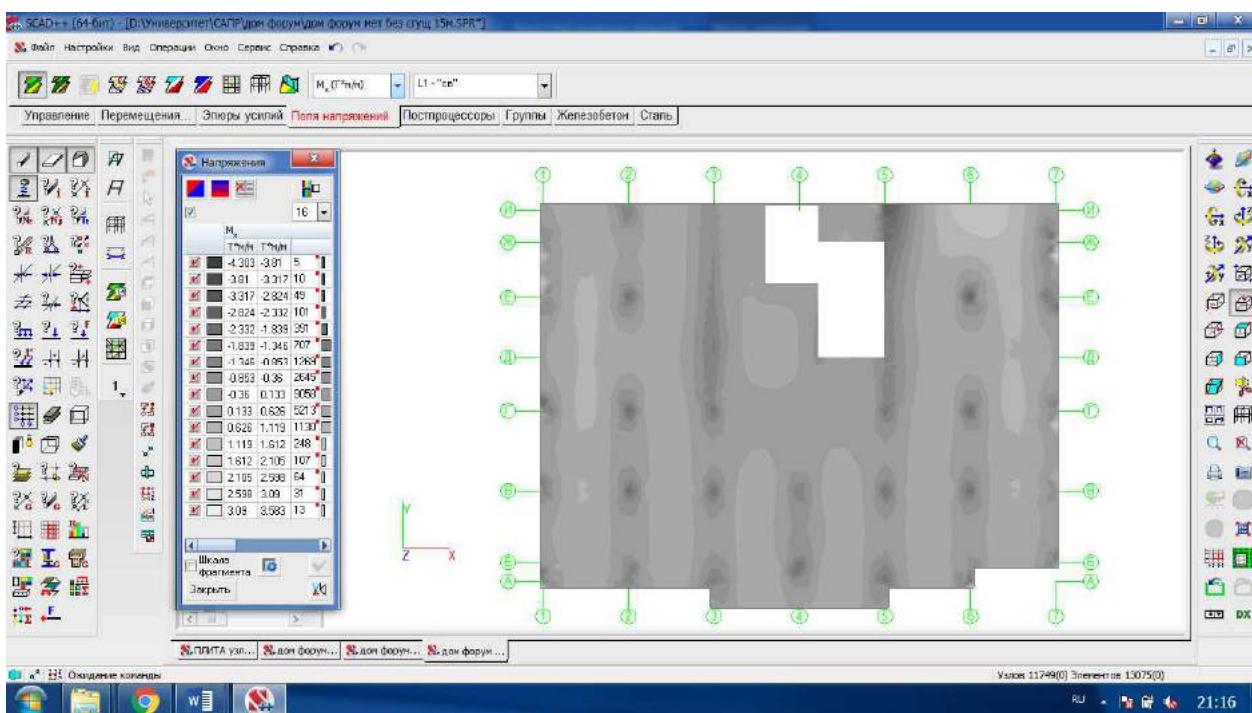


Рис. П.8. Поля напряжений M_x от собственного веса при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

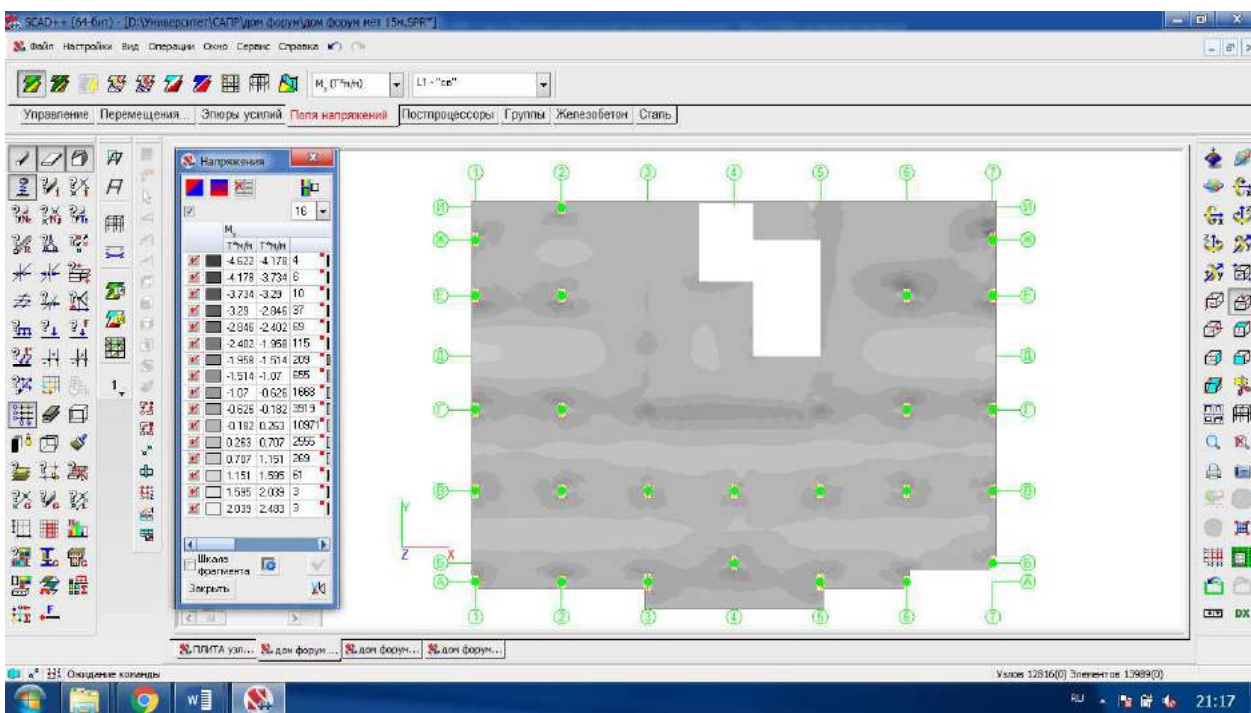


Рис. П.9. Поля напряжений M_u от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

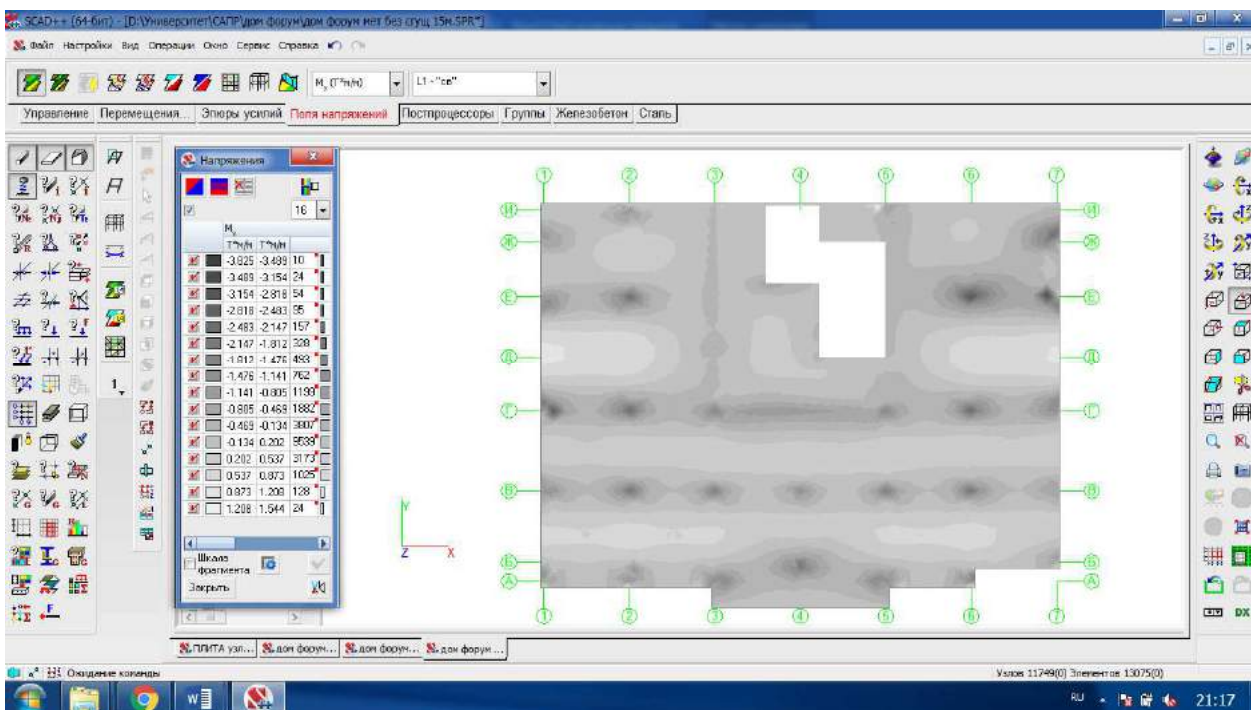


Рис. П.10. Поля напряжений M_u от собственного веса при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

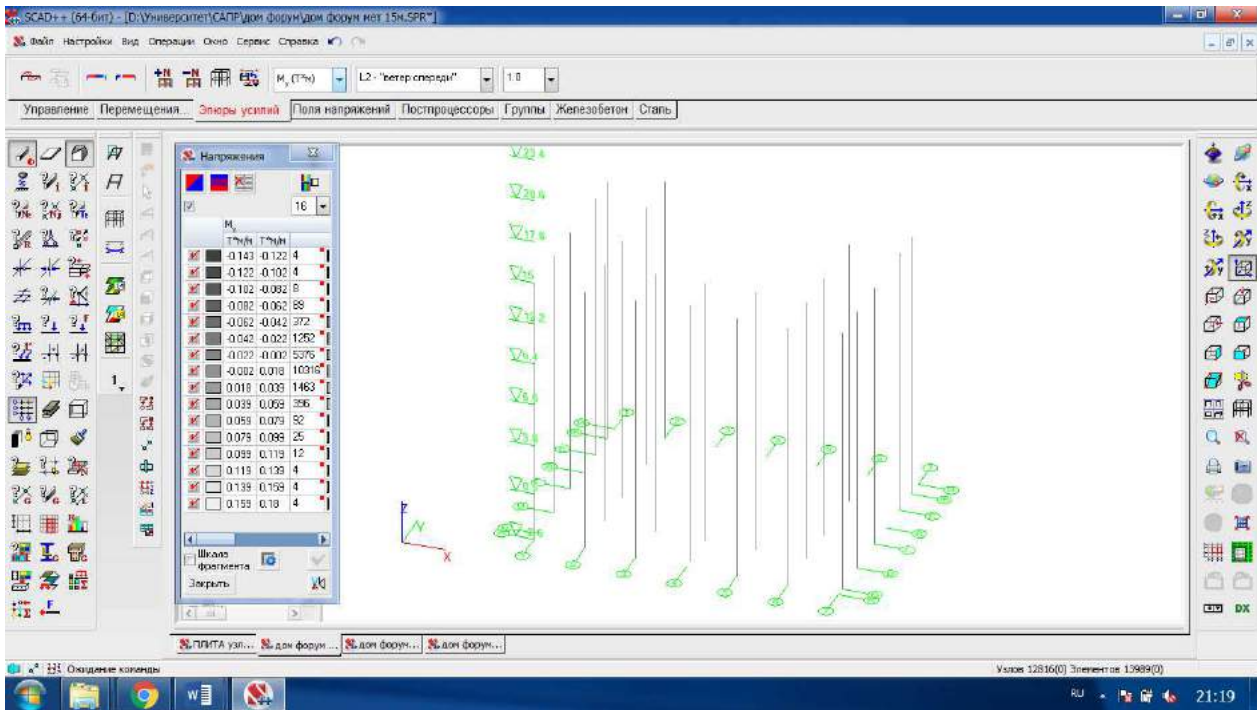


Рис. П.11. Эпюры моментов M_x в колоннах от ветровой нагрузки при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

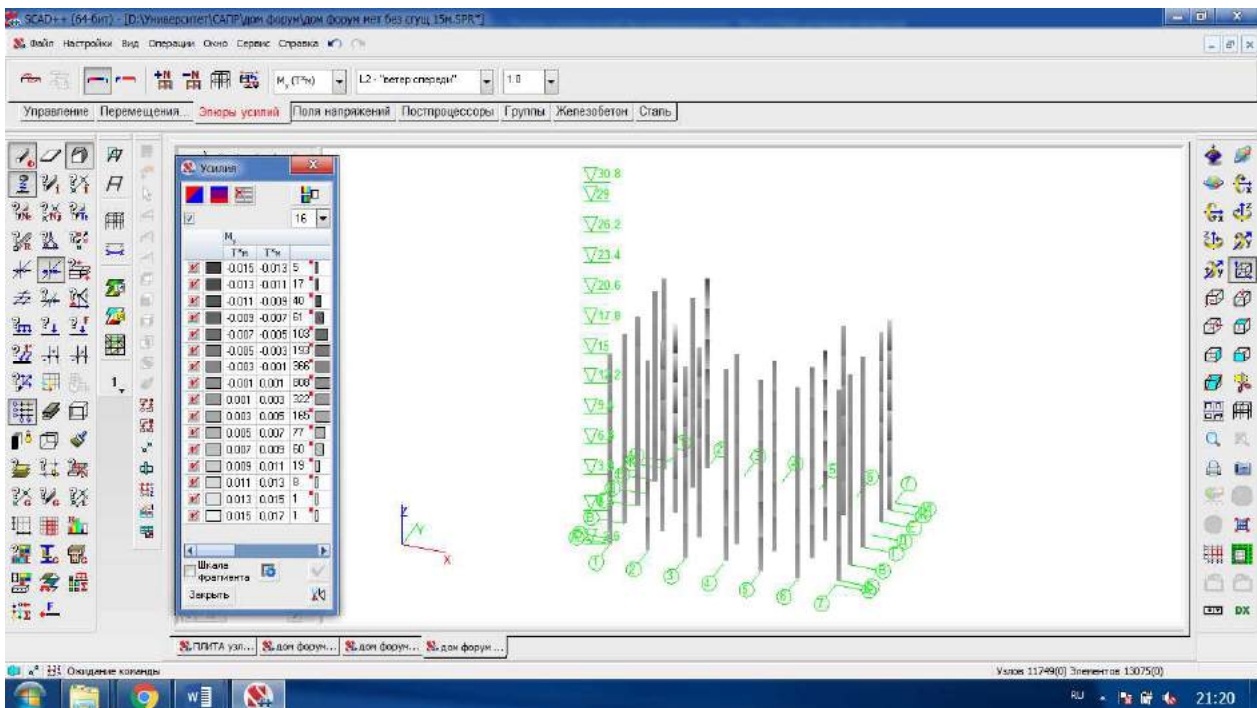


Рис. П.12. Эпюры моментов M_x в колоннах от ветровой нагрузки при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

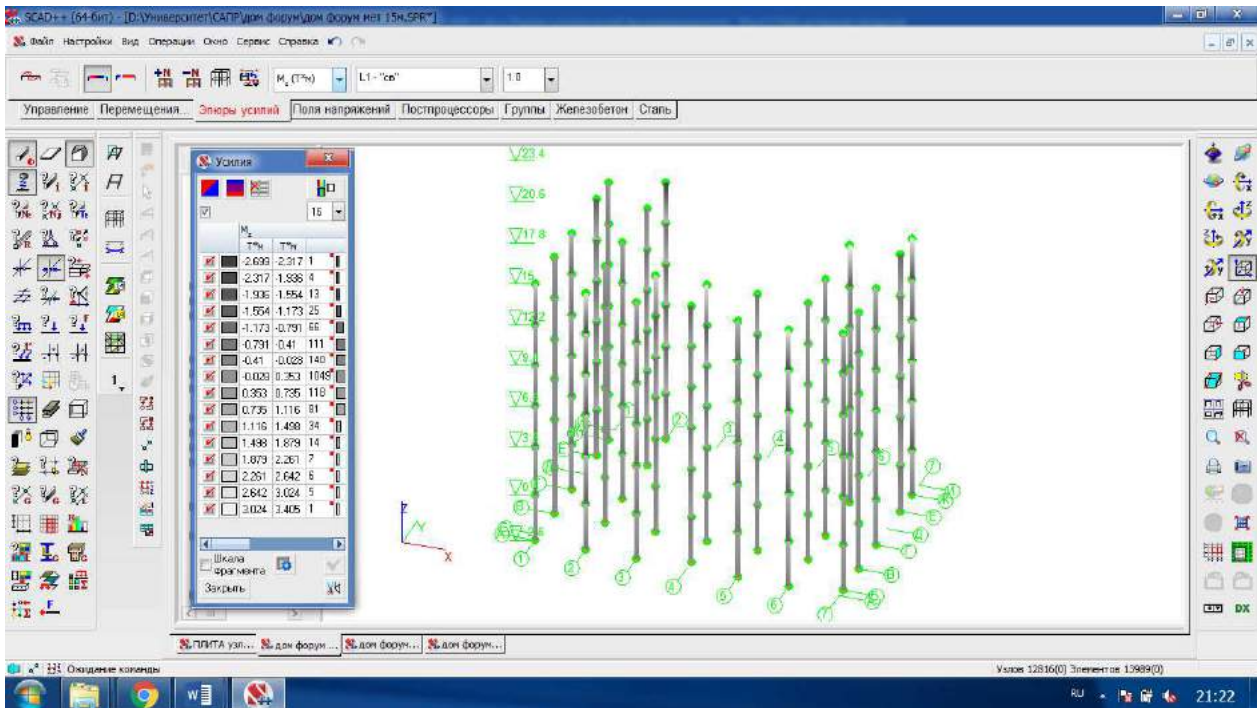


Рис. П.13. Эпюры моментов M_z в колоннах от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

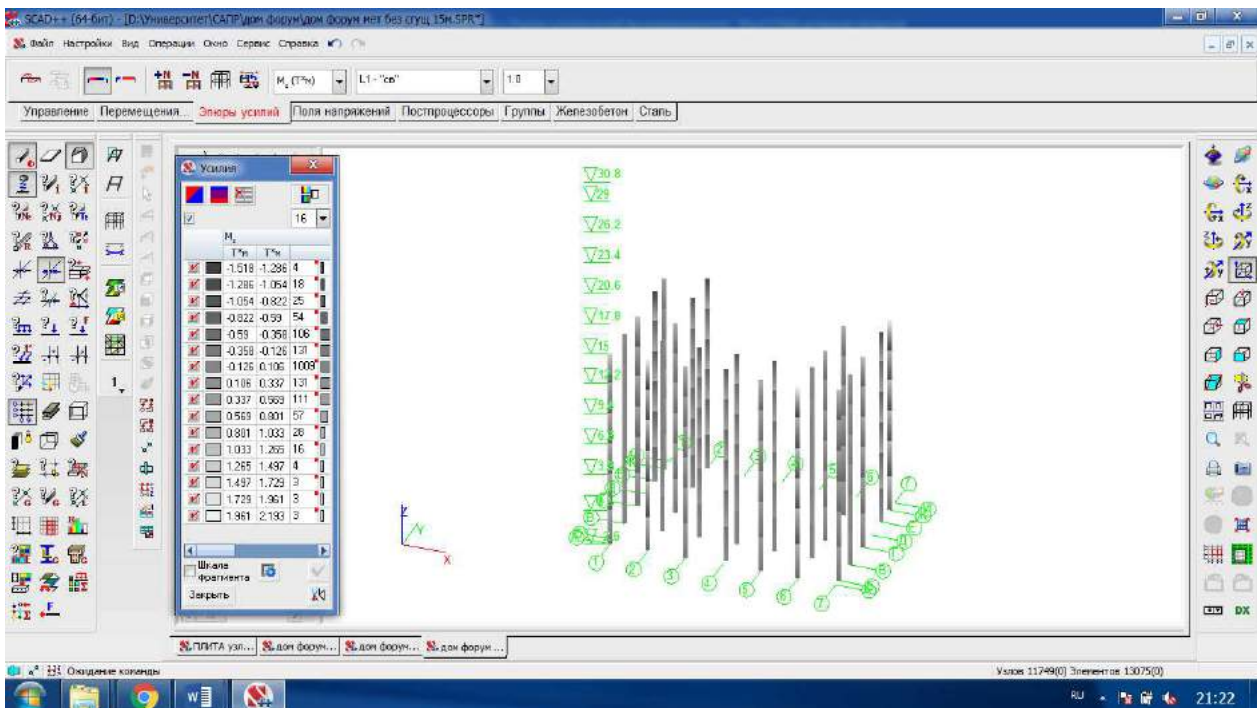


Рис. П.14. Эпюры моментов M_z в колоннах от собственного веса при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

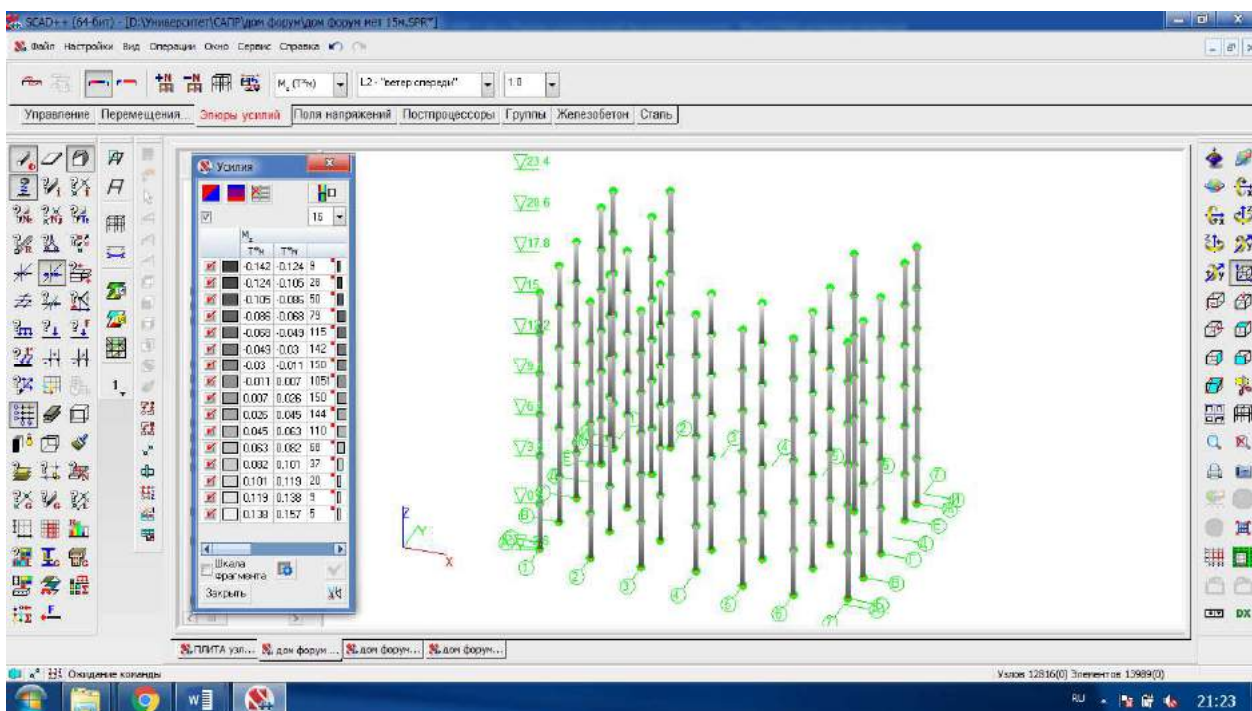


Рис. П.15. Эпюры моментов M_z в колоннах от ветровой нагрузки при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

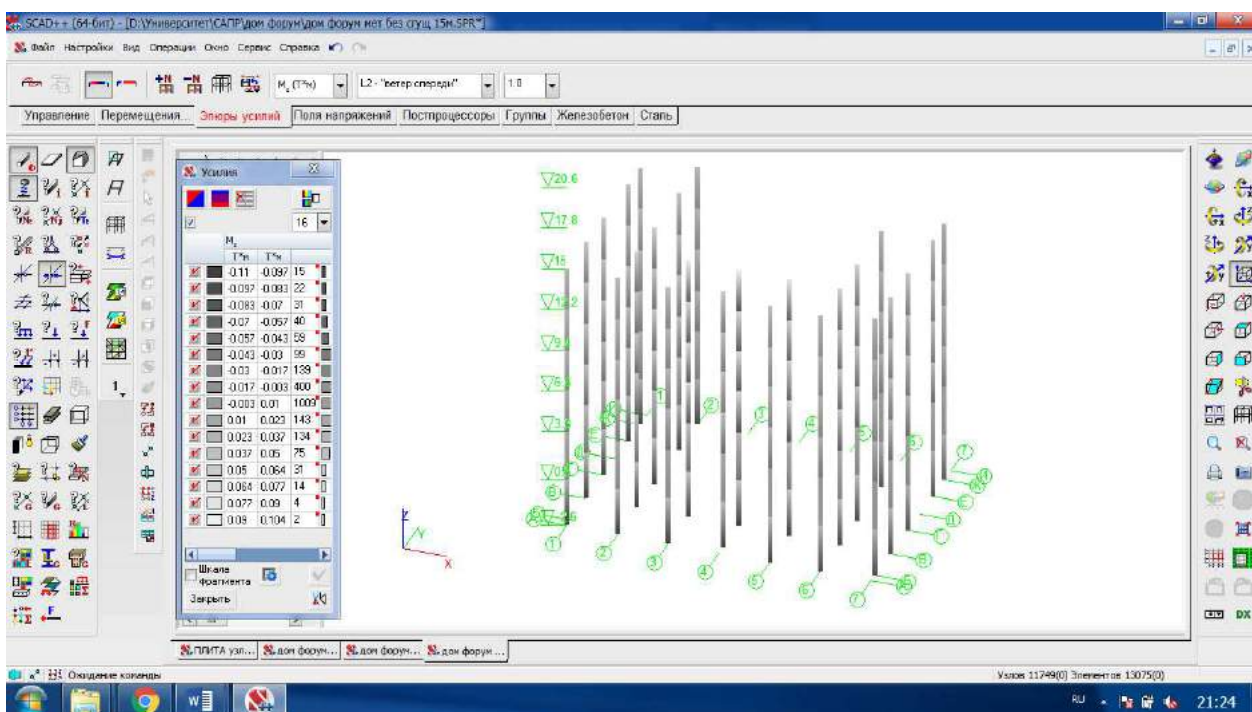


Рис. П.16. Эпюры моментов M_z в колоннах от ветровой нагрузки при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

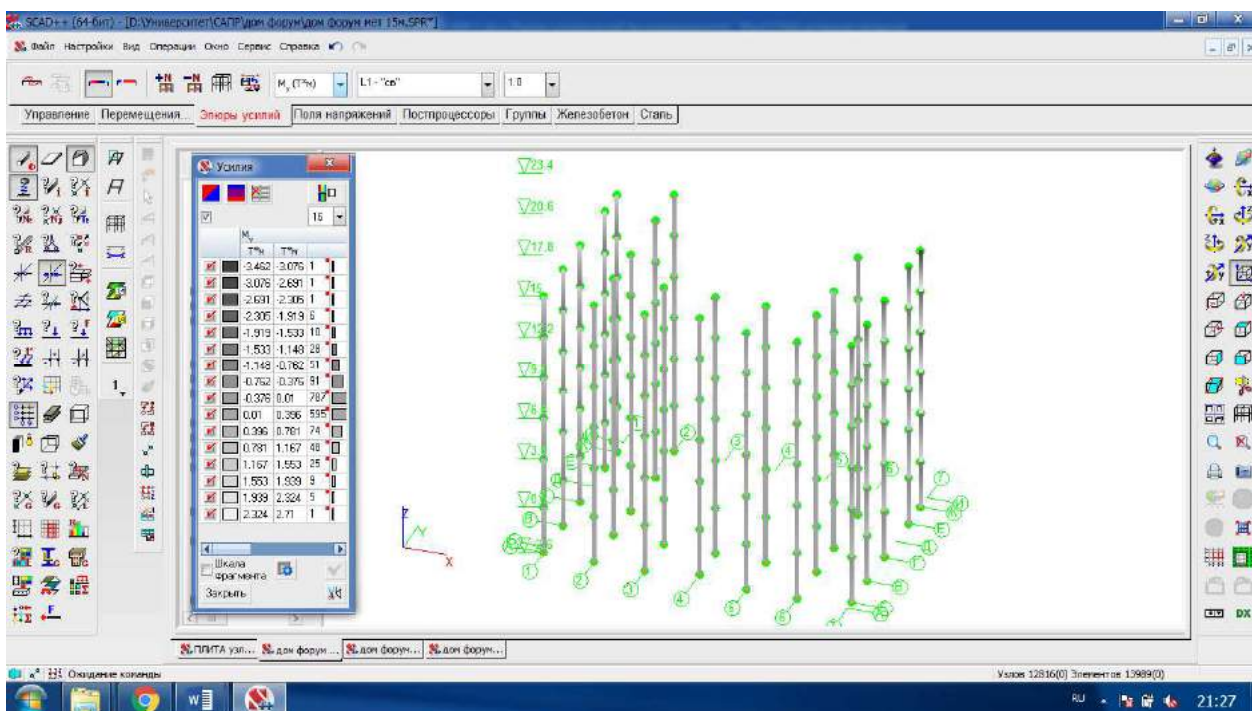


Рис. П.17. Эпюры моментов M_u в колоннах от собственного веса при наличии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

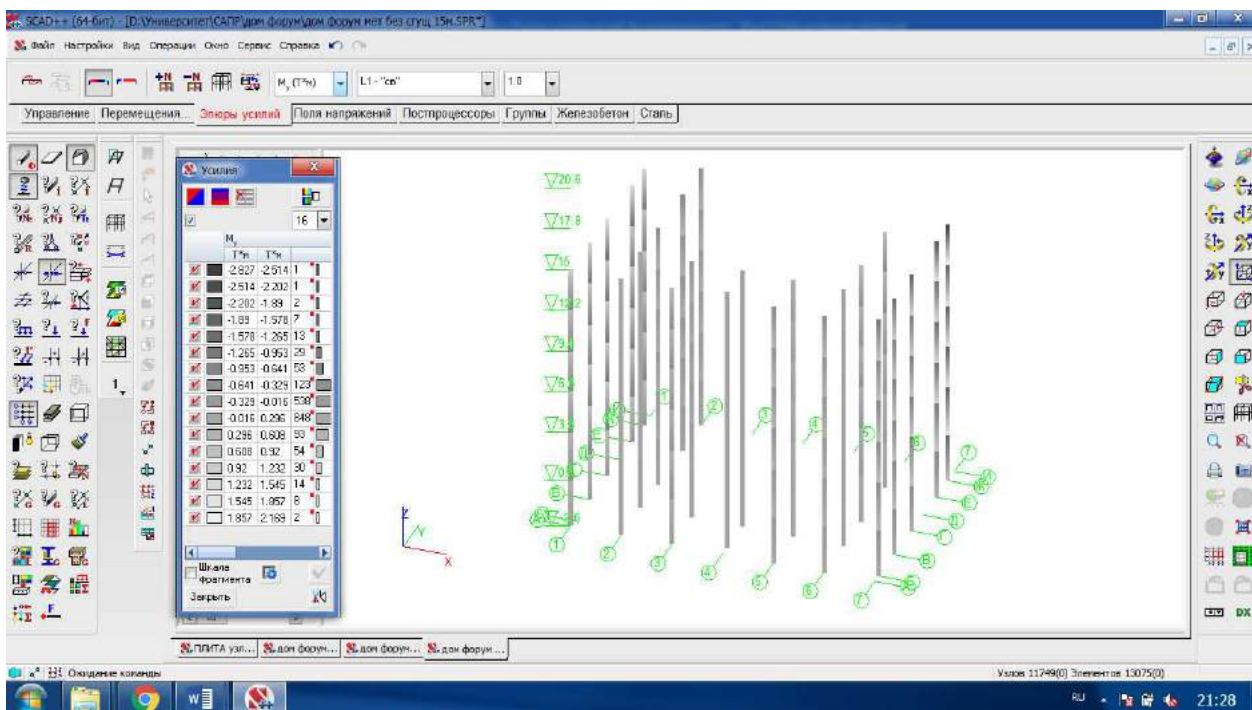


Рис. П.18. Эпюры моментов M_u в колоннах от собственного веса при отсутствии жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий

Список литературы

1. В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, М. А. Микитавренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер, SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD, Москва: СКАД СОФТ, 2015.
2. Р.Гловински, Ж.Л.Лионс, Р.Тремольер, Численное исследование вариационных неравенств, Москва: МИР, 1979, р. 574.
3. Стренг Г., Фикс Дж., Теория метода конечных элементов — М.: Мир, 1977.— 349 с.
4. Вовкушевский А.В., Шойхет Б.А., Расчет массивных гидротехнических сооружений с учетом раскрытия швов.— М.: Энергия, 1981. — 136 с.
5. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А., ANSYS в руках инженера. Практическое руководство.— М.: УРСС, 2003. — 272 с..
6. Маковкин Г.А., Лихачева С.Ю., Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Учебное пособие. Часть 1., Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012, р. 71.
7. А. В. Румянцев, Метод конечных элементов в задачах теплопроводности, Учебное пособие, Калининградский государственный университет, Калининград, 1995, р. 170.
8. Владим. гос. ун-т ; сост. Л.Е. Кондратьева., Основы метода конечных элементов : Введение. Расчет стержневых систем : конспект лекций, Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007.
9. А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер, Расчетные модели сооружений и возможность их анализа, Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011.

Маркина Юлия Дмитриевна
Хазов Павел Алексеевич
Лампси Борис Борисович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕПРОЦЕССОРА «ФОРУМ»
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ
МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

Учебное пособие

Редактор:
А. А. Голодаева

Подписано в печать 13.02.2020г. Формат 60x90 1/8 Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. 7,0. Усл. печ. л. 7,4. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65
<http://www.nngasu.ru>, srec@nngasu.ru