



**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЗДАНИЯ В ПРОГРАММНОМ
КОМПЛЕКСЕ STARK ES**

Учебник

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ STARK ES

Учебник

Под общей редакцией Г. В. Дегтярёва

Краснодар
КубГАУ
2018

УДК 69.057:004.4(075.8)
ББК 38.6
М74

Рецензенты:

С. К. Сайда – директор ООО «Строительно-проектная студия»,
канд. техн. наук;
А. К. Рябухин – главный инженер ООО «НТЦ ГеоПроект»,
канд. техн. наук;
А. Ю. Маршалка – директор ООО «МОС Проект»,
канд. техн. наук

Коллектив авторов:

Г. В. Дегтярёв, В. Г. Дегтярёв, О. Г. Дегтярёва,
Н. В. Коженко, Д. А. Дацьо

М74 Моделирование и расчет железобетонных конструкций здания в программном комплексе STARK ES : учебник / Г. В. Дегтярёв [и др.]; под общ. ред. Г. В. Дегтярёва. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 188 с.

ISBN

В учебнике представлены методологические аспекты моделирования и расчета несущих железобетонных конструкций многоэтажного каркасного здания с использованием программного комплекса STARK ES, позволяющего автоматизировать решение задач проектирования строительных объектов.

Издание предназначено для преподавателей, аспирантов и студентов-бакалавров, магистрантов, обучающихся по строительным специальностям, а также адресовано слушателям факультета повышения квалификации.

УДК 69.057:004.4(075.8)
ББК 38.6

ISBN

© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Компьютерные технологии стремительно и весьма успешно распространяются во все сферы строительного архитектурного проектирования, что объясняется достигнутыми результатами. Применение в математическом моделировании численных методов расчета позволяет при незначительных затратах перебрать множество проектных решений. Они распространяются на действительный анализ происходящих процессов не только в ходе проектирования зданий или сооружений, но и в процессе анализа грунтов.

Обучающиеся по направлению «Строительство» на этапе бакалавриата должны представлять возможности расчетных программных продуктов и выполнять расчеты отдельных конструктивных элементов, а на уровне магистратуры – статические и динамические комплексные расчеты зданий и сооружений.

Материал учебника основан на большом личном опыте применения программного комплекса STARK ES при выполнении проектных работ, а также в процессе расчета зданий и сооружений на прочность, устойчивость и колебания.

Методологически структура учебника построена на последовательном сборе и анализе необходимых исходных данных, постепенном переходе к рассмотрению все более усложняющихся задач, вытекающих из теоретических предпосылок. Особое внимание уделено практическому приложению в рамках обучения по направлению «Строительство». В учебнике приводятся в полном объеме необходимые ссылки на литературные источники, позволяющие максимально раскрыть интересующие по теме вопросы.

Структура учебника включает описание реального объекта, рассмотрение его модели и этапы выполнения расчетных схем. В свою очередь этапы моделирования основаны

на идеализации формы, материала, влиянии внешних сил и описании реакций при выборе расчетной схемы.

Проанализированы методы расчета стержневых, континуальных и комбинированных систем с учетом статических и динамических воздействий.

На конкретных примерах в учебнике представлено описание классического ниспадающего меню и панели инструментов, а также ленточного интерфейса окна приложения программного комплекса (ПК) STARK ES. Приведены режимы работы со схемой, контекстное меню, статусная строка, рабочее окно и окно графического контейнера, диалоговое окно.

В разделе расчета элементов конструкции здания формируется постановка задачи для обоснования стержневой расчетной модели: задаются узлы и конечные элементы, приводится описание жесткости элементов и узловых связей, приложение нагрузок. Рассматриваются возможности расчетного процессора STARK ES и представлен расчет поставленной задачи.

По результатам расчета осуществлен анализ на основе следующих полученных материалов: мозаика перемещения узлов, эпюры прогибов, эпюры и мозаики усилий в стержнях от воздействий различной природы – кинематических, термических, силовых с учетом различных граничных условий.

Особое внимание уделено формированию расчетных сочетаний нагрузок (РСН). Приводится описание исходных данных для проверки и подбора по нормативным методикам в стержневых элементах железобетонной балки продольного и поперечного армирования.

В разделе моделирования и анализа поперечной рамы каркаса здания осуществлено формирование расчетной модели поперечной рамы каркаса: описание ее геометрических

размеров, жесткости элементов и опорных креплений, статических нагрузок и воздействий.

Проводится анализ первичных результатов расчета поставленной задачи, рассмотрена уточненная расчетная модель рамы. Описаны особенности внутренних связей и геометрия объекта (шарнирные соединения, эксцентриситет) в процессе примыкания элементов.

Сформированы таблицы РСН и РСУ, позволяющие выполнить расчет и провести сравнительный анализ уточненных результатов. На основании материалов анализа представлено описание исходных данных для проверки и (или) подбора стержневых конструктивных элементов здания – продольного и поперечного армирования железобетонных конструкций.

Далее подробно рассмотрен вопрос динамического анализа поведения здания и приведен статический расчет основных и особых комбинаций нагрузок.

Таким образом, в доступной для пользователя форме представлен курс моделирования и расчета железобетонных конструкций здания в программном комплексе STARK ES.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основание сооружения – массив грунта, взаимодействующий с сооружением.

Фундамент сооружения – часть сооружения, которая служит для передачи нагрузки от сооружения на основание.

Осадки – вертикальные составляющие деформаций основания, происходящие в результате внешних воздействий и в отдельных случаях от собственного веса грунта, не сопровождающиеся изменением его структуры.

Компенсационные мероприятия – мероприятия, направленные на сохранение или восстановление напряженно-деформированного состояния оснований реконструируемых сооружений или сооружений окружающей застройки и гидрогеологического режима.

Воздействия – нагрузки, влияние на строительный объект факторов окружающей среды (изменения температуры, действие ветра), осадка оснований, смещение опор, деградация свойств материалов во времени и другие эффекты, вызывающие изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций. При проведении расчетов воздействия допускается задавать как эквивалентные нагрузки.

Коэффициент надежности по нагрузке – коэффициент, учитывающий в условиях нормальной эксплуатации сооружений возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от нормативных значений.

Коэффициент сочетаний нагрузок – коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений.

Нагрузки – внешние механические силы (вес конструкций, оборудования, снегоотложений, людей и т. п.), действующие на строительные объекты.

Нагрузки длительные – нагрузки, изменения расчетных значений которых в течение расчетного срока службы строительного объекта пренебрежимо малы по сравнению с их средними значениями.

Нагрузки кратковременные – нагрузки, длительность действия расчетных значений которых существенно меньше срока службы сооружения.

Нормативное значение нагрузок – основная базовая характеристика, устанавливаемая соответствующими нормами проектирования, техническими условиями или заданием на проектирование.

Особые нагрузки – нагрузки и воздействия (например, взрыв, столкновение с транспортными средствами, авария оборудования, пожар, землетрясение и отказ работы несущего элемента конструкции), создающие аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями.

Расчетное значение нагрузки – предельное (максимальное или минимальное) значение нагрузки в течение срока эксплуатации объекта.

Расчетные сочетания нагрузок – все возможные неблагоприятные комбинации нагрузок, которые необходимо учитывать при проектировании объекта.

Конструкции железобетонные – конструкции, выполненные из бетона с рабочей и конструктивной арматурой (армированные бетонные конструкции): расчетные усилия от всех воздействий в железобетонных конструкциях, должны быть восприняты бетоном и рабочей арматурой.

Плотность бетона – характеристика бетона, равная отношению его массы к объему, регламентируется маркой по средней плотности.

Защитный слой бетона – толщина слоя бетона от грани элемента до ближайшей поверхности арматурного стержня.

Арматура рабочая – арматура, устанавливаемая по результатам расчета.

Предельное усилие – наибольшее усилие, которое может быть воспринято элементом, его сечением при принятых характеристиках материалов.

Сейсмическое воздействие – движение грунта, вызванное природными или техногенными факторами (землетрясения, взрывы, движение транспорта, работа промышленного оборудования), обуславливающее движение, деформации, иногда разрушение сооружений и других объектов.

Эффективная модальная масса – доля массы сооружения, участвующей в динамической реакции по определенной форме колебаний при заданном направлении сейсмического воздействия в виде смещения основания как абсолютно жесткого тела.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ К РАСЧЕТУ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ STARK ES

1.1 Введение

Расчет несущих железобетонных конструкций многоэтажного каркаса здания выполнен с применением многофункционального программного комплекса STARK ES, предназначенного для моделирования, исследования и проектирования конструкций различного назначения. Расчетная модель подробно описывает конструктивную схему здания, в том числе с учетом грунтовых условий. Целью расчета является получение данных для конструирования всех основных несущих конструкций здания.

Расчет выполняется согласно требованиям следующих нормативных документов:

- СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия»;
- СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах»;
- СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции»;
- СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции».

Схема окна графического ввода программного комплекса STARK ES и назначение его частей приведены на рисунке 1.1 и в таблице 1.1.

За исключением специально оговоренных случаев в программе STARK ES используются размерности следующих величин:

Площадь поперечного сечения, м^2

Момент инерции при кручении, м^4

Момент инерции / полярный момент инерции, м^4

Сила, кН

Момент, кН · м

Масса, т

- Плотность, $\text{т}/\text{м}^3$
- Модуль упругости / модуль сдвига, $\text{кН}/\text{м}^2$
- Время, с
- Перемещения (повороты), м (радиан)
- Усилия в сечениях балок, кН
- Изгибающие моменты в сечениях балок, кН · м
- Напряжения (балка-стенка / оболочка / 3d-элемент), $\text{кН}/\text{м}^2$
- Поперечные силы (плита / оболочка), кН/м
- Изгибающие моменты (плита / оболочка), кН/м
- Реакции опор (сосредоточенные в узлах), кН
- Реакции опор (распределенные по линиям), кН/м
- Реакции опор (распределенные по площади), $\text{кН}/\text{м}^2$
- Координаты узлов, м

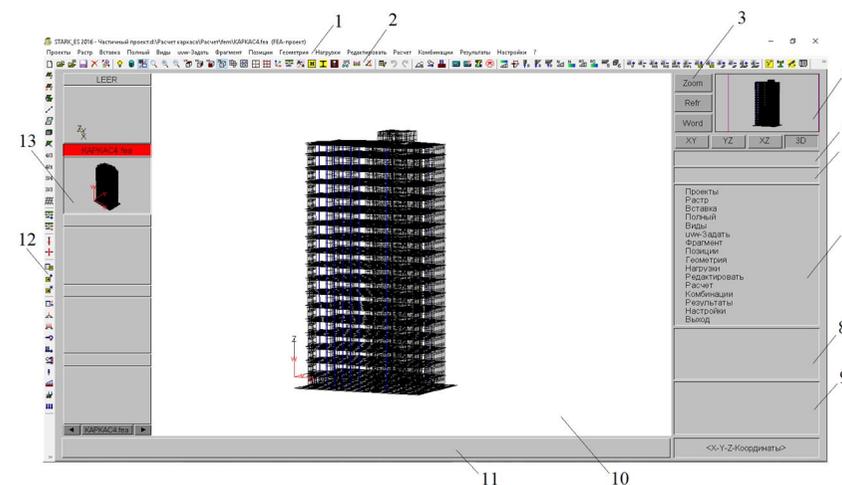


Рисунок 1.1 – Схема окна графического ввода:

- 1 – окно верхнего меню; 2 – панель инструментов; 3 – графические функции;
- 4 – окно просмотра; 5 – планка переключателей 1; 6 – планка переключателей 2; 7 – окно бокового меню; 8 – окно выбора; 9 – окно редактора; 10 – рабочее окно; 11 – окно информации; 12 – панель инструментов; 13 – каталог проектов

Таблица 1.1 – Обозначение и назначение частей графического окна

№ п/п	Обозначение	Назначение
1	Окно верхнего меню	Общее иерархическое меню
2	Панель инструментов	Набор кнопок для облегчения доступа к наиболее часто употребляемым функциям STARK ES
3	Графические функции	Управление изображением и функции ввода данных
4	Окно просмотра	Изображение общего плана актуального проекта
5	Панка переключателей 1	Функции управления (привязка к объектам), функция деления / разделения
6	Панка переключателей 2	Альтернативные варианты выбора элементов
7	Окно бокового меню	Меню актуального уровня
8	Окно выбора	Меню икон, поле переключателей, списки нагрузений и т.д.
9	Окно редактора	Окно ввода / вывода требуемых / актуальных значений
10	Рабочее окно	Рабочая поверхность графического окна
11	Окно информации	Информационное окно для вывода сообщений
12	Панель инструментов	Набор кнопок для облегчения доступа к наиболее часто употребляемым функциям STARK ES
13	Каталог проектов	Набор окон, содержащих изображение полного проекта, подсвечивается красным цветом. Каталог проектов появляется и скрывается при нажатии клавиши F5

1.2 Исходные нормативные данные для расчета и конструктивные решения здания

Перед началом выполнения расчета необходимо задаться исходными данными, которые принимаются из действующих нормативных источников, входящих в перечень обязательных, влияющих на безопасность при проектировании.

Расчетный вес снегового покрова принимается по СП 20.13330.2011 – 1,2 кН/м².

Нормативное ветровое давление принимается по СП 20.13330.2011 – 0,48 кН/м².

Расчетная сейсмичность площадки строительства – 7 баллов.

Категория грунта определяется по СП 14.13330.2014 – II.

Уровень ответственности здания – II.

Каркас 16-этажного здания спроектирован в виде стеновой конструктивной системы.

Фундамент – плитный, толщиной – 1,2 м, выполнен из бетона класса по прочности В25.

Диафрагмы толщиной 200–300 мм выполнены из бетона класса по прочности В25.

Колонны сечением 400 × 800 мм и 800 × 400 мм произведены из бетона класса по прочности В25.

Плиты перекрытия и плита покрытия запроектированы толщиной 200 мм, выполнены из бетона класса по прочности В25.

1.3 Объемно-планировочные решения

Объемно-планировочные решения здания, а именно – планы фундаментной плиты, подвального этажа, первого этажа, типового этажа, технического этажа, кровли и поперечный разрез представлены на рисунках 1.2–1.8.

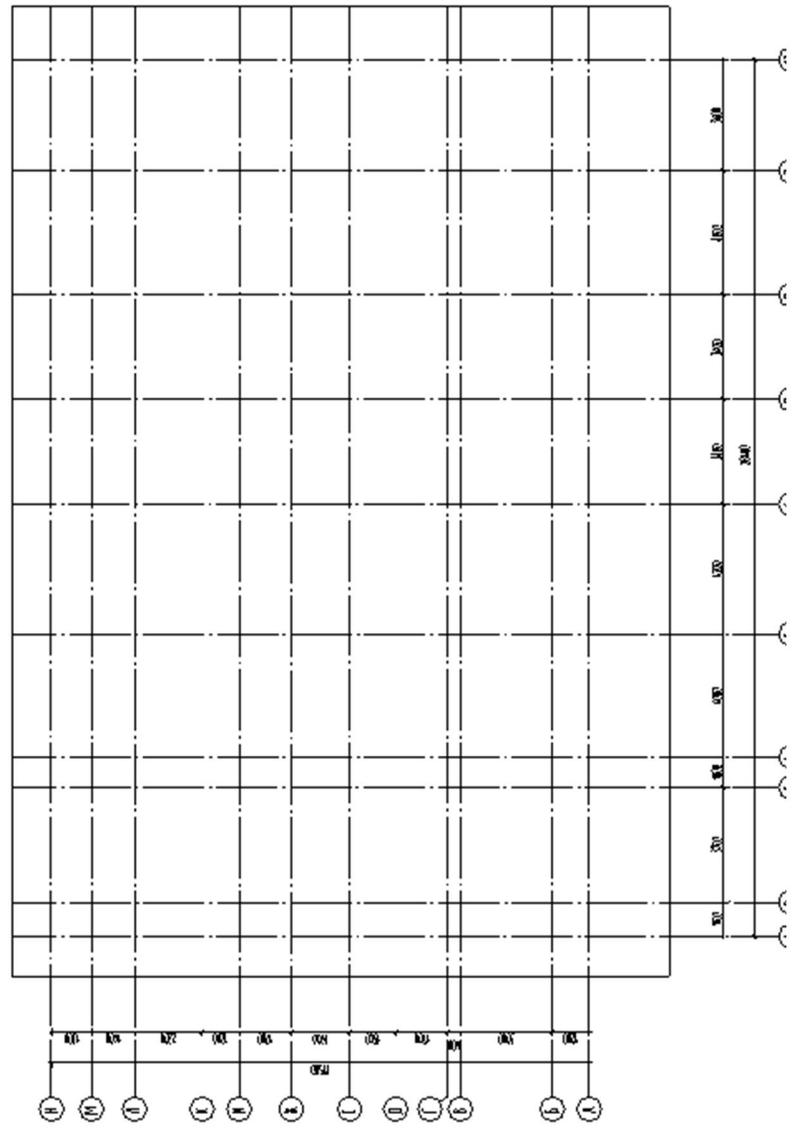


Рисунок 1.2 – План фундаментной плиты

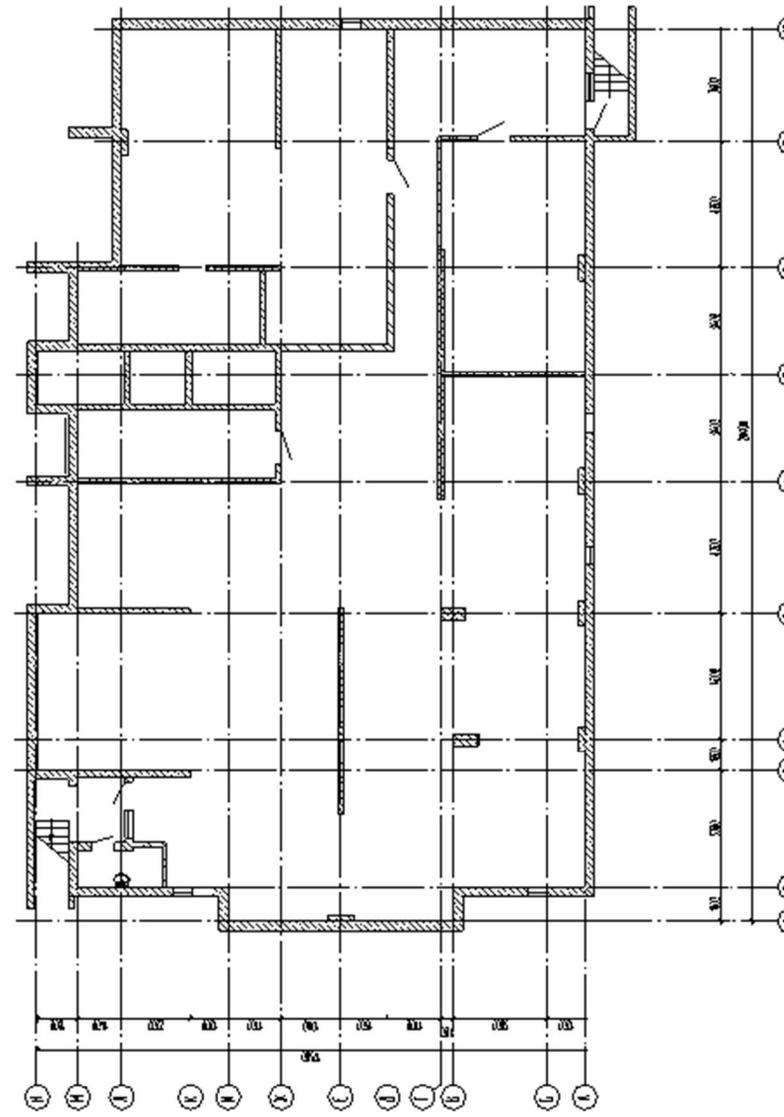


Рисунок 1.3 – План подвального этажа

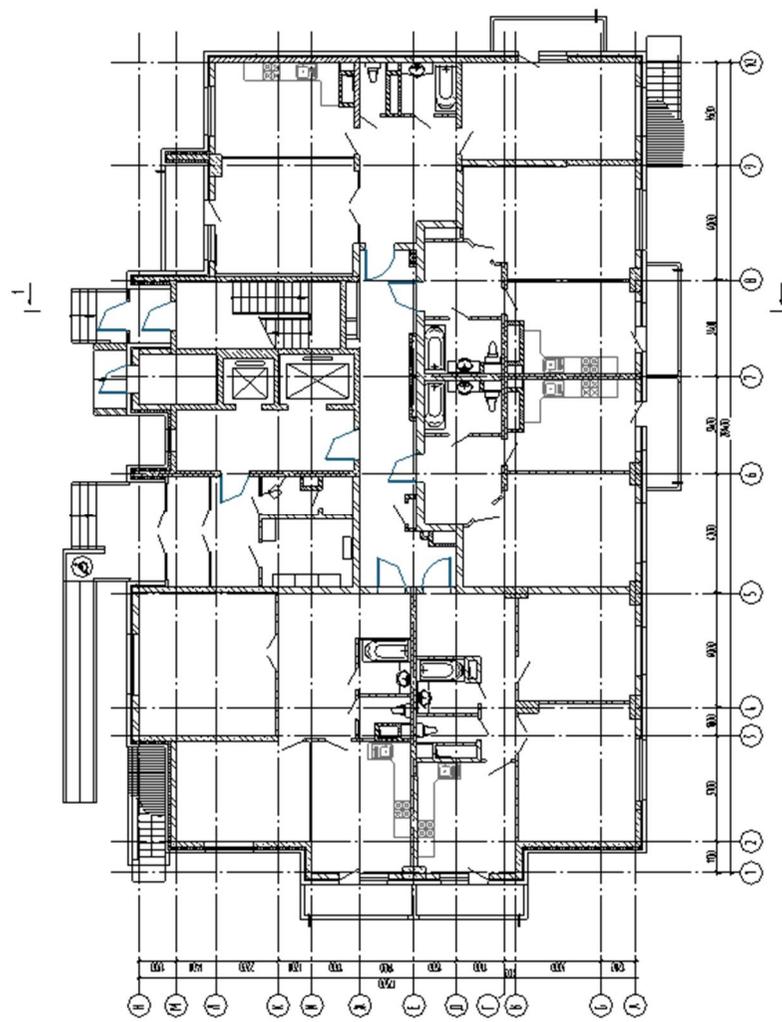


Рисунок 1.4 – План первого этажа

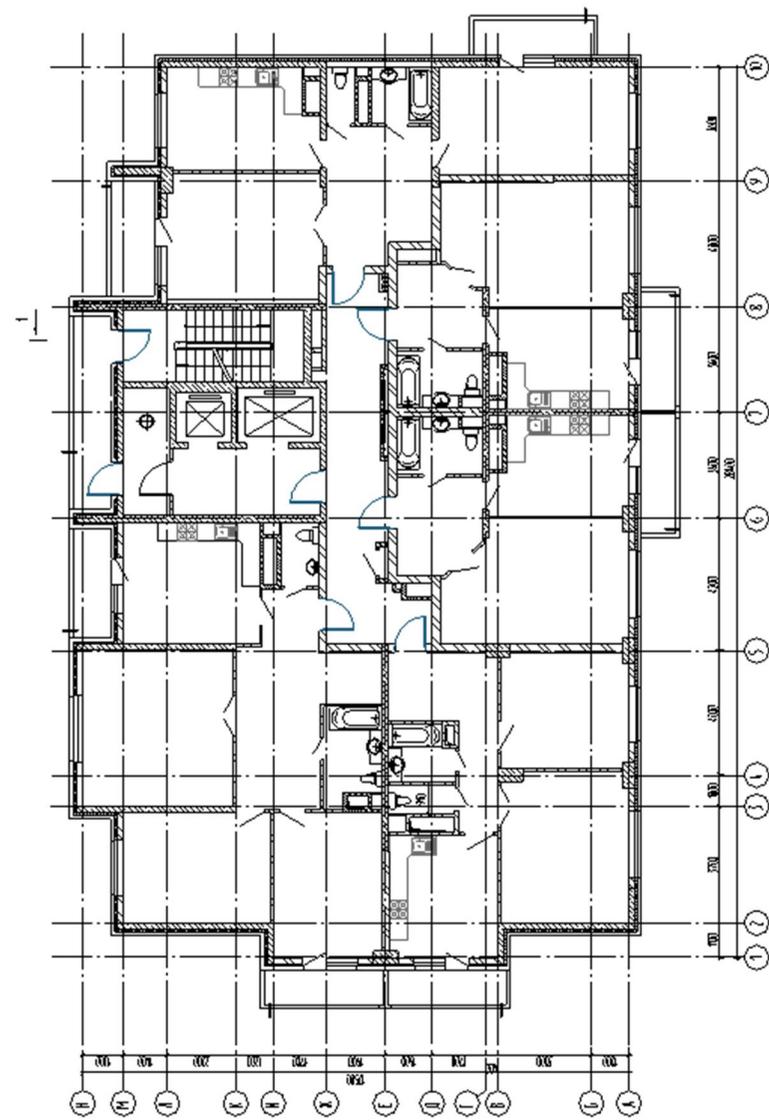


Рисунок 1.5 – План типового этажа

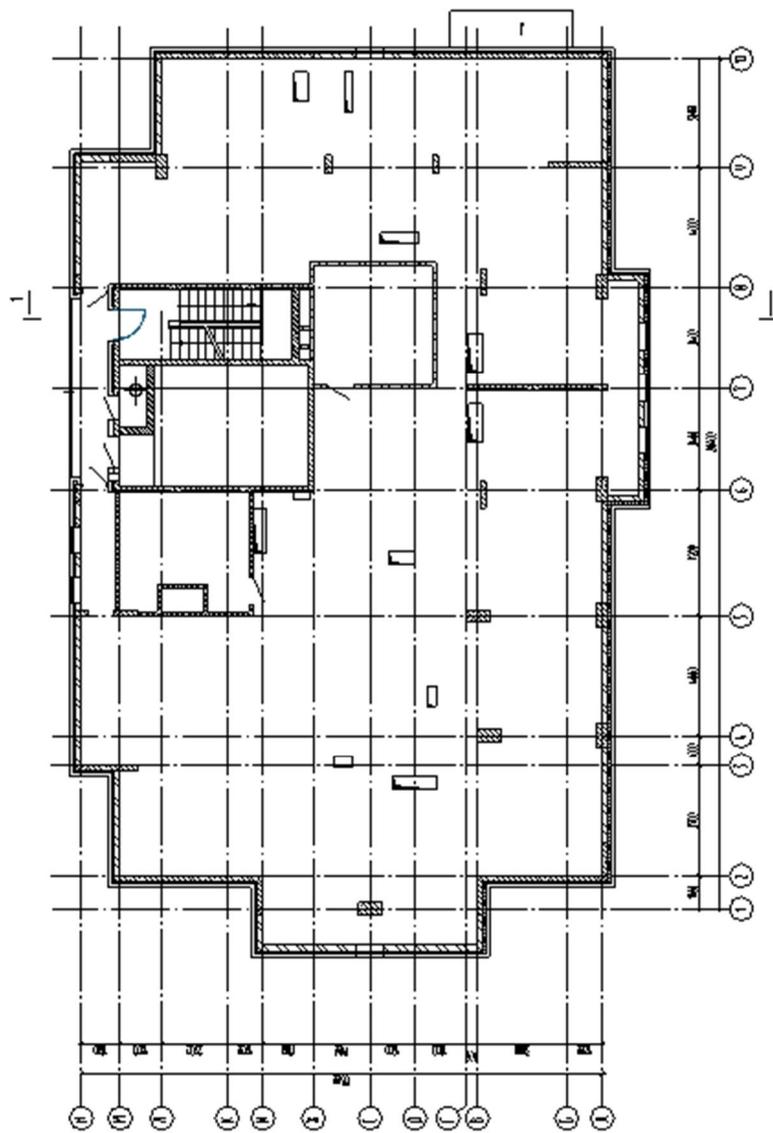


Рисунок 1.6 – План технического этажа

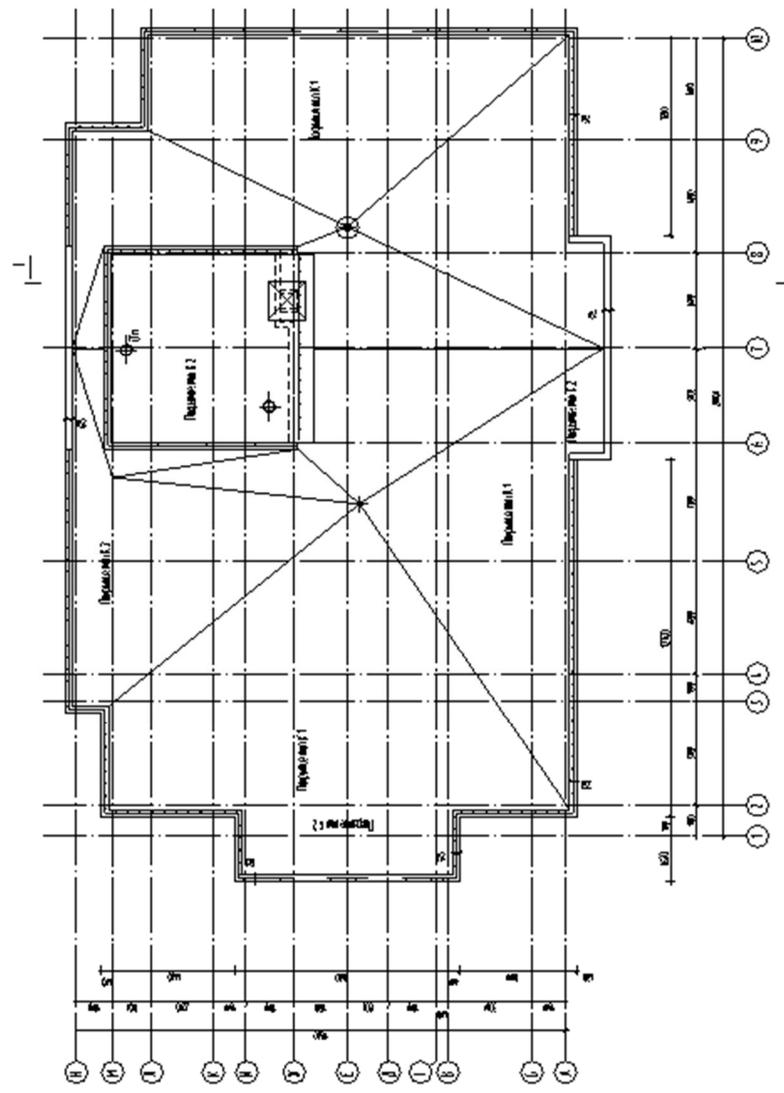


Рисунок 1.7 – План кровли

2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Создание новой задачи

Новая задача создается при помощи команд верхнего меню, выбираем **Проекты**, далее **Создать** или кнопки , расположенной на панели инструментов. В рабочем окне появится диалоговое окно «**Создать КЭ-модель**». В нем выбираем опцию «**3D POS-Проект**», задаем «**Имя файла**» и шифр проекта. Из диалогового окна выходим после нажатия кнопки «**ОК**» (рисунок 2.1).

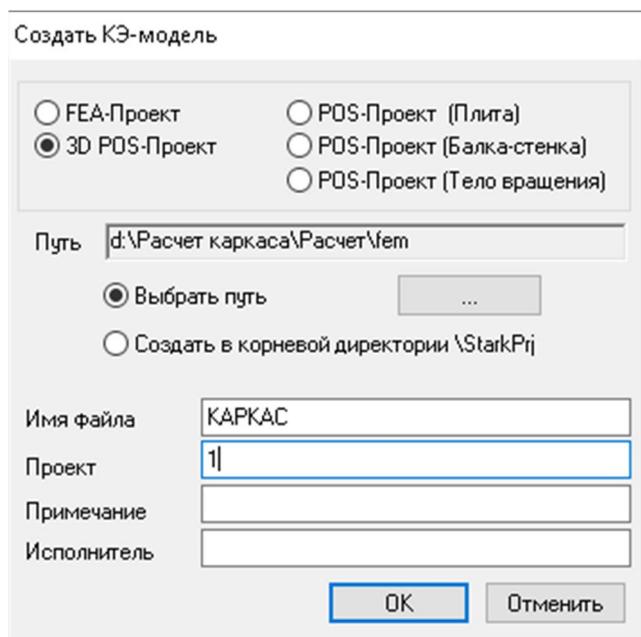


Рисунок 2.1 – Диалоговое окно для создания конечно-элементной модели

После создания нового проекта в рабочем окне появится диалоговое окно «**Новый(е) этаж(и)**».

В данном окне указываем:

– **Высоту этажа** – 3 м (поскольку данный этаж будет содержать только плоскую фундаментальную плиту, задается любая величина больше 0);

– **Уровень этажа** – -2,62 м (отметка уровня фундаментальной плиты);

– **Количество** – 1.

Затем нажимаем кнопку «**ОК**» (рисунок 2.2).

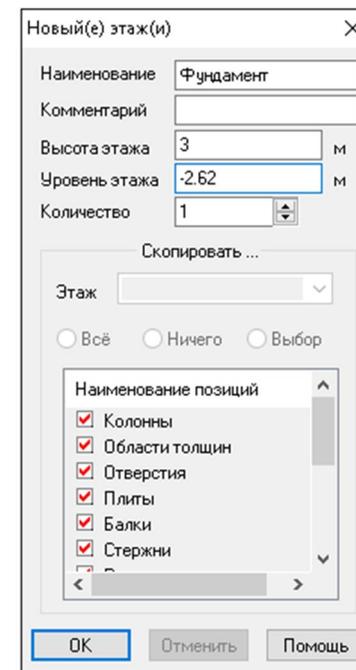


Рисунок 2.2 – Диалоговое окно для создания новых этажей

2.2 Создание фундаментной плиты

Поскольку фундаментная плита имеет сложную форму, вводим ее в план при помощи подосновы (DXF-файла).

Для загрузки подосновы фундаментной плиты выполним команды верхнего меню: → **Растр** → **DXF Открыть**.

В появившемся диалоговом окне необходимо указать путь к файлу DXF (фундамент).

Для перехода к следующему диалоговому окну нажимаем кнопку «Открыть» (рисунок 2.3).

В появившемся диалоговом окне «Масштабирование DXF-файла» необходимо произвести корректировку перевода единиц измерения «Перевести все размеры из» в миллиметры.

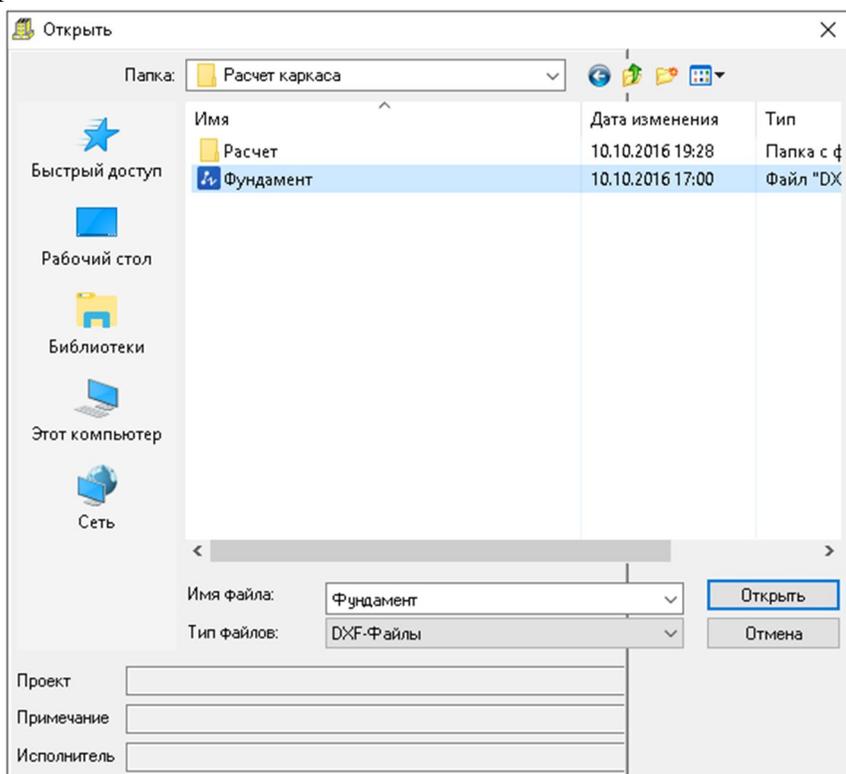


Рисунок 2.3 – Диалоговое окно для загрузки DXF-файла

«Соответствующий масштабный множитель» → **0,001**.

Загружаем подоснову DXF-файла нажатием кнопки «ОК» (рисунок 2.4).

В рабочем окне ПК STARK ES отобразится подоснова DXF-файла.

Для перевода изображения в графическом окне в проекцию на плоскость **XOY** на панели инструментов нажимаем кнопку .

Далее выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Плита / стена / рампа** → **Установить** или воспользуемся на панели инструментов кнопкой .

В появившемся окне выбора нажимаем кнопку «Плита» (рисунок 2.5).

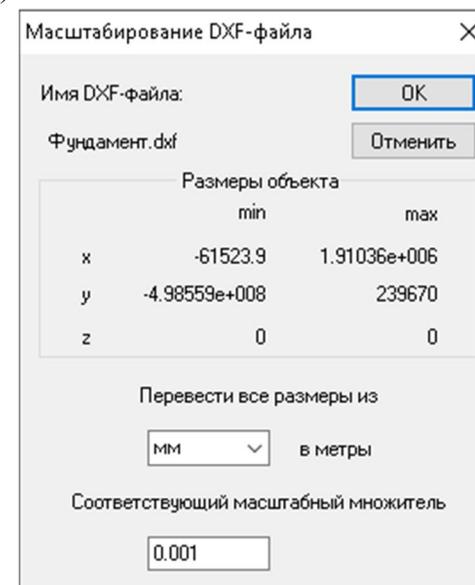


Рисунок 2.4 – Диалоговое окно масштабирования DXF-файла



Рисунок 2.5 – Диалоговое окно выбора

Далее выполняем редактирование характеристик фундаментной плиты. Для этого нажимаем кнопку «**Характеристики**» и редактируем свойства плиты фундамента (рисунок 2.6).

В закладке «**Материал**» задаются свойства плиты:

- **толщина фундаментной плиты постоянная** – 1,2 м;
 - **материал** – изотропный;
 - **модуль упругости E** = $3,0e + 7$ кН/м² (для бетона естественного твердения класса В25);
 - **коэффициент Пуассона** = 0,2;
 - **плотность плиты R_{ho}** = $2,5 \cdot 1,1 = 2,75$ т/м³,
- где 1,1 – коэффициент надежности по нагрузке.

Активизируем опции: «**Со сдвиговой деформацией**» для учета деформаций поперечного сдвига по толщине плиты, «**Плита на грунтовом основании**» для учета плиты, лежащей на грунтовом основании.

В закладке «**Нагрузки**» задается временная нагрузка, действующая на фундаментную плиту (p) = -0,65 от веса временных перегородок, согласно п. 8.2.2 СП 20.13330.2011. Для завершения нажимаем кнопку «**ОК**» (рисунок 2.6).

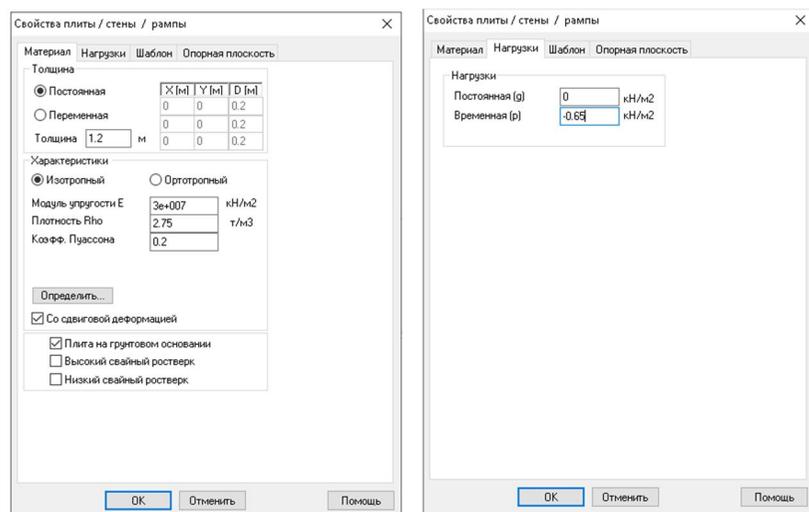


Рисунок 2.6 – Диалоговое окно редактирования свойств плиты / стены / рамы

Для создания фундаментной плиты в планке переключателей 1 нажимаем кнопки:

- [A] (привязка к актуальным объектам);
- [R] (привязка к растру);
- [F] (привязка к линии или точке слоя);
- [S] (привязка к точке пересечения линий).

В планке переключателей 2 нажимаем кнопку [Einz] (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Диалоговое окно планок переключателей

В окне бокового меню → **Установить**.

Далее необходимо выполнить задание, связанное с отображением покрытия, фундаментной плиты в рабочем окне.

С этой целью воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Фундаментная плита с заданными характеристиками представлена на рисунке 2.8.

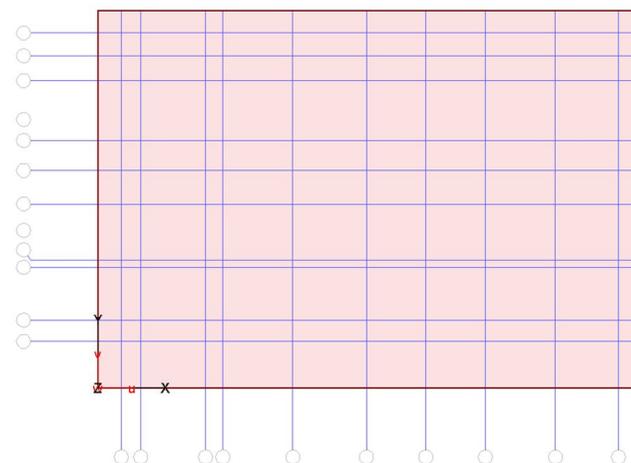


Рисунок 2.8 – Фундаментная плита

2.3 Задание поверхностных нагрузок

Далее задаем нагрузку на фундаментную плиту. С этой целью воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов (нагрузку на фундаментную плиту задаем упрощенно).

В окне бокового меню → **Установить на позицию**, в окне выбора → «**Характеристики**». Зададим значения поверхностных нагрузок (номер нагружения 3) в подвальных помещениях $P_z = -2,4$ (рисунок 2.9). Следует помнить, что нагрузки задаются с учетом коэффициента надежности по нагрузке согласно п. 8.2.2. СП 20.13330.2011 (рисунок 2.9).

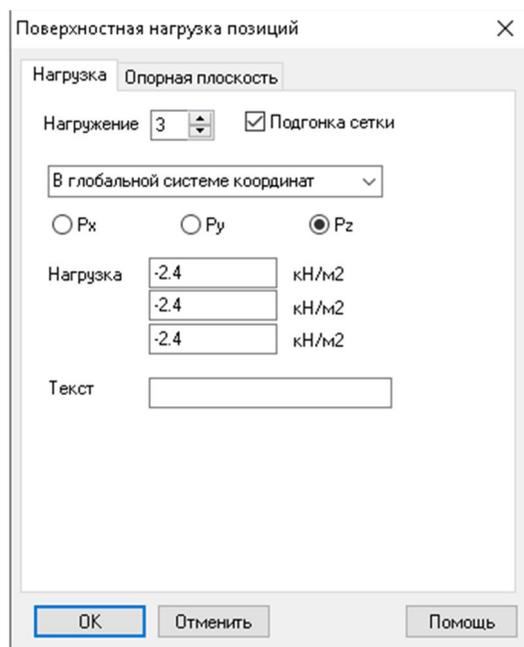


Рисунок 2.9 – Задание поверхностных нагрузок

Для завершения задания нагрузки нажимаем кнопку «**ОК**». Схема фундаментной плиты с заданными поверхностными нагрузками представлена на рисунке 2.10.

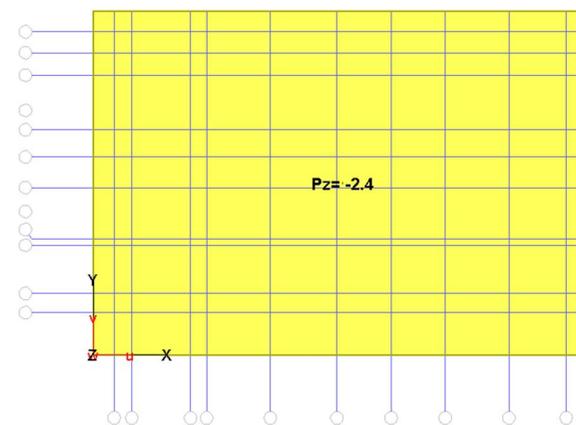


Рисунок 2.10 – Задание поверхностных нагрузок

2.4 Создание конструкций подвального этажа

Далее необходимо задать конструкцию подвального этажа. Введем ее при помощи подосновы (DXF-файла). Подоснову подвального этажа загружаем аналогично загрузке подосновы фундаментной плиты. На рисунке 2.11 представлено отображение фундаментной плиты с DXF подосновой конструкций подвального этажа.

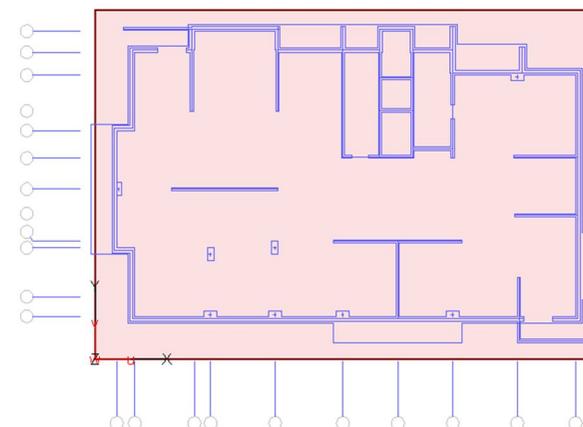


Рисунок 2.11 – Фундаментная плита с DXF подосновой конструкций подвального этажа

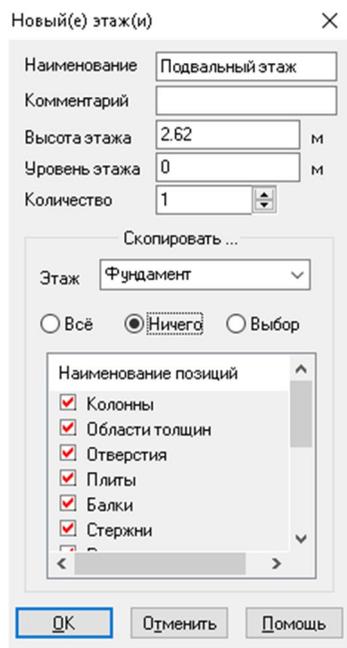


Рисунок 2.12 – Диалоговое окно по созданию новых этажей

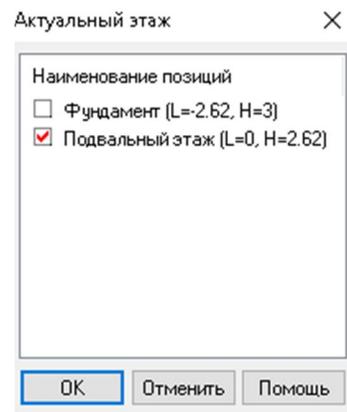


Рисунок 2.13 – Диалоговое окно выбора актуального этажа

Для ввода конструкций подвального этажа необходимо создать новый этаж. С этой целью воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. В появившемся диалоговом окне необходимо указать следующие характеристики (рисунок 2.12).

Для окончания ввода нажимаем кнопку «ОК».

Далее выбираем актуальный этаж. С этой целью

воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать актуальный этаж (рисунок 2.13).

Для окончания ввода нажимаем кнопку «ОК».

Выполним задание конструкций подвального этажа.

Далее выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Плита / Стена / Рампа** → **Установить** или используем

кнопку , расположенную на панели инструментов.

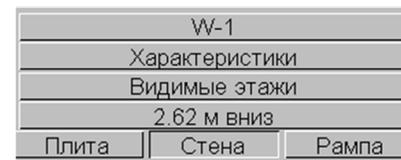


Рисунок 2.14 – Диалоговое окно выбора стен подвального этажа.

Для этого нажимаем кнопку «Характеристики» и редактируем свойства конструкций подвального этажа (рисунок 2.15).

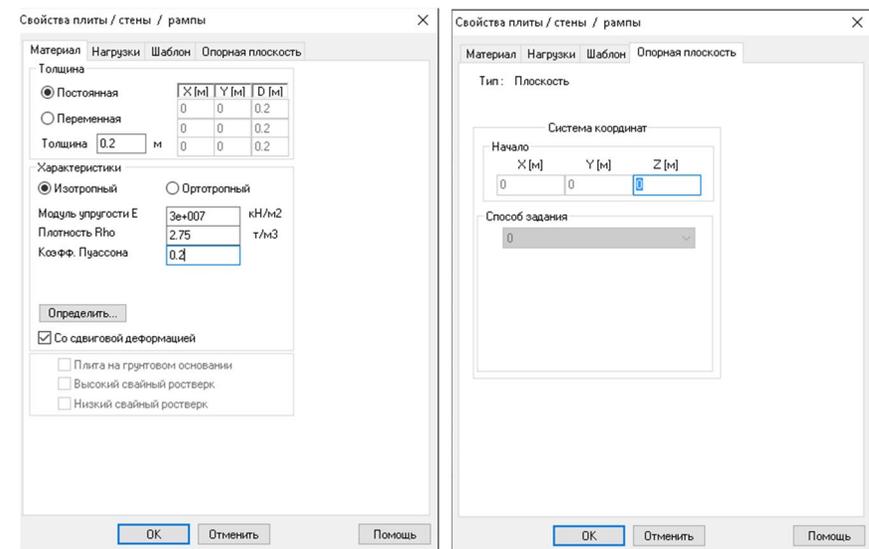


Рисунок 2.15 – Диалоговое окно свойств плиты / стены / рамы

В закладке «Материал» задаются свойства плиты:

- **толщина** – 0,2 м;
 - **материал** – изотропный;
 - **модуль упругости E** = 3,0e + 7 кН/м² (для бетона естественного твердения класса В25);
 - **коэффициент Пуассона** = 0,2;
 - **плотность плиты R_{но}** = 2,5 · 1,1 = 2,75 т/м³,
- где 1,1 – коэффициент надежности по нагрузке.

Активируем опции: «**Со сдвиговой деформацией**» для учета деформаций поперечного сдвига.

В закладке «**Опорная плоскость**» необходимо указать отметку верха задаваемых конструкций $Z = 0$ подвального этажа.

Для окончания ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

Далее в окне бокового меню → **Установить**. Ввод конструкций подвального этажа выполним в 3D виде, для этого на панели инструментов нажимаем кнопку .

Зададим конструкции подвального этажа в рабочем окне. Отображение конструкции стен подвального этажа толщиной 200 мм с заданными характеристиками представлено на рисунке 2.16.

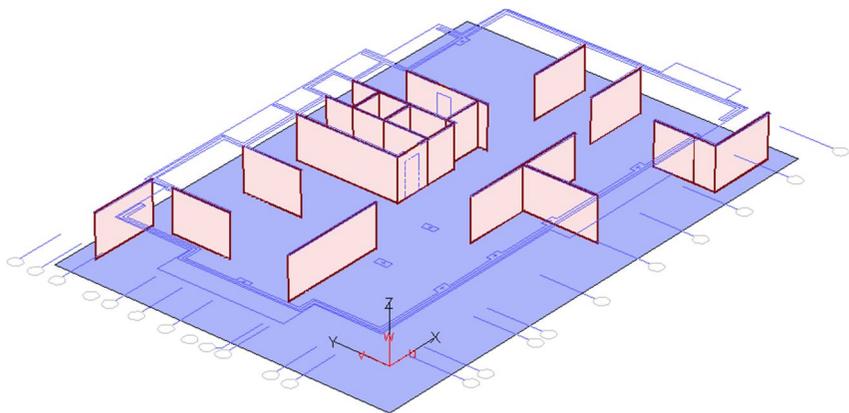


Рисунок 2.16 – Схема конструкции стен подвального этажа толщиной 200 мм

Далее необходимо отредактировать характеристики стен подвального этажа аналогично редактированию характеристик стен толщиной 200 мм и выполнить установку недостающих стен толщиной 300 мм (рисунок 2.17).

Зададим параметры конструкции колонн подвального этажа в рабочем окне.

Далее выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Колонна** → **Установить** или воспользуемся на панели инструментов кнопкой .

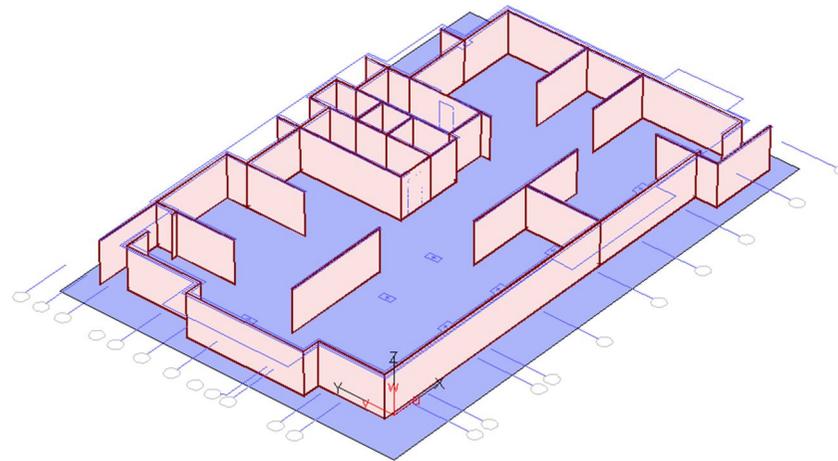


Рисунок 2.17 – Отображение конструкции стен подвального этажа

В появившемся окне выбора нажимаем кнопку «**Характеристики**» (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – Диалоговое окно выбора

Далее необходимо выполнить редактирование характеристик колонн подвального этажа в появившемся диалоговом окне (рисунок 2.19).

Для окончания ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

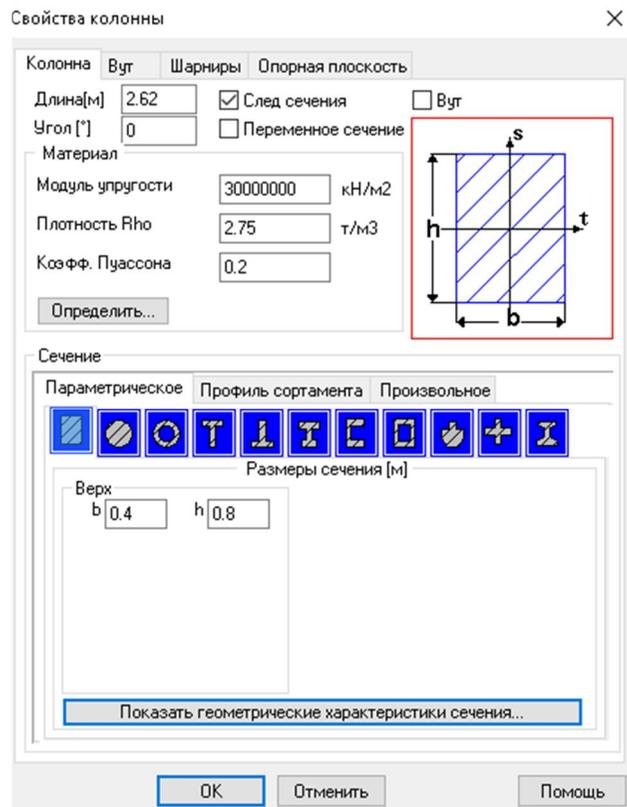


Рисунок 2.19 – Характеристики колонн подвального этажа

С целью создания фиктивных колонн, предназначенных для корректной генерации конечно-элементной сетки, т. е. образования сгущений в местах примыкания колонн и, как следствие, объективного армирования фундаментной плиты в окне выбора, нажимаем кнопку «Видимые этажи» (рисунок 2.20).



Рисунок 2.20 – Диалоговое окно выбора

Задаем в рабочем окне колонны подвального этажа с размером сечения $b = 0,4$ м и $h = 0,8$ м (рисунок 2.21).

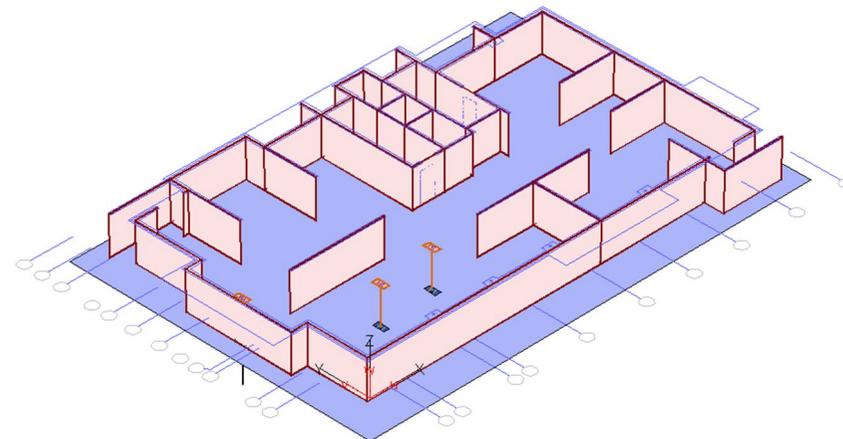


Рисунок 2.21 – Отображение конструкции колонн подвального этажа с размером сечения $b = 0,4$ м и $h = 0,8$ м

Далее выполним редактирование характеристик колонн подвального этажа и установку недостающих колонн с размером сечения $b = 0,8$ м и $h = 0,4$ м (рисунок 2.22).

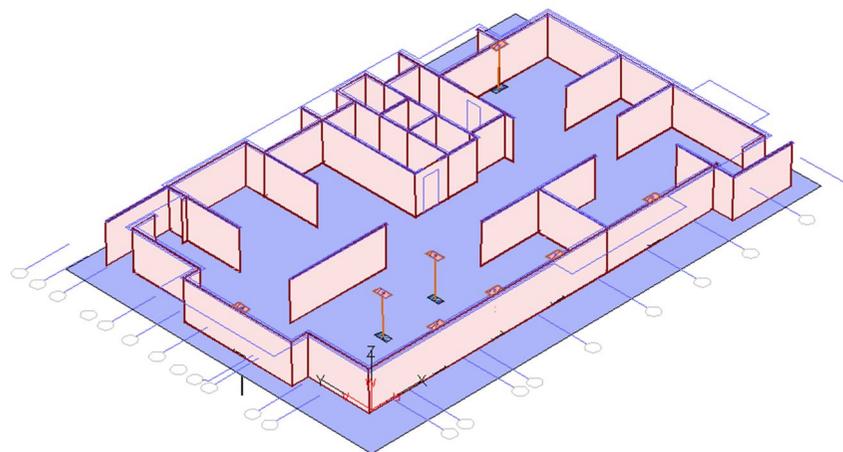


Рисунок 2.22 – Отображение конструкции колонн подвального этажа

Задаем отверстия подвального этажа в рабочем окне.

Далее подводим курсор к стене, на которой устанавливаем проем, и нажимаем кнопку **F4**. В окне редактора задаем тип раstra 1. Для окончания ввода нажимаем кнопку «**ОК**» (рисунок 2.23). После этого необходимо определить шаг раstra (рисунок 2.24). Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**». В ПК STARK ES версия 2016 должен быть активирован в «**Графических функциях**» переключатель SP (рисунок 2.25).

На экране появится растр в плоскости стены, на которую устанавливаем проем.

Выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Отверстия** → **Установить** или воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

Для просмотра установленных в подвальном этаже проемов в 3D виде воспользуемся на панели инструментов

кнопкой  (рисунок 2.26).

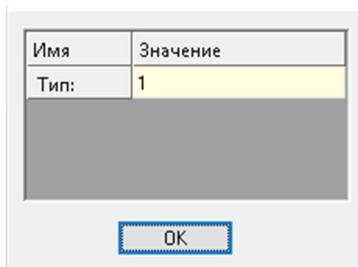


Рисунок 2.23 – Окно редактора

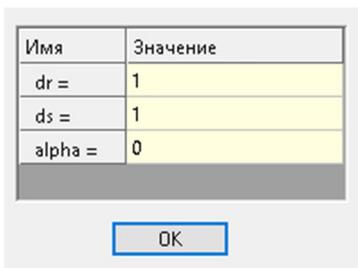


Рисунок 2.24 – Окно редактора

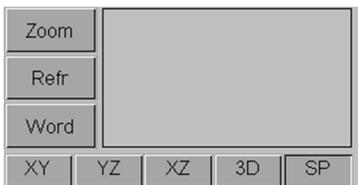


Рисунок 2.25 – Окно графических функций

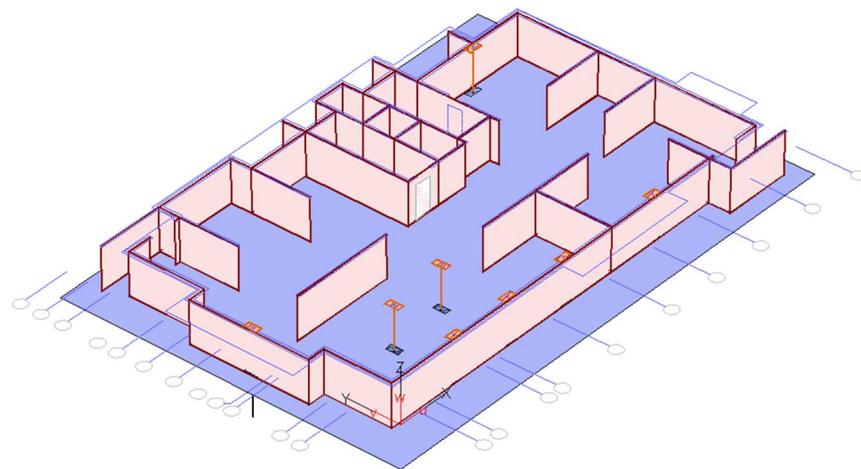


Рисунок 2.26 – Проекция установленного проема в подвальном этаже

Далее аналогичным образом выполняем установку недостающих проемов подвального этажа (рисунок 2.27). Для отключения раstra воспользуемся клавишей [Пробел], расположенной на клавиатуре.

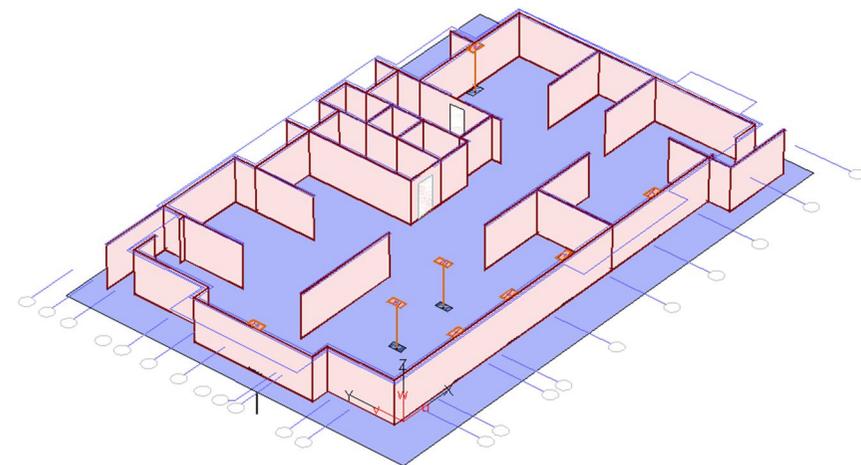


Рисунок 2.27 – Схема установленных проемов подвального этажа

Задаем параметры плиты перекрытия подвального этажа.



Рисунок 2.28 – Диалоговое окно выбора

Выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Плита / стена / рампа** → **Установить** или воспользуемся на панели инструментов кнопкой .

В появившемся окне выбора нажимаем кнопку «**Плита**» (рисунок 2.28). Далее необходимо отредактировать характеристики плиты перекрытия подвального этажа. Для этого нажимаем кнопку «**Характеристики**» и редактируем свойства плиты перекрытия подвального этажа.

В закладке «**Нагрузки**» задаем временную нагрузку, действующую на плиту перекрытия подвального этажа (p) = -0,65 от веса полов и перегородок (рисунок 2.29).

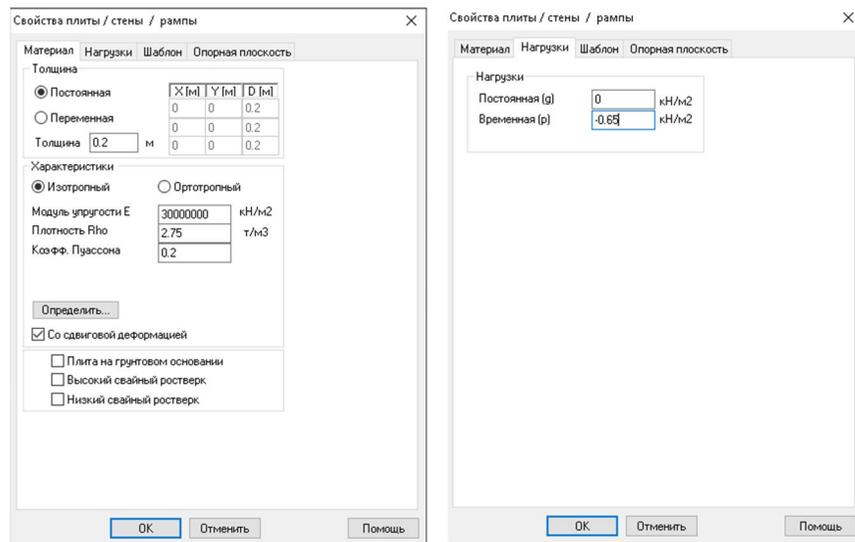


Рисунок 2.29 – Характеристики плиты перекрытия подвального этажа

Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**». Плиты перекрытия подвального этажа создадим при помощи подосновы (DXF-файла). Ввод плиты перекрытия подвального этажа в графическом окне выполняем в **XU**-проекции, для этого на панели инструментов нажимаем кнопку  (рисунок 2.30).

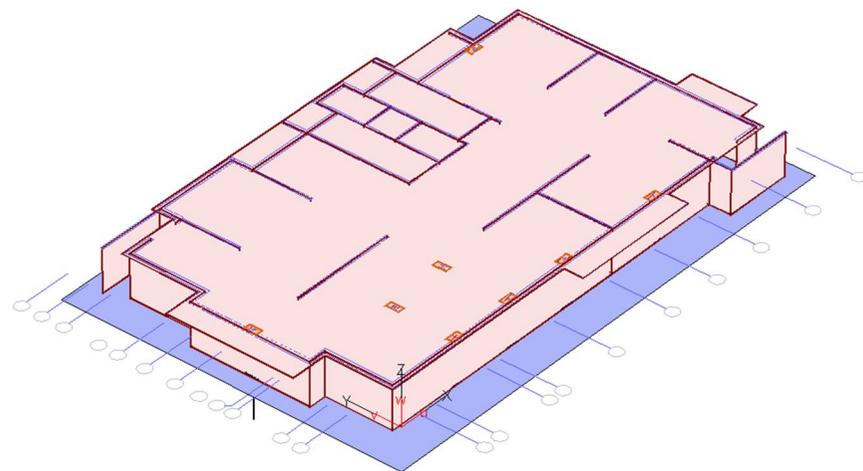


Рисунок 2.30 – Вид установленной плиты перекрытия подвального этажа

Выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Отверстия** → **Установить** или воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

Для просмотра установленных отверстий в 3D виде на панели инструментов воспользуемся кнопкой  (рисунок 2.31).

Введем временную нагрузку на плиту перекрытия подвального этажа с DXF подосновой (первый этаж нагрузки, рисунок 2.32).

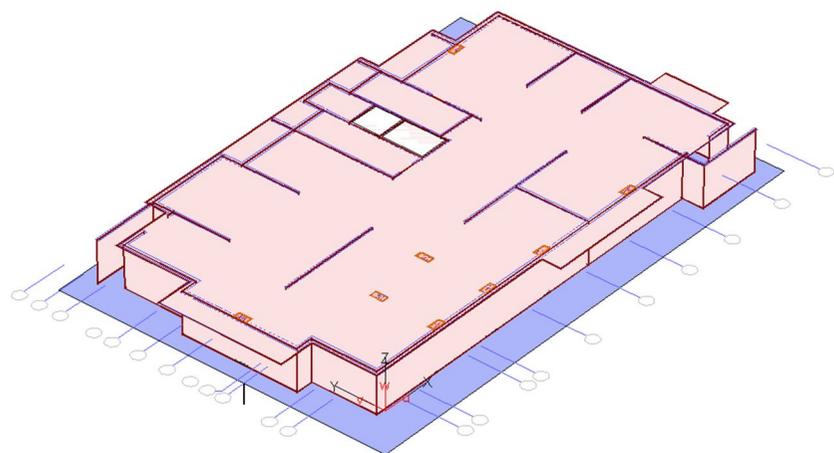


Рисунок 2.31 – Отображение установленного отверстия в плите перекрытия подвального этажа

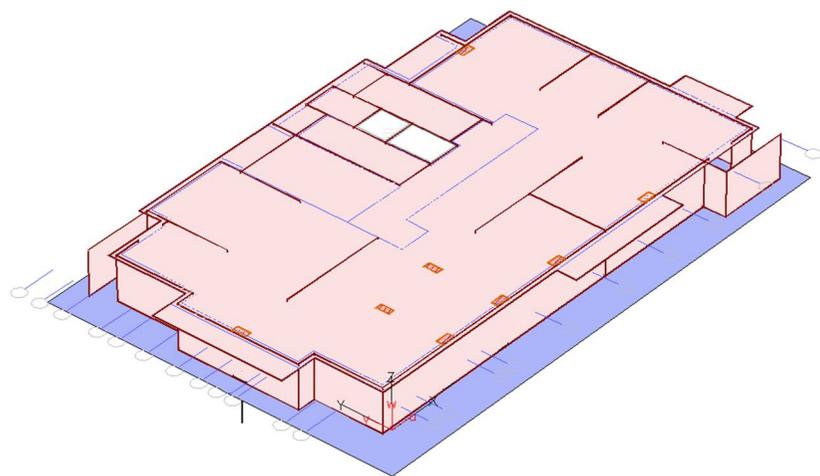


Рисунок 2.32 – Плита перекрытия подвального этажа с DXF подосновой (первый этаж нагрузки)

2.5 Задание поверхностных нагрузок

Далее необходимо выполнить задание временной нагрузки на плиту перекрытия подвального этажа от значений рав-

номерно распределенной нагрузки согласно схеме нагрузок (рисунок 2.33).

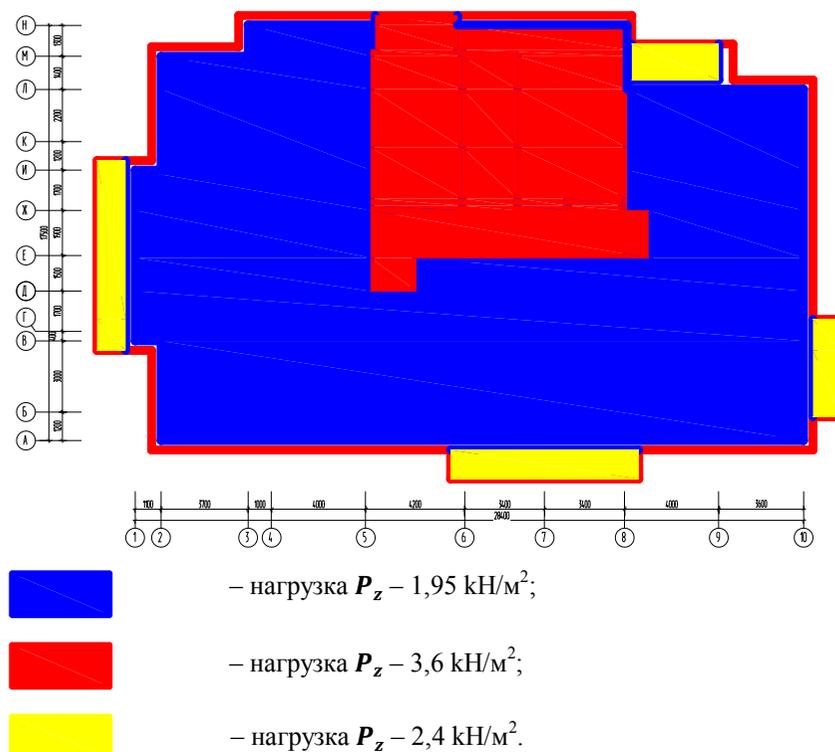


Рисунок 2.33 – Схема нагрузки на плиту перекрытия подвального этажа

С целью задания нагрузки (P_z) = -1,95 кН/м² воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов, далее в окне бокового меню выбираем **Установить**.

В окне выбора → «Характеристики» и задаем значения поверхностных нагрузок с номером нагружения 4 на перекрытия жилых этажей в квартирах (P_z) = -1,95 кН/м², нагрузки задаются с коэффициентом надежности согласно п. 8.2.2. СП 20.13330.2011 (рисунок 2.34).

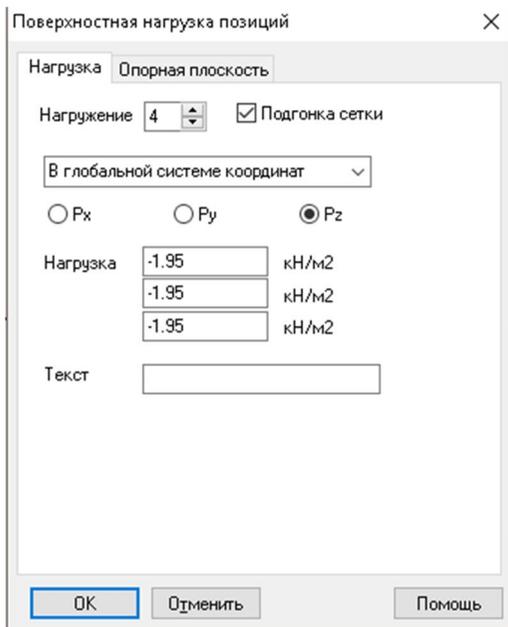


Рисунок 2.34 – Задание поверхностных нагрузок

Для окончания ввода нажимаем кнопку «ОК». Отображение плиты перекрытия подвального этажа с заданными поверхностными нагрузками в квартирах жилых зданий представлено на рисунке 2.35.

Нагрузку задаем с номером нагружения 5 в коридорах (P_z) = $-3,6 \text{ kH/m}^2$, на балконах – (P_z) = $-2,4 \text{ kH/m}^2$ аналогично варианту с нагрузкой в квартирах жилых зданий.

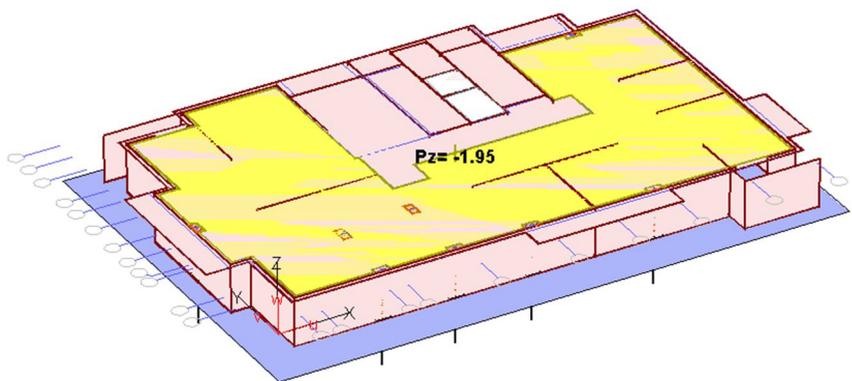


Рисунок 2.35 – Схема поверхностных нагрузок на плиту перекрытия подвального этажа в квартирах жилых зданий

Для просмотра всех заданных поверхностных нагрузок в окне выбора выбираем «Нагружение 0», их отображение представлено на рисунке 2.36.

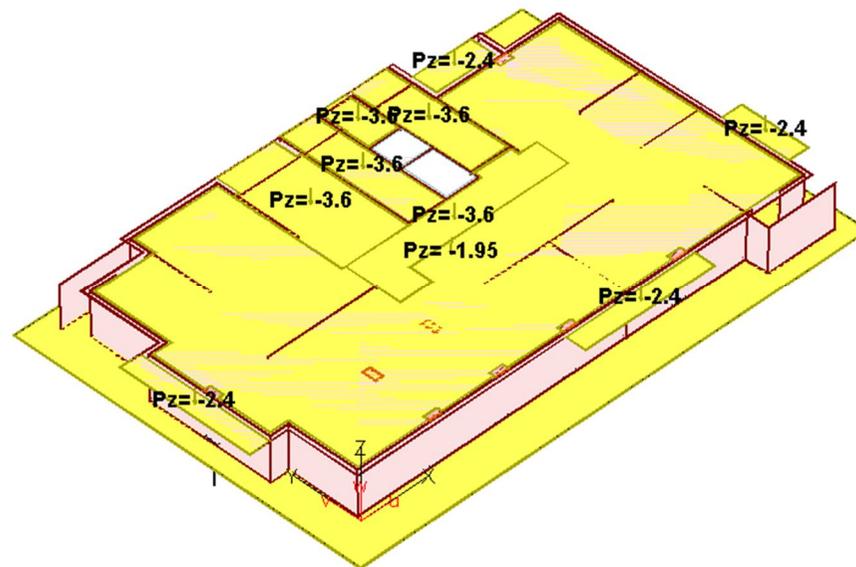


Рисунок 2.36 – Отображение поверхностных нагрузок

2.6 Задание линейных нагрузок

Зададим нагрузку от ограждающих стен первого этажа. С целью задания нагрузки (P_z) = -12 kH/m^2 воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее в окне бокового меню выбираем Установить.

В окне выбора задаем «Характеристики» и значения линейных нагрузок с номером нагружения (P_z) = -12 kH/m^2 (рисунок 2.37).

Введем линейную нагрузку на плиту перекрытия подвального этажа, ее отображение представлено на рисунке 2.38 (информация предоставлена не полностью).

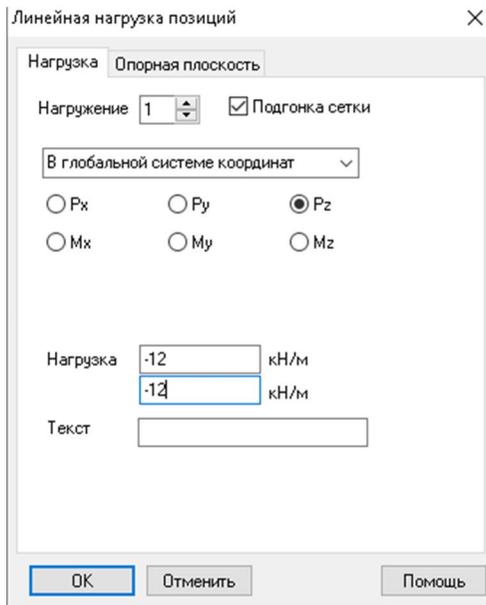


Рисунок 2.37 – Задание значений линейных нагрузок

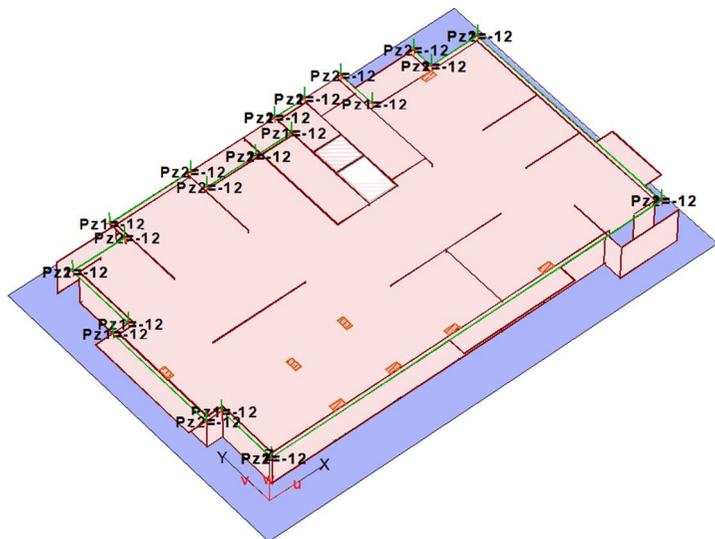


Рисунок 2.38 – Отображение линейной нагрузки на плите перекрытия подвального этажа

2.7 Создание конструкций первого этажа

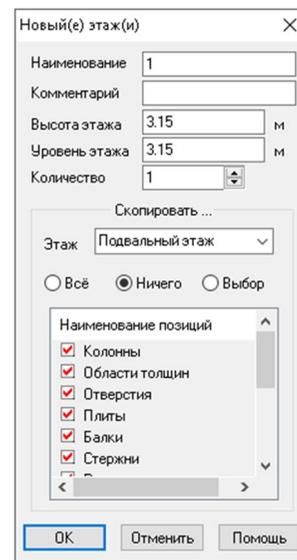


Рисунок 2.39 – Параметры вертикальных несущих конструкций первого этажа

Для создания «Первого этажа» задаем следующие параметры (рисунок 2.39).

Осуществим выбор актуального первого этажа. Выполним погрузку DXF-слоя первого этажа.

Установим вертикальные несущие конструкции первого этажа толщиной 200 мм аналогично заданию вертикальных несущих конструкций подвального этажа (рисунок 2.40).

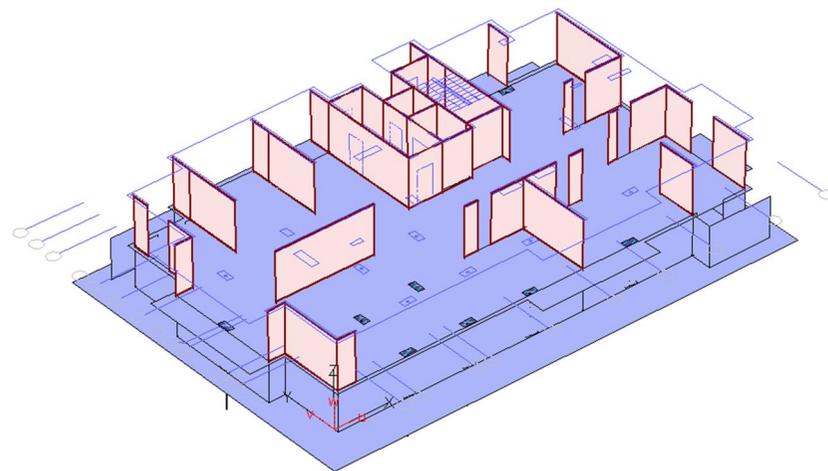


Рисунок 2.40 – Отображение вертикальных несущих конструкций первого этажа

Разместим проемы в несущих конструкциях первого этажа аналогично направлению проемов в вертикальных конструкциях подвального этажа (рисунок 2.41).

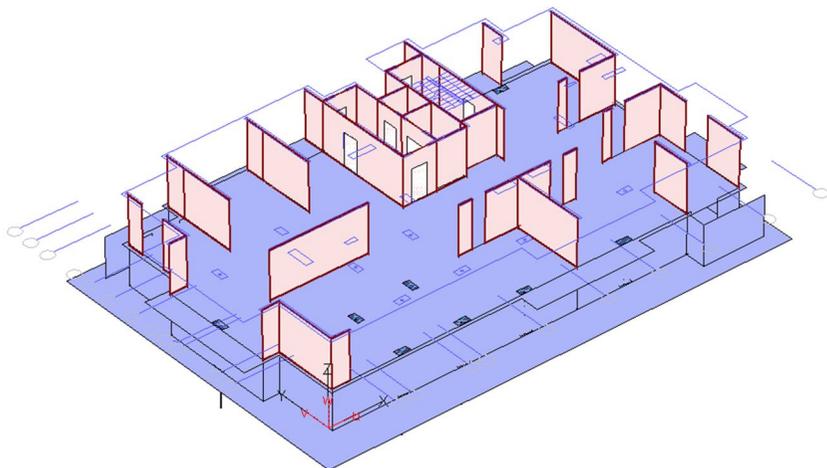


Рисунок 2.41 – Схема установленных проемов в несущих конструкциях первого этажа

Выполним установку плиты перекрытия первого этажа толщиной 200 мм с учетом временной нагрузки (p) = $-0,65 \text{ kH/m}^2$ от веса временных перегородок. На рисунке 2.42 представлена схема установленной плиты перекрытия первого этажа.

Установим проемы в плите перекрытия первого этажа. На рисунке 2.43 представлен вид установленных проемов в плите перекрытия первого этажа.

Выполним установку колонн первого этажа (рисунок 2.44), при выключенной опции «Видимые этажи» в окне выбора.

Введем временную нагрузку на плиту перекрытия первого этажа с помощью подосновы DXF (второй этаж нагрузки). Отображение всех заданных поверхностных нагрузок представлено на рисунке 2.45.

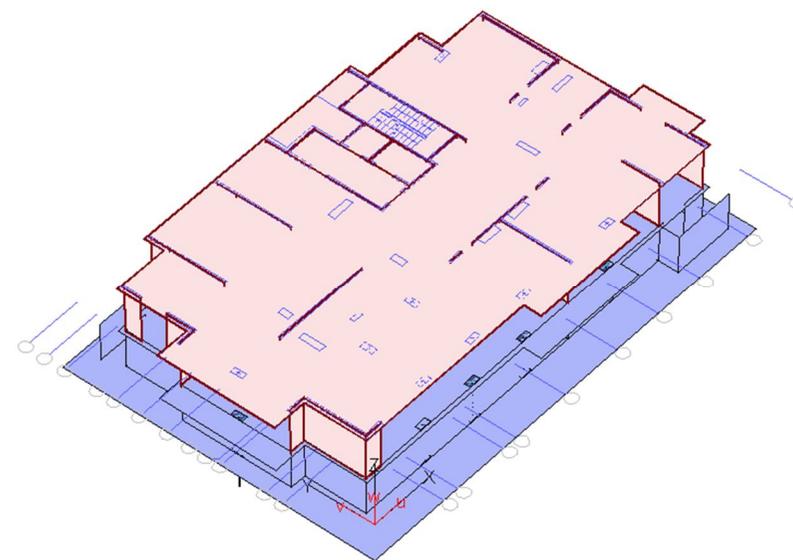


Рисунок 2.42 – Отображение установленной плиты перекрытия первого этажа

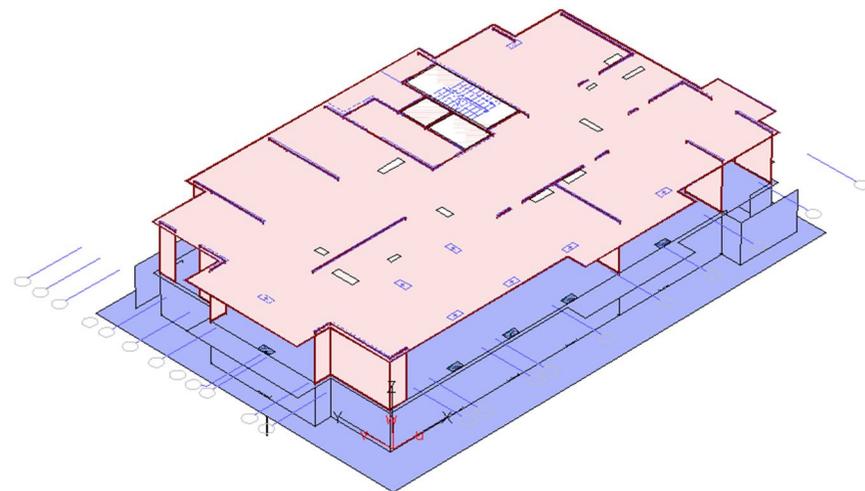


Рисунок 2.43 – Схема установленных проемов в плите перекрытия первого этажа

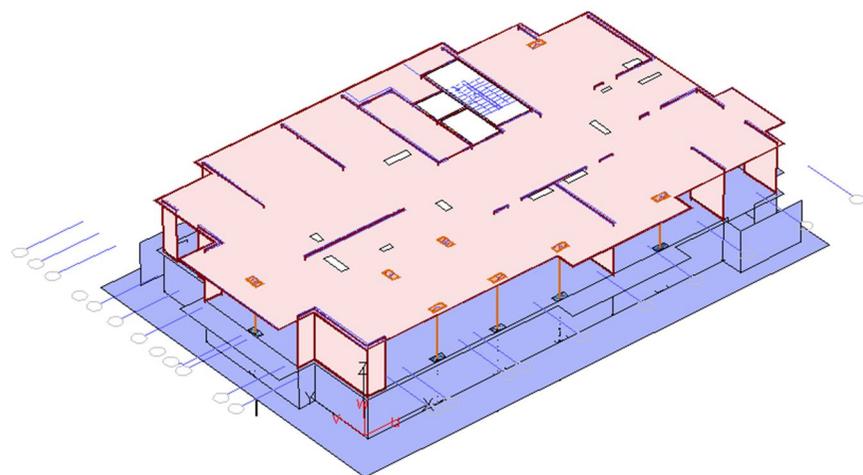


Рисунок 2.44 – Вид установленных колонн первого этажа

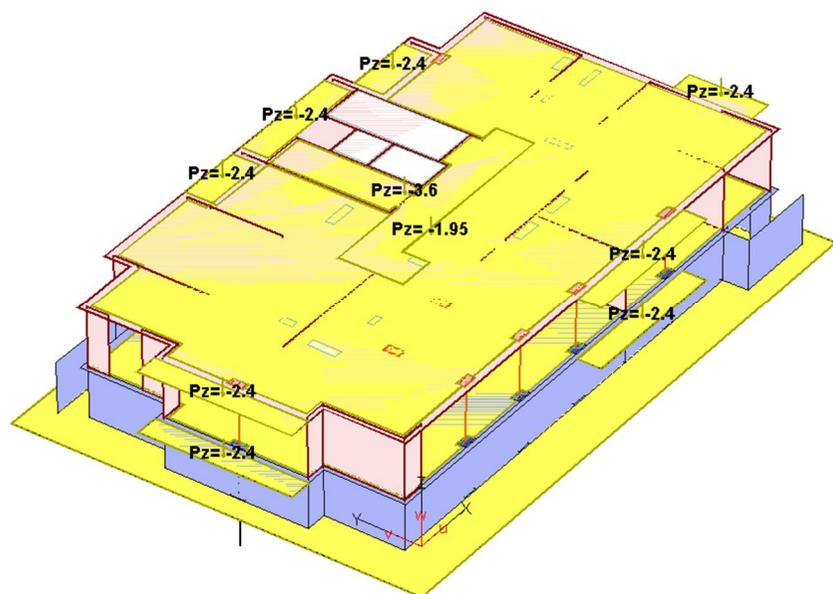


Рисунок 2.45 – Отображение всех заданных нагрузок на плиту перекрытия первого этажа

2.8 Задание линейных нагрузок на плиту перекрытия

Осуществим ввод линейной нагрузки на плиту перекрытия первого этажа от веса ограждающих конструкций (стен), номер нагружения 1, числовое значение нагрузки нагружения (P_z) = -12 kH/m^2 . Отображение всех установленных линейных нагрузок представлено на рисунке 2.46 (информация представлена не полностью).

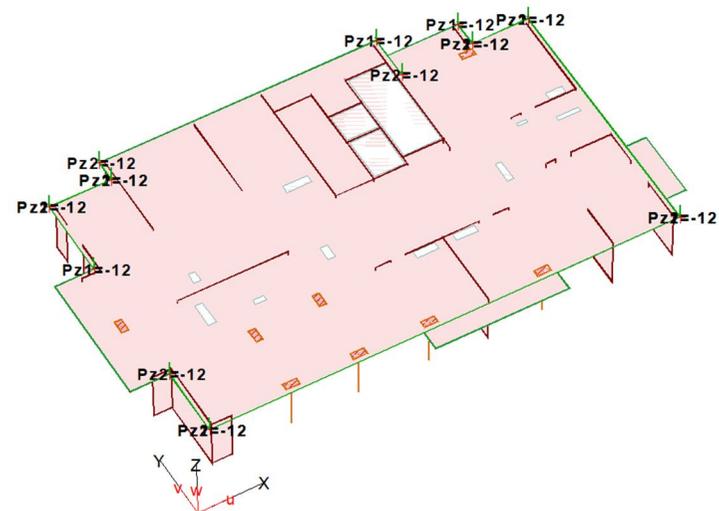


Рисунок 2.46 – Отображение всех установленных линейных нагрузок на плиту перекрытия первого этажа

С целью определения ветровой нагрузки воспользуемся встроенным модулем «Определение ветровой нагрузки» с помощью кнопки , расположенной на панели инструментов. Исходные данные и результаты расчета ветровой нагрузки на высоте «z» представлены на рисунке 2.47.

Выполним задание ветровой нагрузки на плиту перекрытия первого этажа. С целью задания нагрузки нагружения (P_y) = $1,73 \text{ kH/m}^2$ на наветренную сторону здания воспользу-

емся кнопкой , расположенной на панели инструментов, далее в окне бокового меню выбрать **Установить**.

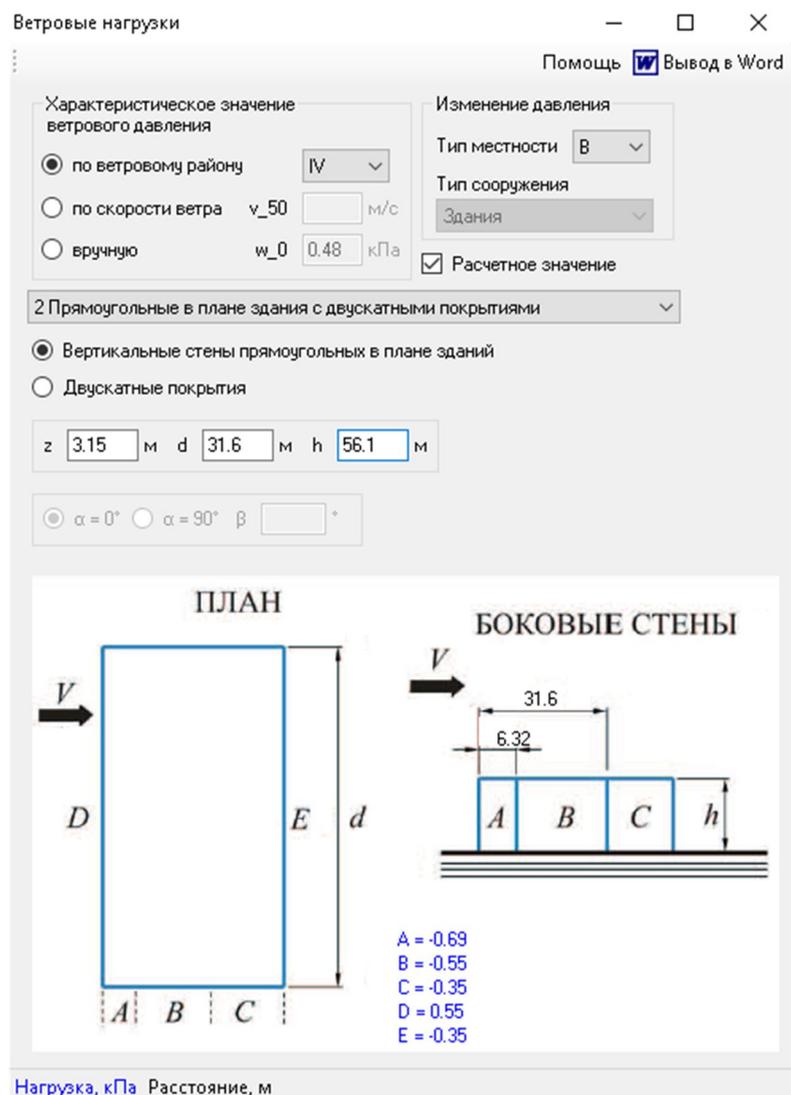


Рисунок 2.47 – Исходные данные и результаты расчета ветровой нагрузки

В окне выбора нажимаем кнопку «Характеристики» и задаем значения ветровой линейной нагрузки (номер нагружения 6), нагружения (P_y) = 1,73 кН/м² (рисунок 2.48).

Аналогично установим ветровую нагрузку на подветренные стороны здания по направлению воздействия ветра вдоль оси Y. Нагрузку на боковые стороны задаем упрощенно, с использованием значения нагрузки в зоне B, согласно рисунку 2.47.

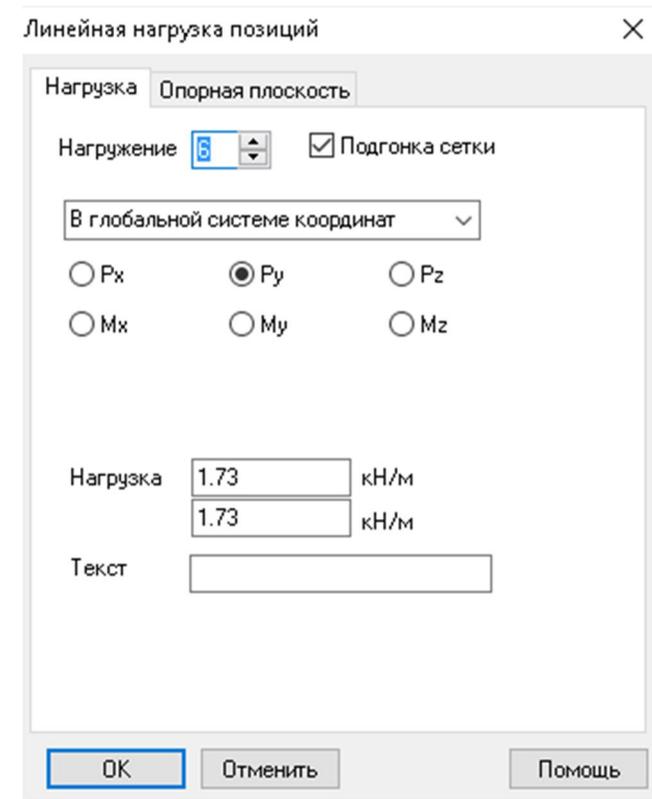


Рисунок 2.48 – Задание значений линейных ветровых нагрузок

На рисунках 2.49–2.50 представлены числовые значения ветровой нагрузки на плиту перекрытия первого этажа по направлению воздействия ветра вдоль оси Y.

Аналогично задаем ветровую нагрузку вдоль оси X нагружения 7. Для этого считаем ветровое воздействие по оси X (рисунок 2.51).

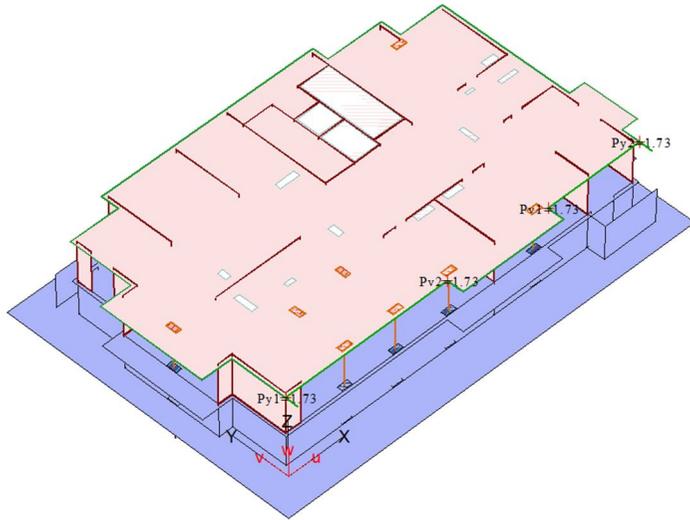


Рисунок 2.49 – Схема заданной ветровой нагрузки на наветренную сторону плиты перекрытия

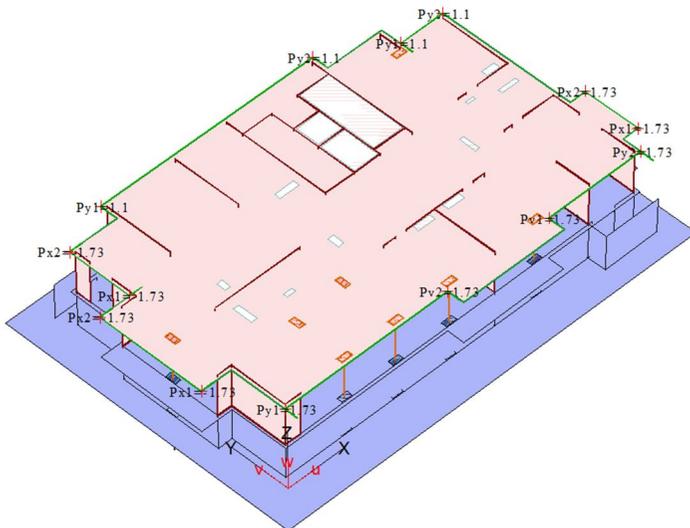


Рисунок 2.50 – Числовые значения ветровой нагрузки на плиту перекрытия первого этажа

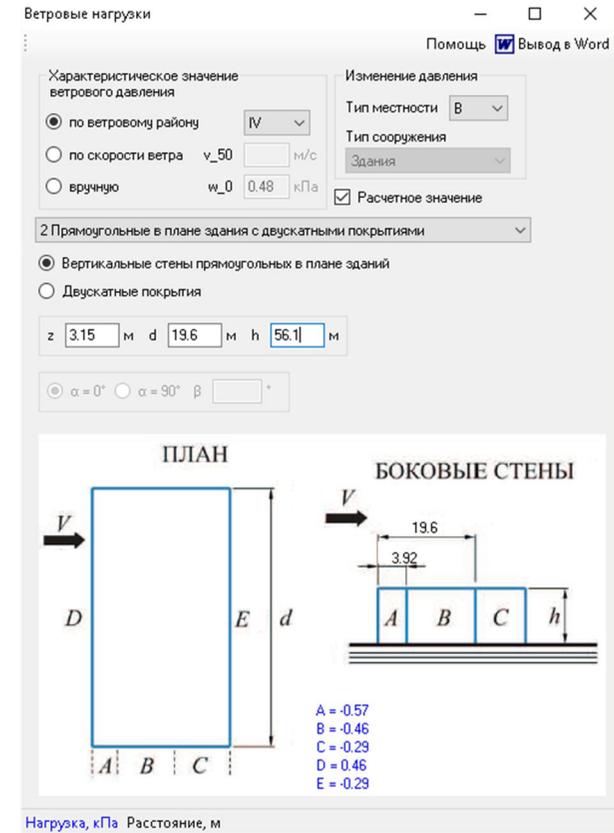


Рисунок 2.51 – Исходные данные и результаты расчета ветровой нагрузки вдоль оси X

2.9 Задание линейных опор на плиту перекрытия первого этажа

С целью дальнейшей генерации линейной ветровой нагрузки в узловую ветровую выполним установку связей по направлениям X и Y, по периметру плиты перекрытия первого этажа.

Далее выбираем пункты верхнего меню: **Позиции** → **Линейные опоры** → **Установить**. В появившемся окне выбора нажимаем кнопку «Характеристики» (рисунок 2.52).

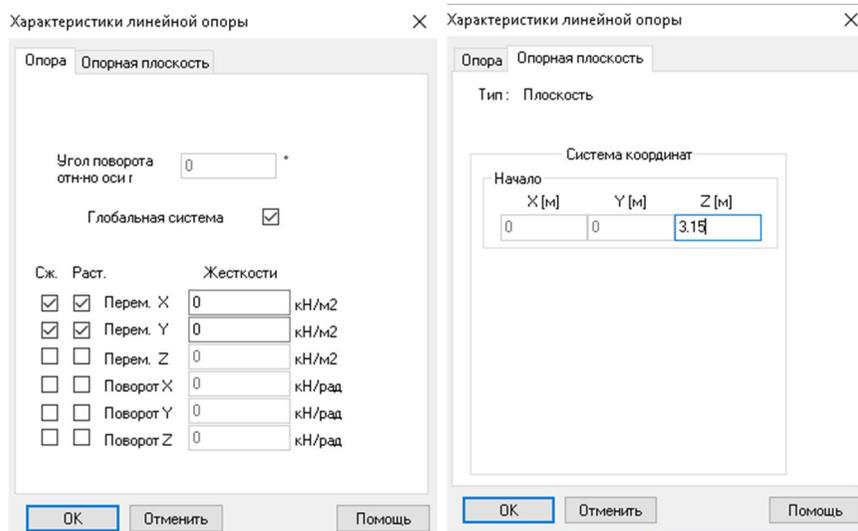


Рисунок 2.52 – Установка параметров жесткостей линейных опор

На рисунке 2.53 представлены установленные линейные опоры по периметру перекрытия первого этажа.

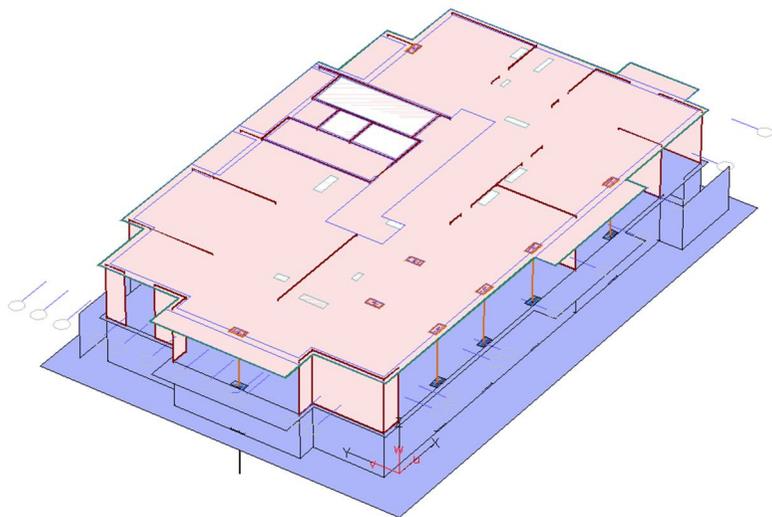


Рисунок 2.53 – Установленные линейные опоры по периметру перекрытия первого этажа

2.10 Создание конструкций многоэтажного здания и удаление линейных нагрузок

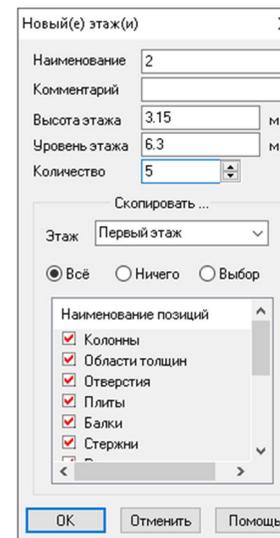


Рисунок 2.54 – Диалоговое окно по созданию новых этажей

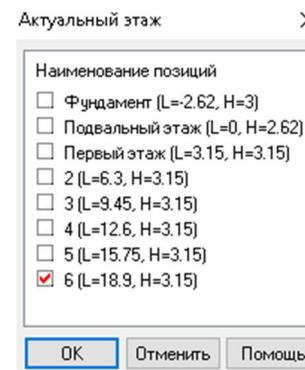


Рисунок 2.55 – Диалоговое окно выбора актуального этажа

На рисунке 2.56 представлен каркас здания с актуальным шестым этажом.

Так как значения ветровой нагрузки остаются неизменными до высотной отметки +19,500 по плитам перекрытия, то создадим конструкции этажей с копированием нагрузок.

Для создания конструкций новых этажей необходимо произвести следующие действия. Воспользуемся кнопкой



, представленной на панели инструментов. В появившемся диалоговом окне необходимо указать следующие характеристики (рисунок 2.54).

Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

Далее выбираем актуальный этаж. С этой целью воспользуемся кнопкой



, расположенной на панели инструментов. В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать актуальный этаж (рисунок 2.55).

Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

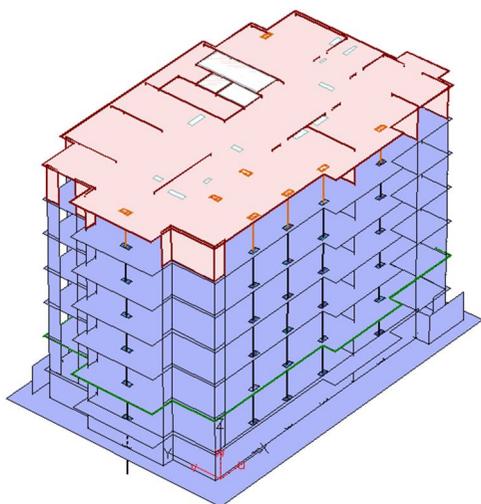


Рисунок 2.56 – Отображение каркаса здания с актуальным шестым этажом

Создание конструкций седьмого этажа

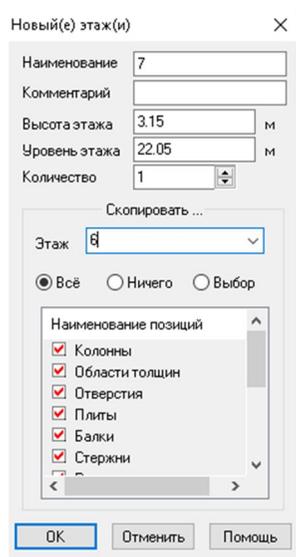


Рисунок 2.57 – Диалоговое окно по созданию новых этажей

Создадим новый седьмой этаж, с этой целью воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. В появившемся диалоговом окне необходимо указать следующие характеристики (рисунок 2.57). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

Далее необходимо выбрать актуальный седьмой этаж. С этой целью воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов.

Удаление линейных нагрузок

При необходимости имеется возможность удаления линейных нагрузок с плиты перекрытия любого этажа. В нашем случае необходимо удалить линейную нагрузку с плиты перекрытия седьмого этажа.

С целью удаления линейных нагрузок с плиты перекрытия седьмого этажа и предотвращения воздействия ветра воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

Далее в окне выбора последовательно выбираем нагружения 6 и 7, а затем в окне бокового меню → **Удалить**. На рисунке 2.58 представлен восьмой этаж с удаленной линейной нагрузкой на плите перекрытия седьмого этажа (информация предоставлена не полностью).

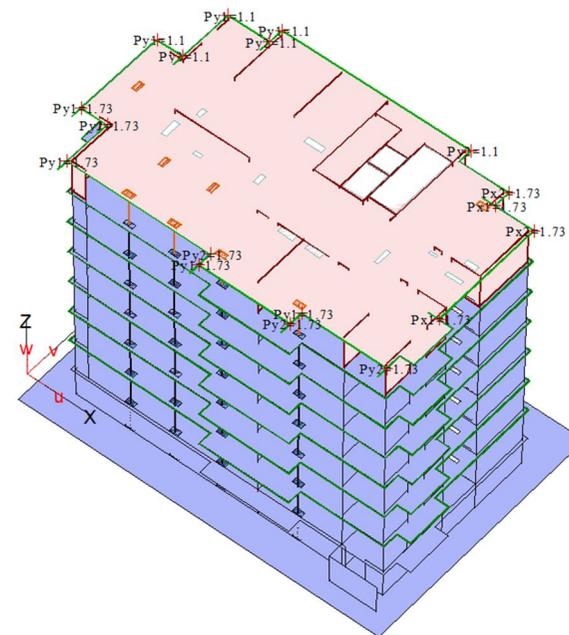


Рисунок 2.58 – Удаленная линейная нагрузка на плите перекрытия седьмого этажа

Создание 8–16-этажных конструкций

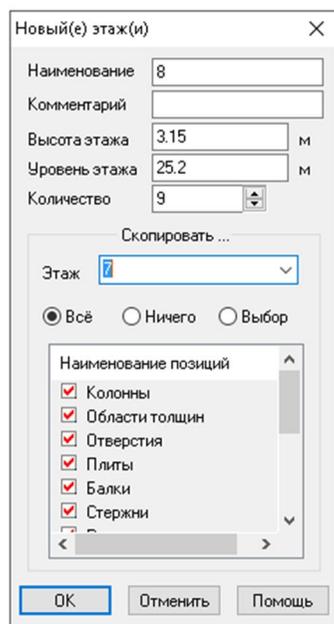


Рисунок 2.59 – Диалоговое окно по созданию новых этажей

Для создания 8–16-этажной конструкции воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов.

В появившемся диалоговом окне необходимо указать следующие характеристики (рисунок 2.59). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

Далее необходимо поэтапно выбрать актуальные этажи 8–16 и задать ветровую линейную нагрузку на актуальном этаже. С целью его выбора

воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

2.11 Задание линейных нагрузок на плиты перекрытия 7–16 этажей от воздействия ветра

С целью определения ветровой нагрузки на высотах $z = 22,05; 25,2; 28,35; 31,5; 34,65; 37,8; 40,95; 44,1; 47,25; 50,4$ м используем встроенный модуль «Определение ветровой нагрузки». Для этого воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов.

Значение ветровой нагрузки на шестнадцатом этаже будет отличаться от показателя типового этажа. На рисунке 2.60 представлен каркас здания с актуальным шестнадцатым этажом и с заданными ветровыми нагрузками на перекрытиях с первого по шестнадцатый этаж (информация предоставлена не полностью).

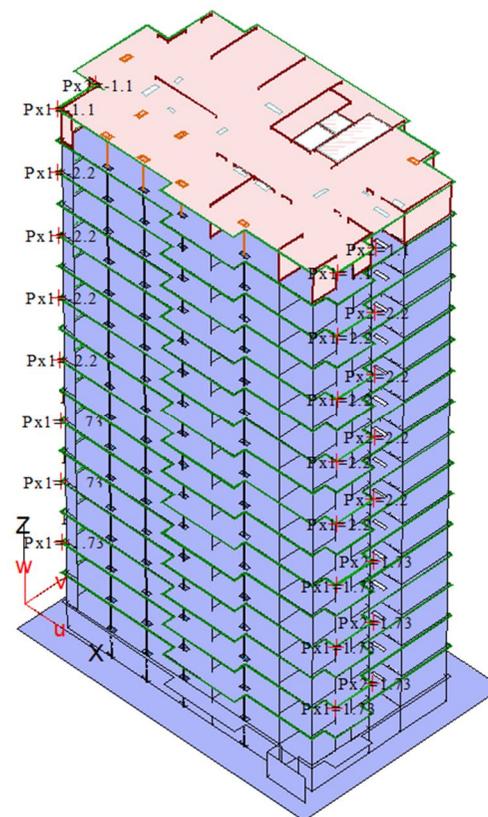


Рисунок 2.60 – Заданная ветровая нагрузка на перекрытиях с первого по шестнадцатый этаж

2.12 Редактирование поверхностных нагрузок

С целью редактирования поверхностных нагрузок на плите перекрытия шестнадцатого этажа воспользуемся ПКМ (правая кнопка мыши).

Далее в появившемся диалоговом окне свойств позиций изменим параметры нагрузки и номер нагружения (рисунок 2.61). Для завершения ввода нажимаем кнопку «Передать».

Аналогично изменим значение нагрузки на величину $(P_z) = -2.4 \text{ кН/м}^2$ в коридоре на техническом этаже.

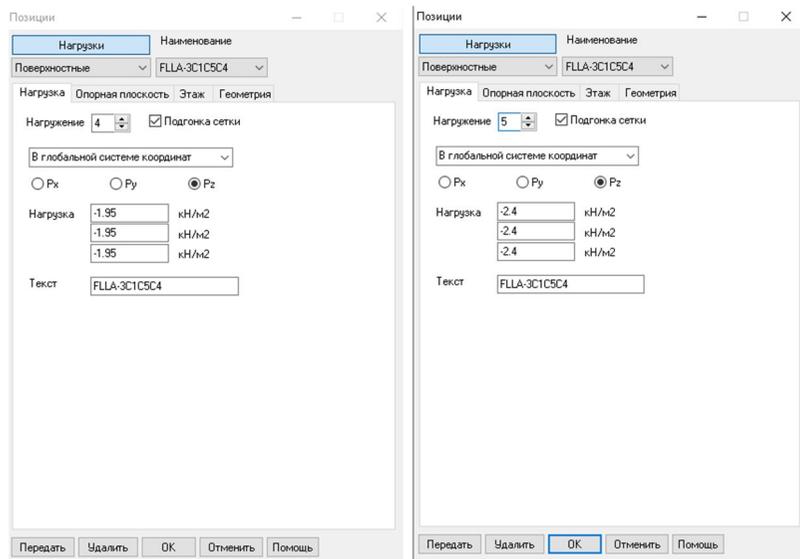


Рисунок 2.61 – Свойство позиции

2.13 Создание конструкций технического этажа и задание линейных нагрузок

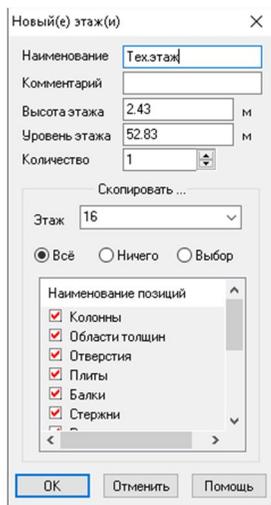


Рисунок 2.62 – Диалоговое окно по созданию новых этажей

Для создания нового технического этажа воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов.

В появившемся диалоговом окне необходимо указать следующие характеристики (рисунок 2.62). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК». С целью выбора актуального технического этажа воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

Числовые значения ветровых нагрузок на техническом этаже отличны от значений ветровых нагрузок шестнадцатого этажа, поэтому удалим данные ветровых нагрузок.

На рисунке 2.63 представлен каркас здания с актуальным техническим этажом и с заданными ветровыми нагрузками с первого по шестнадцатый и технический этаж (информация предоставлена не полностью).

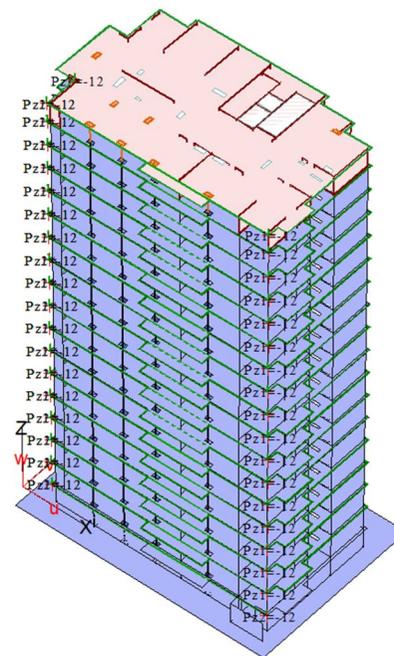


Рисунок 2.63 – Заданная ветровая нагрузка с первого по шестнадцатый и технический этаж

2.14 Создание этажа машинного отделения и задание нагрузок

Создадим этаж машинного отделения, с этой целью воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. В появившемся диалоговом окне необходимо указать следующие характеристики (рисунок 2.64).

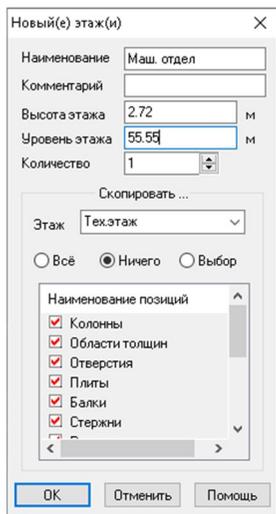


Рисунок 2.64 – Диалоговое окно по созданию новых этажей

Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

С целью выбора актуального этажа машинного отделения воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

Конструкции машинного отделения создаются аналогично заданию конструкций подвального этажа. На рисунке 2.65 представлен каркас здания с актуальным этажом – машинным отделением.

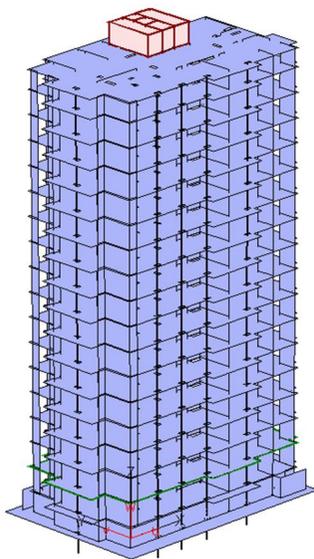


Рисунок 2.65 – Отображение каркаса здания с актуальным этажом – машинным отделением

Задание линейных нагрузок

Ветровую нагрузку на плиту покрытия машинного отделения задают аналогично представленному заданию нагрузки. На рисунке 2.66 представлен каркас здания с заданными ветровыми нагрузками (информация предоставлена не полностью).



Рисунок 2.66 – Заданная ветровая нагрузка на каркас здания

Задание поверхностных нагрузок под воздействием снега

С целью задания поверхностных нагрузок под воздействием снега необходимо назначить актуальный технический этаж. Для этого воспользуемся кнопкой ,

расположенной на панели инструментов (рисунок 2.67).

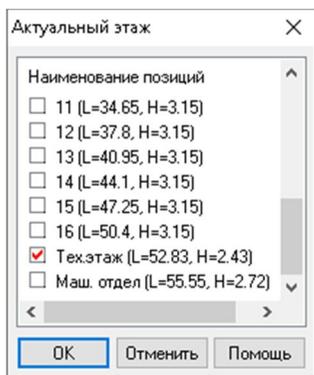


Рисунок 2.67 – Диалоговое окно выбора актуального этажа

Для определения снеговой нагрузки используем встроенный модуль «**Определение снеговой нагрузки**» и данные СП 20.13330.2011. Для этого воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Исходные данные и результаты расчета снеговой нагрузки представлены на рисунке 2.68.

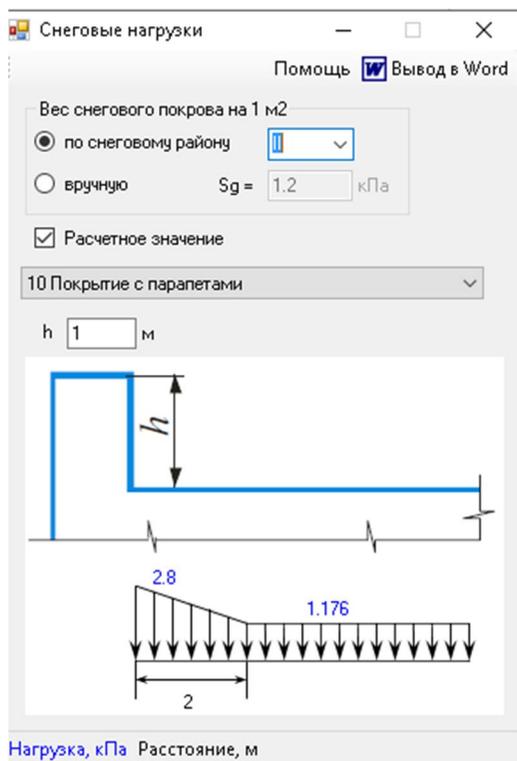


Рисунок 2.68 – Исходные данные и результаты расчета снеговой нагрузки

Снеговую нагрузку (снеговые мешки) учитываем упрощенно.

Для задания снеговой нагрузки на плиту покрытия технического этажа воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов.

Далее в окне бокового меню выбираем **Установить на позицию**. В окне выбора нажимаем кнопку «**Характеристики**» и осуществим задание значений временных поверхностных нагрузок (рисунок 2.69).

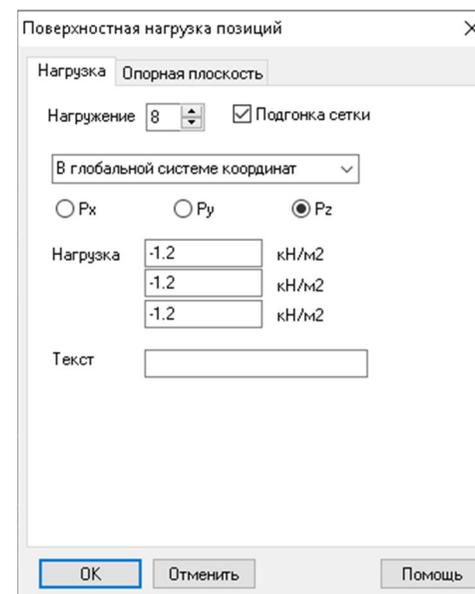


Рисунок 2.69 – Задание поверхностных нагрузок

Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

На рисунке 2.70 представлен каркас с заданной снеговой нагрузкой на плиту покрытия технического этажа.

Аналогично выполните установку снеговой нагрузки на плиту покрытия машинного отделения.

На рисунке 2.71 представлен каркас с заданной снеговой нагрузкой.

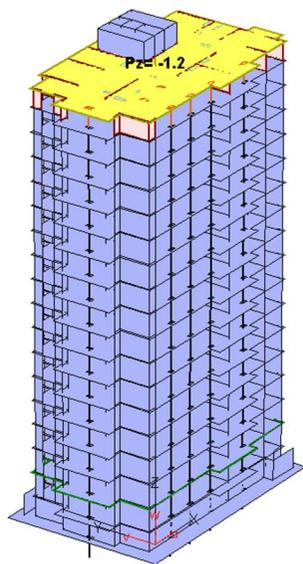


Рисунок 2.70 – Отображение каркаса с заданной снеговой нагрузкой на плиту покрытия технического этажа

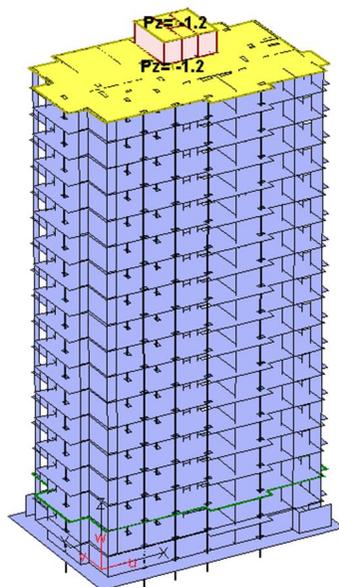


Рисунок 2.71 – Отображение каркаса с заданной снеговой нагрузкой

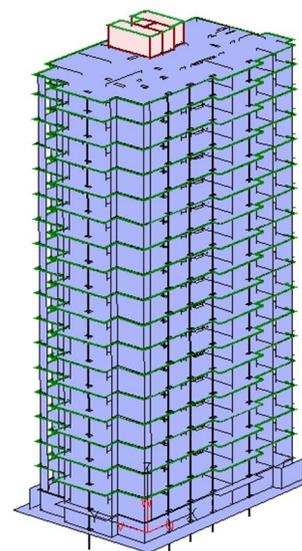


Рисунок 2.72 – Схема каркаса здания с заданными недостающими линейными опорами

Задание недостающих линейных опор

Задание недостающих линейных опор на плитах перекрытиях и покрытиях осуществляется аналогично заданию линейных опор. На рисунке 2.72 показано отображение каркаса здания с заданными недостающими линейными опорами

Задание свойств грунтового основания

Выполним задание свойств грунтового основания.

С целью задания свойств грунтового основания воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее в появившемся диалоговом окне указываем характеристики грунтов основания, представленные на рисунке 2.73.

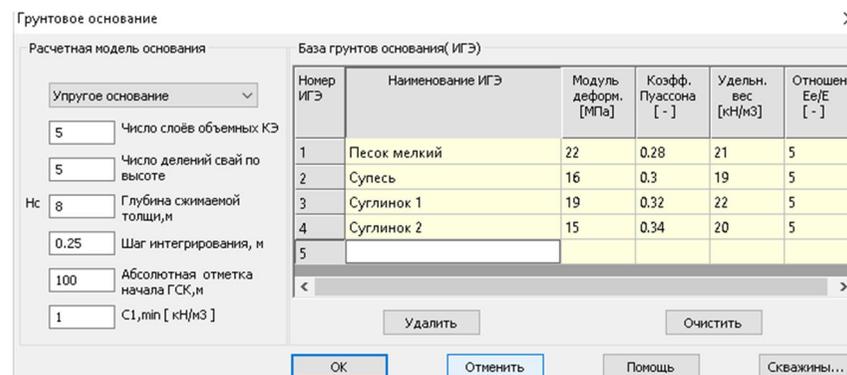


Рисунок 2.73 – Характеристики грунтов основания

Для задания инженерно-геологического элемента в скважинах нажимаем кнопку **Скважины...** и задаем свойства (рисунок 2.74). Для завершения ввода нажимаем кнопку **«ОК»**.

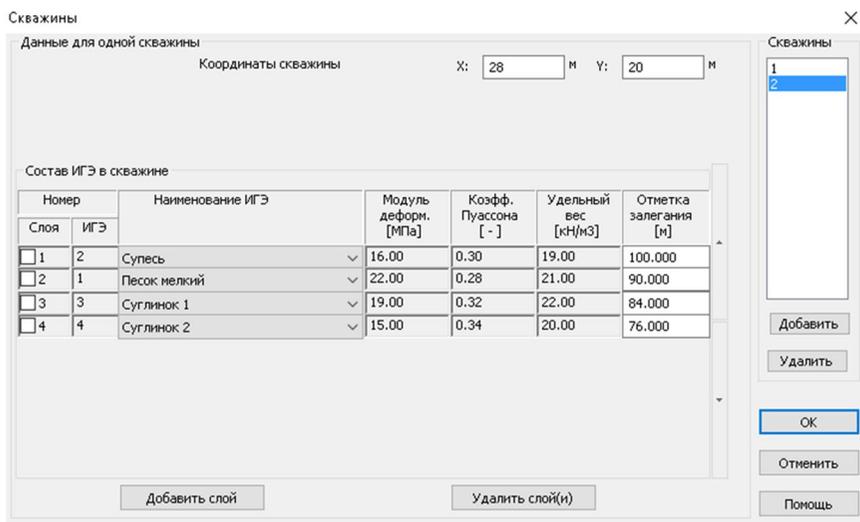
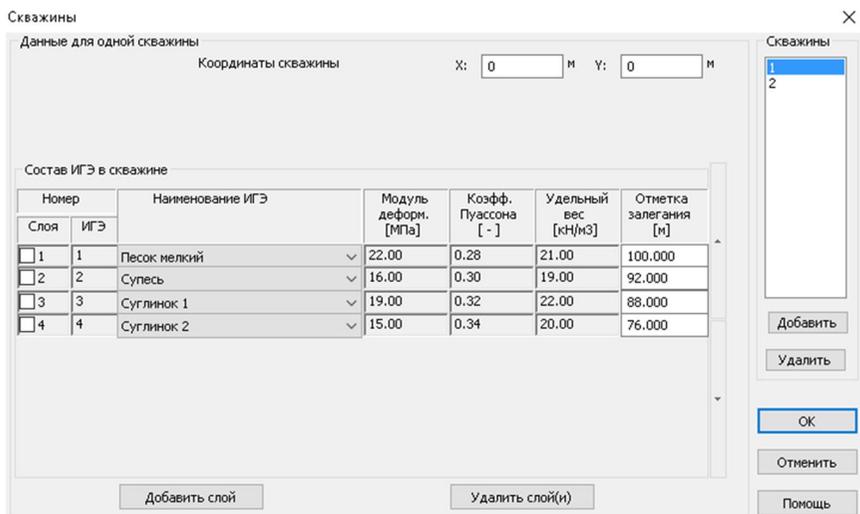


Рисунок 2.74 – Заданные свойства инженерно-геологического элемента в скважинах

2.15 Сохранение проекта

С целью сохранения проекта воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее в появившемся диалоговом окне задаем следующие характеристики проекта (рисунок 2.75).

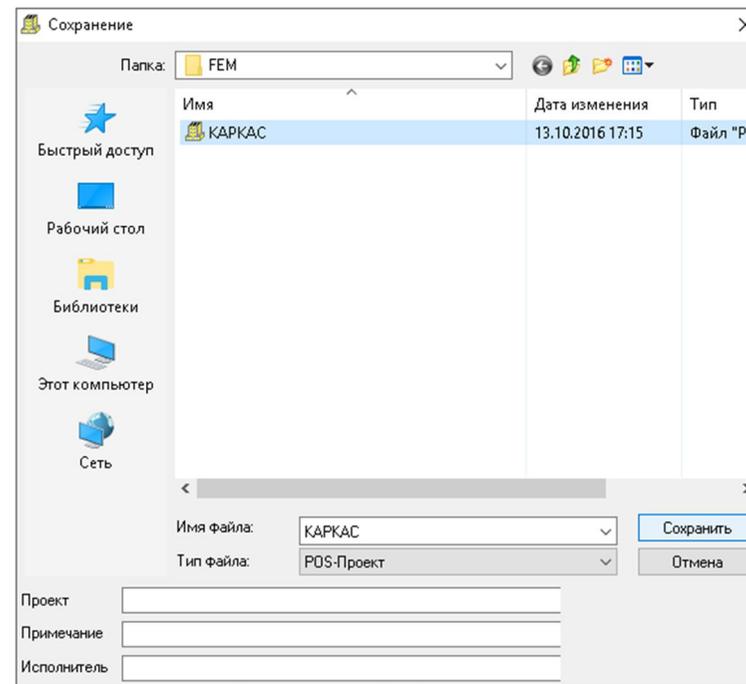


Рисунок 2.75 – Сохранение проекта

2.16 Генерация конечно-элементной сетки

Выбираем пункты верхнего меню: **Полный** → **Вставка**. Далее в окне бокового меню выбираем **Слияние** → **Генерация конечно-элементного (КЭ) проекта** → **Отметить все Частичные проекты** → **Генерация КЭ-сетки**. В появившемся диалоговом окне задаем параметры для генерации КЭ-сетки, представленные на рисунке 2.76. Для завершения ввода нажимаем кнопку **«ОК»**.

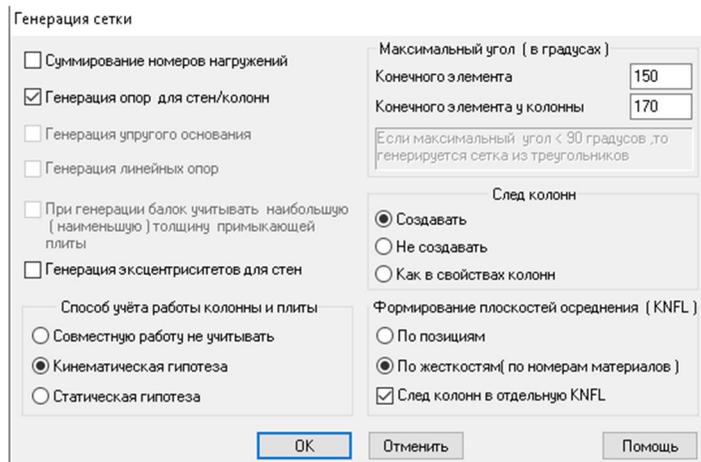


Рисунок 2.76 – Параметры для генерации конечно-элементной сетки

Далее в диалоговом окне назначаем имя модели, полученной при генерации КЭ-сетки (рисунок 2.77).

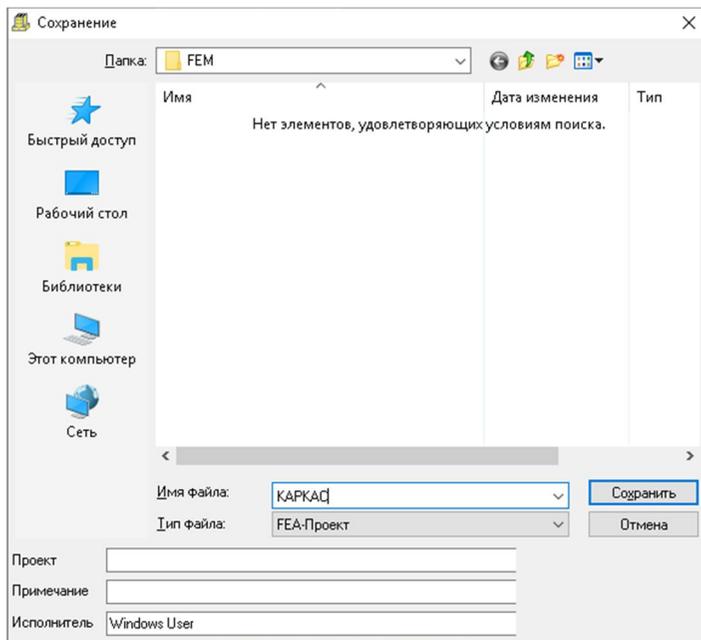


Рисунок 2.77 – Диалоговое окно сохранения проекта

Результат генерации КЭ-сетки представлен на рисунке 2.78.

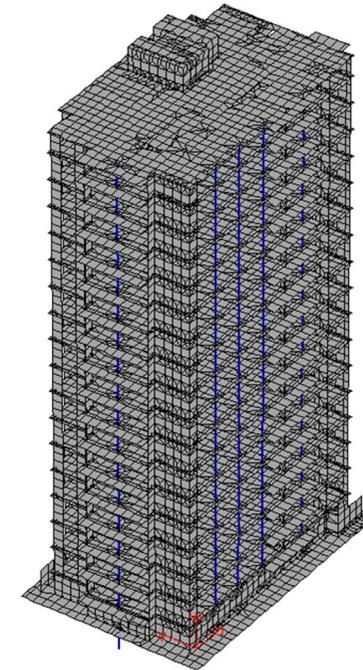


Рисунок 2.78 – Отображение сгенерированной конечно-элементной сетки

2.17 Удаление фиктивных элементов

Для удаления фиктивных колонн, расположенных ниже уровня фундаментной плиты, воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее в окне выбора нажимаем кнопки со следующими командами (рисунок 2.79).

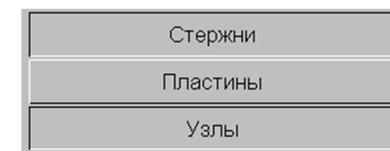


Рисунок 2.79 – Окно выбора

С помощью включенных кнопок **Box** и **Krz** удаляем вышеперечисленные элементы (рисунок 2.80).

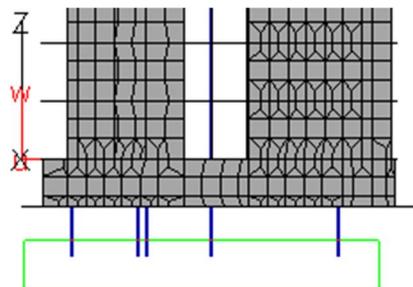


Рисунок 2.80 – Удаление фиктивных элементов

С этой целью воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее в рабочем окне посредством кнопки **EinZ** выбираем фундаментную плиту (рисунок 2.81).

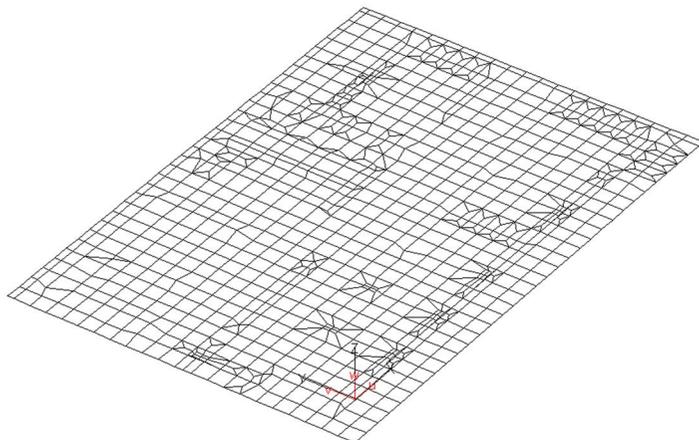


Рисунок 2.81 – Выбранный фрагмент фундаментной плиты

Далее необходимо удалить абсолютно твердые тела. Для этого выбираем пункты верхнего меню: **Редактировать** → **Связи** → **Абсолютно твердые тела**. Далее в окне бокового меню нажимаем кнопку → **Удалить узлы** (рисунок 2.82).

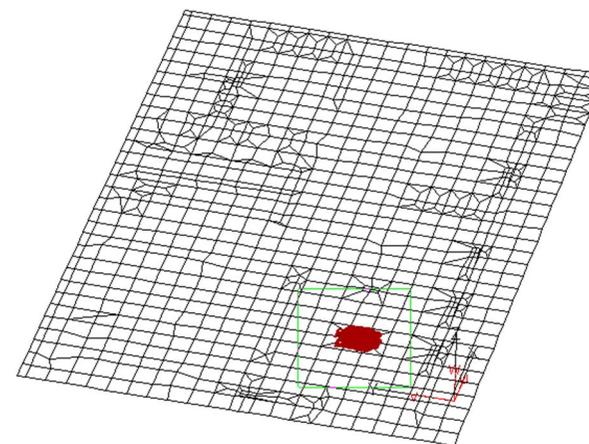


Рисунок 2.82 – Удаление абсолютно твердых тел

2.18 Установка недостающих связей

Действие динамических нагрузок рассчитывают для абсолютно жесткого основания, поэтому устанавливают недостающие связи. С этой целью воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее в окне выбора иницируем следующие команды (рисунок 2.83).



Рисунок 2.83 – Окно выбора

Недостающие связи устанавливают при помощи включенной кнопки **Box** (рисунок 2.84).

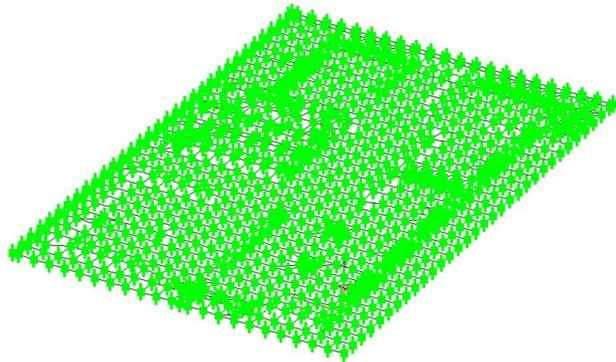


Рисунок 2.84 – Установка недостающих связей

2.19 Задание комбинаций нагрузок

С целью задания комбинаций выбираем пункты верхнего меню **Комбинации** → **Новая** и в каждом номере нагружений устанавливаем **1** (рисунок 2.85).

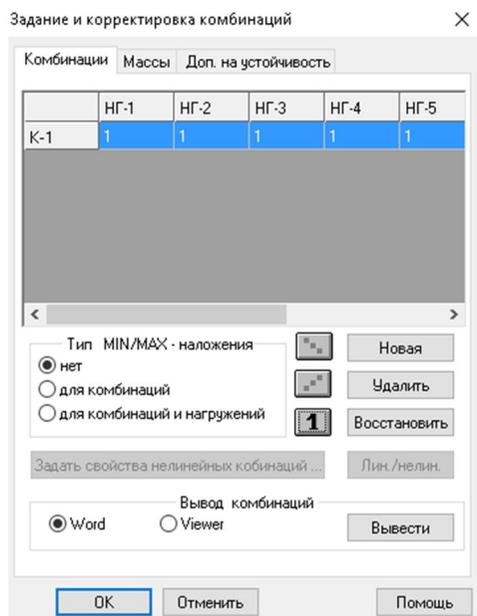


Рисунок 2.85 – Диалоговое окно по заданию комбинаций нагрузок

2.20 Статический расчет конструкций

Для статического расчета конструкций необходимо воспользоваться кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее подтверждаем сохранение созданного проекта. В диалоговом окне Параметры расчета назначаем характеристики (рисунок 2.86).

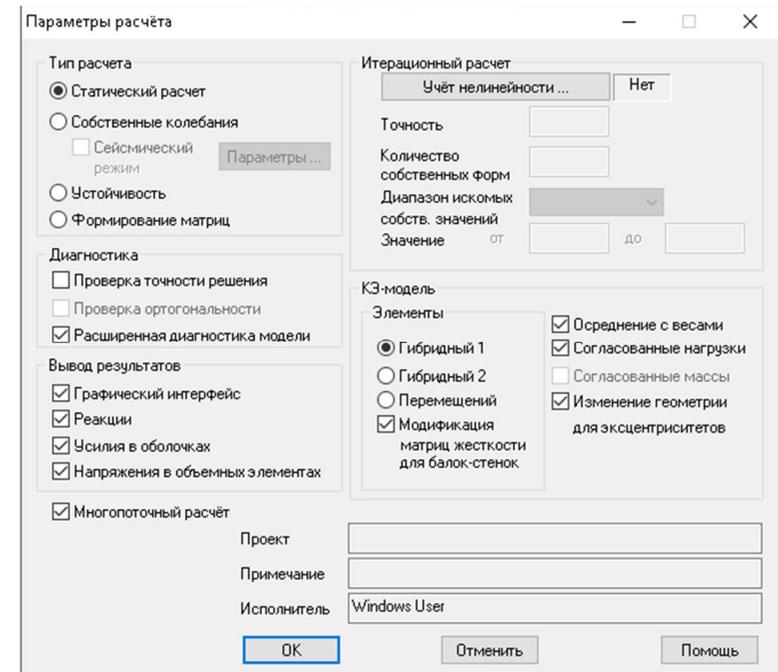


Рисунок 2.86 – Диалоговое окно параметров расчета

Статический расчет в методе конечных элементов сводится к решению системы линейных уравнений вида

$$K \cdot U = P_1,$$

где K – матрица жесткости;
 U – вектор узловых перемещений;
 P – вектор нагрузок.

В STARK ES задача решается для нескольких различных векторов нагрузки P_i .

В случае линейного статического расчета вектор P_i соответствует i -му случаю нагружения. При нелинейном статическом расчете вектор P_i соответствует i -й комбинации нагружений.

2.21 Преобразование ветровой нагрузки в узловую

Для выбора параллельных плоскостей (фундаментной плиты, плит перекрытия и покрытий) воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее с помощью кнопки  выбираем параллельную плоскость (рисунок 2.87).

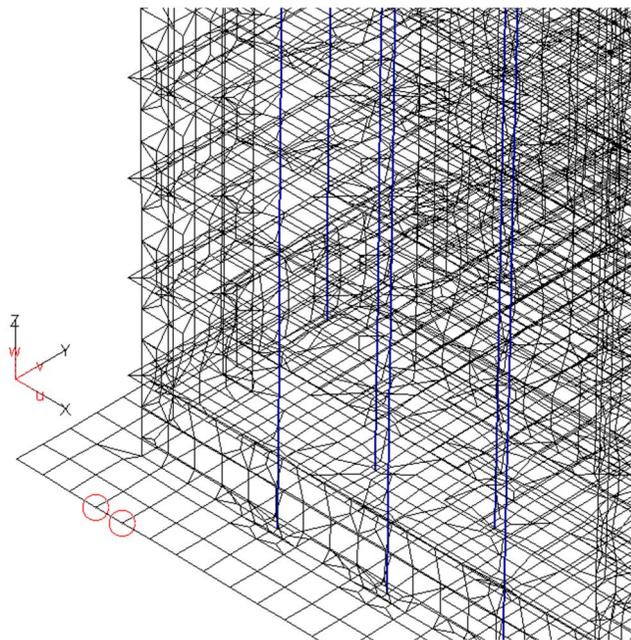


Рисунок 2.87 – Отображение выбранной параллельной плоскости

На рисунке 2.88 представлены выбранные параллельные плоскости фундаментной плиты, плит перекрытия и покрытия.

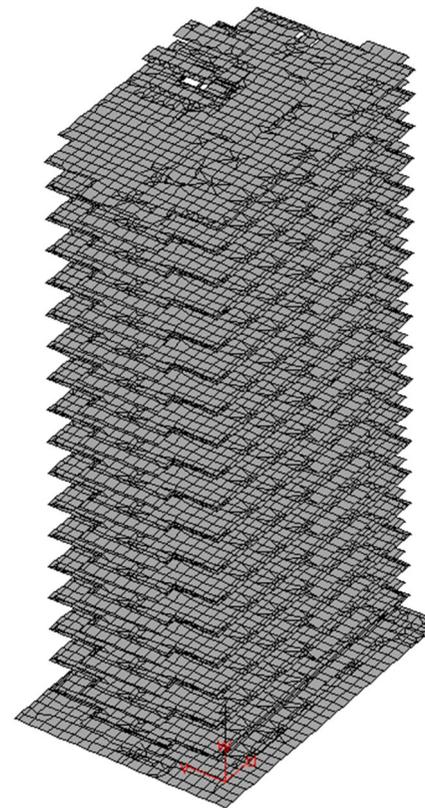


Рисунок 2.88 – Отображение выбранных параллельных плоскостей

Исключаем из рассмотрения фундаментную плиту и плиту перекрытия подвального этажа с помощью кнопки , так как к ним не приложена линейная ветровая нагрузка. Далее посредством кнопки  выбираем исключаемые плоскости (рисунок 2.89).

На рисунке 2.90 представлены оставшиеся плиты перекрытия и покрытия.

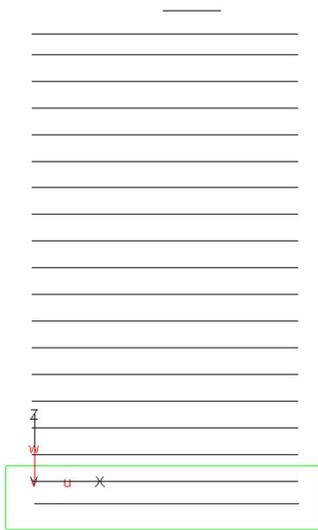


Рисунок 2.89 – Выбор исключаемых плоскостей

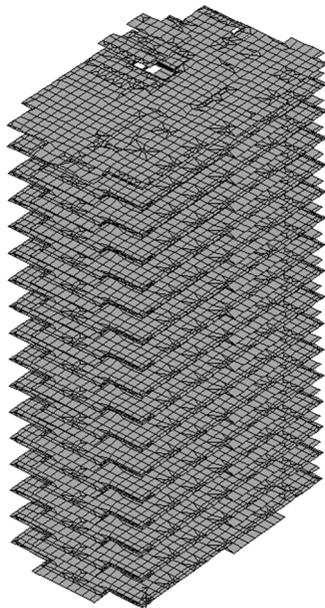


Рисунок 2.90 – Отображение плиты перекрытия и покрытия

Выбираем узлы на параллельных плоскостях плит перекрытий и покрытий с помощью кнопки , расположенной на панели инструментов. Далее в окне бокового меню выбираем **Импорт реакций**, в окне выбора → **Отметить**. Помощью кнопки  выбираем узлы для генерации узловой нагрузки по направлению воздействия ветра вдоль оси **Y** (рисунок 2.91).

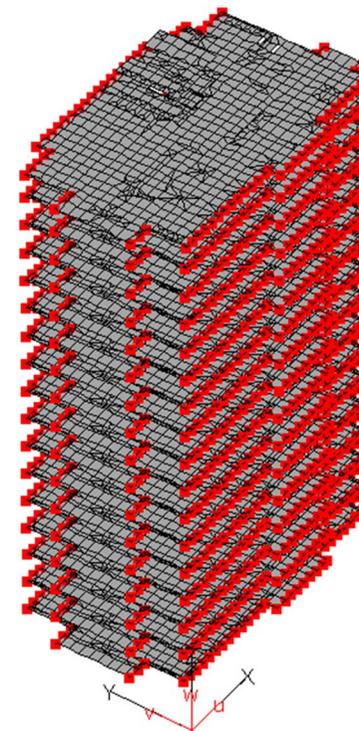


Рисунок 2.91 – Отображение выбранных узлов для генерации узловой нагрузки

Далее в окне выбора нажимаем кнопку **Диалог**. В появившемся диалоговом окне задаем следующие параметры для генерации узловой нагрузки от ветрового воздействия по направлению вдоль оси **Y** (рисунок 2.92).

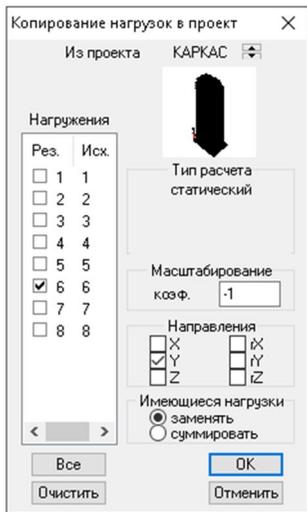
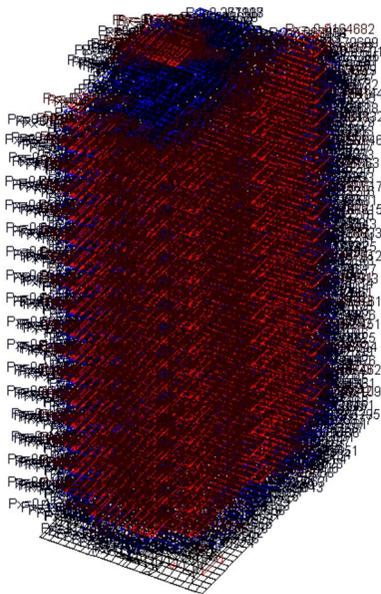


Рисунок 2.92 – Генерации узловой нагрузки



Аналогично проводим генерацию узловых нагрузок с подветренных сторон здания (вдоль **X**) в нагружении 6, далее – с наветренной и подветренной сторон от воздействия ветра вдоль оси **X** в нагружении 7.

На рисунке 2.93 представлены сгенерированные узловые нагрузки от воздействия ветра.

Рисунок 2.93 – Отображение узловых нагрузок под воздействием ветра

2.22 Удаление линейных ветровых нагрузок

С целью недопущения двойного учета ветровой нагрузки по направлениям **X** и **Y** удалим линейную ветровую нагрузки с помощью кнопки , расположенной на панели инструментов. Далее в окне бокового меню выбираем **удалить**. В окне выбора назначаем следующие параметры (рисунок 2.94).



Рисунок 2.94 – Окно выбора

Далее с помощью кнопки  удаляем линейные нагрузки по направлению воздействия ветра вдоль оси **Y** (рисунок 2.95).

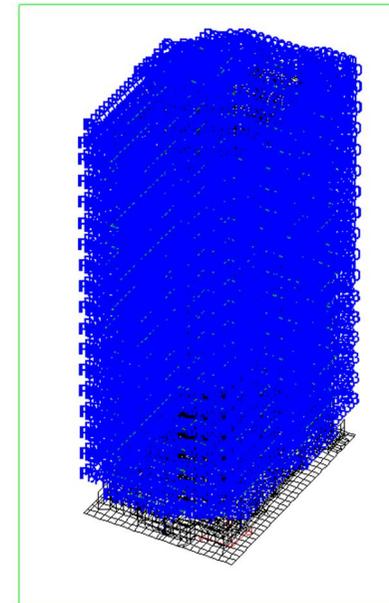


Рисунок 2.95 – Отображение удаленной линейной нагрузки

Аналогично удаляем линейную ветровую нагрузку по направлению воздействия ветра вдоль оси X (нагружение 7).

2.23 Удаление линейных опор

С целью удаления линейных опор воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов, далее в окне бокового меню выбираем **удалить**, с помощью кнопки  удаляем фиктивные линейные опоры (рисунок 2.96).

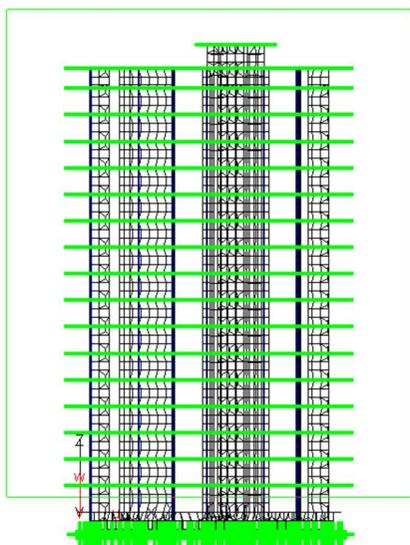


Рисунок 2.96 – Удаление фиктивных линейных опор

2.24 Создание комбинаций нагружений для расчета собственных колебаний

Расчет собственных колебаний погружений выполняют для каждого расчетного случая. Ниже рассмотрен один расчетный случай (без учета ветровой и с учетом снеговой нагрузок). Коэффициенты перехода от расчетной нагрузки к нормативной массе (К-1):

НГ-1 – 0,091;

НГ-2 – 0,078;
 НГ-3 – 0,085;
 НГ-4 – 0,078;
 НГ-5 – 0,085;
 НГ-6 – 0;
 НГ-7 – 0;
 НГ-8 – 0,073.

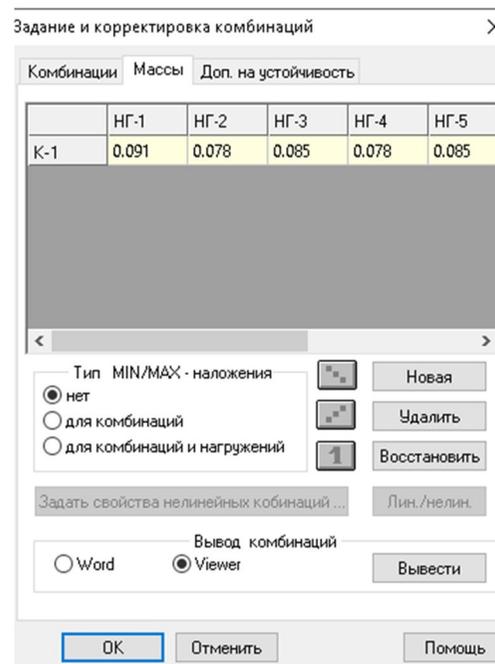


Рисунок 2.97 – Задание корректирующих коэффициентов

В окне верхнего меню выбрать **Комбинации**, далее – **Массы**. Задаем корректирующие коэффициенты перехода от расчетной нагрузки к нормативной массе (рисунок 2.97).

При расчете каркаса здания на действие динамических нагрузок (пульсацию ветра и сейсмические воздействия) в расчетную схему необходимо ввести ряд изменений:

- скорректировать свойства материалов, в частности значения плотности.

При создании позиционной модели указывают расчетные значения плотности материала. Расчет собственных форм и частот колебаний выполняют относительно нормативных значений инерционных характеристик с учетом соответствующих расчетных случаев:

- расчет на действие динамических нагрузок выполняют при абсолютно жестком основании;

– для учета инерционных масс, которыми обладают перечисленные нагрузки (полезная, постоянная, от веса ограждающих конструкций и снегового покрова), необходимо создать комбинацию нагружений введением корректирующих коэффициентов перехода от расчетной нагрузки к нормативной массе по формуле

$$k = \frac{1}{\gamma_f \cdot g'}$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый по данным таблицы 7.1 и п. 8.2.2 и 10.12 СП 20.13330. 2011;
 g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

2.25 Редактирование свойств материала

Для редактирования свойств материалов воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее изменяем значение R_{ho} с 2,75 на 2,5, переключая номера материалов (рисунок 2.98).

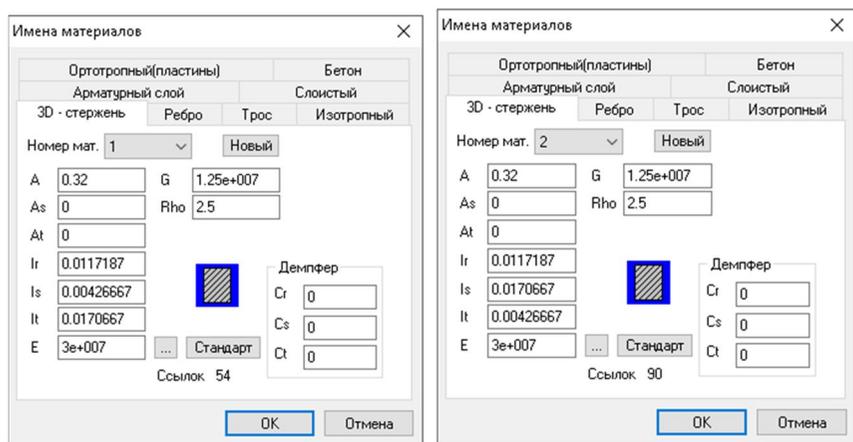


Рисунок 2.98 – Редактирование свойств материалов

Аналогично изменяем значение R_{ho} изотропных материалов.

3 ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

3.1 Расчет значений собственных колебаний

Для расчета собственных значений колебаний воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее подтверждаем сохранение проекта и задаем параметры расчета (рисунок 3.1)

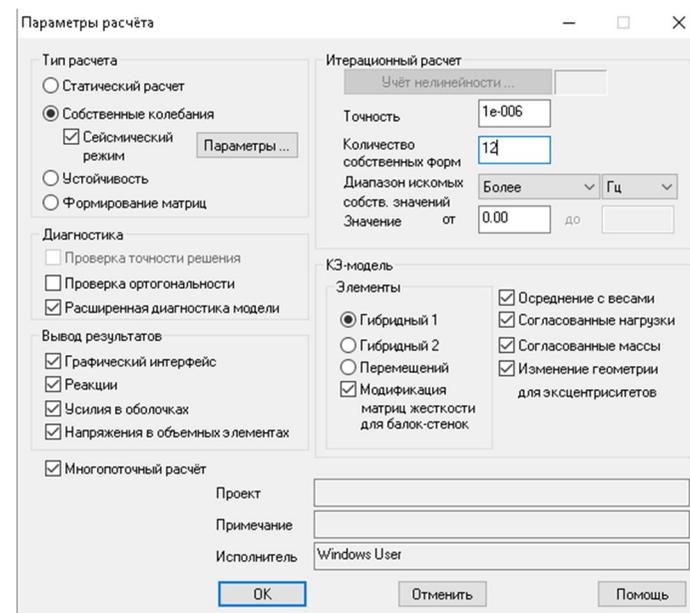


Рисунок 3.1 – Задание исходных данных для расчета собственных значений колебаний

Собственное значение колебаний должно быть равно 12. Оно обусловлено тем, что необходимо учитывать минимум три формы в каждом из направлений, плюс крутильные формы. Количество форм будет уточнено по результатам анализа модальных масс.

Опция «Многопоточный расчет» включает параллельный процесс вычислений на многоядерных компьютерах, что

позволяет сократить общее время расчета больших по объему задач.

Опция «**Модификация матриц жесткости для балок-стенки**» показывает, что используются конечные элементы, построенные на основе модифицированной вариационной постановки задачи, включающей независимое поле вращений. Оно вводится для устранения фиктивного состояния с нулевой энергией и ненулевыми перемещениями. Дополнительно это позволяет правильно воспроизводить вращения в плоскости конструкции.

Опция «**Осреднение с весами**» показывает, что при получении узловых мембранных напряжений используются весовые коэффициенты, вычисляемые отдельно для каждого элемента.

В опции «**Согласованные нагрузки** показывает» учитываются распределенные нагрузки на элементы с использованием функций форм. Если эта опция отключена, то распределенные нагрузки распространяются по узлам конечных элементов равномерно. При включенной опции расчет максимально точен.

Опция «**Согласованные массы**» аналогична опции «**Согласованные нагрузки**» и определяет способ построения матрицы распределенных масс. Если опция отключена, то создается диагональная матрица масс, в противном случае – недиагональная.

Собственные колебания рассчитываются посредством решения задачи следующего вида

$$(K - \omega_i^2 \cdot M) \cdot \vec{V}_i = 0,$$

где K – матрица жесткости системы;

M – матрица масс;

ω_i – i -я собственная частота;

\vec{V}_i – вектор перемещений для i -й собственной формы.

Перед запуском опции расчет задается количеством определяемых частот и форм. Для решения обобщенной задачи по

собственным значениям применяется метод итераций подпространства. Поэтому необходимо также задать максимальное количество итераций до достижения точности собственных значений, при котором расчет прекращается.

3.2 Анализ результатов расчета форм собственных колебаний

Анализ результатов формы и частоты колебаний сооружения позволяет сделать вывод о грамотности принятого конструктивного решения, об ограниченности жесткости конструктивных элементов или числа диафрагм жесткости. Для просмотра результатов нажмите кнопку , расположенную на панели инструментов. В окне выбора задаем следующие параметры (рисунок 3.2).

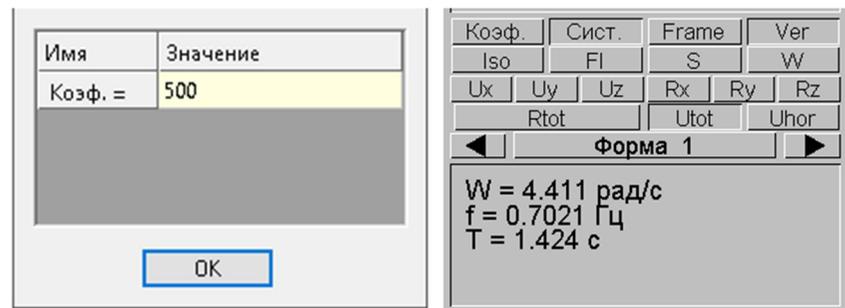


Рисунок 3.2 – Задание параметров для анализа

В рабочем окне отобразится первая форма колебаний каркаса здания (рисунок 3.3).

Далее аналогично проанализируем вторую и третью формы собственных колебаний.

Следует стремиться к тому, чтобы первые две формы колебаний не были крутильными. В этом примере кручение наблюдается в первой форме, что свидетельствует о не совсем удачном конструктивном решении.

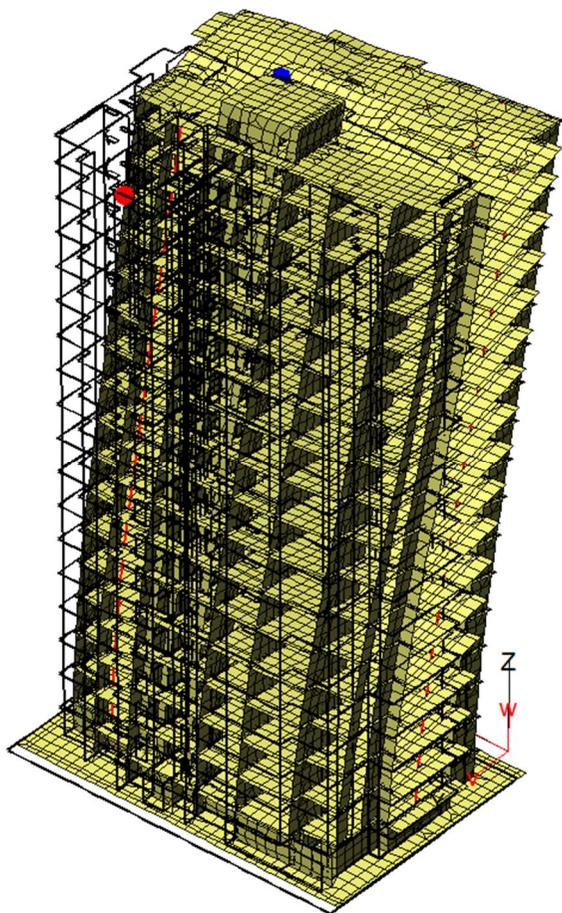


Рисунок 3.3 – Отображение первой формы собственных колебаний

С целью анализа значений периода и частот собственных колебаний по формам нажимаем кнопку , расположенную на панели инструментов, далее в окне бокового меню выбираем **Таблицы**. В появившемся диалоговом окне задаем следующие параметры (рисунок 3.4).

Далее в окне выбора нажимаем **Отметить**, выбираем узел на плите покрытия (рисунок 3.5).

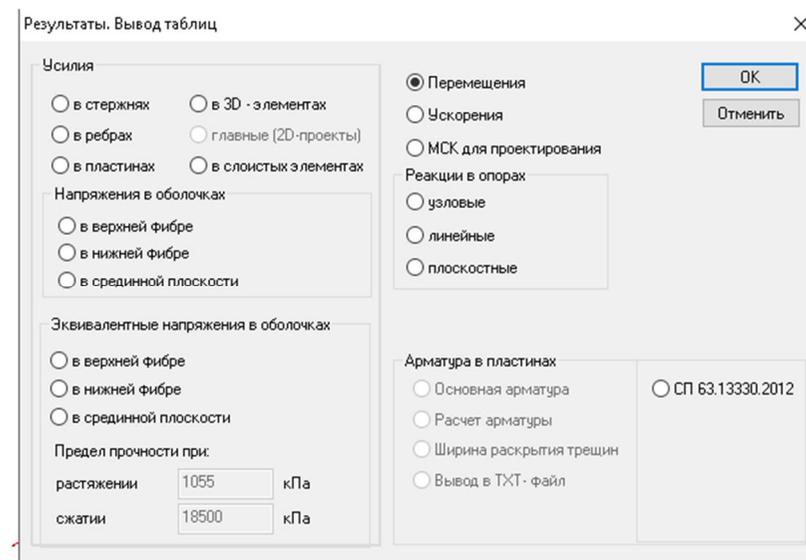


Рисунок 3.4 – Задание параметров для анализа

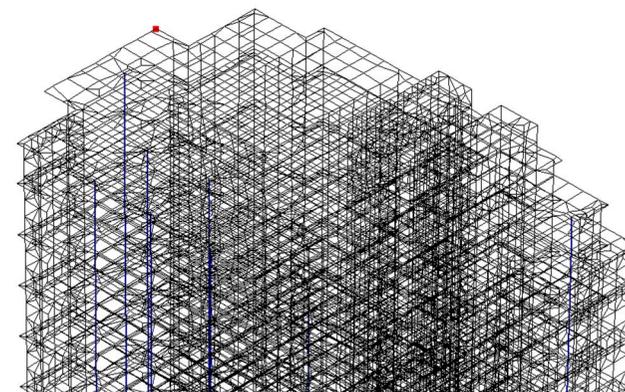


Рисунок 3.5 – Выбор анализируемого узла

Далее в окне выбора нажимаем **Вывести**, в появившемся диалоговом окне нажимаем кнопку «**ОК**» для вывода параметров во Viewer (рисунок 3.6).

Вывод результатов собственных колебаний и перемещений в точке представлен в таблицах 3.1 и 3.2.

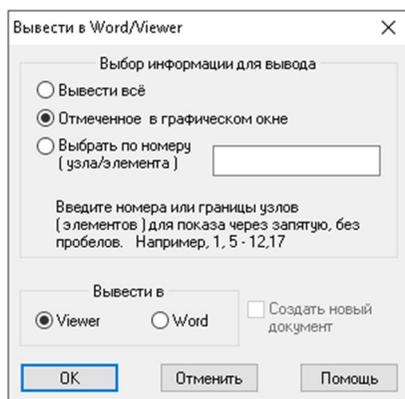


Рисунок 3.6 – Вывод параметров во Viewer

Таблица 3.1 – Результаты собственных колебаний

Форма	Собственные частоты		
	W , рад/с	f , Гц	T , с
1	4,41	0,70	1,42
2	4,61	0,73	1,36
3	5,33	0,85	1,18
4	12,70	2,02	0,49
5	12,94	2,06	0,49
6	25,07	3,99	0,25
7	45,70	7,27	0,14
8	46,54	7,41	0,14
9	57,47	9,15	0,11

Таблица 3.2 – Перемещения

Форма	Перемещения					
	U_x , мм	U_y , мм	U_z , мм	R_x , рад 1.Е3	R_y , рад 1.Е3	R_z , рад 1.Е3
1	3,103	20,469	0,329	0,104	0,010	-0,290
2	-15,012	3,385	-0,809	0,051	-0,179	-0,084
3	-4,774	-17,805	-0,179	-0,080	-0,022	1,335
4	-2,420	-13,802	-0,865	-0,251	-0,045	0,167
5	11,764	-1,161	2,115	-0,078	0,488	-0,053
6	-13,688	-12,261	-4,070	-0,421	-0,806	0,449
7	-11,890	-13,770	-15,280	0,216	-2,079	0,617
8	-6,429	-5,816	15,966	-1,962	0,923	0,246
9	1,417	0,169	-11,185	1,347	-1,659	-0,021

3.3 Расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки

Для расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки необходимо воспользоваться кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета, так как значения частоты собственных колебаний по второй форме $f_2 = 0,73$ Гц, а предельное значение, установленное согласно данным таблицы 11.5 СП 20.13330.2011 $f_1 = 1,4$ Гц, выполним расчет (рисунок 3.7).

Согласно п. 11.1.11 СП 20.13330.2011 значения ρ (R_o) и χ (H_i), которые должны быть заданы пользователем в диалоговом окне, принимаются в зависимости от размеров здания и направления ветрового потока (рисунок 3.8, таблица 3.3).

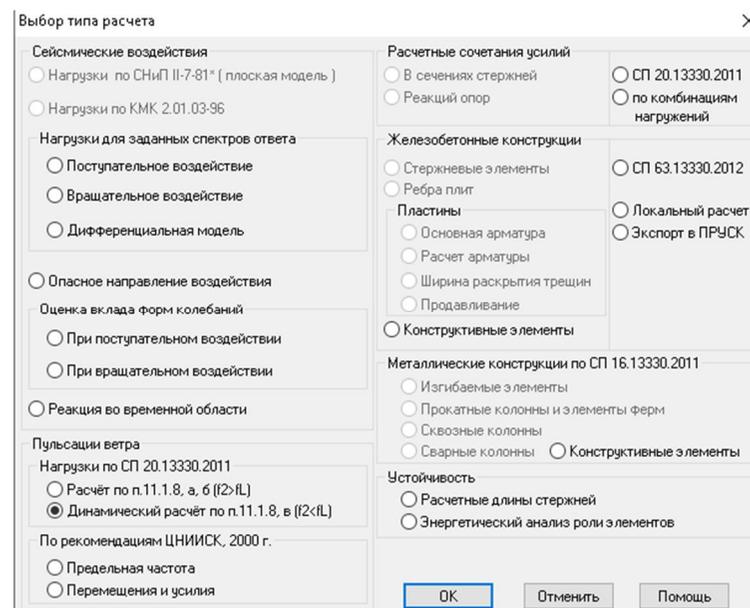


Рисунок 3.7 – Исходные данные к расчету пульсационной составляющей ветровой нагрузки

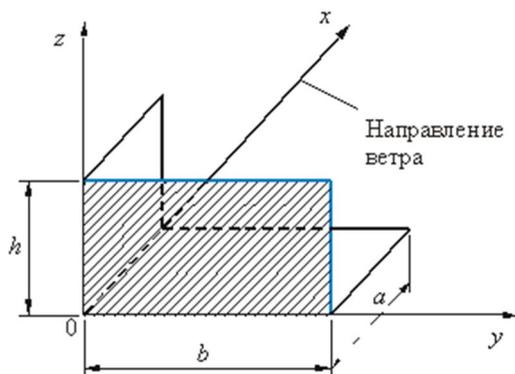


Рисунок 3.8 – Схема определения пульсации ветра

Таблица 3.3 – Параметры расчета

Направление ветра	Значения $\rho (R_o)$, м			Значения $\chi (H_i)$, м		
	по оси X	по оси Y	по оси Z	по оси X	по оси Y	по оси Z
Вдоль оси OX	b	$0,4a$	b	h	h	a
Вдоль оси OY	$0,4b$	a	a	h	h	b

Рисунок 3.9 – Параметры расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки

Рисунок 3.10 – Параметры расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки

В появившемся диалоговом окне задаем параметры для расчета (рисунок 3.9).

В результате расчета будут сформированы узловые нагрузки под номерами 9, 10, 11, соответствующие пульсациям вдоль оси Y (логарифмический декремент колебаний определяется согласно СП 20.13330.2011). Аналогично выполним расчет по определению нагрузок, соответствующих пульсациям вдоль оси X.

Параметры для расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки представлены на рисунке 3.10.

В результате расчета будут сформированы узловые нагрузки под номерами 12, 13, соответствующие пульсациям вдоль оси X.

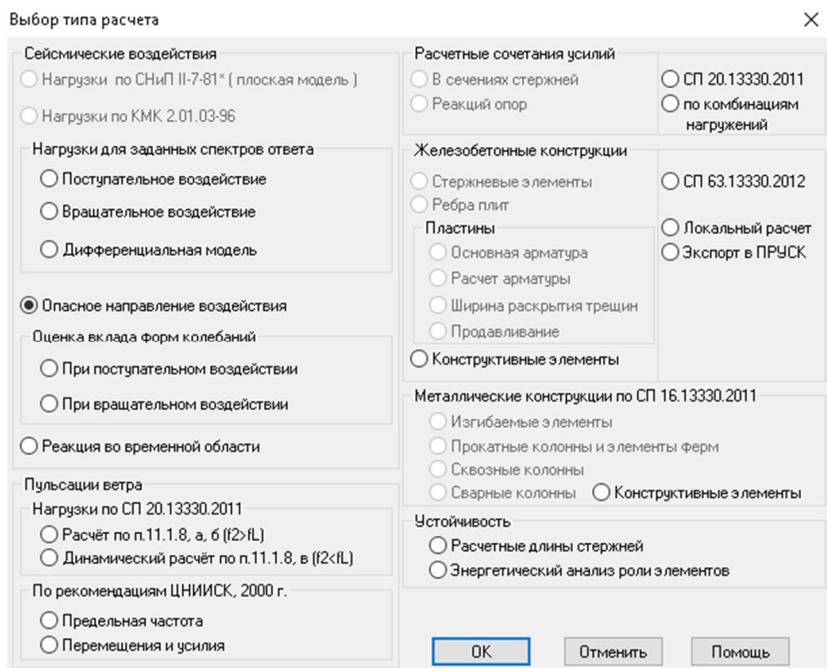
3.4 Определение сейсмических нагрузок

Выполним определение сейсмических нагрузок. Согласно п. 5.16 СП 14.1330.2014 при высоте здания менее 30 м вращательную составляющую допускается не учитывать, в связи с этим определим сейсмические нагрузки в результате поступательного воздействия.

При расчете показателей пригодности на сейсмическое воздействие необходимо учитывать, что во многих районах

его направление равновероятно. Поэтому необходимо определить расчетные направления воздействия. Рассмотрим три наиболее неблагоприятных направления поступательного сейсмического воздействия – два направления, соответствующие ориентации первых двух форм собственных колебаний каркаса, а также направление, при котором реализуется максимум динамической реакции конструкций здания при учете всех определенных собственных форм – наиболее опасное направление. Определим ориентацию этих направлений, а также выявим те формы, которые следует учитывать при расчете сейсмических нагрузок по этим направлениям воздействия.

Для расчета сейсмического воздействия используем расположенную на панели инструментов кнопку . Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 3.11).



Выбор типа расчета

Сейсмические воздействия

- Нагрузки по СНиП II-7-81* (плоская модель)
- Нагрузки по КМК 2.01.03-96

Нагрузки для заданных спектров ответа

- Поступательное воздействие
- Вращательное воздействие
- Дифференциальная модель

Опасное направление воздействия

Оценка вклада форм колебаний

- При поступательном воздействии
- При вращательном воздействии

Реакция во временной области

Пульсации ветра

Нагрузки по СП 20.13330.2011

- Расчёт по п.11.1.8, а, б (f₂>f_L)
- Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f₂<f_L)

По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.

- Предельная частота
- Перемещения и усилия

Расчетные сочетания усилий

- В сечениях стержней
- Реакций опор
- СП 20.13330.2011
- по комбинациям нагружений

Железобетонные конструкции

- Стержневые элементы
- Ребра плит
- СП 63.13330.2012

Пластины

- Основная арматура
- Расчет арматуры
- Ширина раскрытия трещин
- Продавливание
- Локальный расчет
- Экспорт в ПРУСК

Конструктивные элементы

Металлические конструкции по СП 16.13330.2011

- Изгибаемые элементы
- Прокатные колонны и элементы ферм
- Сквозные колонны
- Сварные колонны
- Конструктивные элементы

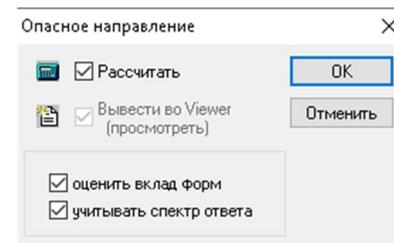
Устойчивость

- Расчетные длины стержней
- Энергетический анализ роли элементов

OK Отменить Помощь

Рисунок 3.11 – Исходные данные к расчету опасного направления воздействия сейсмических нагрузок

В появившемся диалоговом окне задаем следующие параметры (рисунок 3.12).



Опасное направление

Расчитать

Вывести во Viewer (просмотреть)

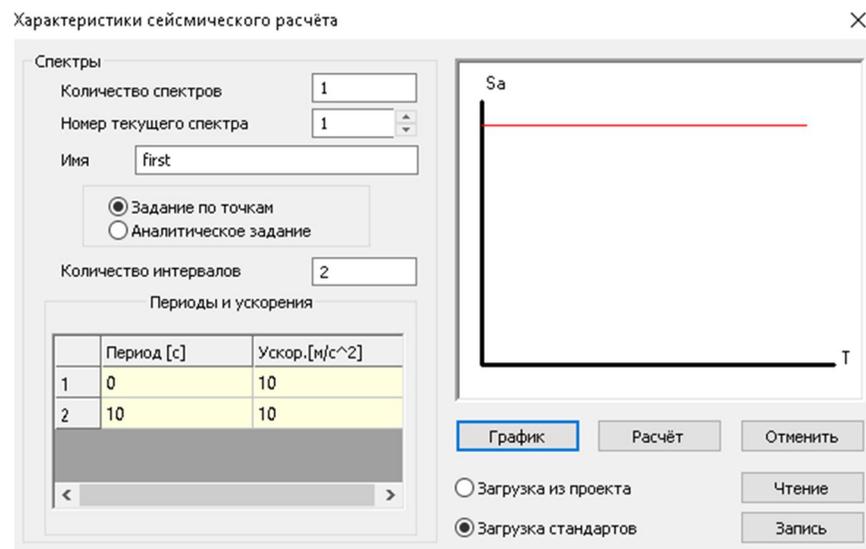
оценить вклад форм

учитывать спектр ответа

OK Отменить

Рисунок 3.12 – Параметры к расчету опасного направления воздействия сейсмических воздействий

Далее в появившемся диалоговом окне задаем параметр для загрузки файла, содержащего информацию о спектре (рисунок 3.13).



Характеристики сейсмического расчёта

Спектры

Количество спектров: 1

Номер текущего спектра: 1

Имя: first

Задание по точкам

Аналитическое задание

Количество интервалов: 2

Периоды и ускорения

	Период [с]	Ускор. [м/с ²]
1	0	10
2	10	10

График

Расчёт

Отменить

Загрузка из проекта

Загрузка стандартов

Чтение

Запись

Рисунок 3.13 – Параметр для загрузки файла спектра

В появившемся диалоговом окне выбираем файл SNiP_I, II. spa для грунтов I, II категорий согласно данным таблицы 1 СП 14.13330. 2014 (рисунок 3.14).

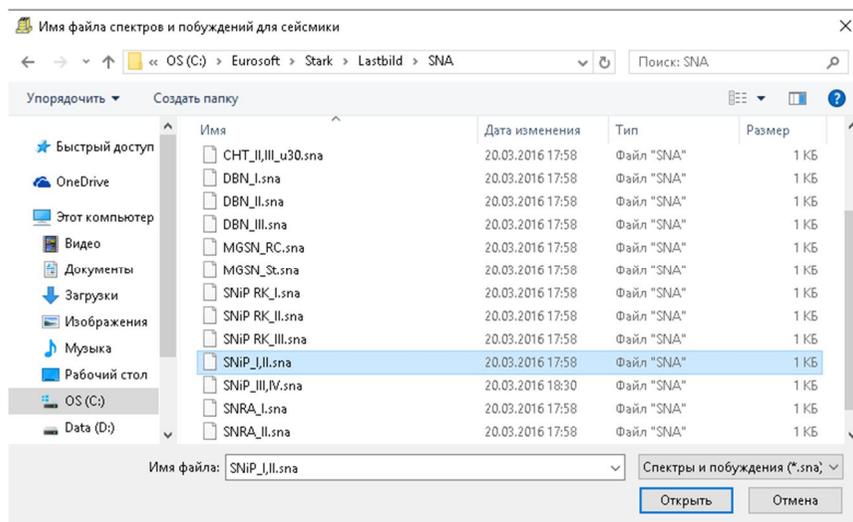


Рисунок 3.14 – Загрузка файла спектров и побуждений

В появившемся диалоговом окне загрузится файл с соответствующим спектром, далее выбираем **Расчет**.

В протоколе расчета с помощью программы Viewer проследим направления форм собственных колебаний и факторы их участия по неблагоприятным направлениям, bad dir – опасное направление по энергетическому критерию.

Характеристики расчетной системы:

- элементы – 28368;
- узлы – 24930;
- нагружения – 13;
- собственные формы – 9;
- консистентность масс – да.

Опасное направление сейсмического воздействия для расчета поступательного воздействия по результатам решения оптимизационной задачи:

- количество собственных форм – 9;
- угол, образованный осью OX – 0,575;
- угол, образованный плоскостью XOY – 0,123.

Направляющие косинусы (ориентация форм) для поступательного воздействия представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Направляющие косинусы для отдельных форм колебаний

Направление	Форма	OX	OY	OZ
1	Форма	0,021	0,999	0,000
2	Форма	-0,999	0,016	0,000
3	Форма	-0,031	0,999	0,000
4	Форма	0,025	0,999	0,000
5	Форма	-0,999	0,032	0,000
6	Форма	-0,986	-0,167	-0,001
7	Форма	0,006	0,000	-0,999
8	Форма	0,000	0,000	1,000
9	Форма	0,000	0,000	1,000
	Bad dir	0,491	0,871	0,002

Вклад отдельных форм колебаний на сейсмическую активность представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Вклад форм колебаний в определение сейсмических нагрузок

Номер направления	Номер формы	Период, с	Модальная масса, %	Вклад формы, %
1	1	1,4240	63,60	52,52
	2	1,3630	0,78	0,66
	3	1,1780	3,35	3,04
	4	0,4950	29,83	42,41
	5	0,4860	0,63	0,90
	6	0,2510	0,29	0,45
	7	0,1370	0,01	0,02
	8	0,1350	0,00	0,00
	9	0,1090	0,00	0,00
Сумма			= 98,49	100,00
2	1	1,4240	1,04	0,86
	2	1,3630	70,02	58,92
	3	1,1780	0,13	0,12
	4	0,4950	0,59	0,84

Для определения сейсмических нагрузок по рассчитанным направлениям воспользуемся кнопкой, расположенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 3.15).

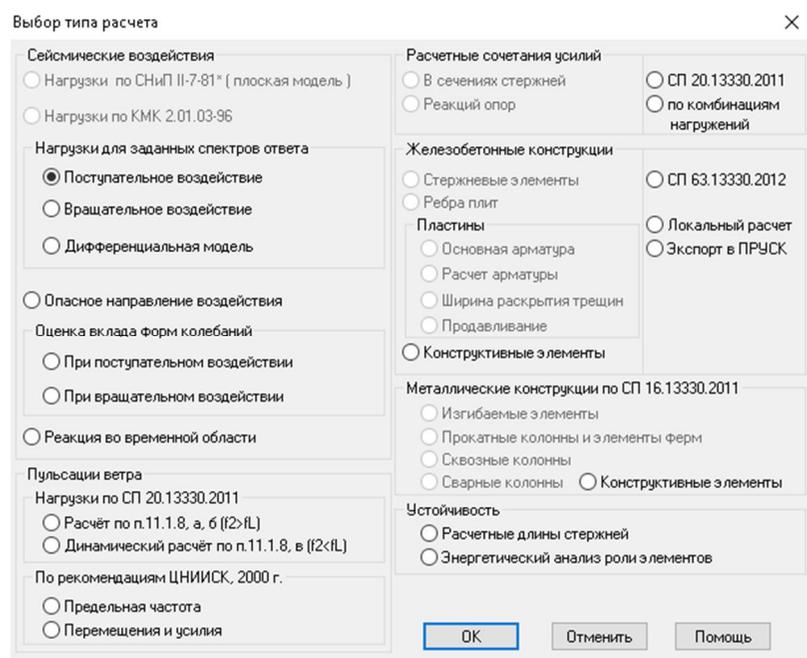
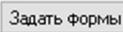


Рисунок 3.15 – Исходные данные к расчету сейсмических нагрузок

В появившемся диалоговом окне выбираем файл SNiP_I,II. sna. (рисунок 3.16), далее нажимаем кнопку **Открыть**.

Для вычисления величины амплитуды воспользуемся кнопкой , в появившемся диалоговом окне задаем следующие параметры (рисунок 3.17). Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

С целью определения направляющих косинусов сейсмического воздействия и отбора форм воспользуемся кнопкой , в появившемся диалоговом окне выбираем 1-е

направление сейсмического воздействия (рисунок 3.18). Для завершения ввода нажимаем кнопку «**ОК**».

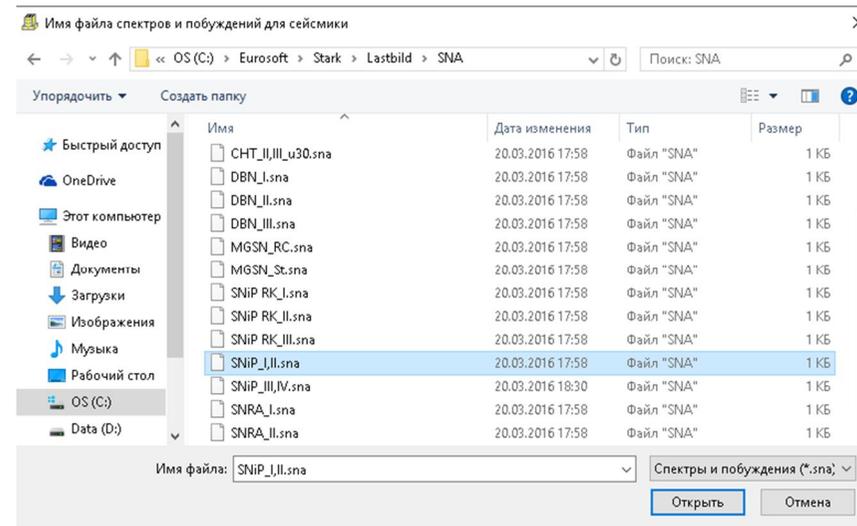


Рисунок 3.16 – Исходные данные к расчету сейсмических нагрузок

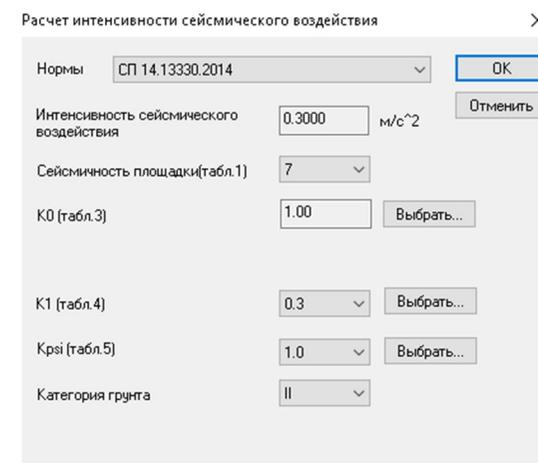


Рисунок 3.17 – Исходные данные к расчету амплитуды

Программа автоматически заполняет необходимые параметры (рисунок 3.19).

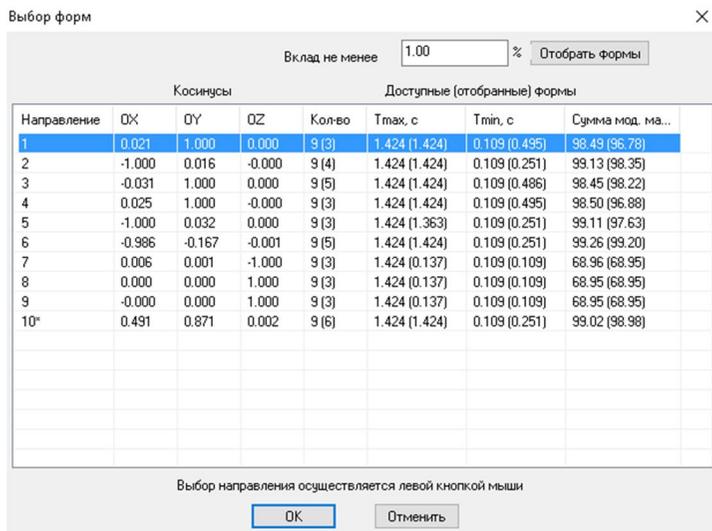


Рисунок 3.18 – Выбор первого направления сейсмического воздействия

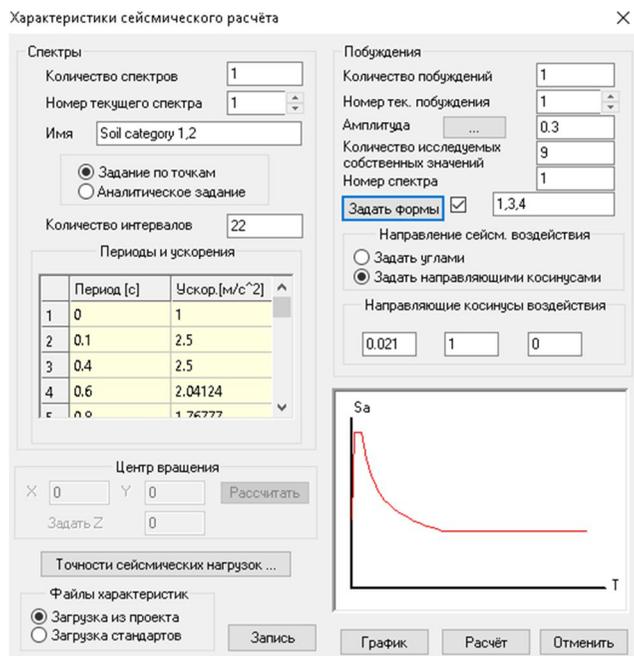


Рисунок 3.19 – Характеристики сейсмического расчёта

Программа отобрала 1, 3, 4 формы по первому направлению воздействия. При нажатии кнопки **Расчёт** программа автоматически формирует дополнительные номера нагружений НГ14; НГ15; НГ16 в соответствии с количеством отобранных форм.

На рисунке 3.20 представлены номера нагружений, соответствующие отобранным формам.

Аналогично выполним расчет по определению сейсмических нагрузок по второму и наиболее опасному направлениям сейсмического воздействия. Программа сформирует номера нагружений, соответствующие формам по указанным направлениям.

В результате расчета по второму направлению сейсмического воздействия были сформированы следующие номера нагружений: НГ17; НГ 18; НГ 19; НГ 20, по наиболее опасному направлению – НГ 21; НГ 22; НГ 23; НГ 24; НГ 25; НГ 26.

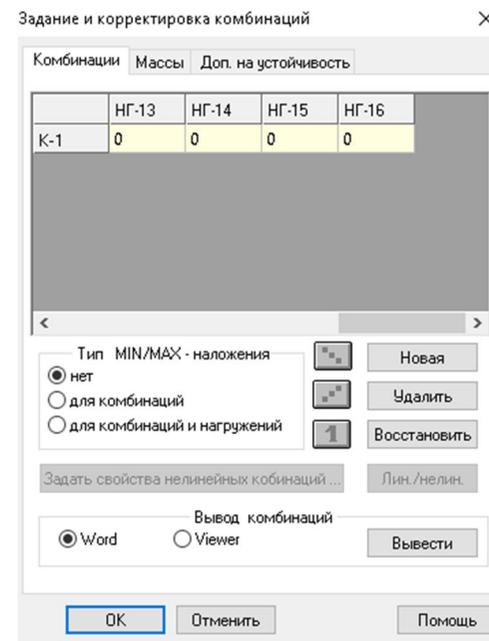


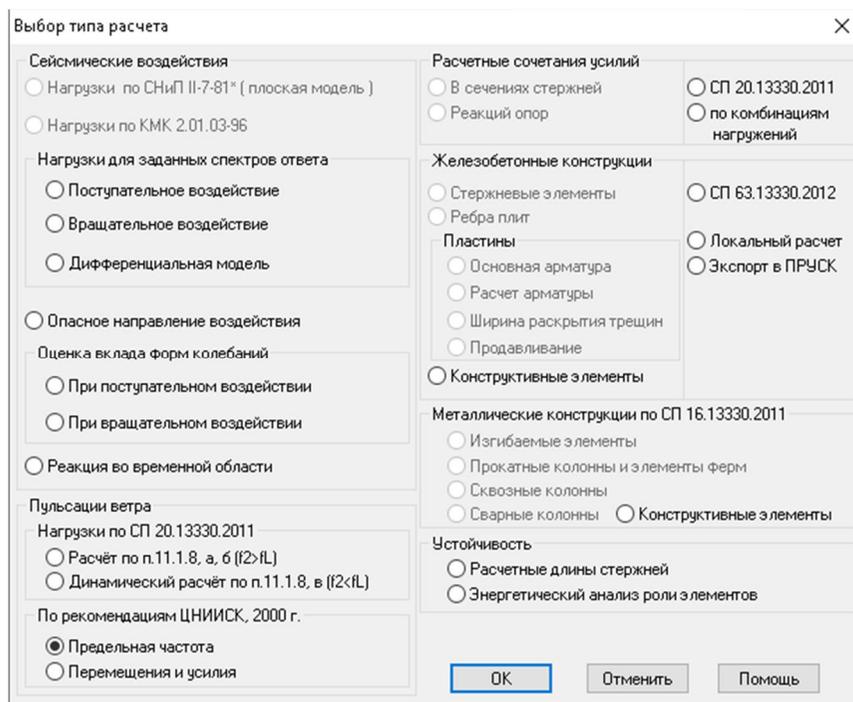
Рисунок 3.20 – Номера нагружений

3.5 Контроль ускорений колебаний при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки

Согласно разделу 11.4 СП 20.13330.2011 следует учитывать динамическую комфортность, при этом максимальное ускорение этажа здания не должно превышать величины

$$a_{c,max} = 0,08 \text{ м/с}^2.$$

Выполняем расчет предельной частоты по методике ЦНИИСК имени В. А. Кучеренко. Для этого воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 3.21). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».



Выбор типа расчета

Сейсмические воздействия

- Нагрузки по СНиП II-7-81* (плоская модель)
- Нагрузки по КМК 2.01.03-96

Нагрузки для заданных спектров ответа

- Поступательное воздействие
- Вращательное воздействие
- Дифференциальная модель

Опасное направление воздействия

Оценка вклада форм колебаний

- При поступательном воздействии
- При вращательном воздействии

Реакция во временной области

Пульсации ветра

Нагрузки по СП 20.13330.2011

- Расчёт по п.11.1.8, а, б ($f_2 > f_L$)
- Динамический расчёт по п.11.1.8, в ($f_2 < f_L$)

По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.

- Пределная частота
- Перемещения и усилия

Расчетные сочетания усилий

- В сечениях стержней
- Реакций опор

- СП 20.13330.2011
- по комбинациям нагрузжений

Железобетонные конструкции

- Стержневые элементы
- Ребра плит
- Пластины
 - Основная арматура
 - Расчет арматуры
 - Ширина раскрытия трещин
 - Продавливание
- Конструктивные элементы

- СП 63.13330.2012
- Локальный расчет
- Экспорт в ПРУСК

Металлические конструкции по СП 16.13330.2011

- Изгибаемые элементы
- Прокатные колонны и элементы ферм
- Сквозные колонны
- Сварные колонны
- Конструктивные элементы

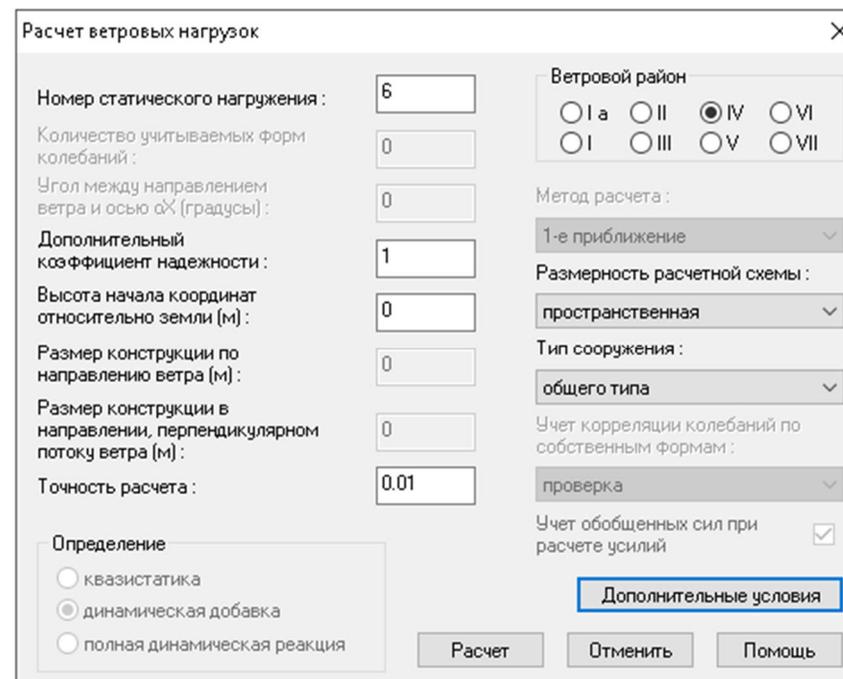
Устойчивость

- Расчетные длины стержней
- Энергетический анализ роли элементов

ОК Отменить Помощь

Рисунок 3.21 – Исходные данные к расчету предельной частоты

Задаем расчетные параметры для определения предельной частоты (рисунок 3.22).



Расчет ветровых нагрузок

Номер статического нагружения:

Количество учитываемых форм колебаний:

Угол между направлением ветра и осью αX (градусы):

Дополнительный коэффициент надежности:

Высота начала координат относительно земли (м):

Размер конструкции по направлению ветра (м):

Размер конструкции в направлении, перпендикулярном потоку ветра (м):

Точность расчета:

Ветровой район

- Ia
- II
- IV
- VI
- I
- III
- V
- VII

Метод расчета:

Размерность расчетной схемы:

Тип сооружения:

Учет корреляции колебаний по собственным формам:

Учет обобщенных сил при расчете усилий

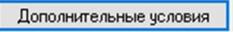
Определение

- квазистатика
- динамическая добавка
- полная динамическая реакция

Дополнительные условия

Расчет Отменить Помощь

Рисунок 3.22 – Расчетные параметры для определения предельной частоты

Задаем логарифмический декремент колебаний и тип местности, для этого нажимаем кнопку . Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 3.23). Для завершения ввода данных нажимаем кнопку «ОК».

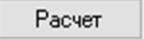
Для расчета нажимаем кнопку  (рисунок 3.22). С помощью программы выполняем оценочный расчет, в результате которого будет определена предельная собственная частота (рисунок 3.24). В расчете необходимо учитывать все формы с частотами меньше предельных значений. Для этого нажимаем кнопку «ОК».

Рисунок 3.23 – Расчетные параметры для определения предельной частоты

Рисунок 3.24 – Значение предельной частоты

Выполняем расчет ускорений колебаний перекрытий жилых этажей здания с использованием кнопки , расположенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунке 3.25). Для завершения этого процесса нажимаем кнопку «ОК».

Далее задаем расчетные параметры (рисунок 3.26).

Рисунок 3.25 – Исходные данные для расчета перемещений и усилий

Рисунок 3.26 – Расчетные параметры

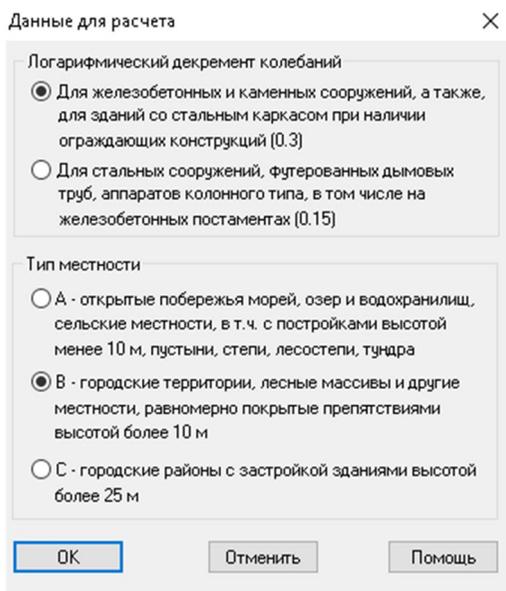


Рисунок 3.27 – Параметры логарифмического декремента колебаний и типа местности

Задаем логарифмический декремент колебаний и тип местности, для этого нажимаем кнопку **Дополнительные условия**. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 3.27). Для завершения ввода нажимаем кнопку **«OK»**.

Для расчета нажимаем кнопку **Расчет** (рисунок 3.26). В появившемся диалоговом окне с целью учета всех форм колебаний нажимаем кнопку **«OK»** (рисунок 3.28).

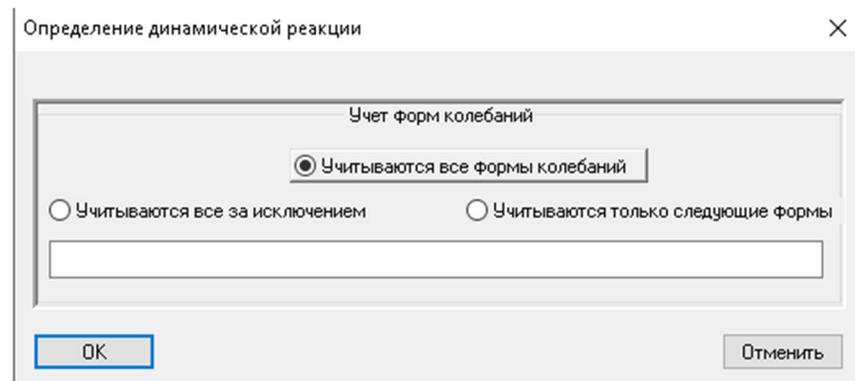


Рисунок 3.28 – Параметры по учету форм колебаний

Далее оцениваем величины ускорений колебаний перекрытия верхнего жилого этажа здания. Для этого в окне верх-

него меню выбираем **Результаты** → **Таблицы**. В появившемся диалоговом окне открываем **Ускорения** (рисунок 3.29).

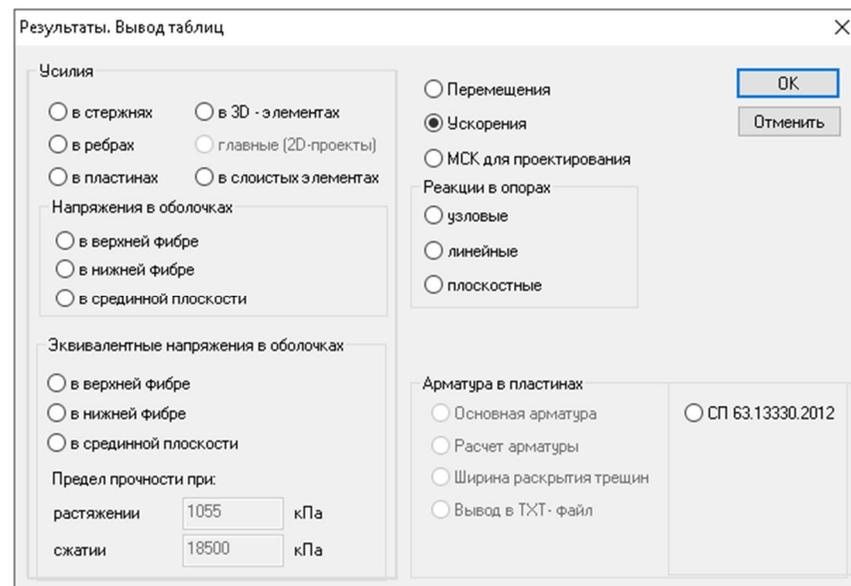


Рисунок 3.29 – Параметры для анализа ускорения

При завершении ввода нажимаем кнопку **«OK»**. В окне выбора нажимаем кнопку **«Отметить»**, далее посредством кнопки **Вох** выбираем узлы перекрытия верхнего жилого этажа здания (рисунок 3.30).

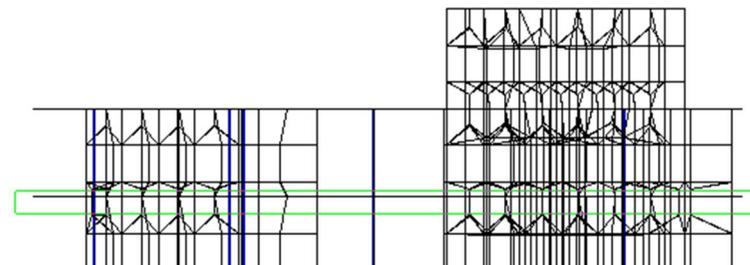


Рисунок 3.30 – Выбор анализируемых узлов

С целью формирования протокола расчета в ПК Viewer в окне выбора нажимаем кнопку «Вывести» (рисунок 3.31).

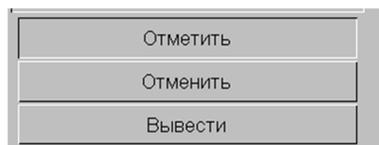


Рисунок 3.31 – Исходные данные для протокола расчета

В появившемся диалоговом окне нажимаем кнопку «ОК» (рисунок 3.32).

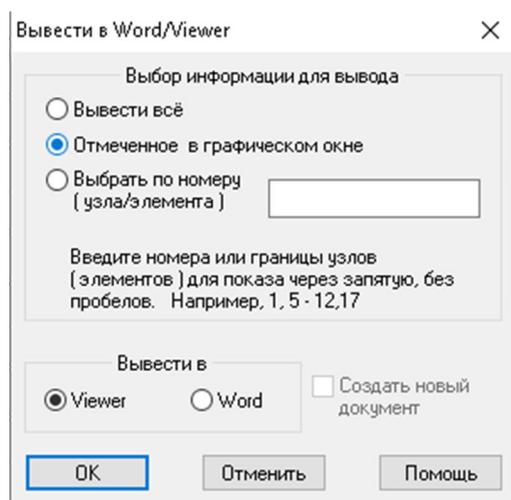


Рисунок 3.32 – Формирование протокола расчета

Далее представлен фрагмент протокола расчета числовых значений ускорения, опубликованный в ПК Viewer (таблицы 3.6 и 3.7).

Таблица 3.6 – Собственные частоты

Форма	Собственные частоты		
	W , рад/с	f , Гц	T , с
1	4,42	0,70	1,42
2	4,61	0,73	1,36

Таблица 3.7 – Ускорение узлов

Узел Форма	Ускорения узлов (динамический ветер)			
	a_x , м/с ²	a_y , м/с ²	a_z , м/с ²	a_{tot} , м/с ²
16940 форма 1	-0,003	-0,058	0,001	0,058
16940 форма 2	-0,027	0,006	-0,002	0,028
16940 по СНиП	0,027	0,058	0,002	0,064
16940 по СЭС	0,030	0,053	0,001	0,061
16941 форма 1	-0,003	-0,057	0,001	0,057
16941 форма 2	-0,027	0,006	-0,001	0,028
16941 по СНиП	0,027	0,057	0,001	0,063
16941 по СЭС	0,030	0,052	0,001	0,060
Максимальное ускорение $a_{tot} = 0,064$ м/с ² .				

Аналогично рассчитываем числовые значения направления ветра вдоль оси X. С предельно допустимой величиной, регламентированной СП 20.13330.2011, необходимо сравнивать значение максимального ускорения при коэффициенте надежности по нагрузке $\gamma_f = 0,7$. Следовательно, полученное значение умножают на поправочный коэффициент, равный $0,7/1,4 = 0,5$. Значения максимального ускорения

$$a_{tot}(\text{вдоль оси } Y) = 0,064 \cdot 0,5 = 0,032 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{tot}(\text{вдоль оси } X) = 0,039 \cdot 0,5 = 0,0195 \text{ м/с}^2$$

не превышают предельное значение, $\alpha_{с, max} = 0,08$ м/с². Следовательно, конструктивная схема удовлетворяет требованиям раздела 11.4 СП 20.13330.2011.

3.6 Удаление абсолютной жесткости основания

С целью удаления абсолютной жесткости основания воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов, далее в окне бокового меню необходимо выбрать **удалить**. В окне выбора задаем следующие параметры (рисунок 3.33).

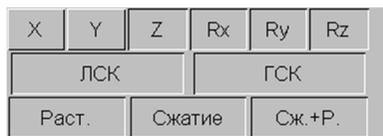


Рисунок 3.33 – Параметры для удаления абсолютной жесткости основания

Далее посредством кнопки  удаляем связи с фундаментной плитой (рисунок 3.34).

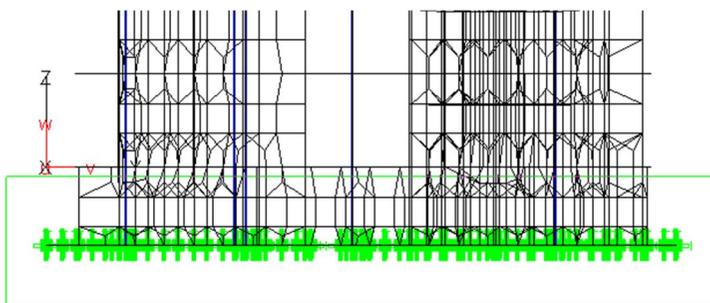


Рисунок 3.34 – Удаление связей

4 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НА ОСНОВНЫЕ И ОСОБЫЕ КОМБИНАЦИИ НАГРУЗОК

Отредактируем свойства материалов, для этого воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее изменяем значение R_{ho} с 2,5 на 2,75, переключая номера материалов (рисунок 4.1).

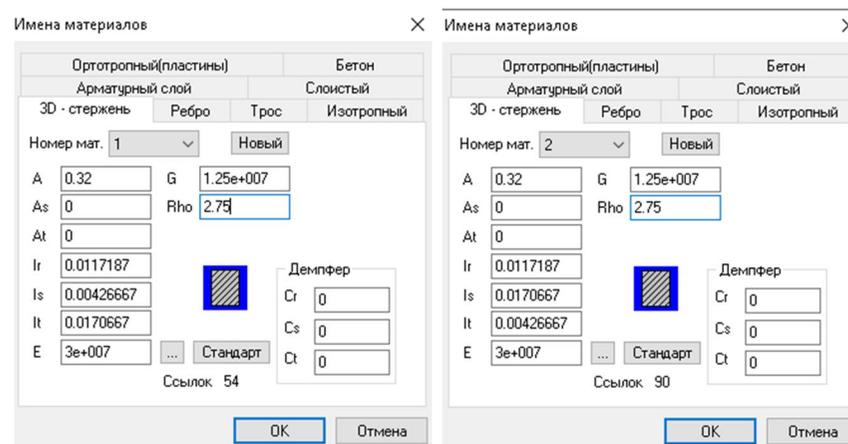


Рисунок 4.1 – Редактирование свойств материалов

Далее аналогично измените значение R_{ho} изотропных материалов.

Согласно СП 22.13330.2011, а именно – п. 5.2.2 коэффициент надежности по нагрузке принимают при расчете оснований согласно:

- первой группе предельных состояний – СП 20.13330, за исключением оговоренных в СП 22.13330.2011;
- второй группе предельных состояний – равным единице.

Далее необходимо сформировать комбинации нагружений с учетом п. 6.3 и 6.4 СП 20.13330.2011, а также п. 5.1 СП 14.13330.2014, комбинация 1 сформирована для расчета жесткости основания здания с учетом нагрузок, оговоренных в разделе 5.2 СП 22.13330.2011.

Для получения результатов линейного статического расчета применяют принцип суперпозиции

$$P_i = \sum k_{ij} \cdot p_j,$$

где P_i – значение какого-либо фактора (перемещения, усилия) для i -й комбинации;

p_j – значение этого фактора для j -го нагружения;

k_{ij} – коэффициент сочетания для j -го нагружения в i -й комбинации.

Результаты линейного статического расчета хранятся по нагружениям (хотя отображаются по комбинациям), и при изменении комбинаций не требуется проведения повторного статического расчета.

4.1 Редактирование упругого основания под фундаментной плитой

Вычисляют коэффициенты жесткого упругого основания (постели $C1$, $C2$) в «**Модели грунта**» с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства. Осадку и глубину сжимаемой толщи определяют в соответствии с нормативным документом СП 22.13330.2011.

В расчетной точке с координатами (x, y) на глубине z_i от каждой k -й внешней нагрузки на грунт вычисляют дополнительное вертикальное напряжение, определяемое по формуле

$$\sigma \cdot z \cdot p_{ik}.$$

Суммарное дополнительное вертикальное напряжение от всех нагрузок определяют по формуле

$$\sigma \cdot z \cdot p_i = \sum \sigma \cdot z \cdot p_{ik}.$$

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта в расчетной точке с координатами (x, y) на глубине z_i определяют по формуле

$$\sigma \cdot z \cdot g_i.$$

Если, начиная с глубины z_i и ниже выполняется условие

$$\sigma \cdot z \cdot p_i < k \cdot (\sigma \cdot z \cdot g_i),$$

то фиксируется глубина сжимаемой толщи, определяемая по формуле

$$H_c = z_i.$$

Коэффициент k , используемый для определения глубины сжимаемой толщи H_c , принят равным 0,5.

Осадка основания S в расчетной точке с координатами (x, y) вычисляется по формуле 5.16 СП 22.13330.2011 методом послойного суммирования

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\delta_{zp,i} - \delta_{zy,i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{zy,i} \cdot h_i}{E_{ei}}.$$

Рассмотрим возможные варианты определения коэффициентов постели C_1 (кН/м³) и коэффициента сдвига C_2 (кН/м).

Расчет для модели Винклера – Фусса

$$C_1 = \frac{\sigma_0}{u},$$

$$C_2 = 0.$$

Расчет для модели Пастернака

$$C_1 = \frac{E_{cp}}{(1 - 2\nu_{cp}^2) \cdot H_c},$$

$$C_2 = \frac{E_{cp} \cdot H_c}{6 \cdot (1 + \nu_{cp})}.$$

Расчет для модели Барвашова

$$C_1 = \frac{E_{cp}}{(1 - \nu_{cp}^2) \cdot H_c},$$

$$C_2 = \frac{E_{cp} \cdot H_c}{20 \cdot (1 - \nu_{cp}^2)}$$

Расчет для модели Шашкина

$$C_1 = \frac{1}{\int_0^{H_c} \frac{1}{E \cdot (z)} \cdot dz},$$

$$C_2 = \frac{\int_0^{H_c} \frac{1}{E \cdot (z)} \cdot dz \cdot \int_0^z G(z) \cdot \int_z^{H_c} \frac{1}{E \cdot (z)} \cdot dz^3}{\left[\int_0^{H_c} \frac{1}{E \cdot (z)} \cdot dz \right]^2}.$$

Рассмотрим расчет модуля упругости для объемной модели основания. При формировании объемной модели основания каждому объемному конечному элементу (КЭ) присваивается ортотропный материал, модули упругости которого вычисляются как средневзвешенные значения в пределах толщины элемента t по формулам

$$E_{zz} = \frac{\int_0^t \sigma_p(z) \cdot dz}{\int_0^t \frac{\sigma_p(z)}{E_z \cdot (z)} \cdot dz},$$

$$E_{xx} = E_{yy} = \frac{t}{\int_0^t \frac{1}{E_{xy} \cdot (z)} \cdot dz},$$

где $E_z \cdot (z)$, $E_{xy} \cdot (z)$ – значения модулей деформации грунта на глубине z (с учетом нелинейных эффектов и увеличения модуля деформации грунта с глубиной). Кроме того, толщина объемных КЭ постепенно возрастает от верхних (наиболее значимых) слоев к нижним. При таком подходе не возникает необходимости в разбиении сжимаемой толщи грунта на большое число слоев объемных КЭ (минимальное рекомендуемое число слоев – 4).

Для редактирования упругого основания под фундаментной плитой воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее в появившемся диалоговом окне для определения глубины сжимаемой толщи под фундаментной плитой используем кнопку . В появившемся диалоговом окне зададим ширину подошвы фундамента (рисунок 4.3).

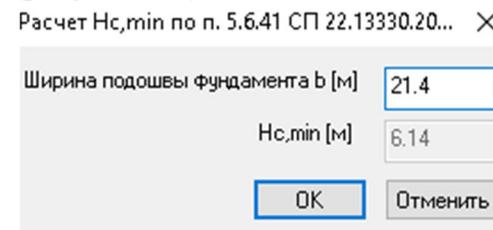
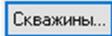


Рисунок 4.3 – Определение глубины сжимаемой толщи

Значения коэффициентов постели по расчетной модели Винклера определяют по соответствующей расчетной модели. Согласно СП 22.13330.2011, а именно – п. 5.6.41, глубина сжимаемой толщи не должна быть менее $H_{min} = (4 + 0,1b)$. При $10 \leq b \leq 60$ м определим значение H_{min} (рисунок 4.4). Параметр (отношение модуля деформации на ветви вторичного нагружения E_e к модулю E) используется только при включенной опции «Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011».

Далее нажимаем кнопку  с целью корректировки недостающих параметров для определения коэффициента постели, а именно – значения веса грунта, выбранного при отрывке котлована, на уровне подошвы фундамента (в кПа). Значение определяют по п. 5.6.33 СП 22.13330.2011 на месте текущей скважины. Параметр используется только при включенной опции «Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011».

Значение глубины котлована рассматриваемого здания подпадает под действие п. 5.6.34 СП 22.13330.2011 «При расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается в формуле 5.16 не учитывать второе слагаемое», однако покажем, как выполняется этот расчет.

Модель грунта

Глубина сжимаемой толщи

Hc 8 м Ввод

Hc,min... 6.14 м

k 0.5

Расчетная модель основания

Винклера

C1,min 1 кН/м3

Опции для расчета

0.25 Шаг интегрирования, м

1 К-т снижения жесткости грунта

Увеличение модуля деформации грунта с глубиной

Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

Не учитывать вес грунта выше подошвы фундамента

Вывод

Сокращенный вывод

Viewer Word

База грунтов основания(ИГЭ)

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ [МПа]	Козф. Пуассона [-]	Удельн. вес [кН/м3]	Отношен Ee/E [-]
1	Песок мелкий	22.00	0.28	21.00	5.00
2	Супесь	16.00	0.30	19.00	5.00
3	Суглинок 1	19.00	0.32	22.00	5.00
4	Суглинок 2	15.00	0.34	20.00	5.00
5					

Использовать абсолютные отметки Отметка подошвы фундамента 100

После окончания выполнить статический расчет

Удалить Очистить

Расчет ОК Отменить Помощь Скважины...

Рисунок 4.4 – Исходные данные к расчету коэффициента постели

Выполним расчет вертикального напряжения от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента, кПа

$$\sigma_{z\gamma} = \alpha \cdot \sigma_{zg,0}, \quad (4.1)$$

где α – коэффициент, принимаемый по таблице 5.8 СП 22.13330.2011;

$\sigma_{zg,0}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта, кПа на отметке подошвы фундамента,

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' \cdot d_n, \quad (4.2)$$

где γ' – удельный вес грунта, кН/м³, расположенного выше подошвы фундамента;

d_n – глубина заложения фундамента от уровня поверхности природного рельефа;

$$\sigma_{zg,0} = 18 \cdot 2,62 = 47,2 \text{ кПа},$$

$$\sigma_{z\gamma} = 1 \cdot 47,2 = 47,2 \text{ кПа}.$$

На рисунке 4.5 представлены недостающие параметры для определения коэффициентов постели. Предельная нагрузка на основание задана большей величины во избежание снижения модуля деформации.

При нажатии кнопки «Расчет» в диалоговом окне «Модель грунта» происходит построение коэффициентов постели упругого основания для пластинчатых элементов. После завершения расчета исходный проект автоматически корректируется и пользователю предлагается сохранить откорректированный проект под новым именем.

Определению коэффициентов постели по следующей итерации предшествует статический расчет модели, как правило, при отсутствии значительных нелинейных эффектов выполняют 2–5 итераций пока результаты расчета (например, по осадке основания) на последней и предыдущей итерациях перестанут существенно различаться.

Далее представлен протокол расчета давления на грунт, среднего значения осадки фундамента, глубины сжимаемой толщи, коэффициентов постели по четвертой итерации (имя файла КАРКАС4), опубликованный в ПК Viewer:

- количество элементов – 1007;
- глубина сжимаемой толщи $H_{c, min} = 6,14$ м;
- коэффициент (для определения H_c) $K = 0,50$;
- минимальное значение C_l , $C_{l, min} = 1,00$.
- расчетная модель основания – модель Винклера;

а Скважины

Данные для одной скважины

Координаты скважины X: 0 м Y: 0 м

Отметка уровня подземных вод 0 м

Предельная нагрузка на основание 1000000000 кПа

Вес выбранного грунта 0 кПа

Состав ИГЭ в скважине

Номер	ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Козфф. Пуассона [-]	Удельный вес [кН/м ³]	Отметка залегания [м]
<input type="checkbox"/>	1	Песок мелкий	22.00	0.28	21.00	100.000
<input type="checkbox"/>	2	Супесь	16.00	0.30	19.00	92.000
<input type="checkbox"/>	3	Суглинок 1	19.00	0.32	22.00	88.000
<input type="checkbox"/>	4	Суглинок 2	15.00	0.34	20.00	76.000

Добавить слой Удалить слой(и)

Добавить Удалить

OK Отменить

Помощь

б Скважины

Данные для одной скважины

Координаты скважины X: 28 м Y: 20 м

Отметка уровня подземных вод 0 м

Предельная нагрузка на основание 1000000000 кПа

Вес выбранного грунта 0 кПа

Состав ИГЭ в скважине

Номер	ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Козфф. Пуассона [-]	Удельный вес [кН/м ³]	Отметка залегания [м]
<input type="checkbox"/>	2	Супесь	16.00	0.30	19.00	100.000
<input type="checkbox"/>	1	Песок мелкий	22.00	0.28	21.00	90.000
<input type="checkbox"/>	3	Суглинок 1	19.00	0.32	22.00	84.000
<input type="checkbox"/>	4	Суглинок 2	15.00	0.34	20.00	76.000

Добавить слой Удалить слой(и)

Добавить Удалить

OK Отменить

Помощь

Рисунок 4.5 – Корректировка недостающих параметров:

а – для скважины № 1, б – для скважины № 2

Выборка результатов расчета представлены в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Выборка результатов

Параметр	Давление на грунт, кПа	Глубина сжимаемой толщи, м	Осадка, см	C_1 , кН/м ³	C_2 , кН/м
Максимальное значение	3152,64	12,11	12,041	28972,83	0,00
Номер элемента	23	27665	25	23	1
Минимальное значение	3,82	7,03	3,841	55,86	0,00
Номер элемента	27653	27224	27224	27653	1
Среднее значение	201,46	10,71	6,700	3091,03	0,00

- нагрузка на фундамент – 134 241,63 кН;
- относительная разность осадок – 0,0038.

4.2 Итоговый статический расчет модели

В окне верхнего меню выбираем **Комбинации**. Далее корректируем коэффициенты. Сформированные комбинации нагрузок представлены в виде таблицы 4.3.

Для итогового статического расчета файла КАРКАС4.fea необходимо воспользоваться кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее задаем параметры расчета (рисунке 4.6).

Таблица 4.3 – Комбинации нагрузок

Комп	НГ-1	НГ-2	НГ-3	НГ-4	НГ-5	НГ-6	НГ-7	НГ-8	НГ-9	НГ-10	НГ-11	НГ-12	НГ-13	НГ-14	НГ-15	НГ-16	НГ-17	НГ-18	НГ-19	НГ-20	НГ-21	НГ-22	НГ-23	НГ-24	НГ-25	НГ-26
К-1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0	0,7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-2	1	1	0,7	0,7	0,7	0	0,7	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-3	1	1	0,7	0,7	0,7	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-4	1	1	0,7	0,7	0,7	0	0,7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-5	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
К-6	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-7	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-8	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
К-9	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
К-10	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
К-11	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-12	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-13	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-14	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
К-15	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
К-16	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

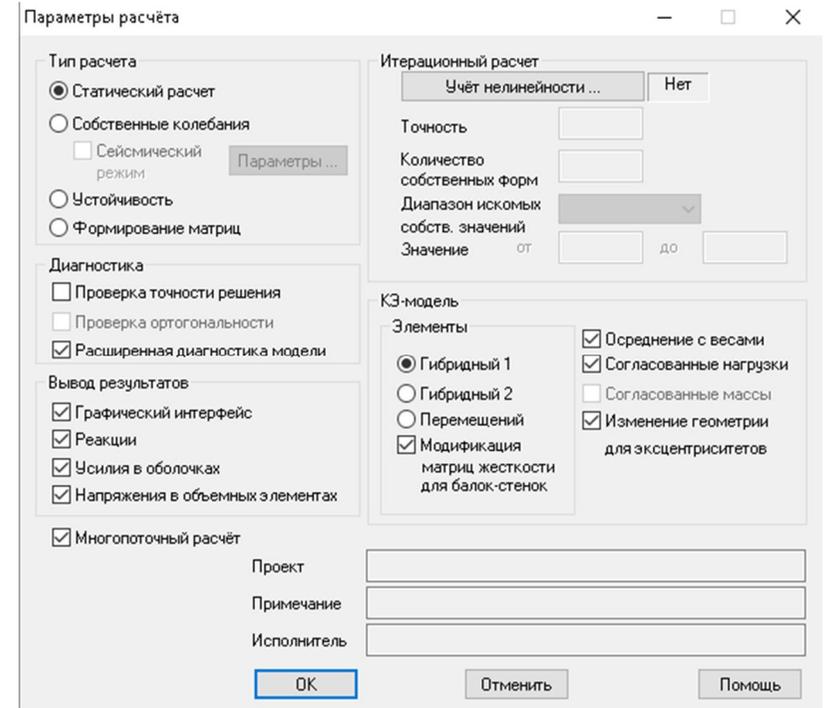


Рисунок 4.6 – Задание исходных данных для статического расчета

4.3 Расчет оснований по группам предельных состояний

В протоколе расчета необходимо зафиксировать, что среднее значение давления под подошвой фундамента составляет 201,46 кН/м². Согласно п. 5.6.7 СП 22.13330.2011 среднее значение давления под подошвой фундамента p не должно превышать показатель расчетного сопротивления грунта основания R , определяемого по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}]. \quad (4.3)$$

Определим значение расчетного сопротивления грунта основания R по формуле 4.3 для скважины 1:

$\gamma_{c1} = 1,3$; $\gamma_{c1} = 1,3$ (при $L/H < 1,5$) – коэффициенты условий работы, принимаемые по таблице 5.4 СП 22.13330.2011;

k – коэффициент, принимаемый равным $k = 1$, прочностные характеристики грунта определены в процессе непосредственных испытаний;

$M_\gamma = 1,34$; $M_q = 6,34$; $M_c = 8,55$ – коэффициенты, принимаемые по таблице 5.5 СП 22.13330.2011 (при $\varphi_{II} = 32^\circ$);

$k_z = \frac{z_0}{b} + 0,2 = \frac{8}{21,4} + 0,2 = 0,57$ при ширине подошвы фундамента $b = 21,4$ м;

γ_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих ниже подошвы (с учетом взвешивающего действия воды) на высоте

$$z = z_1 + 0,1b = 4 + 0,1 \cdot 21,4 = 6,14 \text{ м};$$

$$\gamma_{II} = 17,4 \text{ кН/м}^3;$$

γ'_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше подошвы

$$\gamma'_{II} = 17,4 \text{ кН/м}^3;$$

$c_{II} = 2 \text{ кПа}$ – расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой;

d_1 – глубина заложения фундамента (при плитных фундаментах за d_1 принимают наименьшую глубину от подошвы плиты до уровня планировки)

$$d_1 = 3,82 \text{ м};$$

d_b – глубина подвала, расстояние от уровня планировки до пола подвала, м (для сооружений с подвалом глубиной свыше 2 м принимают равным 2 м)

$$d_b = 2 \text{ м}.$$

Определим численное значение расчетного сопротивления грунта основания R (кПа)

$$R = \frac{1,3 \cdot 1,3}{1} \cdot [1,34 \cdot 0,57 \cdot 21,4 \cdot 17,4 + 6,34 \cdot 3,82 \cdot 17,4 + (6,34 - 1) \cdot 2 \cdot 17,4 + 8,55 \cdot 2] = 1536,04 \text{ кПа}.$$

Определим значение расчетного сопротивления грунта основания R по формуле 4.3 для скважины 2:

$\gamma_{c1} = 1,2$; $\gamma_{c1} = 1,1$ (при $L/H < 1,5$) – коэффициенты условий работы, принимаемые по таблице 5.4 СП 22.13330.2011;

k – коэффициент, принимаемый равным $k = 1$, прочностные характеристики грунта определены в ходе непосредственных испытаний;

$M_\gamma = 0,98$; $M_q = 4,93$; $M_c = 7,4$ – коэффициенты, принимаемые по таблице 5.5 СП 22.13330.2011 (при $\varphi_{II} = 28^\circ$);

$k_z = \frac{z_0}{b} + 0,2 = \frac{8}{21,4} + 0,2 = 0,57$ при ширине подошвы фундамента $b = 21,4$ м;

γ_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих ниже подошвы (с учетом взвешивающего действия воды) на высоте:

$$z = z_1 + 0,1b = 4 + 0,1 \cdot 21,4 = 6,14 \text{ м};$$

$$\gamma_{II} = 17,4 \text{ кН/м}^3;$$

γ'_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше подошвы:

$$\gamma'_{II} = 17,4 \text{ кН/м}^3;$$

$c_{II} = 16 \text{ кПа}$ – расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой;

d_1 – глубина заложения фундамента (при плитных фундаментах за d_1 принимают наименьшую глубину от подошвы плиты до уровня планировки)

$$d_1 = 3,82 \text{ м};$$

d_b – глубина подвала, расстояние от уровня планировки до пола подвала, м (для сооружений с подвалом глубиной свыше 2 м принимают равным 2 м)

$$d_b = 2 \text{ м}.$$

Определим численное значение расчетного сопротивления грунта основания

$$R = \frac{1,2 \cdot 1,1}{1} \cdot [0,98 \cdot 0,57 \cdot 21,4 \cdot 17,4 + 4,93 \cdot 3,82 \cdot 17,4 + (4,93 - 1) \cdot 2 \cdot 17,4 + 7,4 \cdot 16] = 1044 \text{ кПа}.$$

Исходя из подсчитанных значений расчетных сопротивлений грунта сжатию R (кПа) и соответствующих характеристик по скважинам $R_{(\text{скважина } 1)} > R_{(\text{скважина } 2)}$. Следовательно, для сравнения со средним давлением под подошвой фундамента p используем значение $R_{(\text{скважина } 2)} = 1044 \text{ кПа}$.

$$p = 201,46 \ll 1044 \text{ кПа} - \text{условие выполнено}.$$

С целью анализа предельных деформаций основания фундамента, исходя из подсчитанного значения средней осадки основания, представленного в разделе 4.1, в протоколе расчета необходимо констатировать, что согласно данным приложения Д СП 22.13330.2011, а именно – таблицы Д.1, предельное значение средней осадки гражданских многоэтажных зданий с железобетонным монолитным каркасом не должно превышать $15 \text{ см} = 150 \text{ мм}$.

$$S = 67 < \bar{S}_u = 150 \text{ мм} - \text{условие выполнено}.$$

4.4 Расчет арматуры в плите перекрытия первого этажа

С целью вывода в видимый фрагмент плиты перекрытия первого этажа необходимо воспользоваться кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее посредством кнопки  установим проекцию YZ, а далее с помощью кнопки  выбираем плиты перекрытия первого этажа (рисунок 4.7).

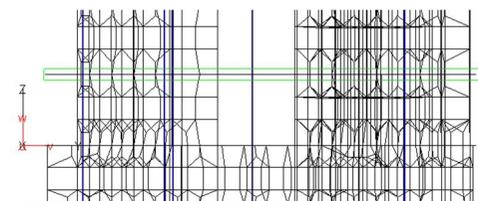


Рисунок 4.7 – Выбор плиты перекрытия первого этажа

В рабочем окне отобразится выбранный фрагмент схемы – плита перекрытия первого этажа. Далее посредством кнопки  установим проекцию XY (рисунок 4.8).

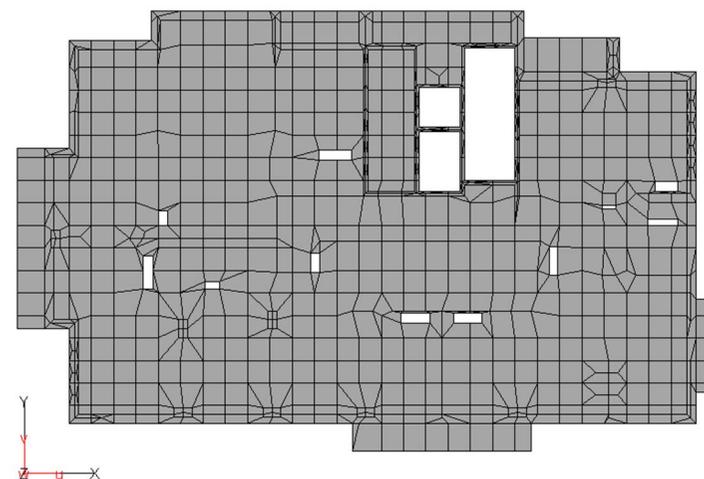
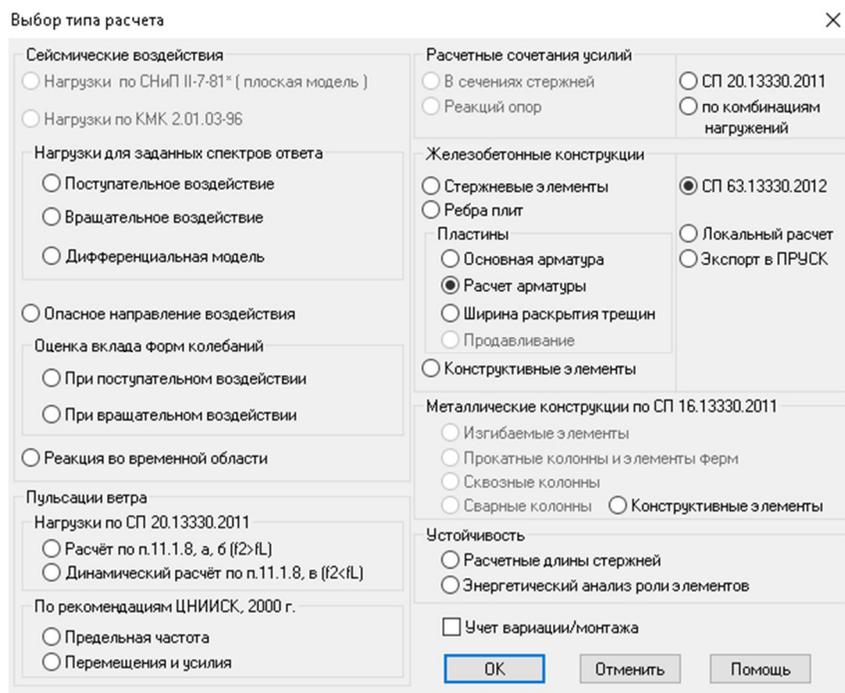


Рисунок 4.8 – Плита перекрытия первого этажа

Для определения армирования плиты перекрытия первого этажа воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 4.9). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».



Выбор типа расчета

Сейсмические воздействия

- Нагрузки по СНиП II-7-81* (плоская модель)
- Нагрузки по КМК 2.01.03-96

Нагрузки для заданных спектров ответа

- Поступательное воздействие
- Вращательное воздействие
- Дифференциальная модель

Опасное направление воздействия

Оценка вклада форм колебаний

- При поступательном воздействии
- При вращательном воздействии

Реакция во временной области

Пулсации ветра

- Нагрузки по СП 20.13330.2011
- Расчёт по п.11.1.8, а, б ($f_2 > f_L$)
- Динамический расчёт по п.11.1.8, в ($f_2 < f_L$)

По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.

- Предельная частота
- Перемещения и усилия

Расчетные сочетания усилий

- В сечениях стержней
- Реакций опор
- СП 20.13330.2011
- по комбинациям нагружений

Железобетонные конструкции

- Стержневые элементы
- Ребра плит
- СП 63.13330.2012
- Локальный расчет
- Экспорт в ПРУСК

Пластины

- Основная арматура
- Расчет арматуры
- Ширина раскрытия трещин
- Продавливание

Конструктивные элементы

Металлические конструкции по СП 16.13330.2011

- Изгибаемые элементы
- Прокатные колонны и элементы ферм
- Сквозные колонны
- Сварные колонны
- Конструктивные элементы

Устойчивость

- Расчетные длины стержней
- Энергетический анализ роли элементов

Учет вариации/монтажа

OK Отменить Помощь

Рисунок 4.9 – Исходные данные для расчета

Задаем исходные данные для определения армирования горизонтальных элементов согласно СП 63.13330.2012 (рисунок 4.10).

– G_b – коэффициент условий работы бетона без учета коэффициента G_{b1} (G_b равен произведению всех коэффициентов, кроме G_{b1} , которые необходимо учитывать согласно п. 6.1.12 СП 63.13330.2012;

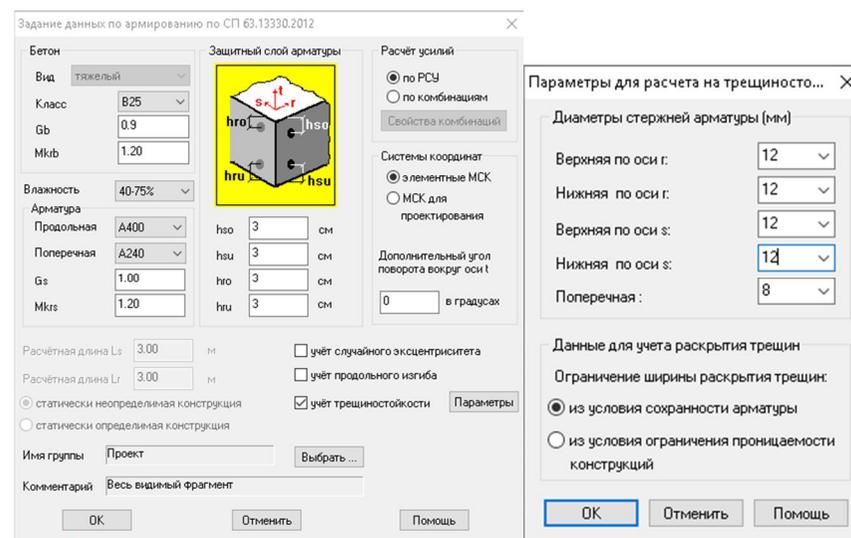
– M_{krb} – дополнительный коэффициент условий работы бетона для особых сочетаний усилий (для расчета на сейми-

ческие воздействия), принимается по таблице 6 СП 14.13330.2014;

– G_s – коэффициент условий работы γ_s ;

– M_{krs} – дополнительный коэффициент условий работы арматуры для особых сочетаний усилий (для расчета на сейсмические воздействия), принимается по таблице 6 СП 14.13330.2014.

Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».



Задание данных по армированию по СП 63.13330.2012

Бетон

Вид: тяжелый

Класс: B25

Gb: 0.9

Mkib: 1.20

Влажность: 40.75%

Арматура

Продольная: A400

Поперечная: A240

Gs: 1.00

Mkrs: 1.20

Защитный слой арматуры

hso: 3 см

hsu: 3 см

hro: 3 см

hru: 3 см

Расчет усилий

по РСУ

по комбинациям

Свойства комбинаций

Системы координат

элементные МСК

МСК для проектирования

Дополнительный угол поворота вокруг оси t: 0 в градусах

Расчётная длина Ls: 3.00 м

Расчётная длина Lr: 3.00 м

учёт случайного эксцентриситета

учёт продольного изгиба

статически неопределяемая конструкция

статически определяемая конструкция

Имя группы: Проект

Выбрать...

Комментарий: Весь видный фрагмент

OK Отменить Помощь

Параметры для расчета на трещино...

Диаметры стержней арматуры (мм)

Верхняя по оси g: 12

Нижняя по оси g: 12

Верхняя по оси s: 12

Нижняя по оси s: 12

Поперечная: 8

Данные для учета раскрытия трещин

Ограничение ширины раскрытия трещин:

из условия сохранности арматуры

из условия ограничения проницаемости конструкций

OK Отменить Помощь

Рисунок 4.10 – Исходные данные для определения армирования горизонтальных элементов

Под определением расчетных сочетаний усилий (PCY) подразумевают поиск наиболее опасных из них для рассматриваемого элемента. Предварительно должен быть проведен линейный статический расчет конструкции, заданы дополнительные исходные данные, определены воздействия, действующие на конструкцию и уточнены их свойства.

Термин «воздействия» используется для того, чтобы разделить понятия «воздействие» и «нагружение». Под нагруже-

нием понимают совокупность нагрузок в конечно-элементной модели, на основе которой создается один вектор нагрузки P_i в конечно-элементной задаче:

$KU_i = P_i, i = 1, \dots, N$ каждому нагружению присваивается порядковый номер. В результате решения задачи определяются векторы перемещений U_i , где i – номер нагружения, а также соответствующие им усилия в сечениях элементов.

Далее определяем коэффициенты расчетных сочетаний усилий согласно СП 20.13330.2011. С целью контроля коэффициентов расчетных сочетаний усилий в табличной форме воспользуемся кнопкой Табличная форма ... (рисунок 4.11).

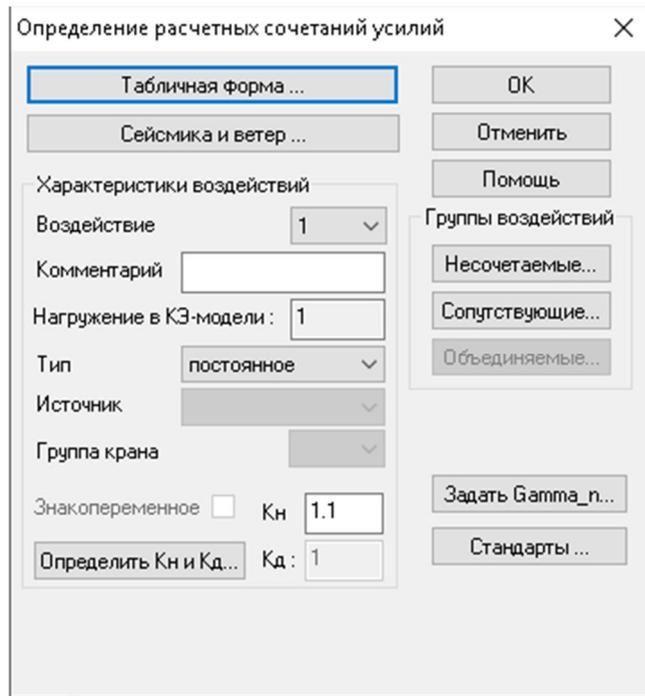


Рисунок 4.11 – Загрузка диалогового окна контроля коэффициентов

Для завершения ввода нажимаем кнопку «Сохранить» (рисунок 4.12).

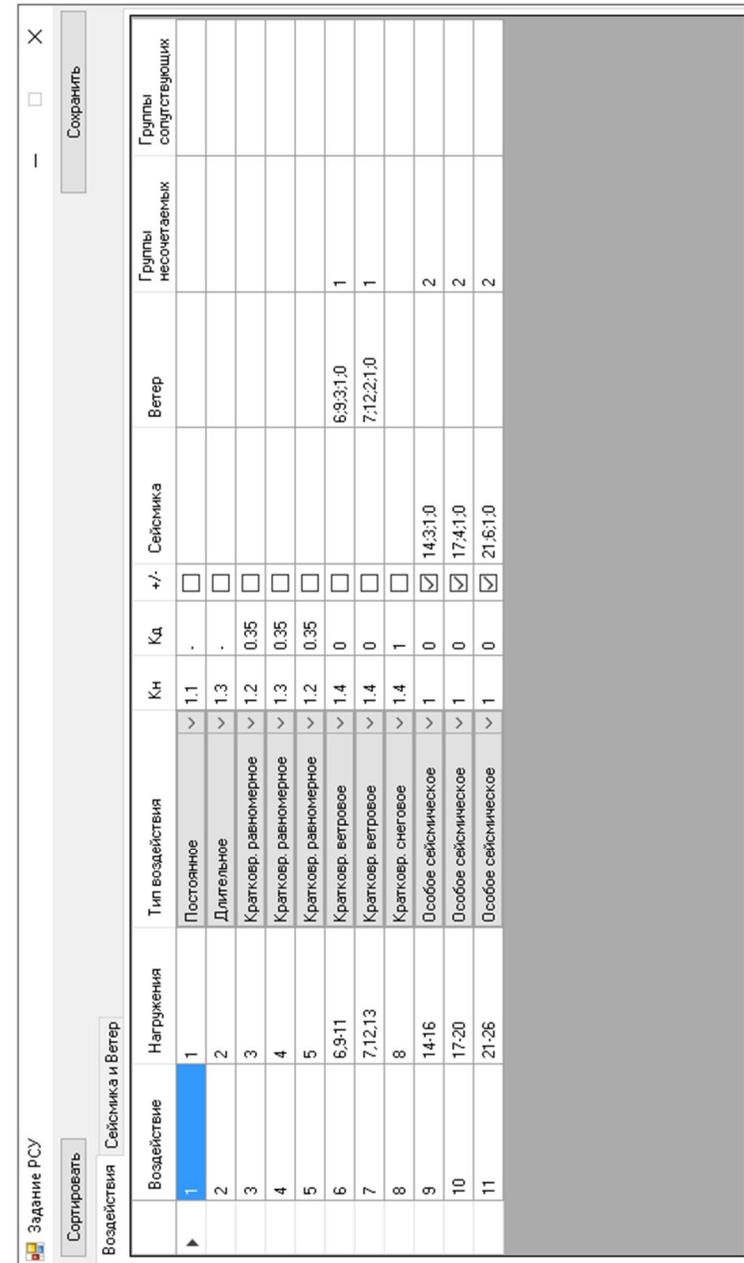


Рисунок 4.12 – Контроль коэффициентов расчетных сочетаний усилий

С целью подтверждения заданных параметров и продолжения расчета нажимаем кнопку «ОК» (рисунок 4.13).

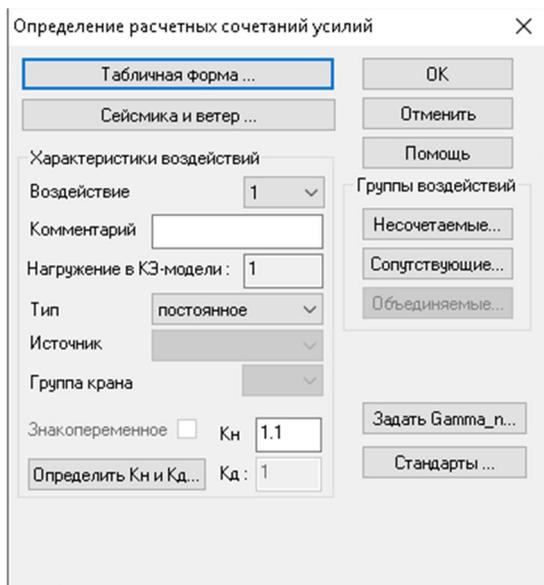


Рисунок 4.13 – Подтверждения заданных параметров

Далее подтверждаем продолжение расчета нажатием кнопки «Продолжить» (рисунок 4.14).

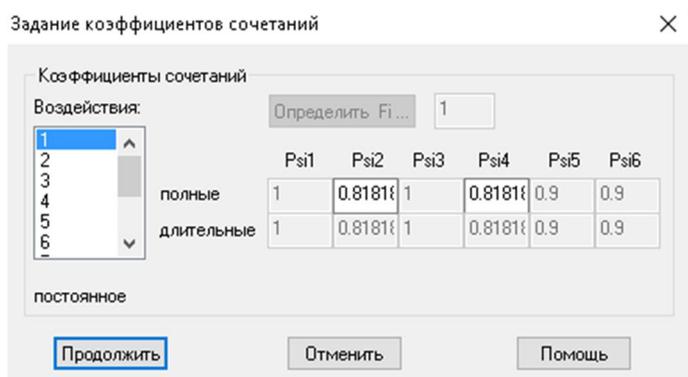


Рисунок 4.14 – Продолжение расчета

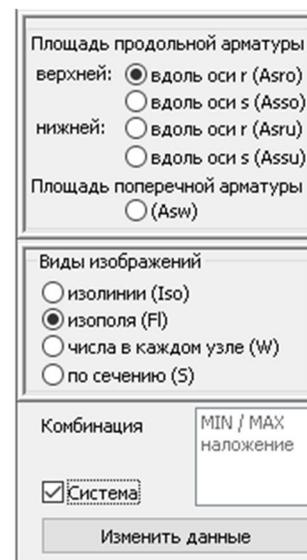
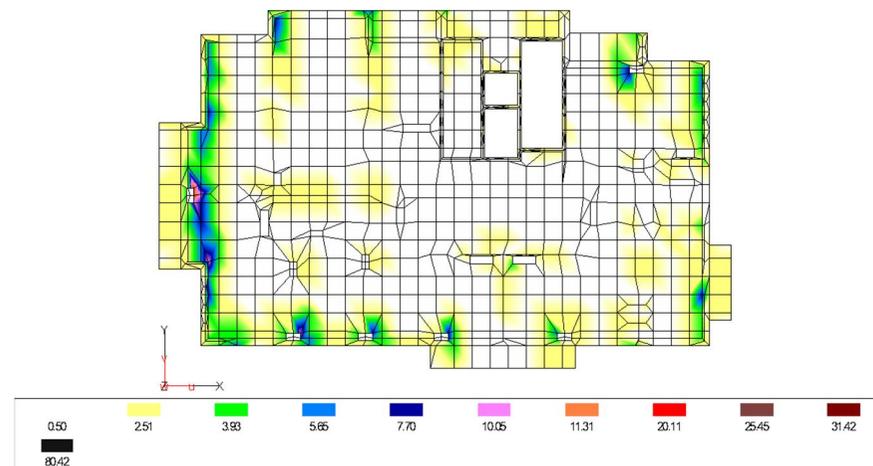


Рисунок 4.15 – Выбор отображения изополей площадей армирования плиты перекрытия

Программа подберет необходимые площади поперечного армирования в плите перекрытия. С целью отображения изополей площадей армирования плиты перекрытия задаем следующие параметры (рисунок 4.15).

На рисунках 4.16–4.19 представлены отображения изополя армирования плиты перекрытия первого этажа.



Min $A_{sro} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max $A_{sro} = 12,636 \text{ см}^2/\text{м}$
Расчет по РСУ

Рисунок 4.16 – Верхнее армирование вдоль локальной оси R

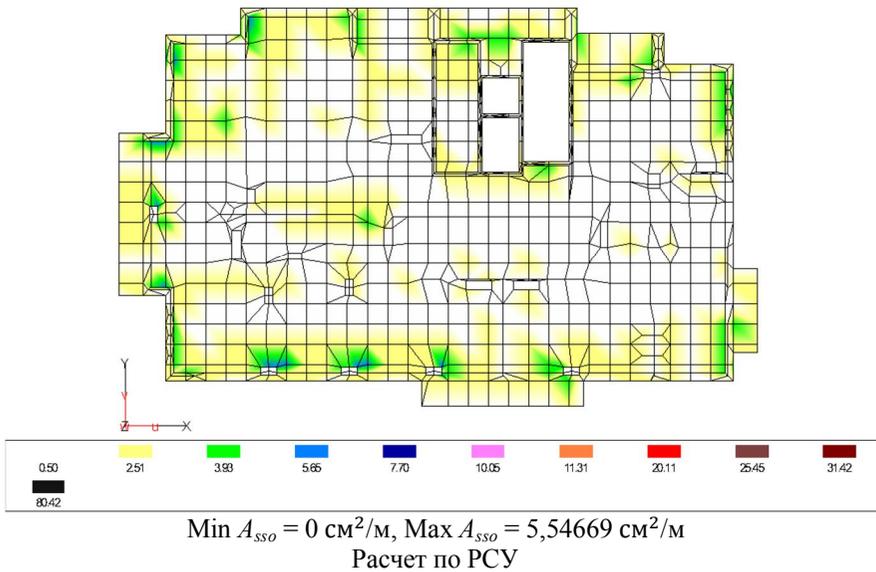


Рисунок 4.17 – Верхнее армирование вдоль локальной оси S

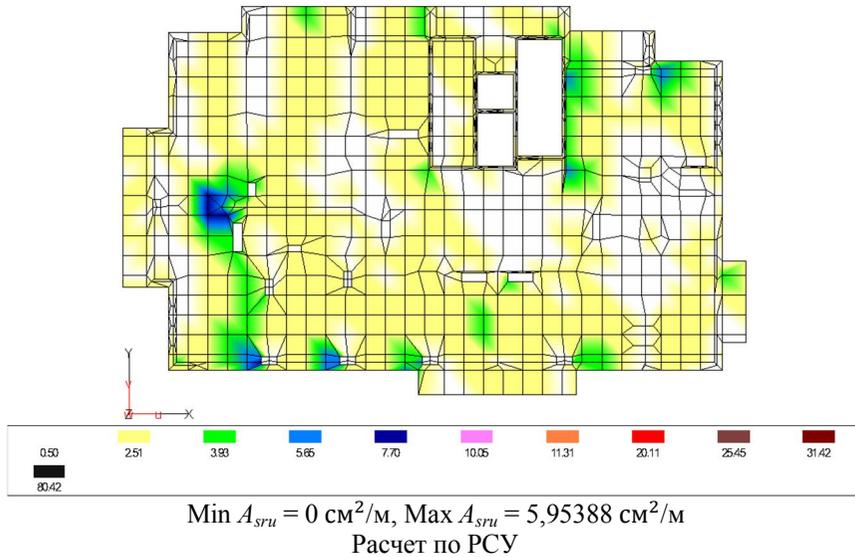


Рисунок 4.18 – Нижнее армирование вдоль локальной оси R

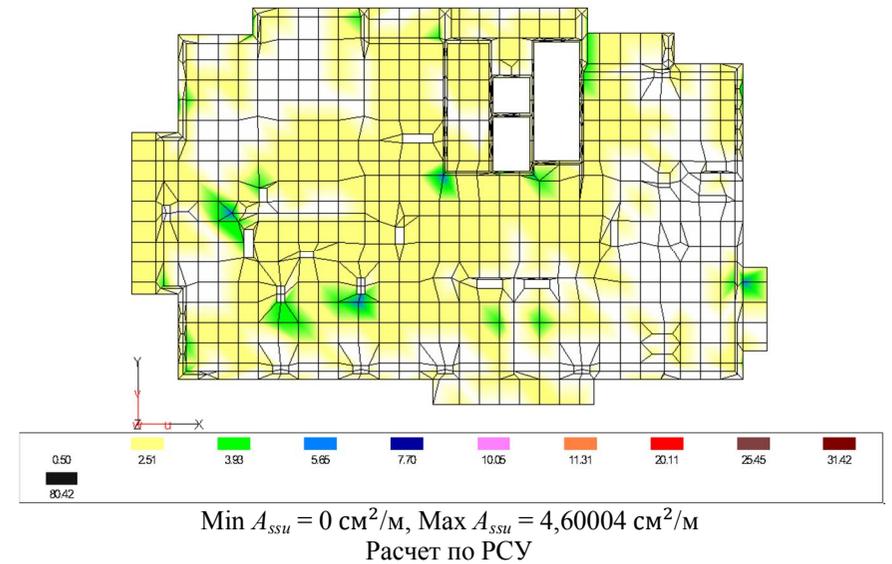


Рисунок 4.19 – Нижнее армирование вдоль локальной оси S

Аналогично выполняем расчет остальных горизонтальных элементов каркаса.

4.5 Расчет на продавливание плиты перекрытия первого этажа

Несущую способность плиты перекрытия первого этажа на продавливание оценим согласно СП 63.13330.2012.

Расчет элементов без поперечной арматуры на продавливание при действии сосредоточенной силы производят из условия

$$F \leq F_{b,ult},$$

где F – сосредоточенная сила от внешней нагрузки;

$F_{b,ult}$ – предельное усилие, воспринимаемое бетоном.

Усилия $F_{b,ult}$ определяют по формуле

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot A_b,$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для первой группы предельных состояний;

A_b – площадь расчетного поперечного сечения, расположенного на расстоянии $0,5h_0$ от границы площади приложения сосредоточенной силы F с рабочей высотой сечения h_0 .

Площадь расчетного поперечного сечения A_b определяется по формуле

$$A_b = u \cdot h_0,$$

где u – периметр контура расчетного поперечного сечения;

h_0 – приведенная рабочая высота сечения,

$$h_0 = 0,5 \cdot (h_{0x} + h_{0y}),$$

где h_{0x}, h_{0y} – рабочая высота сечения для продольной арматуры, расположенной в направлении осей X и Y .

Расчет элементов с поперечной арматурой на продавливание при действии сосредоточенной силы производят из условия

$$F \leq F_{b,ult} + F_{sw,ult},$$

где $F_{b,ult}$ – предельное усилие, воспринимаемое бетоном;

$F_{sw,ult}$ – предельное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании.

Усилие $F_{sw,ult}$, воспринимаемое поперечной арматурой, нормальной к продольной оси элемента и расположенной равномерно вдоль контура расчетного поперечного сечения, определяется по формуле

$$F_{sw,ult} = 0,8 \cdot q_{sw} \cdot u,$$

где q_{sw} – усилие в поперечной арматуре на единицу длины контура расчетного поперечного сечения, расположенной в пределах расстояния $0,5h_0$ по обе стороны от контура расчетного сечения, определяемого по формуле

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w},$$

где R_{sw} – расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению;

A_{sw} – площадь сечения поперечной арматуры с шагом s_w , расположенная в пределах расстояния $0,5h_0$ по обе стороны от контура расчетного поперечного сечения по периметру контура расчетного поперечного сечения;

s_w – расстояние между хомутами, измеренное по длине элемента;

u – периметр контура расчетного поперечного сечения.

Расчет элементов без поперечной арматуры на продавливание при совместном действии сосредоточенных силы и изгибающего момента производится из условия

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M}{M_{b,ult}} \leq 1,$$

где F – сосредоточенная сила от внешней нагрузки;

M – сосредоточенный изгибающий момент от внешней нагрузки;

$F_{b,ult}$ и $M_{b,ult}$ – предельные сосредоточенные сила и изгибающий момент, которые могут быть восприняты бетоном в расчетном поперечном сечении при их раздельном действии.

Предельный изгибающий момент $M_{b,ult}$ определяется по формуле

$$M_{b,ult} = R_{bt} \cdot W_b \cdot h_0,$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для первой группы предельных состояний;

W_b – момент сопротивления расчетного поперечного сечения;

h_0 – приведенная рабочая высота сечения.

При действии изгибающих моментов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях расчет производится из условия

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult}} \leq 1.$$

Расчет прочности элементов с поперечной арматурой на продавливание при действии сосредоточенной силы и изгибающих моментов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях производится из условия

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult} + M_{sw,y,ult}} \leq 1,$$

где F, M_x, M_y – сосредоточенная сила и изгибающие моменты в направлениях осей X и Y, учитываемые при расчете на продавливание от внешней нагрузки;

$F_{b,ult}$ и $M_{bx,ult}, M_{by,ult}$ – предельные сосредоточенные сила и изгибающие моменты в направлениях осей X и Y, которые могут быть восприняты бетоном в расчетном поперечном сечении при их раздельном действии;

$F_{sw,ult}$ и $M_{sw,x,ult}, M_{sw,y,ult}$ – предельные сосредоточенные сила и изгибающие моменты в направлениях осей X и Y, которые могут быть восприняты поперечной арматурой при их раздельном действии.

Усилия $M_{sw,x,ult}$ и $M_{sw,y,ult}$, воспринимаемые поперечной арматурой, нормальной к продольной оси элемента и расположенной равномерно вдоль контура расчетного сечения, определяют при действии изгибающего момента соответственно в направлении осей X и Y, что производится из условия

$$M_{sw,ult} = 0,8 \cdot q_{sw} \cdot W_{sw},$$

где $q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w},$

R_{sw} – расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению;

A_{sw} – площадь сечения поперечной арматуры с шагом s_w , расположенная в пределах расстояния $0,5h_0$ по обе стороны от контура по его периметру;

s_w – расстояние между хомутами, измеренное по длине элемента;

W_{sw} – значение момента сопротивления поперечной арматуры при продавливании.

С целью вывода в видимый фрагмент плиты перекрытия первого этажа необходимо воспользоваться кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее посредством кнопки **Вох** выбираем следующие конструкции:

- плита перекрытия первого этажа;
- колонны первого этажа;
- диафрагмы жесткости первого этажа;
- плита перекрытия подвального этажа.

Вариант выбора конструкций представлен на рисунке 4.20.

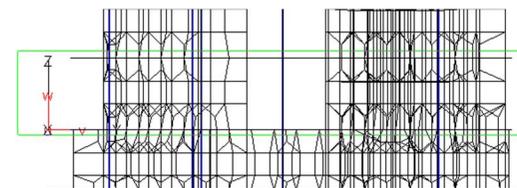


Рисунок 4.20 – Выбор конструкций

В рабочем окне отобразится выбранный фрагмент схемы.

Далее посредством кнопки  устанавливаем 3D вид.

С целью отображения покрытия воспользуемся кнопкой , выбранный фрагмент схемы представлен на рисунке 4.21.

Для анализа несущей способности плиты перекрытия первого этажа воспользуемся кнопкой , расположенной на

панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (на рисунок 4.22). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

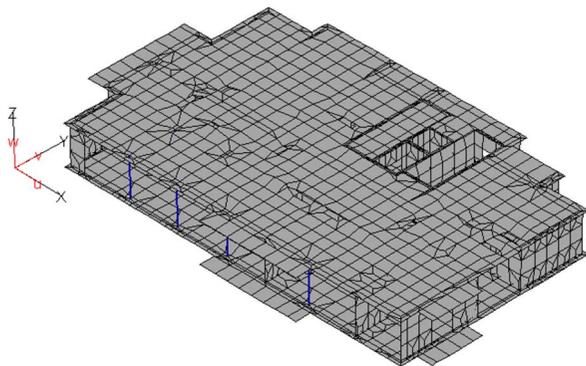


Рисунок 4.21 – Отображение выбранного фрагмента схемы

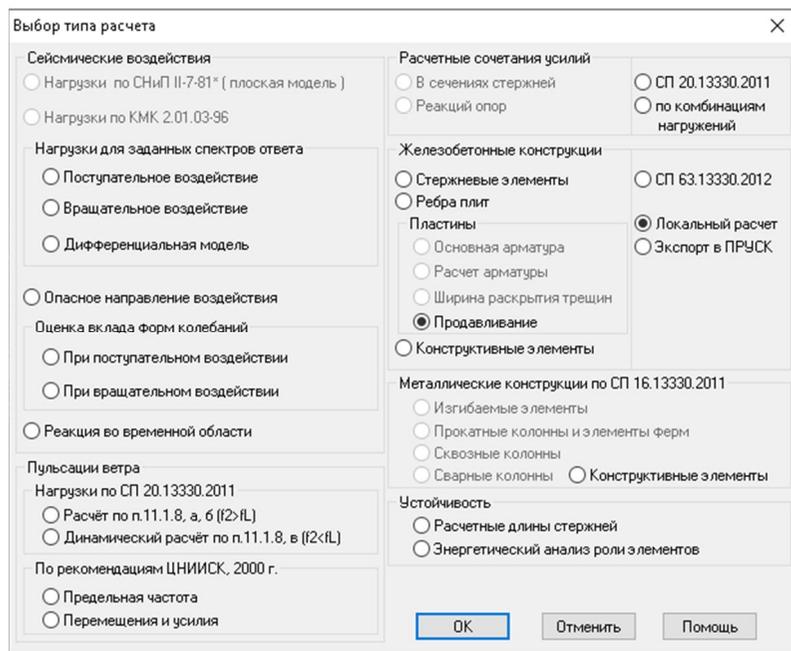


Рисунок 4.22 – Исходные данные для расчета

В появившемся диалоговом окне нажимаем кнопку **Расчет** (рисунок 4.23).

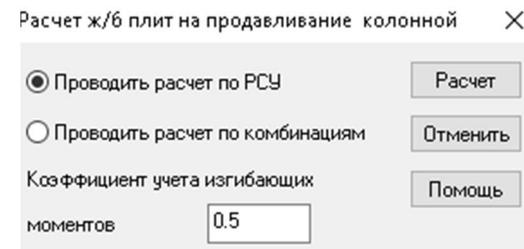


Рисунок 4.23 – Задание параметров для расчета

Далее контролируем коэффициенты расчетных сочетаний усилий согласно СП 20.13330.2011, для продолжения расчета нажимаем кнопку **Расчет** (рисунок 4.24).

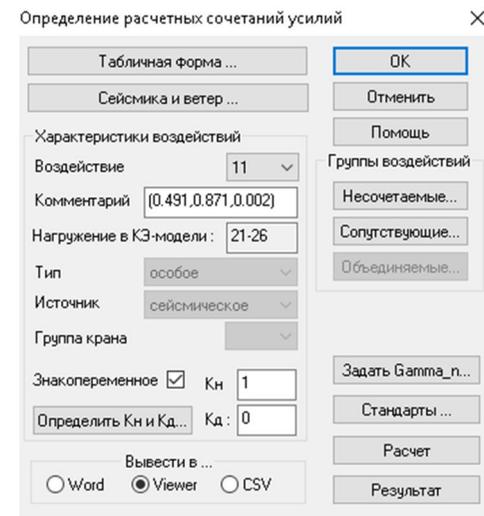


Рисунок 4.24 – Контроль коэффициентов расчетных сочетаний усилий

Зададим группы элементов для определения расчетных сочетаний усилий в появившемся диалоговом окне «Добавить группу» (рисунок 4.25).

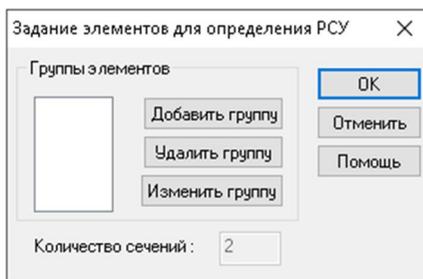


Рисунок 4.25 – Контроль коэффициентов расчетных сочетаний усилий

Выбираем группы элементов для определения расчетных сочетаний усилий в появившемся диалоговом окне «**Выбор в графике**» (рисунок 4.26).

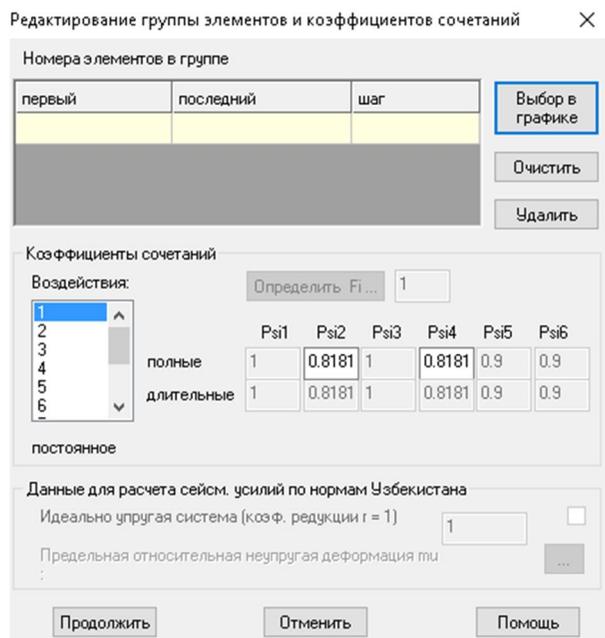


Рисунок 4.26 – Выбор группы элементов

С целью выбора рассчитываемых зон плиты перекрытия первого этажа на продавливание укажем посредством кнопки

Box необходимые зоны плиты перекрытия первого этажа (рисунок 4.27).

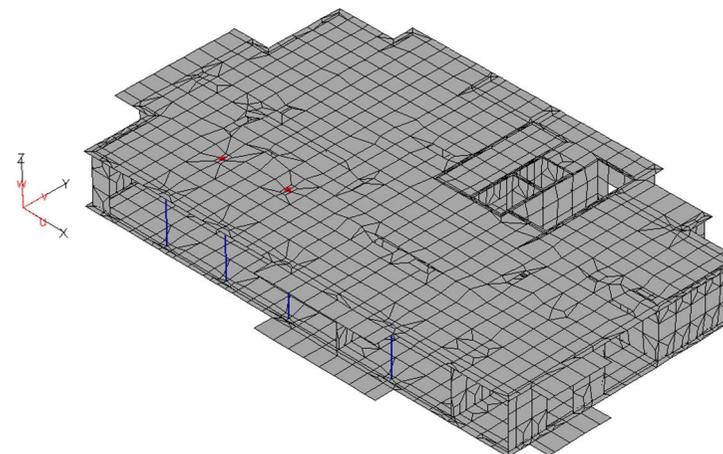


Рисунок 4.27 – Отображение рассчитываемых зон плиты перекрытия

Для продолжения расчета в окне бокового меню нажимаем кнопку «**Расчет**» (рисунок 4.28).



Рисунок 4.28 – Продолжение расчета в окне бокового меню

В появившемся диалоговом окне для продолжения расчета нажимаем кнопку «**Продолжить**», далее с целью подтверждения заданной группы элементов нажимаем кнопку «**ОК**» (рисунок 4.29).

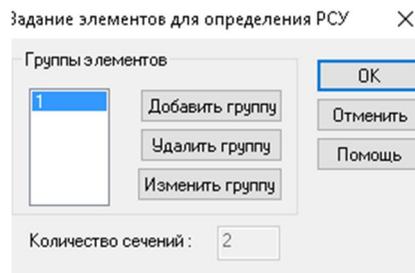
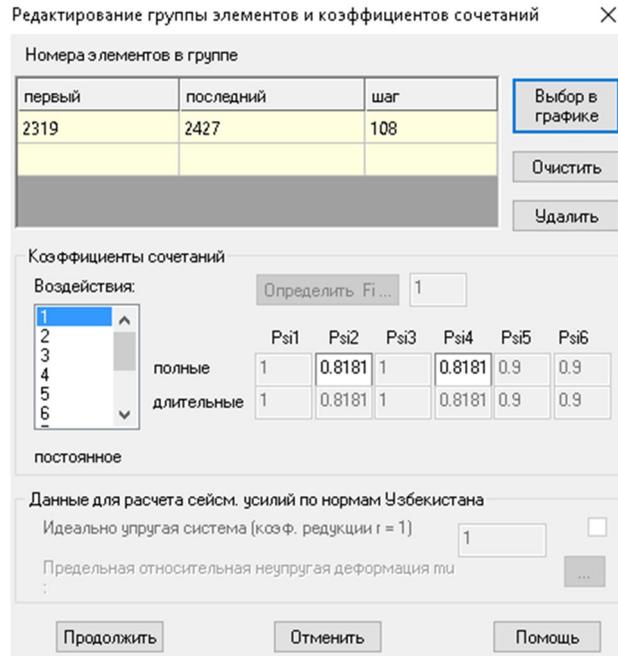


Рисунок 4.29 – Продолжения расчета в окне «Редактирование группы элементов коэффициентов сочетаний»

Программа позволяет рассчитать сочетание усилий, в ПК Viewer будет опубликован протокол расчета. Далее откроется диалоговое окно интегрированной программы для расчета плоских железобетонных плит на продавливание колоннами PlatePunch.

В появившемся диалоговом окне задаем следующие исходные данные для расчета:

- размеры сечения и расположение колонны;
- нормативный документ (для выбора методики расчета плиты перекрытия на продавливание);
- параметры материалов, значение приведенной рабочей высоты плиты;
- коэффициенты условий работы;
- схему армирования.

Заданные исходные данные для расчета представлены на рисунке 4.30.

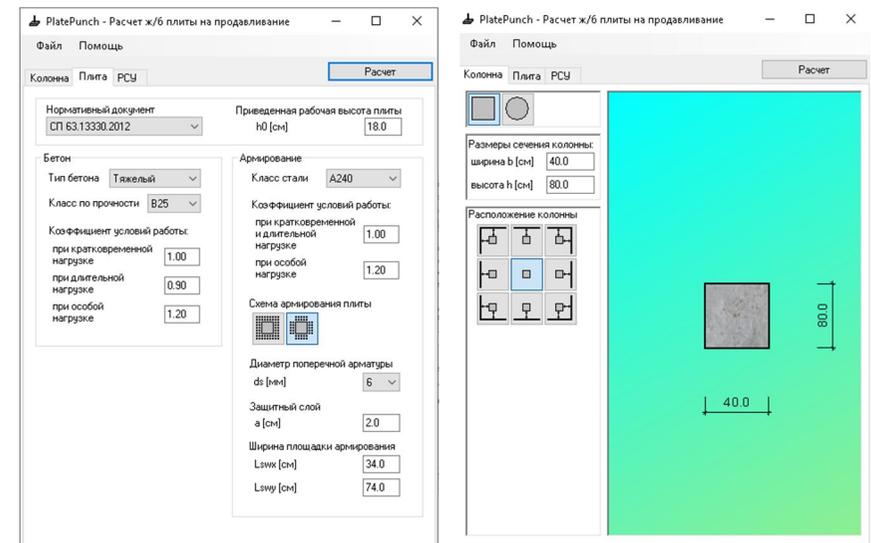


Рисунок 4.30 – Исходные данные для расчета железобетонной плиты на продавливание

С целью продолжения расчета нажимаем кнопку «**Расчет**». В появившемся диалоговом окне будут отображены результаты расчета (рисунок 4.31). Нажимаем кнопку «**Вывод**» с целью опубликования протокола расчета в ПК Viewer.

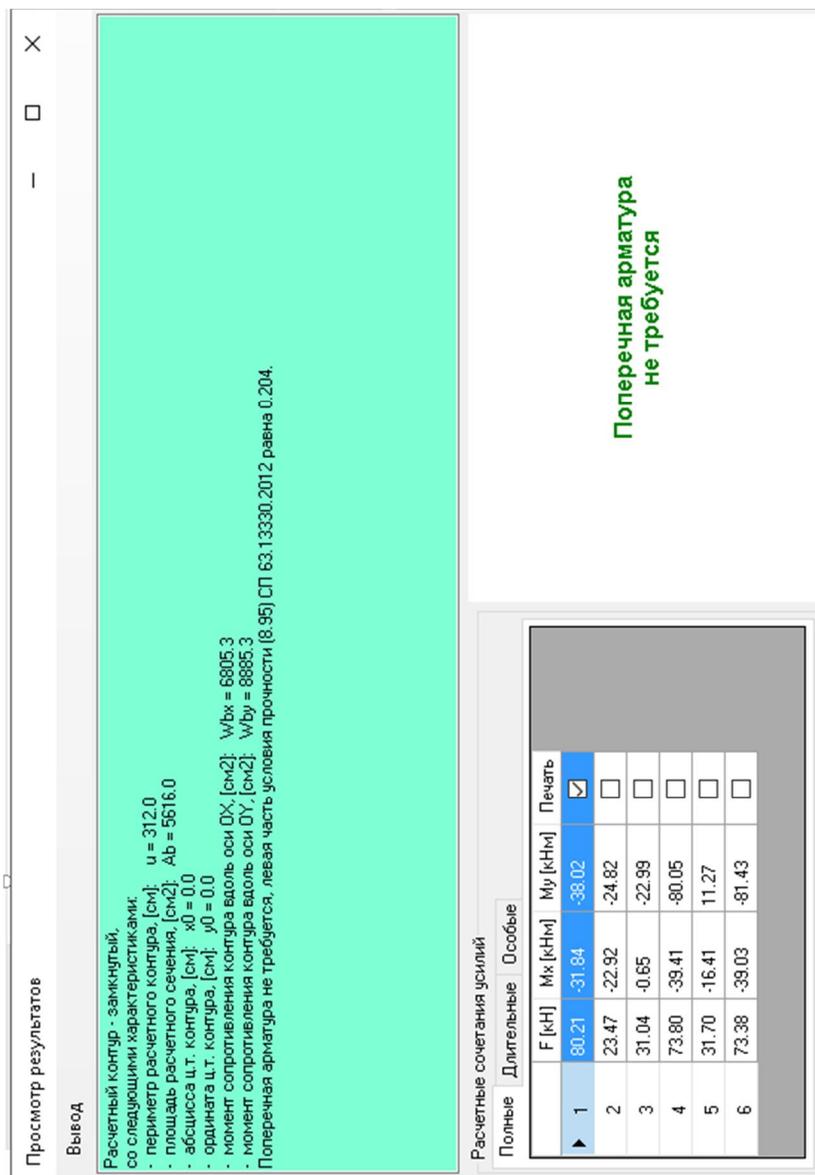


Рисунок 4.31 – Опубликованные результаты расчета

Далее представлен протокол расчета железобетонной плиты перекрытия на продавливание, опубликованный в ПК Viewer.

Расчет железобетонной плиты на продавливание

Исходные данные

Колонна

Тип сечения: прямоугольный.

Ширина сечения: $b = 40,0$ см.

Высота сечения: $h = 80,0$ см.

Относительное расположение: центральная.

Плита

Приведенная рабочая высота плиты: $h_0 = 18$.

Тип: тяжелый.

Класс: В25.

Коэффициент условий работы:

– при кратковременной нагрузке – 1,00,

– при длительной нагрузке – 0,90,

– при особой нагрузке – 1,20.

Плита: армирование

Класс: А240.

Коэффициент условий работы:

– при кратковременной и длительной нагрузке – 1,00,

– при особой нагрузке – 1,20.

Схема армирования: крестообразная.

Диаметр поперечной арматуры: $d_s = 6$ мм.

Защитный слой: $a = 2,0$ см.

Ширина площадки армирования по оси X: $L_{swx} = 34,0$ см.

Ширина площадки армирования по оси Y: $L_{swy} = 74,0$ см.

Расчетные сочетания усилий (таблицы 4.4–4.6).

Таблица 4.4 – Полные расчетные сочетания усилий

№ п/п	F, кН	M_x , кНм	M_y , кНм
1	80,21	-31,84	-38,02
2	23,47	-22,92	-24,82
3	31,04	-0,65	-22,99
4	73,80	-39,41	-80,05
5	31,70	-16,41	11,27
6	73,38	-39,03	-81,43

Таблица 4.5 – Длительные расчетные сочетания усилий

№ п/п	F, кН	M_x , кН · м	M_y , кН · м
1	58,47	-32,92	-68,48
2	24,79	-19,64	-24,64
3	26,08	-18,27	-23,00
4	57,84	-34,34	-71,00

Таблица 4.6 – Особые расчетные сочетания усилий

№ п/п	F, кН	M_x , кН · м	M_y , кН · м
1	61,32	4,52	-30,53
2	13,77	-62,52	-41,34
3	38,99	30,20	-5,26
4	21,76	-63,61	-42,91
5	36,15	-12,94	31,55
6	41,65	-36,34	-115,17

Результаты расчета сочетания усилий № 1

(по СП 63.13330.2012)

Расчетный контур – замкнутый со следующими характеристиками:

- периметр расчетного контура: $u = 312,0$ см;
- площадь расчетного сечения: $A_b = 5616,0$ см²;
- абсцисса центра тяжести контура: $x_0 = 0,0$ см;
- ордината центра тяжести контура: $y_0 = 0,0$ см;
- момент сопротивления контура;
вдоль оси OX: $W_{bx} = 6805,3$ см²;
- вдоль оси OY: $W_{by} = 8885,3$ см².

Поперечная арматура не требуется, левая часть условия прочности, согласно формуле 8.95 СП 63.13330.2012, равна 0,204.

4.6 Расчет арматуры в диафрагме жесткости каркаса

С целью вывода в видимый фрагмент диафрагмы жесткости необходимо воспользоваться кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее посредством кнопки **Einz** выбираем плоскость диафрагмы жесткости (рисунок 4.32).

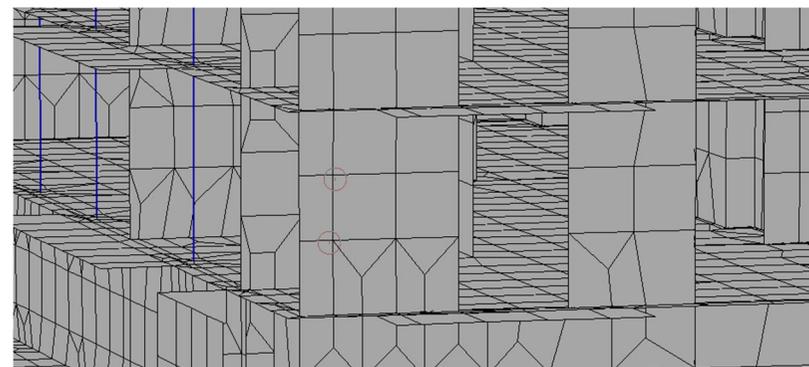


Рисунок 4.32 – Выбор плиты перекрытия первого этажа

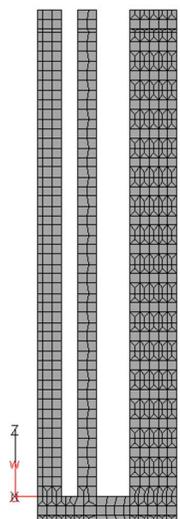


Рисунок 4.33 – Отображение диафрагмы жесткости

В рабочем окне отобразится выбранный фрагмент схемы – диафрагма жесткости. Далее посредством кнопки  установим проекцию YZ (рисунок 4.33).

Для определения армирования диафрагмы жесткости воспользуемся кнопкой , размещенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 4.34). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

Рисунок 4.34 – Задание исходных данных для расчета

Задаем исходные данные для определения площади армирования диафрагмы жесткости согласно СП 63.13330.2012 (рисунок 4.35).

Рисунок 4.35 – Задание исходных данных для расчета

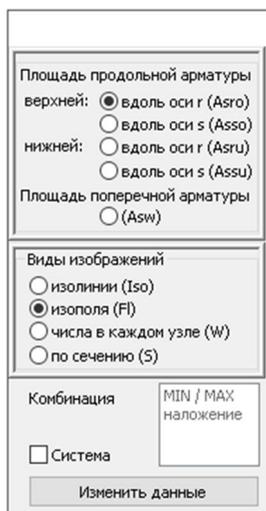
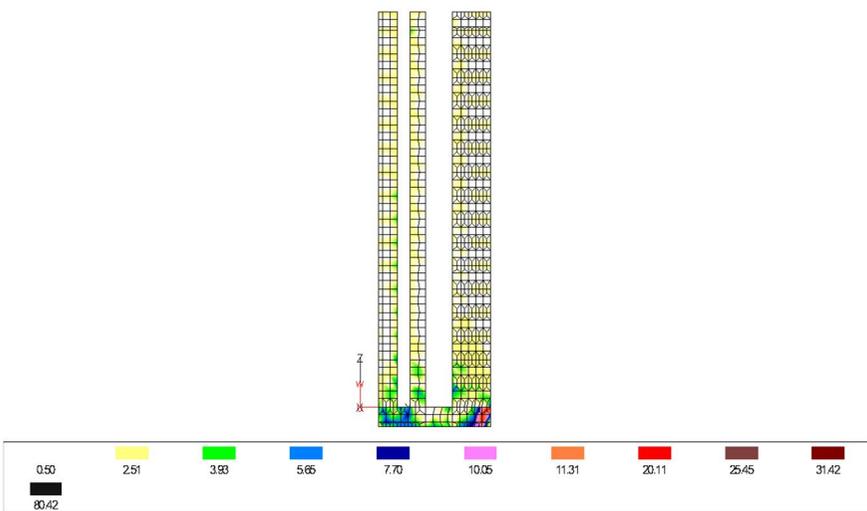


Рисунок 4.36 – Выбор отображения изополей площадей армирования

Коэффициенты расчетных сочетаний усилий контролируем согласно СП 20.13330.2011.

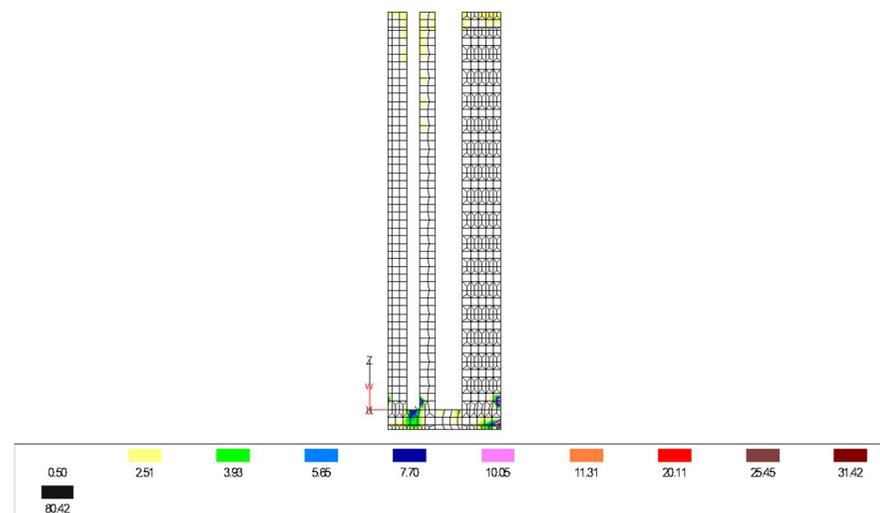
Программа подбирает необходимые поперечные площади армирования диафрагмы жесткости. С целью отображения изополей площадей армирования диафрагмы жесткости задаем следующие параметры (рисунок 4.36).

На рисунках 4.37–4.40 представлены изополя армирования диафрагмы жесткости.



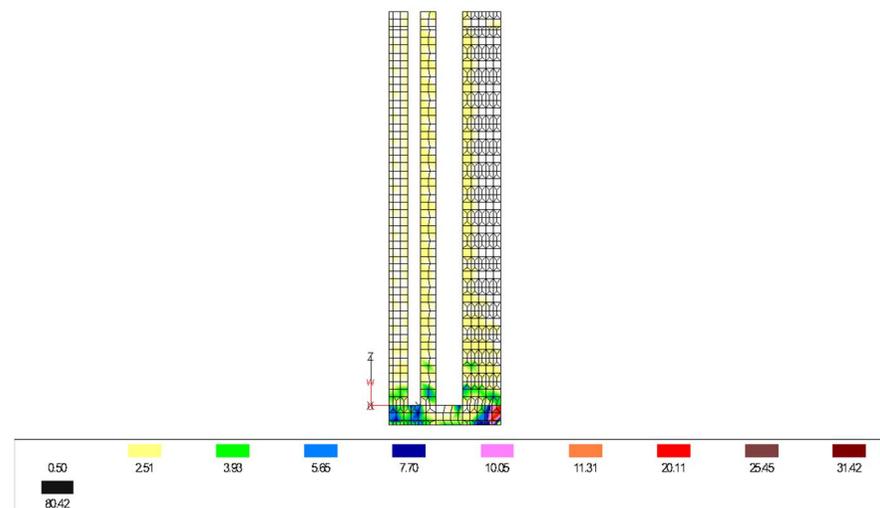
Min $A_{sRo} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max $A_{sRo} = 13,9621 \text{ см}^2/\text{м}$

Рисунок 4.37 – Определение по расчетным сочетаниям усилий верхнего армирования вдоль локальной оси R



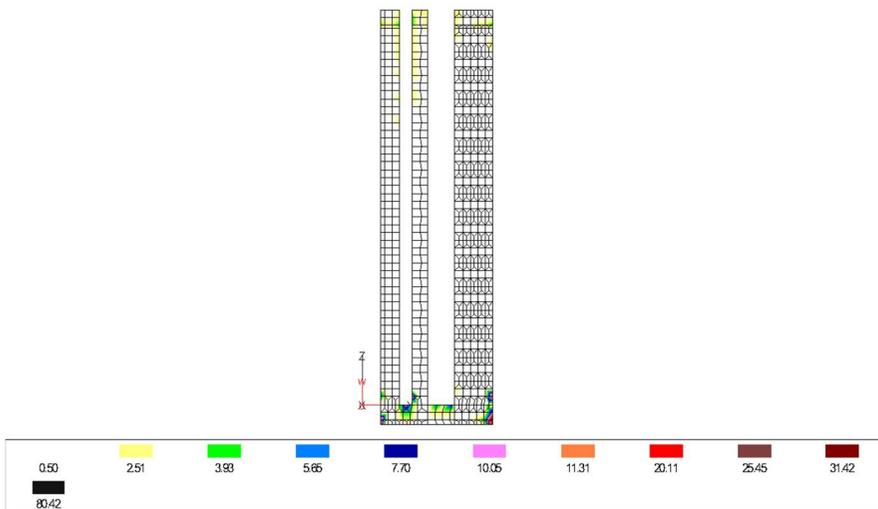
Min $A_{sSo} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max $A_{sSo} = 39,209 \text{ см}^2/\text{м}$

Рисунок 4.38 – Определение по расчетным сочетаниям усилий верхнего армирования вдоль локальной оси S



Min $A_{sRu} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max $A_{sRu} = 16,7643 \text{ см}^2/\text{м}$

Рисунок 4.39 – Определение по расчетным сочетаниям усилий нижнего армирования вдоль локальной оси R



Min $A_{ssu} = 0 \text{ см}^2/\text{м}$, Max $A_{ssu} = 98,7061 \text{ см}^2/\text{м}$

Рисунок 4.40 – Определение по расчетным сочетаниям усилий нижнего армирования вдоль локальной оси S

Площадь продольной арматуры
 верхней: вдоль оси r (A_{sro})
 вдоль оси s (A_{sso})
 нижней: вдоль оси r (A_{sru})
 вдоль оси s (A_{ssu})
 Площадь поперечной арматуры
 (A_{sw})

Виды изображений
 изолинии (Iso)
 изополя (Fl)
 числа в каждом узле (W)
 по сечению (S)

Комбинация MIN / MAX
наложение
 Система

Изменить данные

Рисунок 4.41 – Задание параметра для осреднения значений площади по сечению нижнего армирования

С целью осреднения значений площади поперечного сечения нижнего армирования вдоль локальной оси S зададим соответствующий параметр (рисунок 4.41).

Далее посредством кнопки в планке переключателей 2 выбираем сечение для осреднения армирования диафрагмы жесткости (рисунок 4.42).

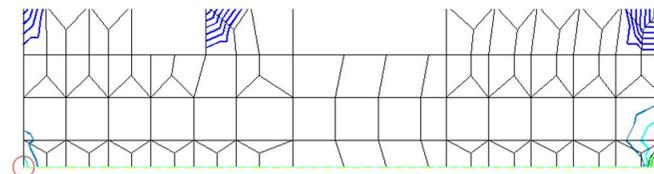


Рисунок 4.42– Выбор сечения для осреднения значений площади поперечного сечения нижнего армирования

В рабочем окне отобразится линия сечения, пересекающая все элементы (рисунок 4.43).

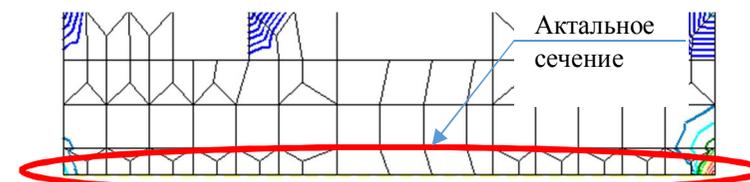


Рисунок 4.43 – Актуальное сечение

Далее нажимаем кнопку «**Ctrl**» и правую кнопку мыши, выбираем параметр «Линия-отрезок» (рисунок 4.44).

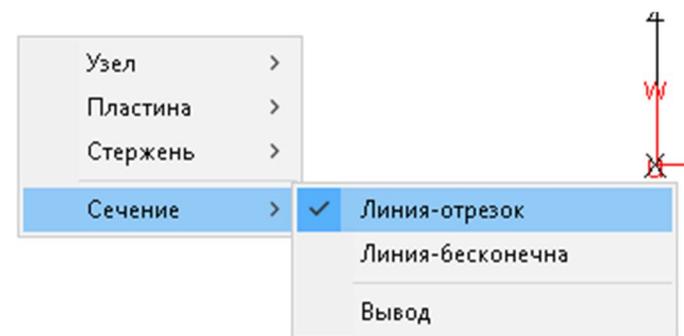


Рисунок 4.44 – Выбор параметра «Линия-отрезок»

Указываем зону осреднения, в рабочем окне отобразится эпюра армирования в пределах выбранного отрезка (рисунок 4.45).

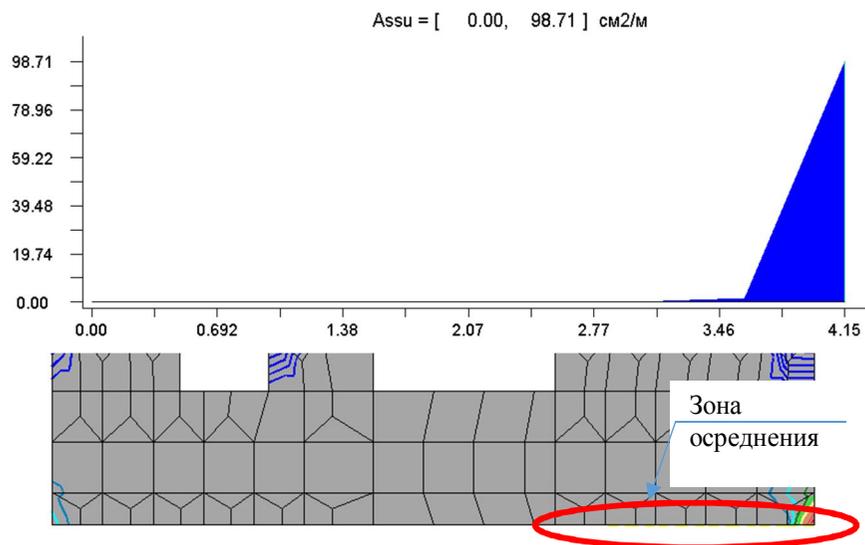


Рисунок 4.45 – Зона осреднения

В информационном окне появятся данные по эпюре распределения арматуры в данном сечении (рисунок 4.46).

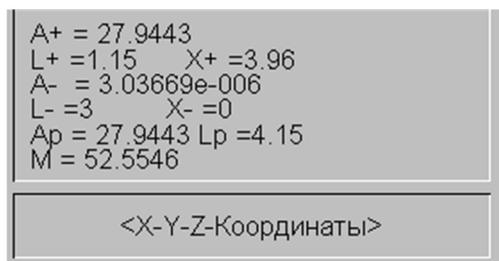


Рисунок 4.46 – Информация по эпюре распределения арматуры

- $A+$ – площадь положительной части эпюры;
- $L+$ – длина положительной части эпюры;
- $X+$ – координата центра тяжести положительной части эпюры;
- $A-$ – площадь отрицательной части эпюры;
- $L-$ – длина отрицательной части эпюры;

$X-$ – координата центра тяжести отрицательной части эпюры;

A_p – площадь полной эпюры;

L_p – длина полной эпюры;

M – момент эпюры.

Для осреднения значений необходимо площадь полной эпюры A_p разделить на длину полной эпюры L_p , т. е.

$$27,94/4,15 = 6,73 \text{ см}^2/\text{м}.$$

Функция подсчета площадей эпюр позволяет определить суммарную площадь сечения арматуры на данном участке элемента.

На основе полученных значений армирования конструируем железобетонные конструкции.

4.7 Расчет армирования колонн

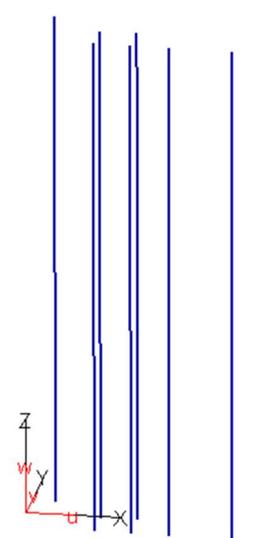


Рисунок 4.47 – Видимый фрагмент колонны

С целью вывода в видимый фрагмент колонн необходимо воспользоваться кнопкой , размещенной на панели инструментов. В рабочем окне отобразятся колонны (рисунок 4.47).

Выбираем колонны сечением $0,8 \times 0,4$ м, с этой целью воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее посредством кнопки  выбираем указанные колонны (рисунок 4.48).

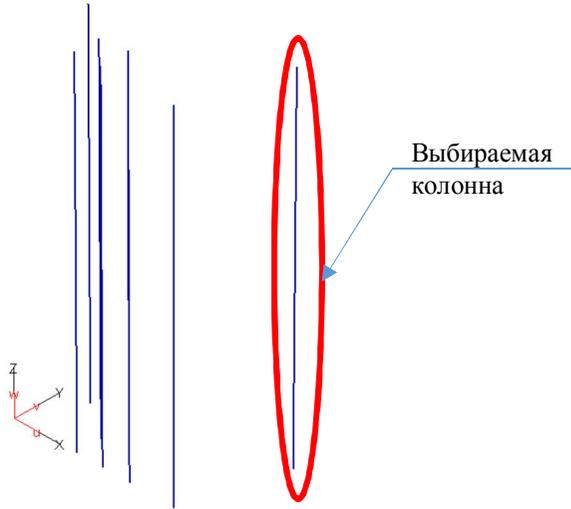


Рисунок 4.48 – Выбранные колонны с сечением $0,8 \times 0,4$ м

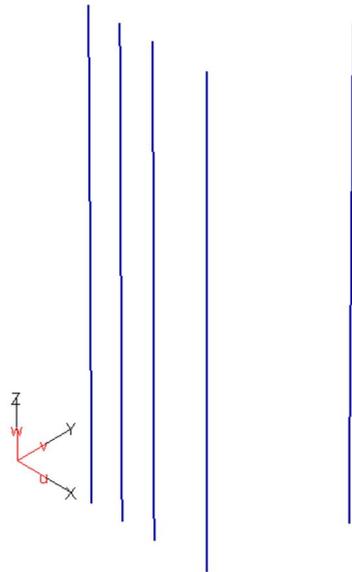


Рисунок 4.49 – Колонны с сечением $0,8 \times 0,4$ м

В рабочем окне отображаются колонны с сечением $0,8 \times 0,4$ м (рисунок 4.49).

Для определения расчетного сочетания усилий в сечениях стержней используют кнопку , размещенную на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 4.50). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

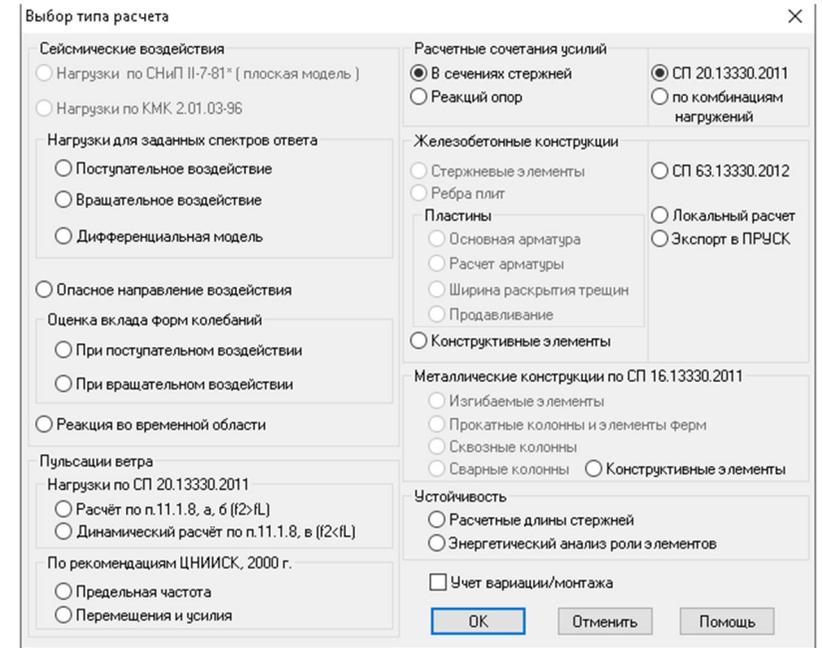


Рисунок 4.50 – Задание исходных данных для расчета

Коэффициенты расчетных сочетаний усилий контролируем согласно СП 20.13330.2011. Далее выполняем «Расчет».

В появившемся диалоговом окне выбираем «Добавить группу» (рисунок 4.51).

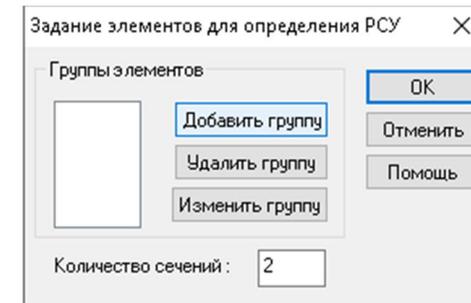


Рисунок 4.51 – Задание группы элементов

В диалоговом окне появляется «Выбор в графике» (рисунок 4.52).

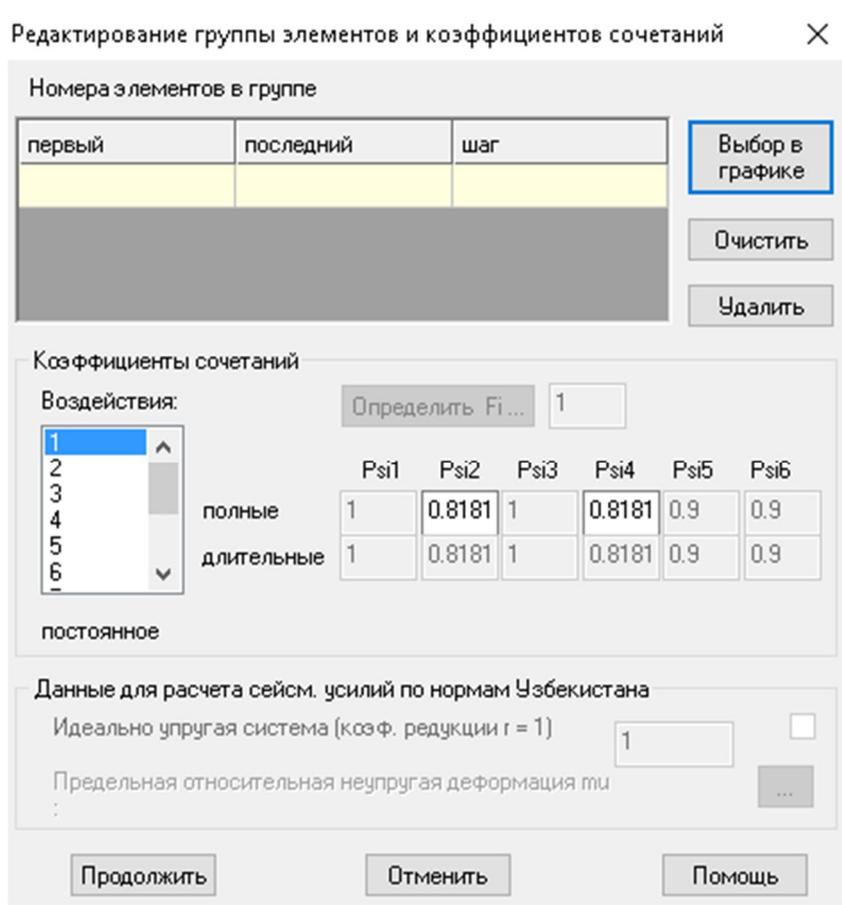


Рисунок 4.52 – Выбор группы элементов

С помощью кнопки **Box** выбираем колонны (рисунок 4.53).

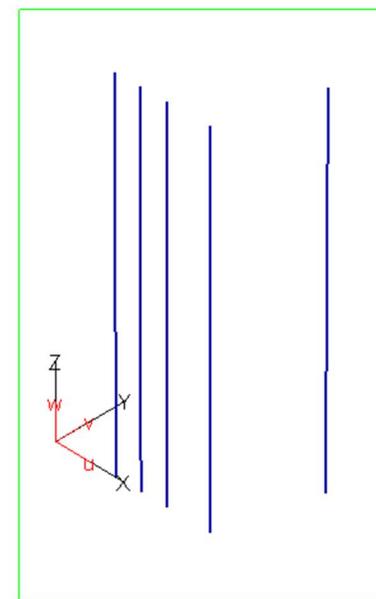


Рисунок 4.53 – Выбор группы колонн

С целью продолжения расчета в окне выбора нажимаем кнопку «Расчет» (рисунок 4.54).

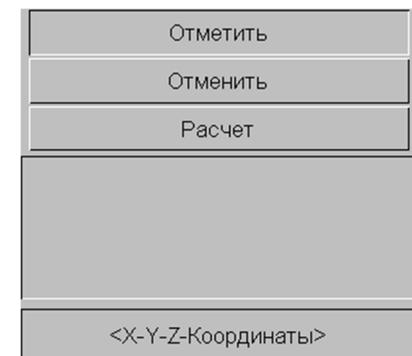


Рисунок 4.54 – Продолжения расчета

Программа позволит заполнить таблицу групп элементов (рисунок 4.55).

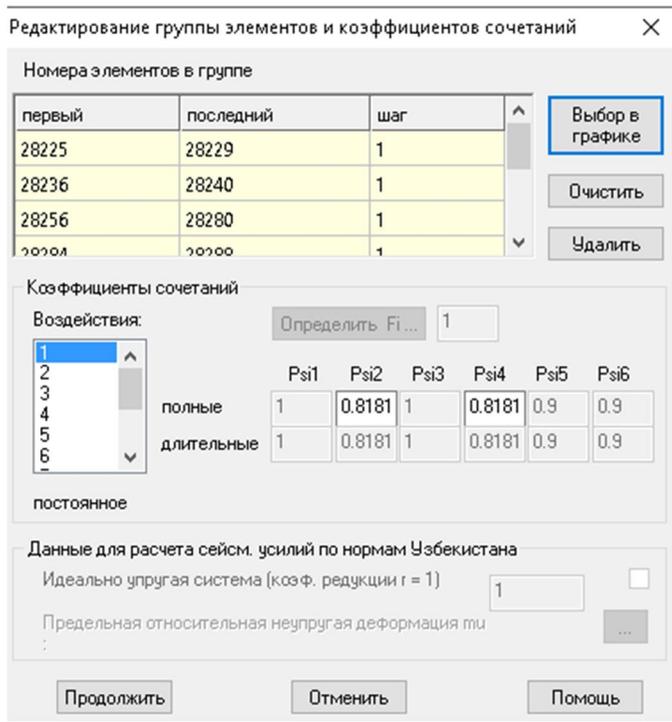


Рисунок 4.55 – Заданные группы элементов

Далее нажимаем кнопку «Продолжить».
 В появившемся диалоговом окне корректируем количество сечений (рисунок 4.56).

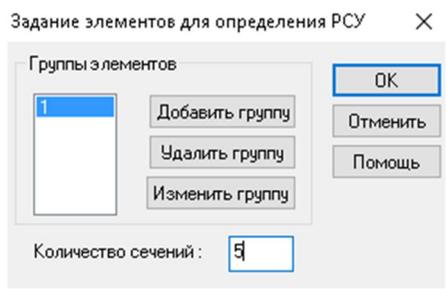


Рисунок 4.56 – Корректировка количества сечений

Далее нажимаем кнопку «ОК», программа выполняет расчетное сочетание усилий сечений. Сформированный отчет будет выведен в ПК Viewer. Далее нажимаем кнопку «ОК».

С целью определения армирования колонн воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для расчета (рисунок 4.57). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

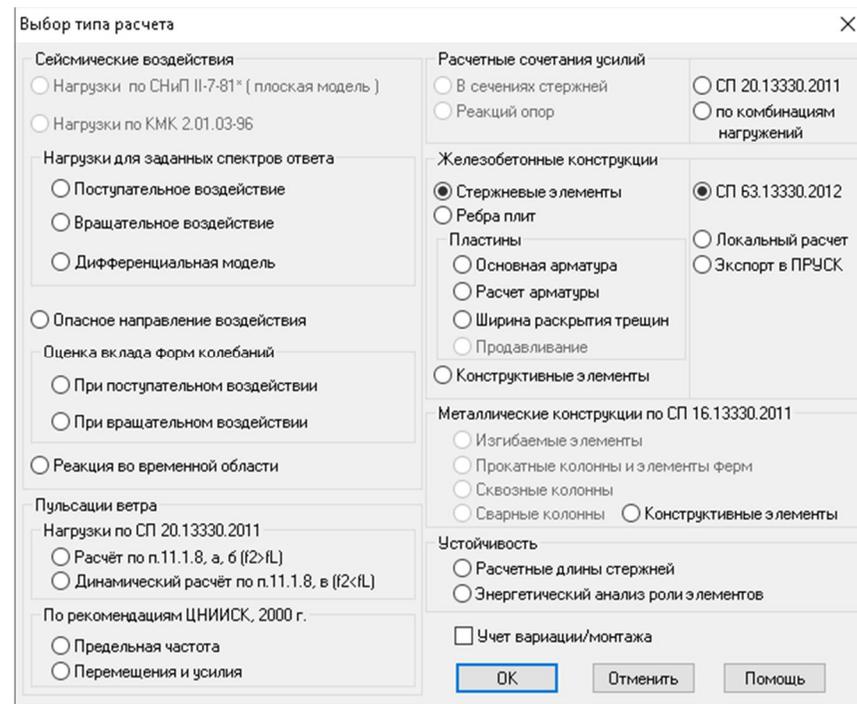


Рисунок 4.57 – Задание исходных данных для расчета группы колонн

Задаем исходные данные по группе колонн для определения армирования согласно СП 63.13330.2012 (рисунок 4.58). Нажимаем кнопку «Добавить».

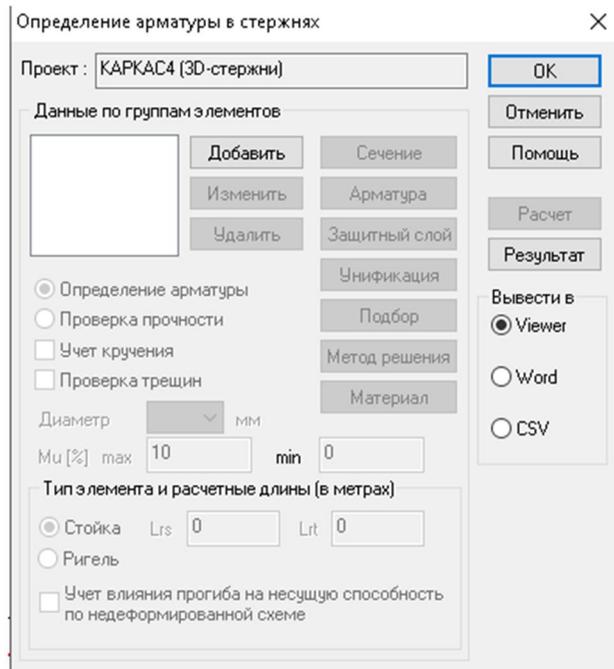


Рисунок 4.58 – Задание исходных данных по группе колонн

Появляется диалоговое окно «**Выбор в графике**» (рисунок 4.59).

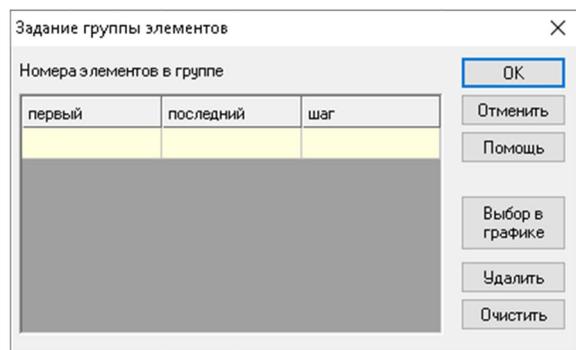


Рисунок 4.59 – Задание группы колонн

Далее посредством кнопки **Box** выбираем колонны (рисунок 4.60).

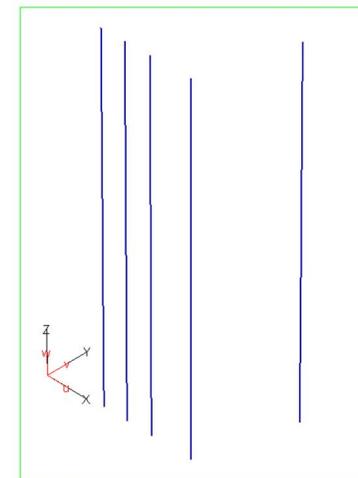


Рисунок 4.60 – Выбор группы колонн

Продолжаем расчет в окне выбора «**Расчет**» (рисунок 4.61).



Рисунок 4.61 – Продолжение расчета

Программа реализует заполнение таблицы групп элементов (рисунок 4.62). Далее нажимаем кнопку «**ОК**».

В появившемся диалоговом окне задаем значения расчетных длин элементов (максимальная высота этажа) (рисунок 4.63).

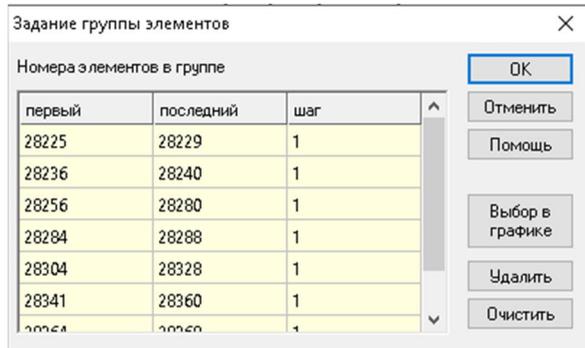


Рисунок 4.62 – Заданные группы колонн

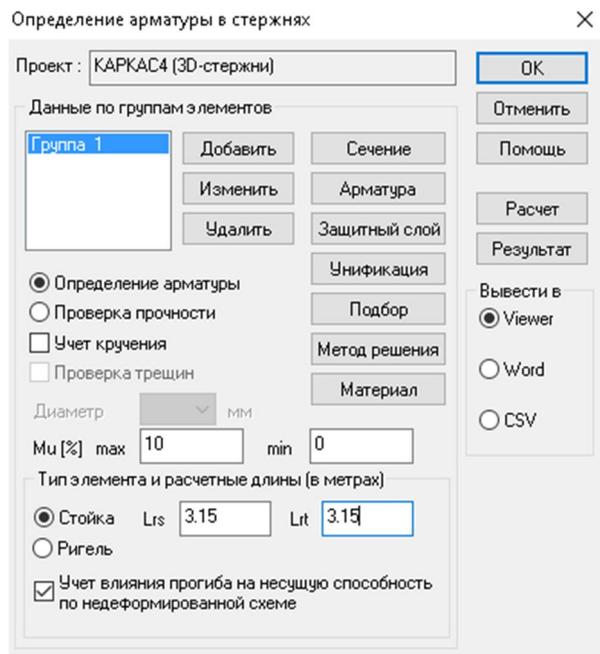


Рисунок 4.63 – Задание расчетных длин элементов

Далее последовательно задаем параметры рассчитываемых элементов: «Сечение», «Арматура», «Защитный слой», «Унификация», «Материал» (рисунки 4.64–4.68). Далее нажимаем кнопку «Расчет».

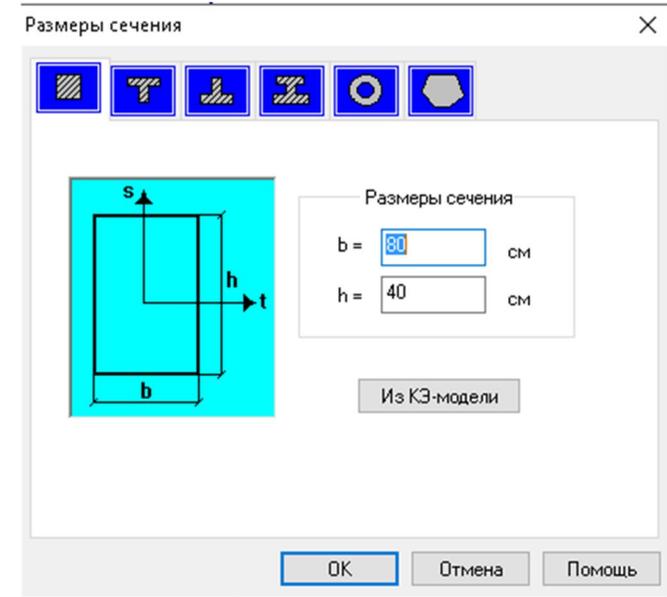
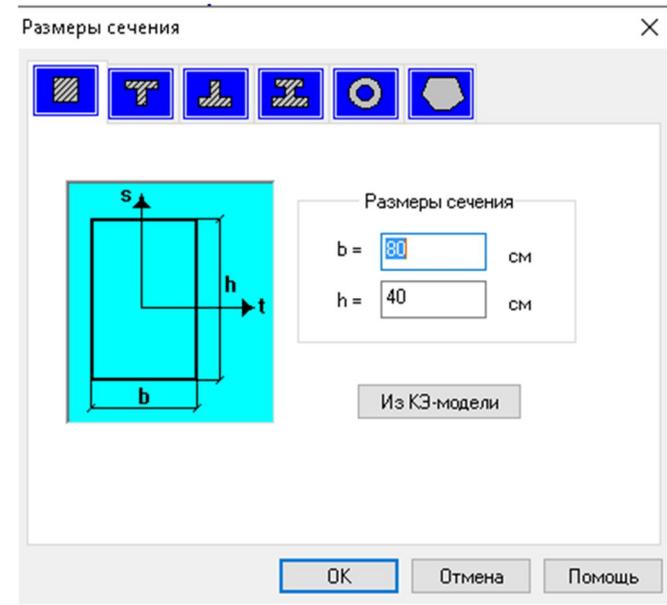


Рисунок 4.64 – Задание сечений рассчитываемых элементов

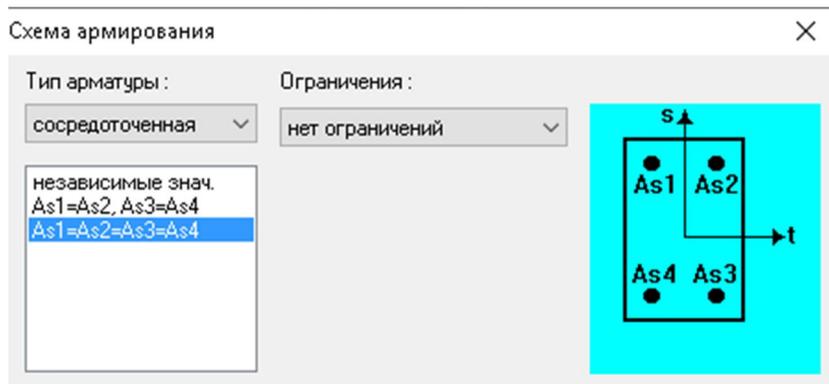


Рисунок 4.65 – Армирование рассчитываемых элементов

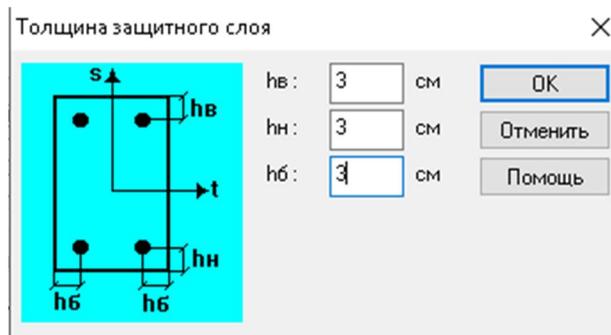


Рисунок 4.66 – Задание толщины защитного слоя рассчитываемых элементов

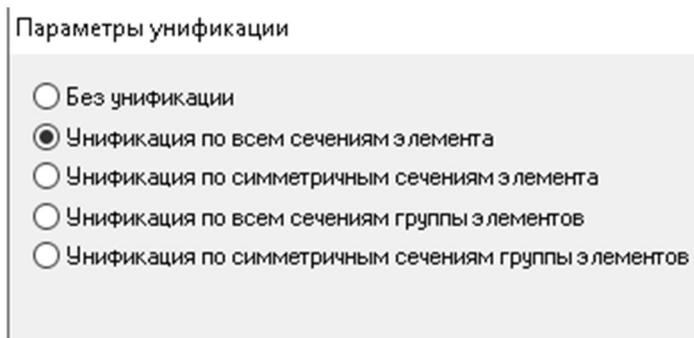


Рисунок 4.67 – Задание параметров унификации рассчитываемых элементов

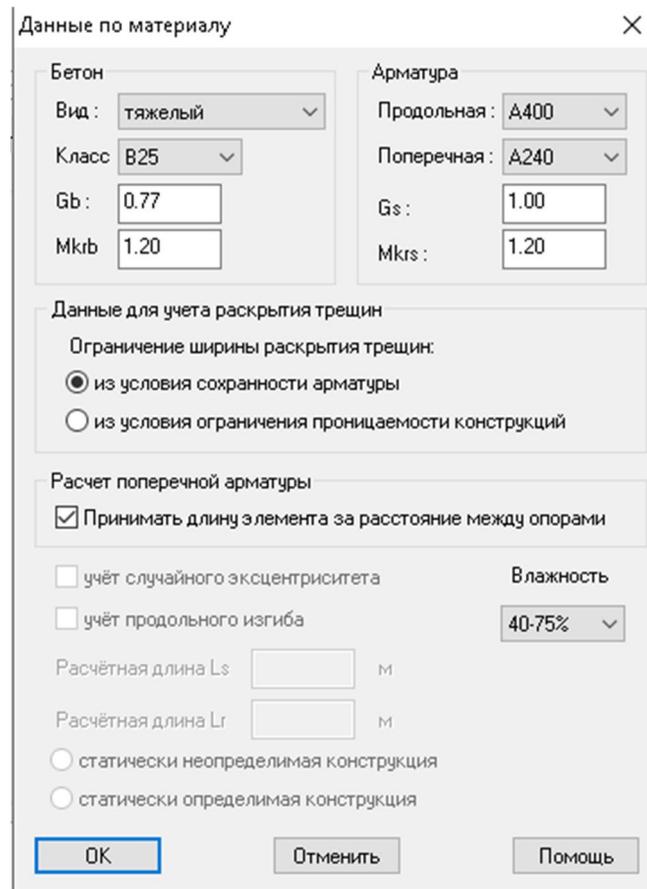


Рисунок 4.68 – Задание параметров рассчитываемых элементов

Сформированный отчет по армированию стержневых элементов будет выведен в ПК Viewer. Далее нажимаем кнопку «ОК» (рисунок 4.68).

Для удобства анализа армирования колонн воспользуемся кнопкой , расположенной на панели инструментов. Далее задаем исходные данные для формирования конструктивных элементов (рисунок 4.69). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

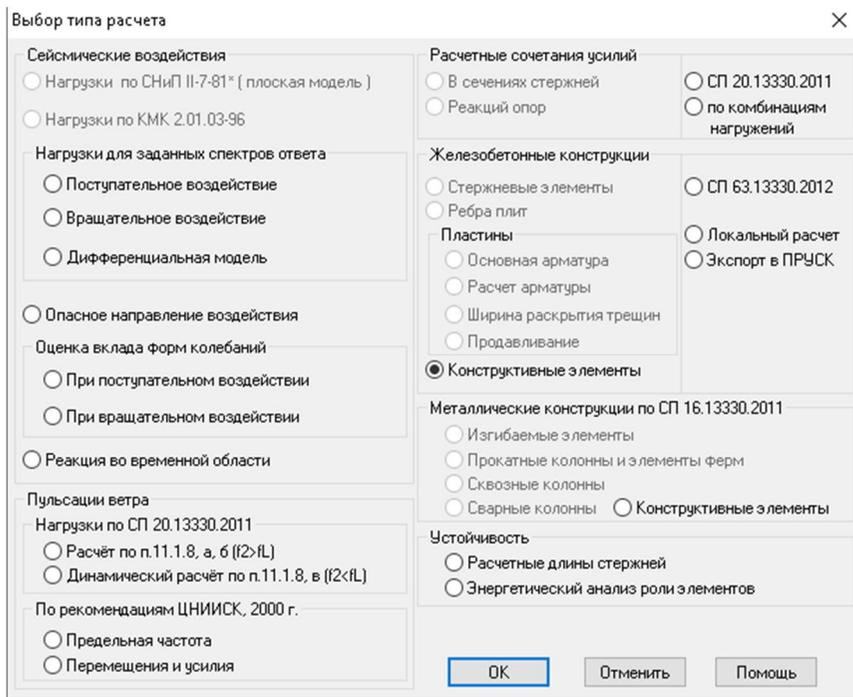


Рисунок 4.69 – Задание исходных данных для расчета

В появившемся диалоговом окне выбираем «Цепочка КЭ максимальной длины» (рисунок 4.70). Для завершения ввода нажимаем кнопку «ОК».

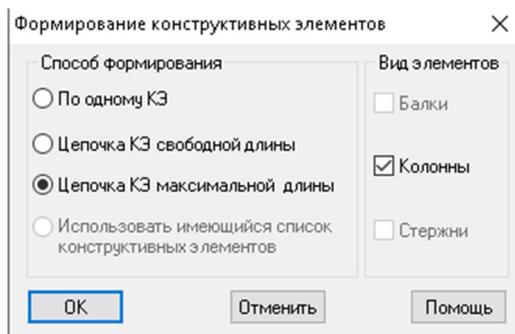


Рисунок 4.70 – Формирование конструктивных элементов

В появившемся диалоговом окне нажимаем «Добавить к группе» (рисунок 4.71).

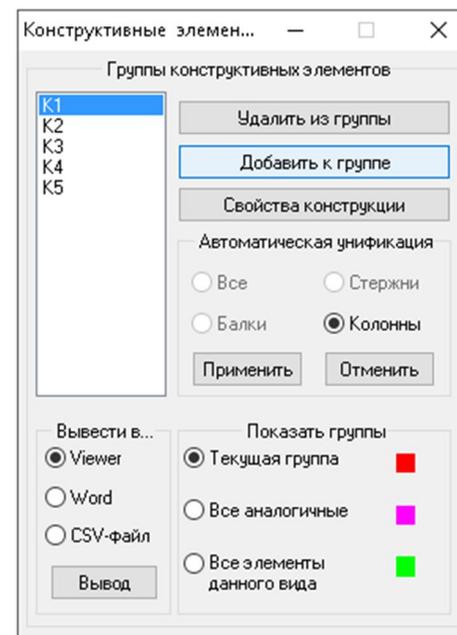


Рисунок 4.71 – Формирование конструктивных элементов

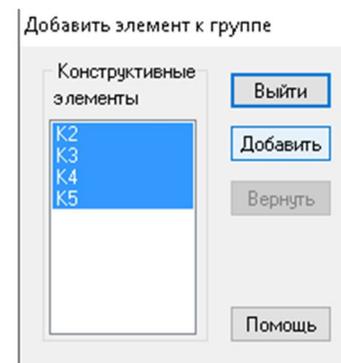


Рисунок 4.72 – Добавление элементов к группе

Для завершения ввода нажимаем кнопку «Добавить» и «Выйти».

В рабочем окне отобразится группа элементов К1 (рисунок 4.73).

Нажимаем кнопку «Вывод» (рисунок 4.71).

С целью продолжения формирования отчета в появившемся диалоговом окне нажимаем «ОК» (рисунок 4.74).

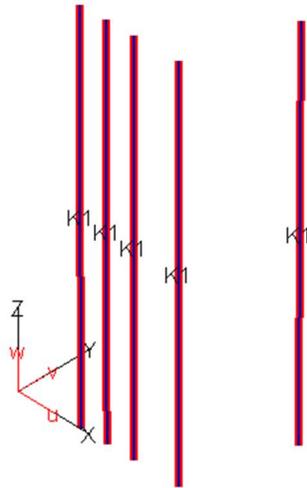


Рисунок 4.73 – Группа элементов K1

Отчет, сформированный по армированию стержневых элементов и выведенный в ПК Viewer, представлен далее по тексту.

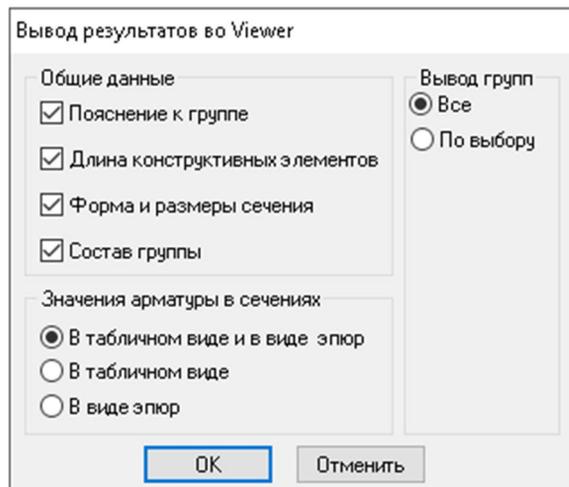


Рисунок 4.74 – Продолжение формирования отчета

Группа K1 (таблицы 4.7–4.8)

Длина конструктивных элементов [м], $L = 55,45$.

Сечение – прямоугольник [см], $b = 80$ $h = 40$.

Таблица 4.7 – Состав группы стержневых элементов

Конструктивный элемент	Номера конечных элементов					
	Начало	Конец	Шаг	Начало	Конец	Шаг
K1	28356	28367	11	28353	28355	1
	28319	28323	1	28275	28287	12
	28271	28274	1	28225	28239	14
K2	28352	28366	14	28349	28351	1
	28314	28318	1	28270	28286	16
	28266	28269	1	28226	28238	12
K3	28348	28365	17	28345	28347	1
	28309	28313	1	28265	28285	20
	28261	28264	1	28227	28237	10
K4	28344	28364	20	28341	28343	1
	28304	28308	1	28260	28284	24
	28256	28259	1	28228	28236	8
K5	28360	28368	8	28357	28359	1
	28324	28328	1	28280	28288	8
	28276	28279	1	28229	28240	11

Таблица 4.8 – Требуемое количество арматуры в расчетных сечениях

Координата сечения, м	$A_{s1}, \text{см}^2$	$A_{s2}, \text{см}^2$	$A_{s3}, \text{см}^2$	$A_{s4}, \text{см}^2$	$A_{s, \text{tot}}, \text{см}^2$	$A_{sw}, \text{см}^2/\text{м}$	$M_u, \%$
0,00	2,14	2,14	2,14	2,14	8,56	0,00	0,27
11,88	0,03	0,03	0,03	0,03	0,12	0,00	0,00
49,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49,68	7,35	7,35	7,35	7,35	29,40	5,13	0,92
55,45	5,58	5,58	5,58	5,58	22,32	0,00	0,70

На основе полученных значений армирования данной группы колонн проектируем железобетонные конструкции (рисунок 4.75).

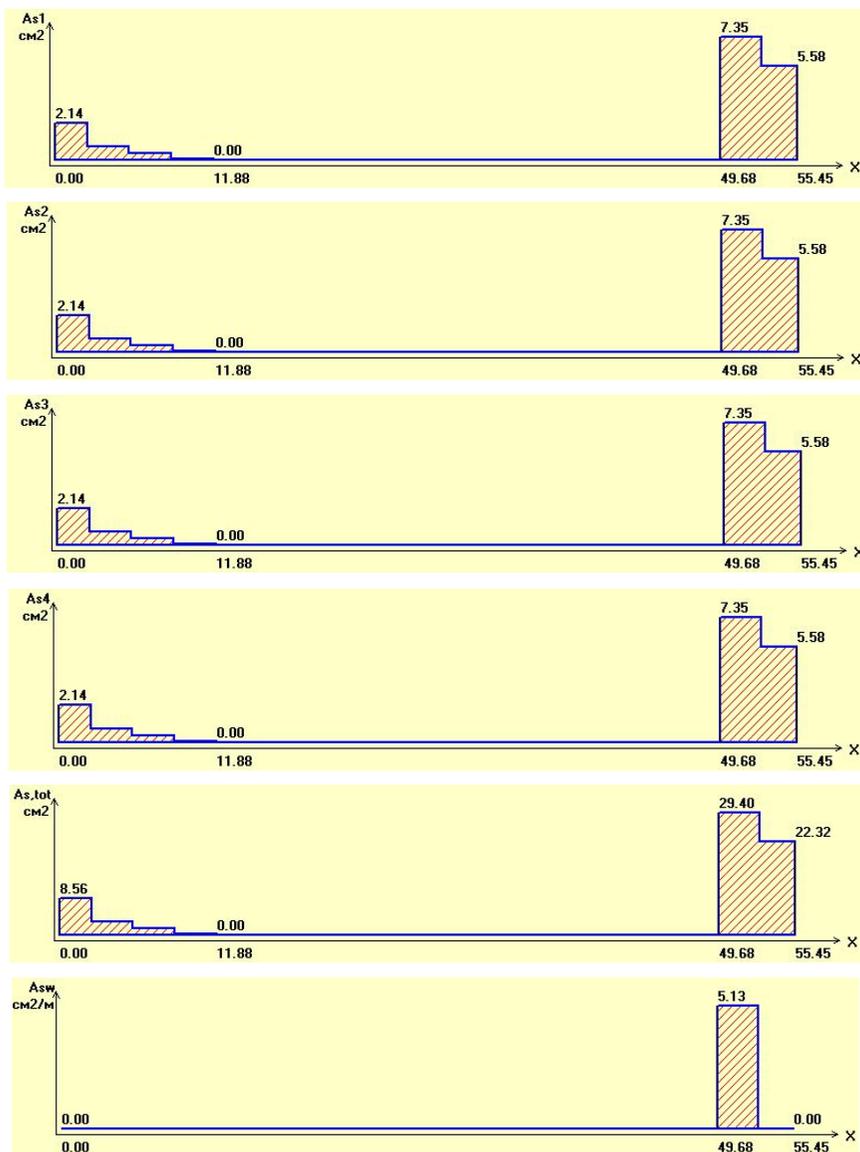


Рисунок 4.75 – Эпюры армирования стержней

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное развитие строительного производства тесно связано с использованием компьютеров. Тенденции развития мировой экономики однозначно указывают на усиление этого направления в будущем. В настоящее время компьютеры стали обычным оборудованием большинства проектных институтов и конструкторских бюро. Это позволило от простейших расчетов и оценок отдельных конструкций, технологических операций или локальных технико-экономических ситуаций перейти к новой организационно более высокой стадии работы. При разработке и анализе строительных конструкций, зданий и сооружений это детальное математическое моделирование, в том числе вычислительный эксперимент, открывающий путь к вариантному проектированию.

Представленные материалы становятся доступными после освоения ПК STARK ES. Рассмотрение изложенных в учебнике последовательных этапов освоения программного продукта позволяет дифференцировать его освоение и отслеживать самому обучающемуся степень изучения того или иного материала.

Первый этап – создание расчетной схемы объекта.

Создание расчетной модели объекта основано на технологии работы с позициями и начинается с ввода его конструктивной схемы. Это действие реализуется графически в интерактивном режиме. При этом могут использоваться программы AutoCAD, ArCon, ArchiCAD и др. Далее из созданной микро-модели объекта автоматически генерируется его конечно-элементная расчетная модель, выполняются оценка качества и оптимизация конечно-элементной сетки с целью получения наиболее точного результата расчета.

Следующий этап работы включает общий расчет, в свою очередь состоящий из статичного расчета, расчета на устойчивость и свободные колебания. Все виды расчетов могут быть выполнены с учетом геометрической и конструктивной

нелинейности, обусловленной односторонней работой элементов, связей, шарниров и упругого основания. Расчет производится методом конечных элементов с применением стержневых, а также современных плоских и объемных элементов, построенных на основе смешанного метода или метода перемещений и позволяющих получить достаточно точное решение. При решении задач динамики ПК STARK ES использует недиагональную матрицу распределенных масс. Благодаря такому подходу достигается высокая точность решения задач расчета конструкций именно на динамические воздействия при приемлемой для практики дискретизации системы на конечные элементы.

Следующий этап, реализуемый ПК STARK ES – это конструктивные расчеты строительных конструкций, выполняемые в соответствии с действующими нормами проектирования.

В учебнике рассмотрены следующие виды расчетов, выполненных в программном комплексе STARK ES.

Расчет на сейсмическое воздействие, реализованный по нескольким методикам. Во-первых, расчеты могут быть выполнены во временной области по заданной акселерограмме сейсмического движения грунта. Во-вторых, представлены методики, реализующие расчет в частной области на основе линейно-спектрального метода.

Осуществляется расчет по определению опасного направления динамического воздействия, из бесконечного числа возможных направлений поступательного или вращательного сейсмического воздействия. Результатом расчета является обоснование наиболее неблагоприятного случая воздействия, что, безусловно, обеспечит высокую надежность проектируемого объекта.

Реализуется расчет железобетонных стержней и плит по двум группам предельных состояний. Выполняется проверка прочности, устойчивости или требуемого количества про-

дольной и поперечной арматуры в сечениях железобетонных элементов. Определяют расчетные сочетания усилий и нагрузок на фундаменты.

Завершающий этап расчета в ПК STARK ES – это вывод и анализ результатов расчета.

Просмотр и вывод результатов расчета возможен графически и в табличной форме. Графическая среда ПК STARK ES имеет следующие возможности вывода: отображение деформированной схемы по отдельным нагружениям и по комбинациям нагружений, в том числе в режиме анимации, построенный эпюр усилий, перемещений и расчетных площадей сечений арматуры по длине стержней и по указанному сечению плоских элементов, построения изолиний и изополей перемещений и др.

Таким образом, совокупность представленных возможностей ПК STARK ES, освещенных в учебнике, позволяет решить основные задачи, стоящие перед проектировщиками и перед студентами, обучающимися по направлению «Строительство», как на уровне квалификации бакалавра, так и магистра, частично автоматизировать процесс проектирования и рассмотреть варианты принимаемых решений на современном обоснованном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* [Текст]. – Введ. 2011–05–20. – М. : Минрегион России, 2011. – 127 с.

2. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52–01–2003 (с изменениями № 1, 2) [Текст]. – Введ. 2013–01–01. – М. : Минстрой России, 2015. – 144 с.

3. СП 14.13330.2014. Свод правил. Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с изменением № 1) [Текст]. – Введ. 2014–06–01. – М.: Минстрой России, 2016. – 200 с.

4. СП 22.13330.2011. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83* [Текст]. – Введ. 2011–05–20. – М. : Минрегион России, 2011. – 205 с.

5. СП 15.13330.2012. Свод правил. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–81*[Текст]. – Введ. 2013–01–01. – М. : Минрегион России, 2012. – 139 с.

6. Полищук А. И. Развитие метода оценки загрузки отдельных фундаментов для их усиления в глинистых грунтах с использованием инъекционных свай [Текст] / А. И. Полищук, А. А. Филиппович, И. В. Семенов // Вестник ПНИПУ Строительство и архитектура. – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2016. – Т. 7, № 2. – С. 116–123.

7. Симбиркин В. Н. Расчет железобетонных конструкций многоэтажного здания с помощью программного комплекса STARK ES. Работа с конечно-элементной (КЭ) моделью* [Текст] : метод. пособие / В. Н. Симбиркин, С. О. Курнавина. – М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, ООО «Еврософт», 2014. – 112 с.

8. Дегтярев Г. В. Расчетное обоснование перевода части семнадцатого технического этажа в жилой фонд [Текст] / Г. В. Дегтярев, О. Г. Дегтярева, В. Г. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2014. – № 3(48). – С. 150–154.

9. Богомолов А. Н. Причины активизации оползня на федеральной автомобильной дороге г. Сочи и мероприятия по его стабилизации [Текст] / А. Н. Богомолов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – Серия : Строительство и архитектура. – 2012. – № 29 (48). – С. 6–14.

10. Дегтярев Г. В. Особенности анализа состояния здания при незавершенном строительстве в сложных гидрогеологических условиях г. Сочи [Электронный ресурс] / Г. В. Дегтярев, О. Г. Дегтярева, В. Г. Дегтярев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 07(101). – С. 1–25.

11. Молотков Г. С. Основные причины разрушения конструкций навесных вентилируемых фасадов «СИАЛ КМ» и рекомендации по их устранению [Электронный ресурс] / Г. С. Молотков, В. В. Подтелков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – 2015. – № 03 (107).

12. Найденов С. Ю. Анализ вариантов несущей способности горизонтальных конструктивных элементов и их влияние на здание [Текст] / С. Ю. Найденов, Г. В. Дегтярев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. статей по материалам IX Всерос. конф. молодых ученых. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 838–839.

13. Рудченко И. И. Повреждения конструкций зданий и сооружений при воздействии высоких температур [Текст] /

И. И. Рудченко, М. П. Бугриев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 63. – С. 184–190.

14. Лебедь В. Е. Реконструкция многоэтажного здания с анализом вариантов усиления несущей способности вертикальных конструктивных элементов [Текст] / В. Е. Лебедь, Г. В. Дегтярев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. статей по мат. IX Всерос. конф. молодых ученых. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 813–814.

15. Гринев А. П. Мелкозернистый бетон для монолитного строительства [Текст] / А. П. Гринев, И. И. Рудченко, В. О. Никогда // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 58. – С. 203–214.

16. Дегтярев Г. В. Современные методы проектирования зданий [Текст] / Г. В. Дегтярев, А. А. Бойко // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы регион. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ. – Краснодар : Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 28–34.

17. Маций С. И. Исследование взаимодействия глинистых грунтов с противооползневыми сооружениями инженерной защиты опор эстакад [Электронный ресурс] / Д. В. Лейер, С. И. Маций, Е. В. Безуглова, Ф. Н. Деревенец // Науковедение. – 2014. – Вып. 5 (24).

18. Дегтярев Г. В. Подземные парковки как метод повышения эффективного использования дворовых территорий в г. Краснодаре [Текст] / Г. В. Дегтярев, О. А. Куркина // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы регион. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ. – Краснодар : Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 98–104.

19. Богомолов А. Н. Стабилизация оползня на участке строительства железной дороги в г. Сочи [Текст] / Богомолов А. Н. [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – № 29 (48). – С. 15–25.

20. Дегтярев Г. В. Альтернативные варианты фундаментов зданий, возводимых в районах с высокой сейсмической активностью [Текст] / Г. В. Дегтярев, С. Ю. Найденов // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы регион. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ / сост. Г. В. Дегтярев, С. А. Чернявская, О. Г. Дегтярева. – Краснодар : Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 130–135.

21. Полищук А. И. Совершенствование конструкции винтовых свай для фундаментов временных зданий [Текст] / А. И. Полищук, Ф. А. Максимов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 2016. – № 4. – С. 37–40.

22. Дегтярев Г. В. Математическое моделирование ослабленных вертикальных несущих конструкций здания при усилении самонапрягаемым бетоном [Текст] / Г. В. Дегтярев, В. Г. Дегтярев, И. А. Табаев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2015. – № 1 (52). – С. 192–198.

23. Маций С. И. Анализ причин активизации оползня на участке автомобильной дороги Джубга – Сочи [Текст] / С. И. Маций, Д. В. Лейер, Б. А. Хуаде // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 6 (39). – С. 247–253.

24. Дегтярев Г. В. Особенности расчета плиты покрытия как несущего основания [Текст] / Г. В. Дегтярев, Д. А. Дацьо // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2016. – № 5 (62). – С. 157–165.

25. Рябухин А. К. Исследование диапазона допустимых горизонтальных перемещений буронабивных свай противоположных сооружений [Текст] / А. К. Рябухин, С. И. Маций, Е. В. Безуглова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 41. – С. 160–163.

26. Дегтярев Г. В. Оценка несущей способности раскосов и подкосов ферм покрытия теплиц типа 6D [Электронный ресурс] / Г. В. Дегтярев, В. Е. Лебедь // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 03(107). С. 806–835.

27. Полищук А. И. Геотехнический барьер и его влияние на осадки фундаментов соседних зданий [Текст] / А. И. Полищук, А. С. Межаков // Вестник ПНИПУ «Строительство и архитектура». – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2016. – Т. 7, № 4. – С. 133–142.

28. Дегтярев Г. В. Оценка сходимости результатов расчета несущей способности фундаментов теплиц типа 6D [Текст] / Г. В. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2015. – № 2 (53). – С. 209–215.

29. Рябухин А. К. Исследование диапазона допустимых горизонтальных перемещений буронабивных свай противоположных сооружений [Текст] / А. К. Рябухин, С. И. Маций, Е. В. Безуглова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31–2 (50). – С. 279–283.

30. Дегтярев Г. В. Аэродинамические исследования двухскатной крыши в системе CFD [Текст] / Г. В. Дегтярев, Н. В. Стариков // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2016. – № 4 (61). – С. 178–185.

31. Полищук А. И. Оценка несущей способности инъекционных свай в слабых глинистых грунтах для

фундаментов реконструируемых зданий [Текст] / А. И. Полищук, А. А. Тарасов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 2017. – № 1. – С. 21–26.

32. Дегтярев В. Г. Конструктивно-технологическое обоснование металлических решетчатых вышек [Электронный ресурс] / В. Г. Дегтярев, И. Г. Кулага, Г. В. Дегтярев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2013. – №05(089). – С. 661–686.

33. Комплексный метод обследования зданий и сооружений при совместной работе с вышками связи [Электронный ресурс] / Н. В. Коженко, В. Г. Дегтярев, Г. В. Дегтярев, И. А. Табаев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 05(089). С. 635–660.

34. Комплексный и индивидуальный учет сочетания нагрузок как метод анализа безопасности строений [Электронный ресурс] / Г. В. Дегтярев, О. Г. Дегтярева, В. Г. Дегтярев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 01(095). С. 742–767.

35. Дегтярев Г. В. Анализ работы несущих вертикальных конструкций производственного цеха при совместной работе с мостовыми кранами [Текст] / Г. В. Дегтярев, О. Г. Дегтярева, В. Г. Дегтярев, И. А. Табаев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2014. – № 6 (51). – С. 116–123.

36. Стариков Н. В. Математическое моделирование воздействия ветрового потока на различные виды крыш коттеджных и производственных зданий [Текст] / Н. В. Стариков, Г. В. Дегтярев // Научное обеспечение агропромышленного

комплекса: сб. статей по мат. IX Всерос. конф. молодых ученых. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 883–885.

37. Дегтярев Г. В. Анализ промышленной безопасности существующего здания с учетом взаимовлияния проектируемого рядом на фундаментах различного вида [Текст] / Г. В. Дегтярев, О. Г. Дегтярева, В. Г. Дегтярев, И. Г. Кулага // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2013. – № 4 (43). – С. 277–282.

38. Дегтярев Г. В. Проблема точности расчетов ветровых нагрузок по имеющимся нормам и правилам [Текст] / Г. В. Дегтярев, Н. В. Стариков // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы регион. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ. – Краснодар: Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 193–199.

39. Рудченко И. И. Анализ аспектов пожарной безопасности элементов конструкций зданий и сооружений в технологии строительного производства : учеб. пособие / И. И. Рудченко, Г. В. Дегтярев. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 107 с.

40. Дегтярев Г. В. Расчет объемов работ на строительных объектах и технологии производства основных процессов: учеб. пособие / Г. В. Дегтярев. – Краснодар : КубГАУ, 2009. – 190 с.

41. Vasilieva N. K. Economic stability of agricultural organizations in the region: conceptual-theoretic and applied aspects [Text] / N. K. Vasilieva, S. M. Reznichenko, V. P. Vasiliev, A. I. Trubilin, Y. I. Bershitskiy // International Journal of Economic Research. – India, 2016. – Т. 13. № 6. – P. 2525–2540 [in English].

42. Reznichenko S. M. Agrarian policy of the region in terms of economic development innovation [Text] / S. M. Reznichenko, N. K. Vasilieva, R. A. Shichiyakh, Yu. M. Medvedeva, Yu. B. Mindlin // International Journal of Economic and Financial Issues. – Turkey, 2016. – Т. 6. № S8. – P. 245–250 [in English].

43. Reznichenko S. M. Theoretical and methodological foundations of the management by objectives for the regional socioeconomic systems development [Text] / S. M. Reznichenko, V. O. Shishkin, R. A. Shichiyakh, V. M. Smolentsev // International Review of Management and Marketing. – Turkey, 2016. – Т. 6. № 6. – P. 90–94 [in English].

44. Иванчук О. А. Анализ строительного рынка [Текст] / О. А. Иванчук, О. Г. Дегтярева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. статей по мат. VI Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых. – Краснодар : ФГБОУ ВПО КубГАУ, 2012. – С. 391–393.

45. Рябухин А. К. Исследование диапазона перемещений анкерных свай в инженерно-геологических условиях Сочинского района Краснодарского края [Текст] / А. К. Рябухин, С. И. Маций // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 39. – С. 155–159.

46. Бубнюк А. П. Оптимизация поставки материалов на строительную площадку при расчете временных складов [Текст] / А. П. Бубнюк, О. Г. Дегтярева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 75-летию В. М. Швецова. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – С. 779–780.

47. Божко М. Л. Оптимизация использования трудовых и материальных ресурсов при календарном планировании [Текст] / М. Л. Божко, О. Г. Дегтярева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. статей по мат. IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 75-летию В. М. Швецова. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – С. 773–775.

48. Соловьева О. А. Статистический анализ и прогнозирование рынка недвижимости Краснодарского края [Текст] / О. А. Соловьева, О. Г. Дегтярева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. статей по материалам 71-й

науч.-практ. конф. преподавателей по итогам НИР за 2015 год. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 472–473.

49. Дегтярева О. Г. Анализ поставки материалов на строительную площадку при расчете временных складов [Текст] / О. Г. Дегтярева, А. П. Бубнюк // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ. – Краснодар : Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 34–41.

50. Дегтярева О. Г. Особенности разработки проектно-сметной документации при индивидуальном жилом строительстве [Текст] / О. Г. Дегтярева, Э. С. Федосеенко // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ. – Краснодар : Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 199–205.

51. Дегтярева О. Г. Оптимизация использования трудовых и материальных ресурсов при календарном планировании [Текст] / О. Г. Дегтярева, М. Л. Божко // Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства: материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей КубГАУ. – Краснодар : Изд-во «Магарин О. Г.», 2016. – С. 23–28.

52. Дегтярева О. Г. Прогнозирование сметной стоимости строительных проектов [Текст] : монография / О. Г. Дегтярева, Р. Ю. Першиков. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – 89 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ К РАСЧЕТУ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ STARK ES.....	9
1.1 Введение.....	9
1.2 Исходные нормативные данные для расчета и конструктивные решения здания.....	11
1.3 Объемно-планировочные решения.....	12
1.4 Сбор нагрузок.....	20
2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	21
2.1 Создание новой задачи.....	21
2.2 Создание фундаментной плиты.....	22
2.3 Задание поверхностных нагрузок.....	27
2.4 Создание конструкций подвального этажа.....	28
2.5 Задание поверхностных нагрузок.....	39
2.6 Задание линейных нагрузок.....	42
2.7 Создание конструкций первого этажа.....	44
2.8 Задание линейных нагрузок на плиту перекрытия.....	48
2.9 Задание линейных опор на плиту перекрытия первого этажа.....	52
2.10 Создание конструкций многоэтажного здания и удаление линейных нагрузок.....	54
2.11 Задание линейных нагрузок на плиты перекрытия 7–16 этажей от воздействия ветра.....	57
2.12 Редактирование поверхностных нагрузок.....	58
2.13 Создание конструкций технического этажа и задание линейных нагрузок.....	59
2.14 Создание этажа машинного отделения и задание нагрузок.....	60
2.15 Сохранение проекта.....	68
2.16 Генерация конечно-элементной сетки.....	68
2.17 Удаление фиктивных элементов.....	70
2.18 Установка недостающих связей.....	72
2.19 Задание комбинаций нагрузок.....	73

2.20	Статический расчет конструкций	74
2.21	Преобразование ветровой нагрузки в узловую	75
2.22	Удаление линейных ветровых нагрузок	80
2.23	Удаление линейных опор	81
2.24	Создание комбинаций нагружений для расчета собственных колебаний	81
2.25	Редактирование свойств материала	83
3	ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	84
3.1	Расчет значений собственных колебаний	84
3.2	Анализ результатов расчета форм собственных колебаний	86
3.3	Расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки	90
3.4	Определение сейсмических нагрузок	92
3.5	Контроль ускорений колебаний при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки	101
3.6	Удаление абсолютной жесткости основания	109
4	СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НА ОСНОВНЫЕ И ОСОБЫЕ КОМБИНАЦИИ НАГРУЗОК	110
4.1	Редактирование упругого основания под фундаментной плитой	113
4.2	Итоговый статический расчет модели	120
4.3	Расчет оснований по группам предельных состояний	122
4.4	Расчет арматуры в плите перекрытия первого этажа	126
4.5	Расчет на продавливание плиты перекрытия первого этажа	134
4.6	Расчет арматуры в диафрагме жесткости каркаса	148
4.7	Расчет армирования колонн	156
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	174
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	177

Учебное издание

Дегтярёв Георгий Владимирович,
Дегтярёв Владимир Георгиевич,
Дегтярёва Ольга Георгиевна и др.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ STARK ES**

Учебник

Редактор – Е. А. Хвостова
Дизайн обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать 07.02.2018. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. – 11. Уч.-изд. л. – 8,5.
Тираж 65 экз. Заказ № .

Редакционный отдел и типография
Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13