

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Д.М. Нуриева

**РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ
С ПЛИТНЫМ ФУНДАМЕНТОМ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТНОГО
КОМПЛЕКСА ЛИРА-САПР**

Учебно-методическое пособие
к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «Сейсмостойкость сооружений»
для специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий
и сооружений»

Казань
2021

УДК 699.841:624.15:624.04:004.9

ББК 38.5

Н90

Нуриева Д.М.

Н90 Расчет пространственного каркаса здания с плитным фундаментом на сейсмические воздействия с применением расчетного комплекса ЛИРА-САПР: Учебно-методическое пособие к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Сейсмостойкость сооружений» для специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» / Д.М. Нуриева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2021. – 99 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебно-методическом пособии даны требования и рекомендации к выполнению расчетной работы по дисциплине «Сейсмостойкость сооружений» для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений». Приведен обучающий пример с применением программного комплекса ЛИРА-САПР для расчета модели каркаса монолитного железобетонного здания с плитным фундаментом при особом сочетании нагрузок, позволяющий студентам освоить интерфейс программы, особенности компьютерного моделирования и анализа результатов расчетов.

Учебно-методическое пособие также может быть использовано студентами всех строительных специальностей и направлений подготовки при выполнении расчетных, курсовых и выпускных квалификационных работ.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры механики

Д.Е. Страхов

Главный инженер проекта ООО «Брио Строй»

А.Г. Покровская

УДК 699.841:624.15:624.04:004.9

ББК 38.5

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2021

© Нуриева Д.М., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| Исходные данные | 5 |
| Требования к выполнению расчетной работы | 12 |
| Пример. Расчет пространственного каркаса монолитного железобетонного здания с плитным фундаментом на сейсмические воздействия..... | 14 |
| Список используемых источников | 67 |
| <i>Приложение 1.</i> Вычисление коэффициентов постели плитного фундамента при наличии динамических нагрузок..... | 68 |
| <i>Приложение 2.</i> Вычисление коэффициентов постели в структуре ПК Лира-САПР..... | 71 |
| <i>Приложение 3.</i> Пример оформления пояснительной записки..... | 76 |

ВВЕДЕНИЕ

Каркасные здания из монолитного железобетона с успехом применяются в сейсмоопасных районах. При этом, учитывая, что строительство часто ведется на площадках, сложенных относительно слабыми грунтами, конструктивное решение зданий может предусматривать устройство плитных фундаментов. Наиболее оптимальным при расчете таких сооружений является моделирование единой системы «ЗДАНИЕ – ФУНДАМЕНТ – ГРУНТ», в которой податливые свойства грунта могут быть учтены либо с помощью коэффициентов постели, либо с помощью специальных элементов, отражающих особенности работы грунтовых массивов. Расчет таких систем без использования электронных вычислительных машин затруднителен, и производится с помощью программных средств, позволяющих в автоматизированном режиме выполнять большое количество сложных вычислений, включая расчеты напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкций с учетом различных видов нагрузений, последовательности возведения конструкций, особенностей взаимодействия ее отдельных элементов и т.п. Среди наиболее известных программных комплексов можно отметить такие как: ЛИРА-САПР, STARK ES, MicroFe, SCAD и др. В основе этих программ заложен метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий в силу своих обширных возможностей перейти от простых упрощенных моделей к более сложным, наиболее полно учесть геометрию конструкции, параметры материалов и грунтового основания, условия загрузки и, тем самым, получить результаты, хорошо согласующиеся с работой конструкции в реальных условиях. Кроме того, применение программных средств позволяет значительно сократить время проведения расчетов.

В учебно-методическом пособии даны требования и рекомендации к выполнению расчетной работы по дисциплине «Сейсмостойкость сооружений». Приведен обучающий пример формирования расчетной модели монолитного каркасного здания с плитным фундаментом при особом сочетании нагрузок в структуре программы ЛИРА-САПР, позволяющий студенту освоить интерфейс программы, а также изучить механизмы создания компьютерных моделей сооружений и особенности анализа результатов расчета. Даны рекомендации по вычислению динамических коэффициентов постели как ручным методом, так и в среде ПК ЛИРА-САПР. Приведен пример оформления пояснительной записки.

Пособие может быть использовано студентами всех строительных специальностей и направлений подготовки при выполнении расчетных, курсовых и выпускных квалификационных работ.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Дано 7-этажное трехпролетное здание с плитным фундаментом, выполненное из монолитного железобетона. Здание имеет каркасную конструктивную систему. В качестве несущих элементов выступают колонны, стены лестничных клеток и безбалочные (плоские) плиты перекрытия и покрытия. Несущие элементы выполнены из бетона класса В25 с применением арматуры класса А400. Плиты перекрытия имеют отверстия в местах устройства лестничных клеток.

В качестве основания плитного фундамента служит песок (ИГЭ-1).

Примечание. Преподавателем могут быть выданы индивидуальные геологические условия строительной площадки, включающей напластование различных грунтов.

На здание действуют постоянные и временные нагрузки. Постоянные нагрузки включают в себя:

- собственный вес монолитных конструкций;
- вес кровли на покрытие (q_1);
- вес полов и перегородок на перекрытие и фундамент (q_2, q_3);
- вес наружного стенового ограждения, парапета ($Q, Q/2$).

Временные нагрузки включают в себя:

- снеговую нагрузку на покрытие (v_1);
- временную нагрузку на перекрытие (v_2);
- временную нагрузку на фундамент (v_3).

Сейсмическая нагрузка (определяется в структуре ПК ЛИРА).

Расчетная сейсмичность площадки строительства, категория грунта по сейсмическим свойствам, параметры здания, характеристики несущего слоя грунта и значения действующих нагрузок отображены в табл. 1.

Выбор исходных данных осуществляется на основании шифра, выданного преподавателем. Например, шифру 12437 соответствуют:
№ плана – 5; $a = 3,6$ м; $b = 6,6$ м; $c = 6,3$ м; $d = 6,0$ м и т.д.

Примечание. Если преподавателем выданы индивидуальные геологические условия строительной площадки, характеристики грунтов примать на основании выданного бланка задания.

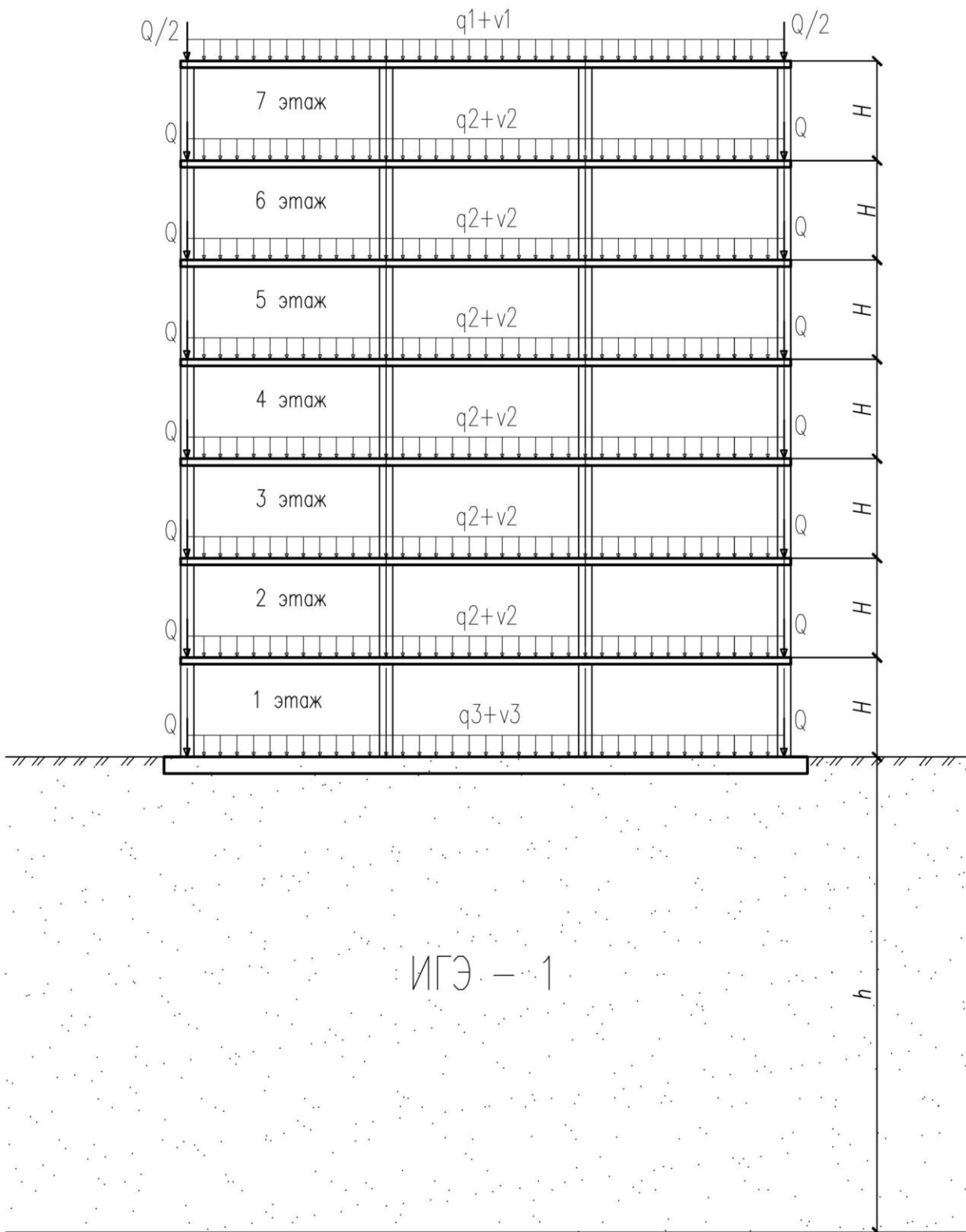


Рис. 1. Схематичный поперечный разрез здания

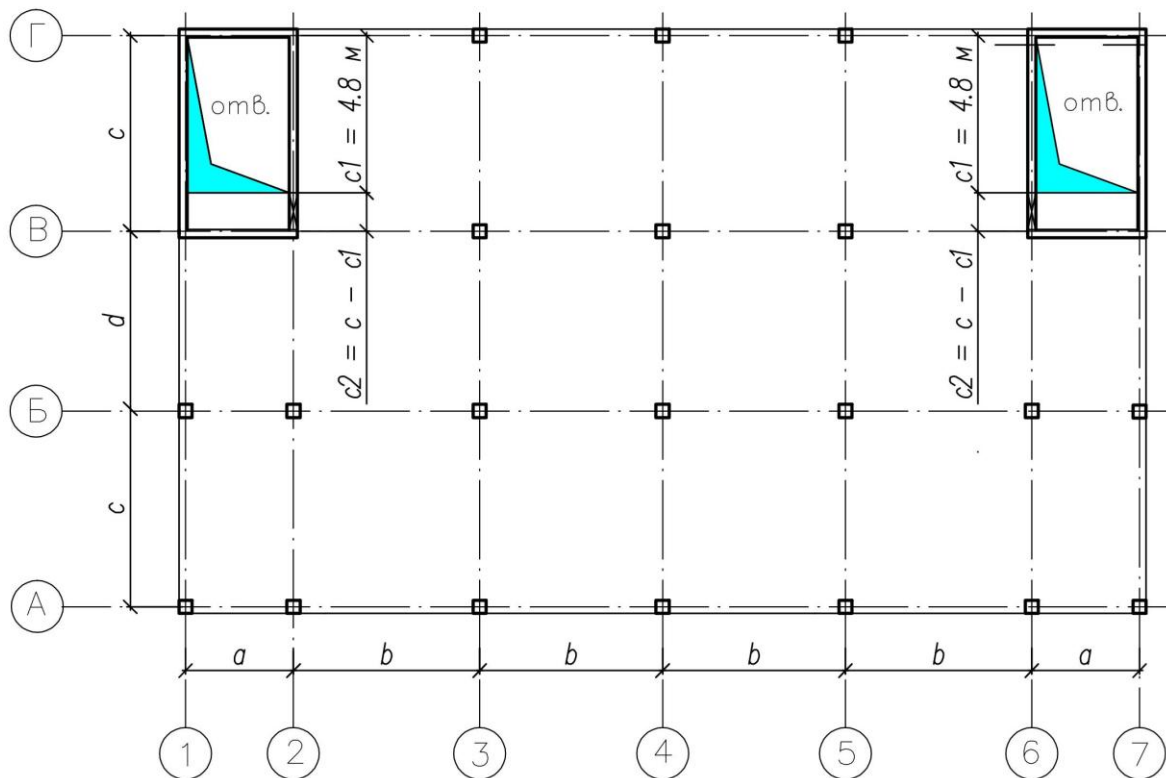
Исходные данные

| Цифра шифра | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Параметры здания | | | | | | | | | | |
| № плана (3 цифра шифра) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 3 | 4 |
| <i>a</i> , м (2 цифра шифра) | 3 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 3 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 3 | 3,3 |
| <i>b</i> , м (1 цифра шифра) | 6 | 6,6 | 5,7 | 5,4 | 5,1 | 6,9 | 7,2 | 6 | 6,6 | 5,1 |
| <i>c</i> , м (4 цифра шифра) | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,3 | 6,6 | 7,2 | 6 | 6,6 | 6,3 | 6,9 |
| <i>d</i> , м (5 цифра шифра) | 6 | 4,8 | 5,2 | 6,6 | 6 | 5,7 | 7,2 | 6 | 6,6 | 6,9 |
| высота этажа <i>H</i> , м (3 цифра шифра) | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 3,9 | 4,2 | 4,5 | 3,0 | 3,3 | 3,6 |
| толщина плит перекрытия, покрытия, мм (2) | 200 | 250 | 220 | 200 | 220 | 250 | 200 | 220 | 250 | 200 |
| толщина фундаментной плиты, мм (1) | 500 | 600 | 700 | 550 | 650 | 700 | 600 | 550 | 500 | 650 |
| сечение колонн, м (4) | 0,4x0,4 | 0,5x0,5 | 0,6x0,6 | 0,4x0,4 | 0,5x0,5 | 0,6x0,6 | 0,4x0,4 | 0,5x0,5 | 0,6x0,6 | 0,4x0,4 |
| толщина монолитных стен (5) | 200 | 250 | 300 | 200 | 250 | 300 | 200 | 250 | 300 | 200 |
| Нагрузки | | | | | | | | | | |
| Постоянные нагрузки: | | | | | | | | | | |
| – от веса кровли q_1 , кН/м ² (2) | 3,65 | 2,99 | 3,12 | 3,00 | 3,98 | 4,00 | 2,50 | 3,5 | 3,89 | 2,78 |
| – от веса полов и перегородок q_2 , кН/м ² (3) | 2,39 | 2,10 | 3,00 | 2,90 | 1,50 | 1,00 | 2,56 | 3,12 | 2,70 | 1,98 |
| – от веса полов на фундамент q_3 , кН/м ² (1) | 3,00 | 2,00 | 1,00 | 3,00 | 2,00 | 1,00 | 3,00 | 2,00 | 1,00 | 3,00 |
| – от веса стен ограждающих конструкций Q , кН/м (5) | 30,0 | 32,0 | 26,0 | 27,0 | 18,0 | 30,0 | 29,5 | 32,0 | 22,1 | 28,9 |
| Временные нагрузки: | | | | | | | | | | |
| – на покрытие (снег) v_1 , кН/м ² (4) | 0,8 | 1,2 | 1,8 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 3,2 | 2,4 | 1,8 | 4,8 |
| – на перекрытие v_2 , кН/м ² (1) | 1,95 | 2,4 | 3,6 | 4,2 | 1,95 | 2,4 | 3,6 | 4,2 | 1,95 | 2,4 |
| – на фундамент v_3 , кН/м ² (2) | 2,4 | 3,6 | 4,2 | 4,8 | 2,4 | 3,6 | 4,2 | 4,8 | 4,2 | 3,6 |
| Характеристики грунтов | | | | | | | | | | |
| ИГЭ-1: песок средней крупности, маловлажный | | | | | | | | | | |
| – мощность грунта h , м (3) | 15,0 | 16,0 | 14,7 | 17,2 | 8,5 | 9,2 | 9,5 | 12,0 | 11,0 | 11,9 |
| – модуль деформации E , кПа (4) | 17000 | 13000 | 20000 | 10000 | 8000 | 9500 | 16800 | 11000 | 24800 | 16200 |
| – удельный вес γ , кН/м ³ (5) | 19,0 | 19,1 | 19,4 | 20,0 | 18,9 | 18,7 | 17,9 | 19,6 | 18,9 | 20,0 |
| – коэффициент Пуассона μ (1) | 0,30 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Сейсмичность площадки (3 цифра шифра) | 7 | 8 | 9 | 7 | 8 | 9 | 7 | 8 | 9 | 7 |
| Категория грунта по сейсмическим свойствам | II | II | II | II | II | II | II | II | II | II |

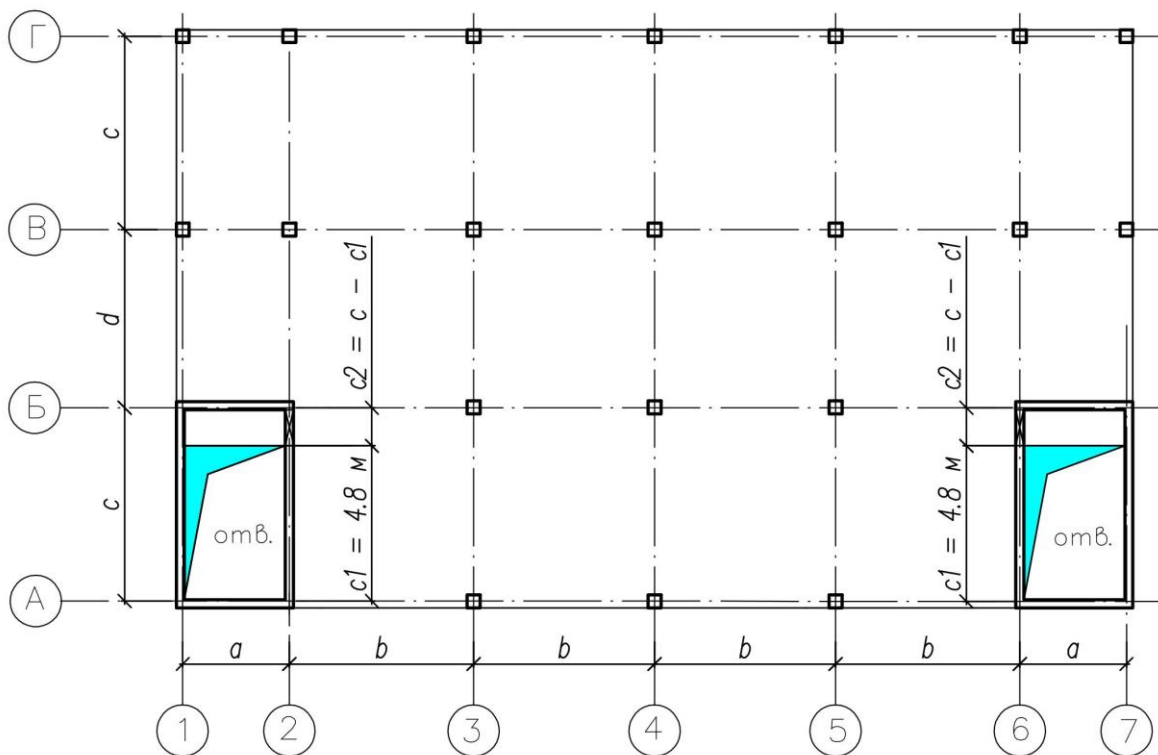
Примечание. Глубина заложения фундамента принимается равной толщине фундаментной плиты. Вылет консолей фундамента принимается равным его толщине.

Схемы планов здания

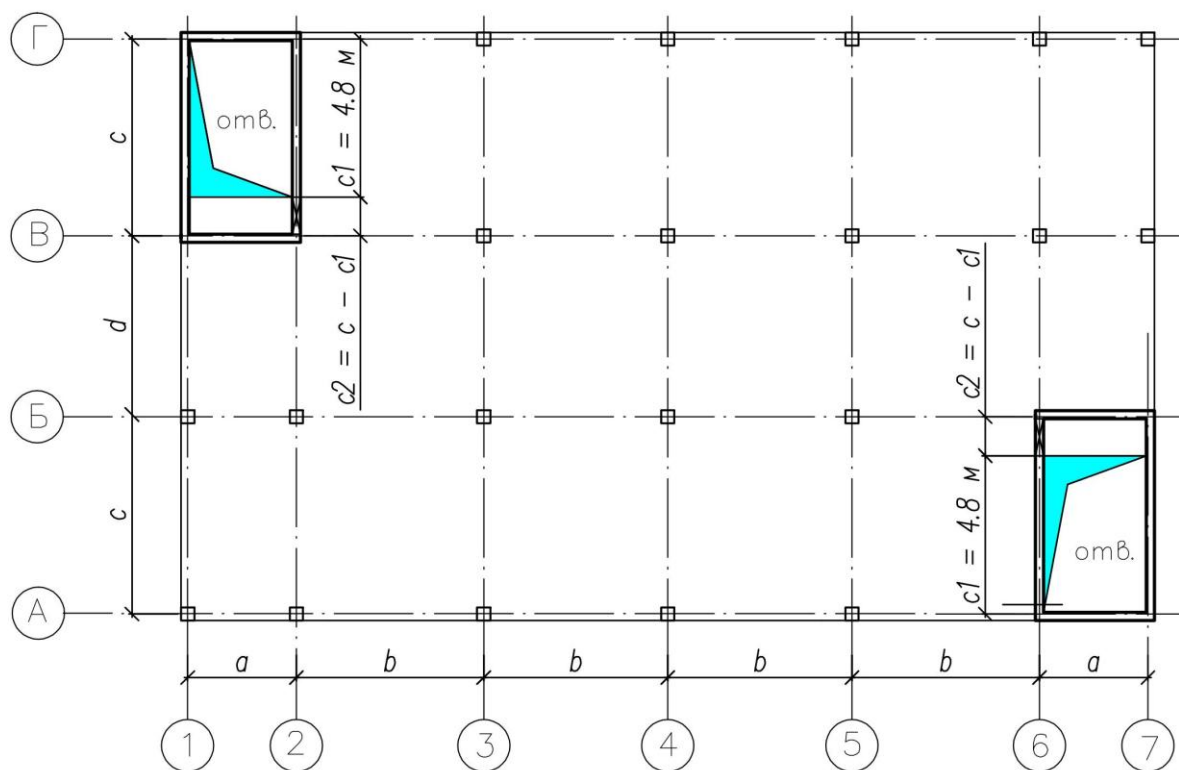
ПЛАН 1



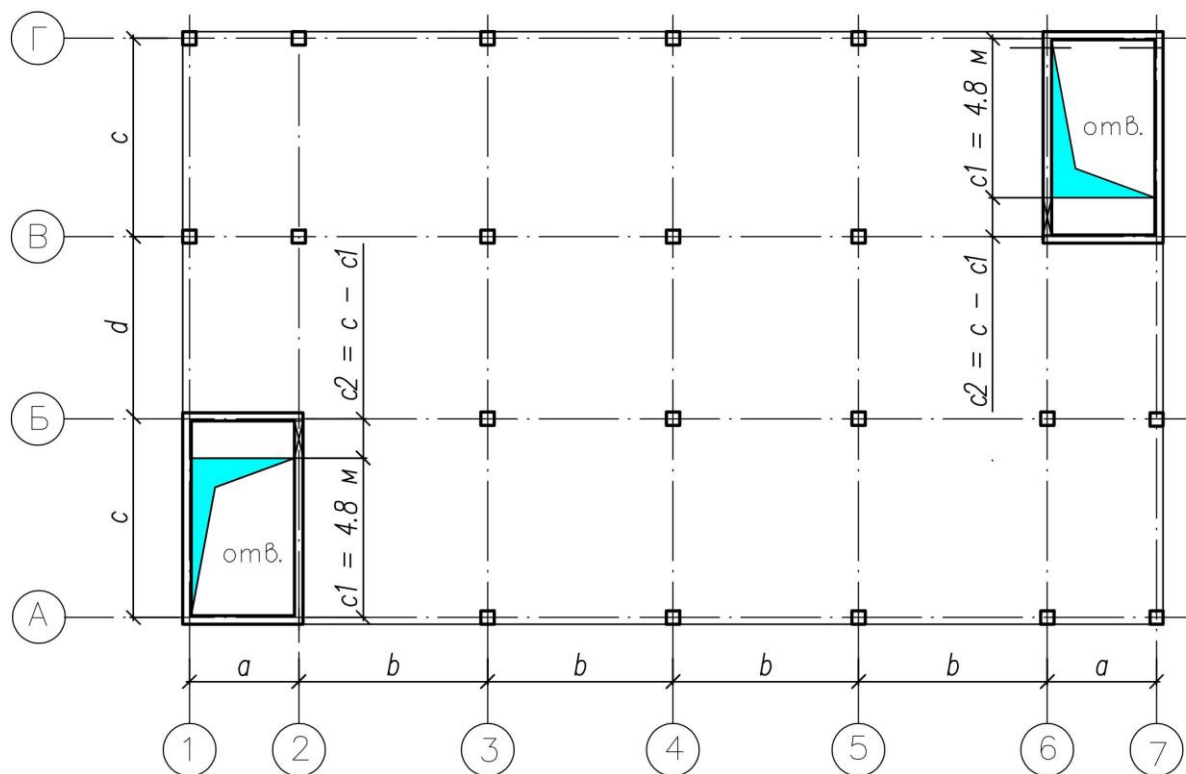
ПЛАН 2



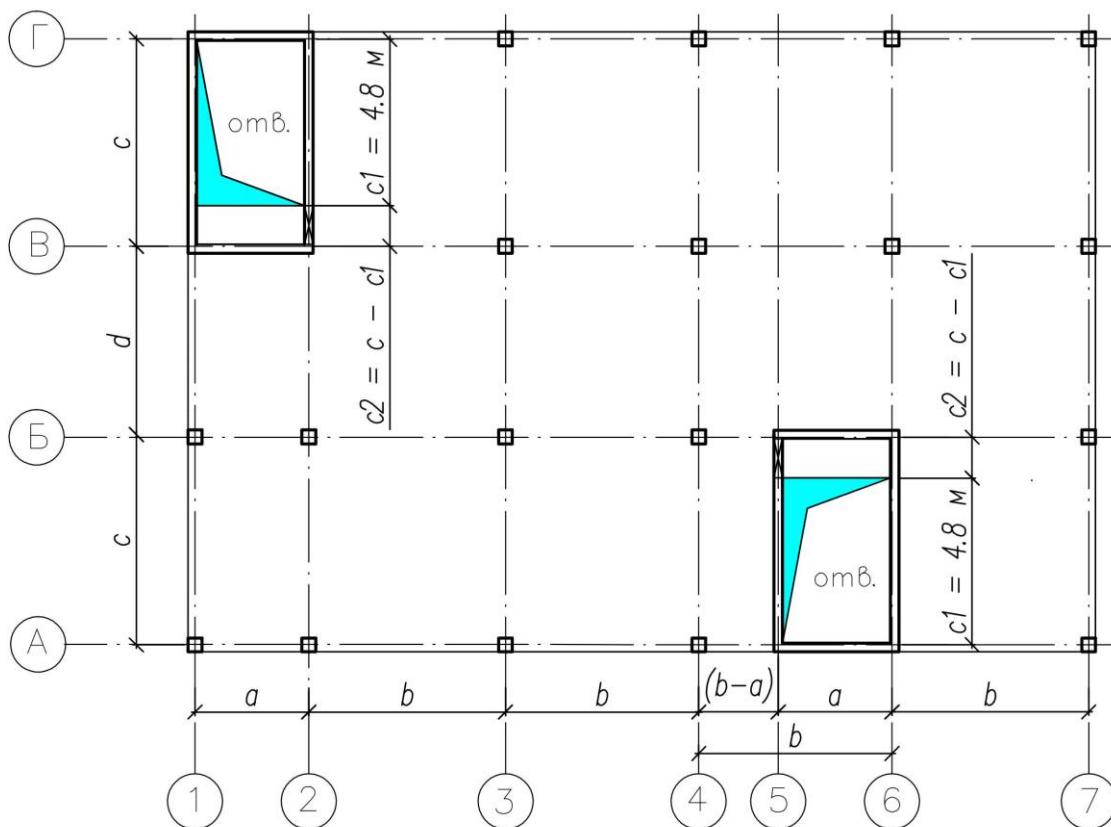
ПЛАН 3



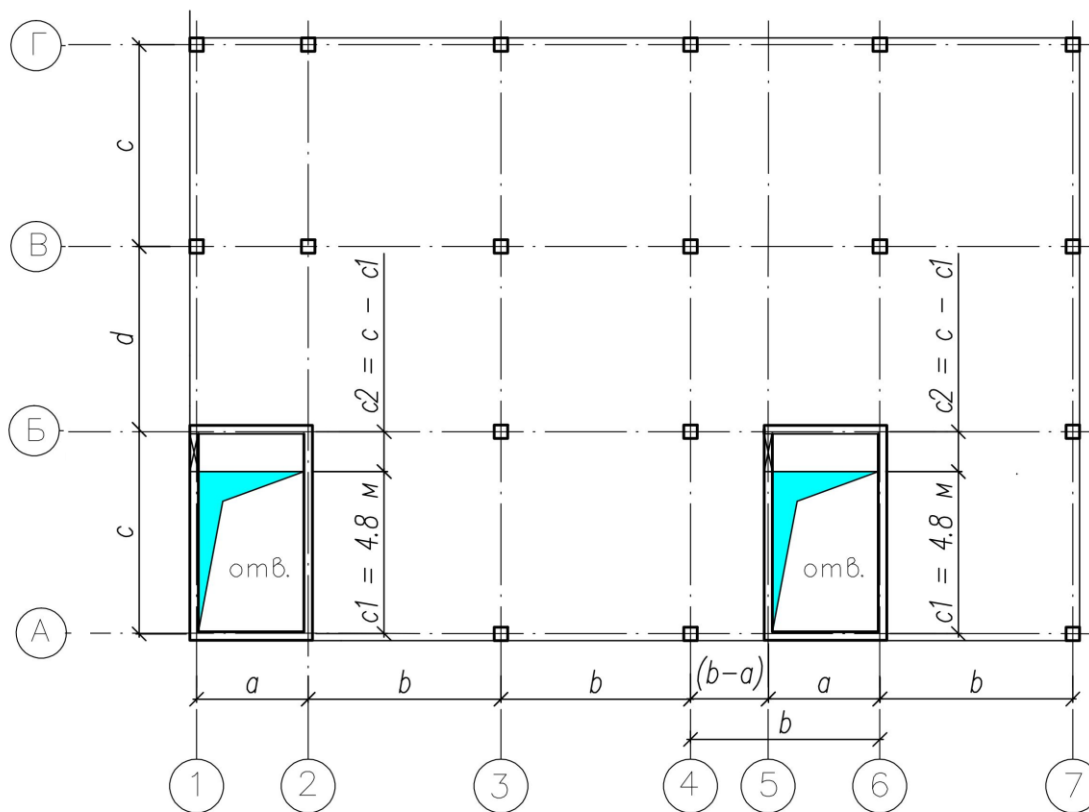
ПЛАН 4



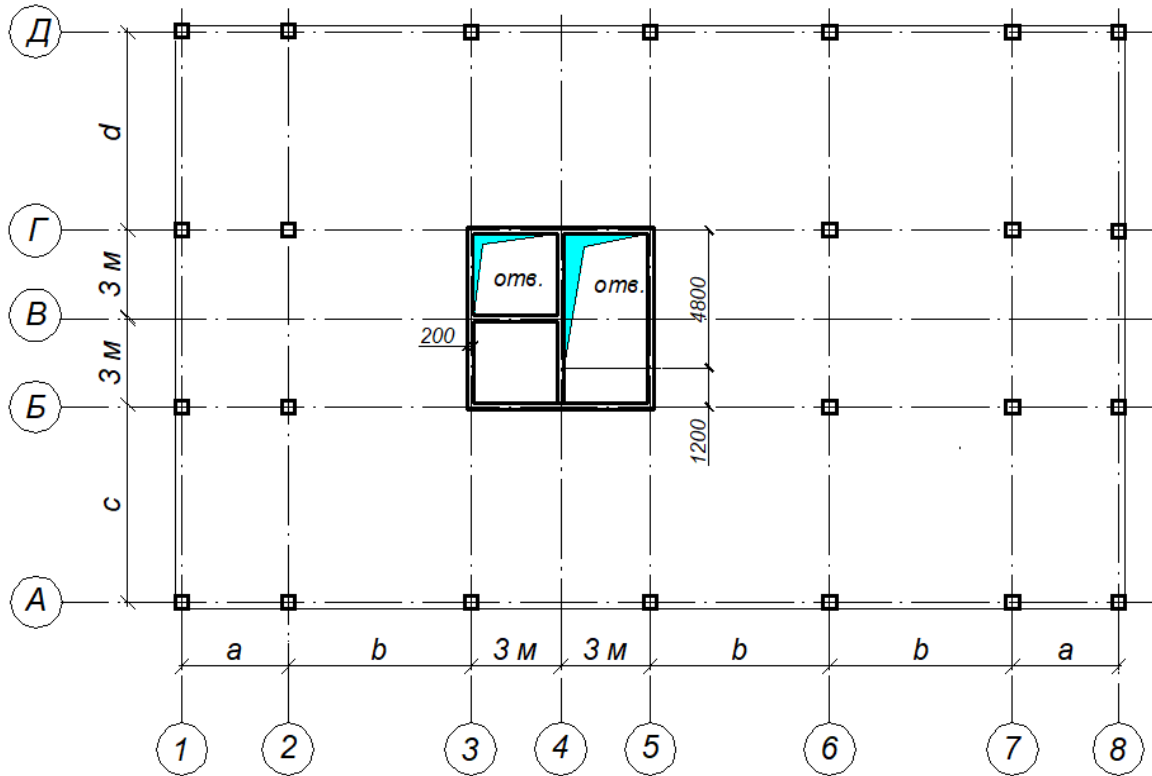
ПЛАН 5



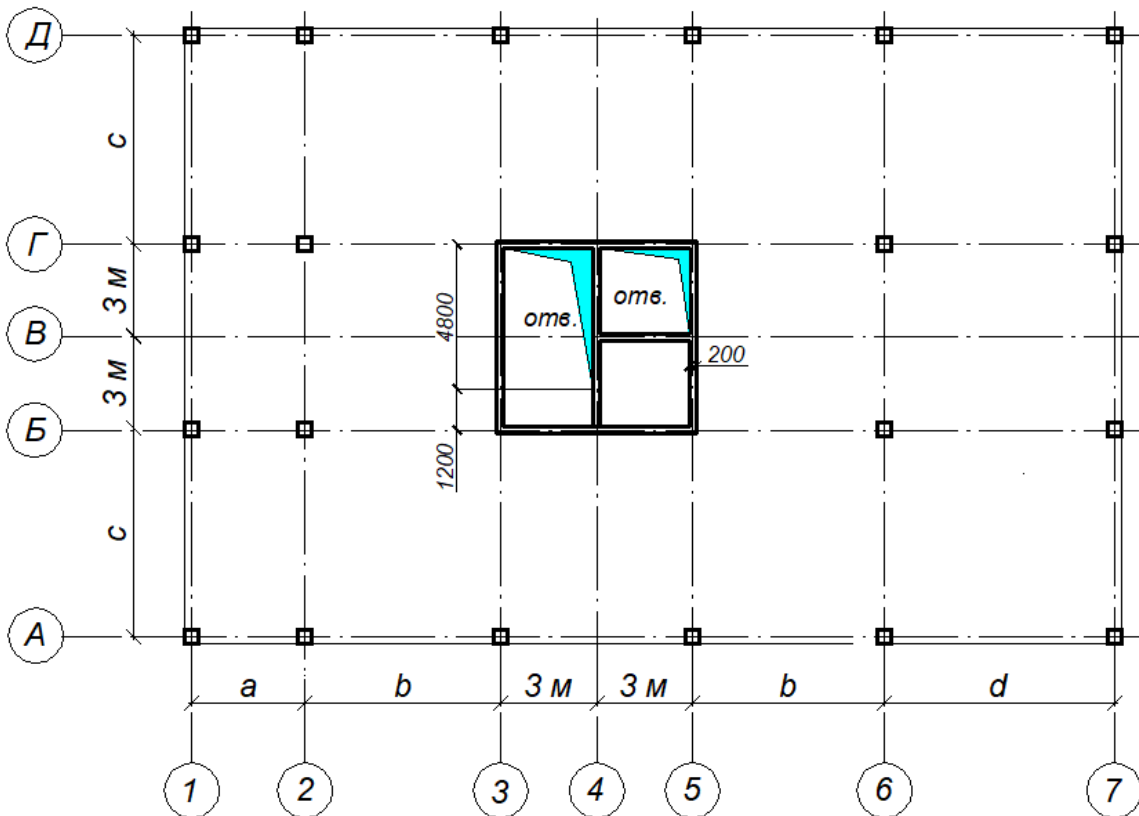
ПЛАН 6



ПЛАН 7



ПЛАН 8



ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

При выполнении расчетной работы требуется создать пространственную расчетную модель каркаса в структуре программы ЛИРА-САПР. Задать параметры жесткости несущих железобетонных элементов, опорные крепления (связи), нагрузки. При формировании нагружений необходимо создать 6 загрузений. В первом загрузении задать собственный вес монолитных конструкций; во втором – нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения, парапетов (q_1 , q_2 , q_2 , Q); в третьем – временные нагрузки на перекрытие, фундамент (v_2 , v_3); в четвертом – снеговую нагрузку на покрытие (v_1); в пятом загрузении задать параметры сейсмического воздействия в соответствии с СП 14.1330.2018 «Строительство в сейсмических районах» в направлении буквенных осей здания, в шестом загрузении задать параметры сейсмического воздействия в направлении цифровых осей здания. Для учета работы грунтового основания вычислить и ввести коэффициенты постели для плитного фундамента. В структуре программы произвести расчет, и получить напряженно-деформированное состояние (НДС) несущих элементов каркаса. Для отображения результатов расчета сформировать расчетные комбинации нагрузок (РСН). По окончании работы с использованием программы Word произвести формирование пояснительной записки, включающей в себя:

- содержание;
- исходные данные;
- описание компьютерной расчетной модели здания;
- результаты расчета;
- список используемой литературы.

Исходные данные должны содержать план и разрез здания, описание его конструктивного решения, действующие нагрузки и параметры грунтового основания.

Описание расчетной модели здания должно включать:

- вид пространственной модели, созданной в программе ЛИРА-САПР;
- описание типов используемых конечных элементов;
- информацию о заданных загрузениях.

Результаты расчета должны отражать:

- частоты и формы собственных колебаний;
- деформированное состояние каркаса при особом сочетании нагрузок;

- эпюры внутренних усилий в колоннах при особом сочетании нагрузок;
- вертикальные перемещения и мозаики изгибающих моментов в плите покрытия или перекрытия при особом сочетании нагрузок;
- вертикальные перемещения и мозаики изгибающих моментов в плите фундамента при особом сочетании нагрузок.

Отображение деформированного состояния каркаса, НДС колонн и плиты фундамента производить от комбинации нагрузок (1+2+3+4+5) (1+2+3+4+6); плиты покрытия – (1+2+4+5), (1+2+4+6); перекрытия – (1+2+3+5), (1+2+3+6).

Оформление пояснительной записки следует выполнять на листах формата А4. Отображение изображений допускается производить как в цветном, так и в черно-белом варианте. Страницы должны быть пронумерованы.

Вместе с пояснительной запиской студентом преподавателю сдается на проверку в электронном виде рабочий файл решаемой задачи. Файл должен иметь расширение *.lir (формируется в структуре программы ЛИРА-САПР). Имя файла должно отражать фамилию, номер группы и шифр студента. Например: Иванов_8УН01_12345.lir.

Конструктивное решение здания

Здание имеет каркасную конструктивную систему. Выполнено из монолитного железобетона. В качестве несущих элементов каркаса выступают колонны, стены ядра жесткости, безбалочные (плоские) плиты перекрытия и покрытия. Фундамент плитный сплошного сечения.

В качестве основания плитного фундамента служит песок средней крупности, средней плотности (ИГЭ-1) с расчетными характеристиками:

- мощность $h = 8,5$ м;
- модуль деформации $E = 22000$ кПа;
- удельный вес $\gamma = 16,5$ кН/м³;
- коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$;
- коэффициент жесткости $C_0 = 18000$ кН/м³;
- коэффициенты постели $C_1 = 25922,2$ кН/м³, $C_2 = 126011$ кН/м.

Примечание. Коэффициенты постели C_1 и C_2 , отражающие податливые свойства грунта при динамических воздействиях, вычисляются студентом самостоятельно согласно *приложению 1* данного пособия.

Расчетная сейсмичность строительной площадки – 7 баллов.

Категория грунта по сейсмическим свойствам – III.

Здание относится к объектам, в конструкциях которых могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования (табл. 4 [1]).

Параметры несущих элементов:

- колонны сечением 400×400 мм;
- стены ядра жесткости толщиной 200 мм;
- плиты перекрытия и покрытия толщиной 200 мм;
- плитный фундамент толщиной 500 мм;
- вылет консолей фундамента относительно осей крайних колонн 700 мм;
- глубина заложения фундамента 500 мм.

Материалы:

- бетон класса В25 с модулем деформации $E = 3 \cdot 10^7$ кПа;
- арматура класса А400.

Нагрузки

Постоянные расчетные нагрузки:

- от собственного веса монолитных конструкций (задается автоматически в структуре программы ЛИРА-САПР);
- от веса кровли на покрытие $q_1 = 3,5$ кПа;
- от веса полов и перегородок на перекрытие $q_2 = 2,0$ кПа;
- от веса полов на фундамент $q_3 = 1,9$ кПа;
- от веса стен ограждающих конструкций $Q = 31$ кН/м;
- от веса парапетов $Q/2 = 15,5$ кН/м.

Временные расчетные нагрузки:

- от веса снега на покрытие $v1 = 3,2$ кПа;
- временная на перекрытие $v2 = 1,95$ кПа;
- временная на фундамент $v3 = 4,8$ кПа.

Примечание. Расчетные временные нагрузки принимались на основании СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Расчет каркаса производится на особые сочетания нагрузок, в состав которых входят:

загрузка 1 – собственный вес монолитных конструкций здания;

загрузка 2 – вес кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения ($q1, q2, q3, Q$);

загрузка 3 – временная нагрузка на перекрытие, фундамент ($v2, v3$);

загрузка 4 – снеговая нагрузка на покрытие ($v1$).

загрузка 5 – сейсмическая нагрузка вдоль буквенных осей здания (вдоль оси X);

загрузка 6 – сейсмическая нагрузка вдоль цифровых осей здания (вдоль оси Y).

Начало работы

Для того чтобы открыть программу ЛИРА-САПР, необходимо выполнить следующую команду Windows:

Пуск → Программы → LIRA-SAPR → ЛИРА-САПР 2016

Примечания

1. Возможно в компьютерном классе установлена более поздняя версия программы, например, ЛИРА-САПР 2018, 2021 и т.д. По согласованию с преподавателем может использоваться любая из версий.
2. Открытие программы также возможно с помощью ярлыка, установленного на рабочем столе.

После открытия программы появится рабочее пространство Визор-САПР, включающее панели инструментов Ленточного интерфейса. Панели разделены вкладками, на которых отображаются инструменты и элементы управления, предназначенные для решения определенной задачи. Вкладки ленты соответствуют этапам работы со схемой: создание и редактирование схемы, расчет и анализ напряженно-деформированного состояния, конструирование (рис. 4).

Перед началом работы рекомендуется произвести настройку единиц измерения. Для этого необходимо войти в меню **Приложения** (верхний левый угол экрана) и выбрать пункт **Настройки → Единицы измерения**.

В открывшемся окне **Единицы измерения** в соответствии с выбранной системой (СИ или технической, например, МТС) назначить единицы измерения основных величин (рис. 5).

Примечания

1. Смена единиц измерения может быть выполнена на любом этапе работы с проектом.
2. На этапах формирования схемы и анализа результатов расчета при необходимости могут быть выбраны свои единицы измерения.

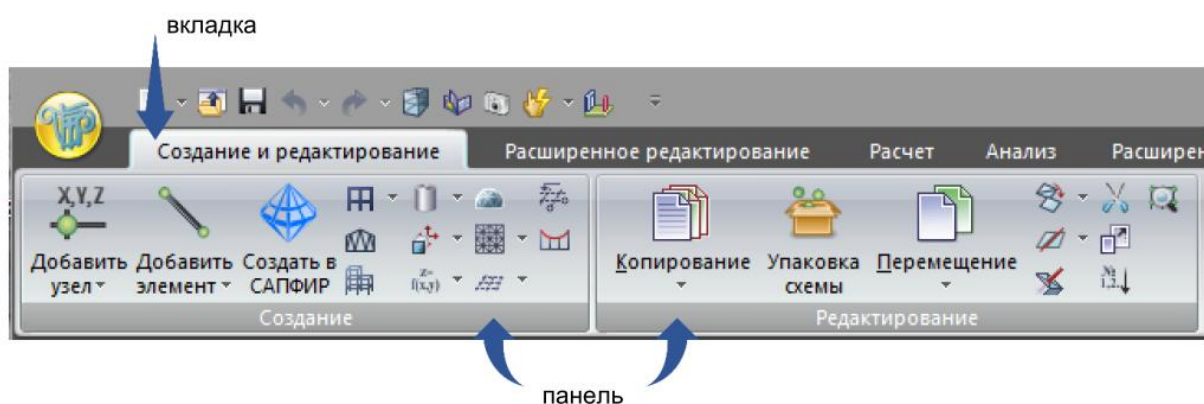


Рис. 4. Панели и вкладки в пространстве Визор-САПР

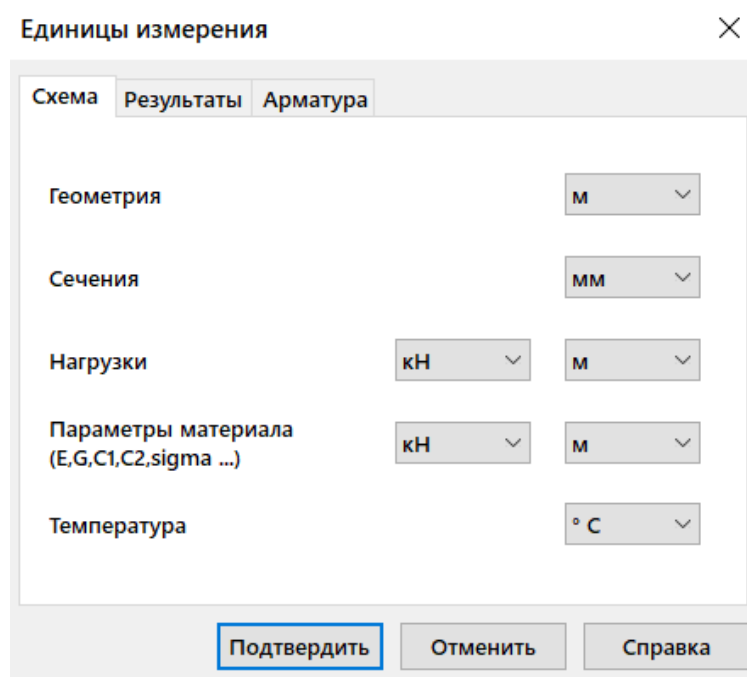



Рис. 5. Окно **Единицы измерения**

Этап 1. Создание новой задачи

- Для создания новой задачи откройте меню **Приложения** (верхний левый угол экрана) и выберите пункт **Новый Создать новый документ**.
- В появившемся диалоговом окне **Описание схемы** (рис. 6) задайте следующие параметры:
 - признак схемы – 5 (шесть степеней свободы в узле X,Y,Z,Ux,Uy,Uz);
 - значения нагрузок – расчетные;
 - имя создаваемой задачи – **Иванов_8УН01_12345** (при выполнении расчетной работы указывается фамилия, номер группы и шифр (выдается преподавателем); в остальных случаях может задаваться любое имя, например, **каркас**);
 - описание задачи – Указать название работы, дисциплину, год выполнения.
- После щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

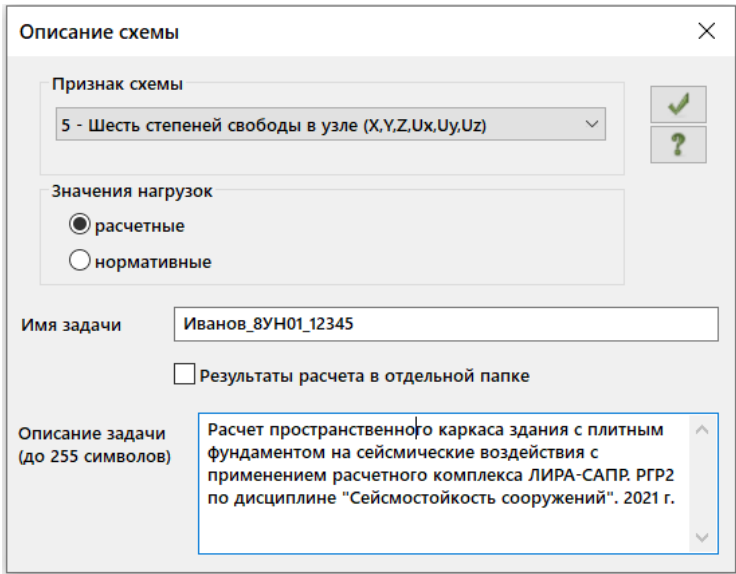




Рис. 6. Диалоговое окно **Описание схемы**

Этап 2. Создание геометрической схемы

Создание колонн

- *Создайте раму по оси А.* Для этого вызовите диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей** щелчком по кнопке  – **Генерация регулярных фрагментов и сетей** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**). Закладка **Генерация рамы**. В этом диалоговом окне задайте:
 - Шаг вдоль первой оси: Шаг вдоль второй оси:
$$\begin{array}{cc} L(m) & N \\ 6 & 3 \end{array}$$
 - Остальные параметры принимаются по умолчанию (рис. 7а).
 - Щелкните по кнопке  – **Применить**.

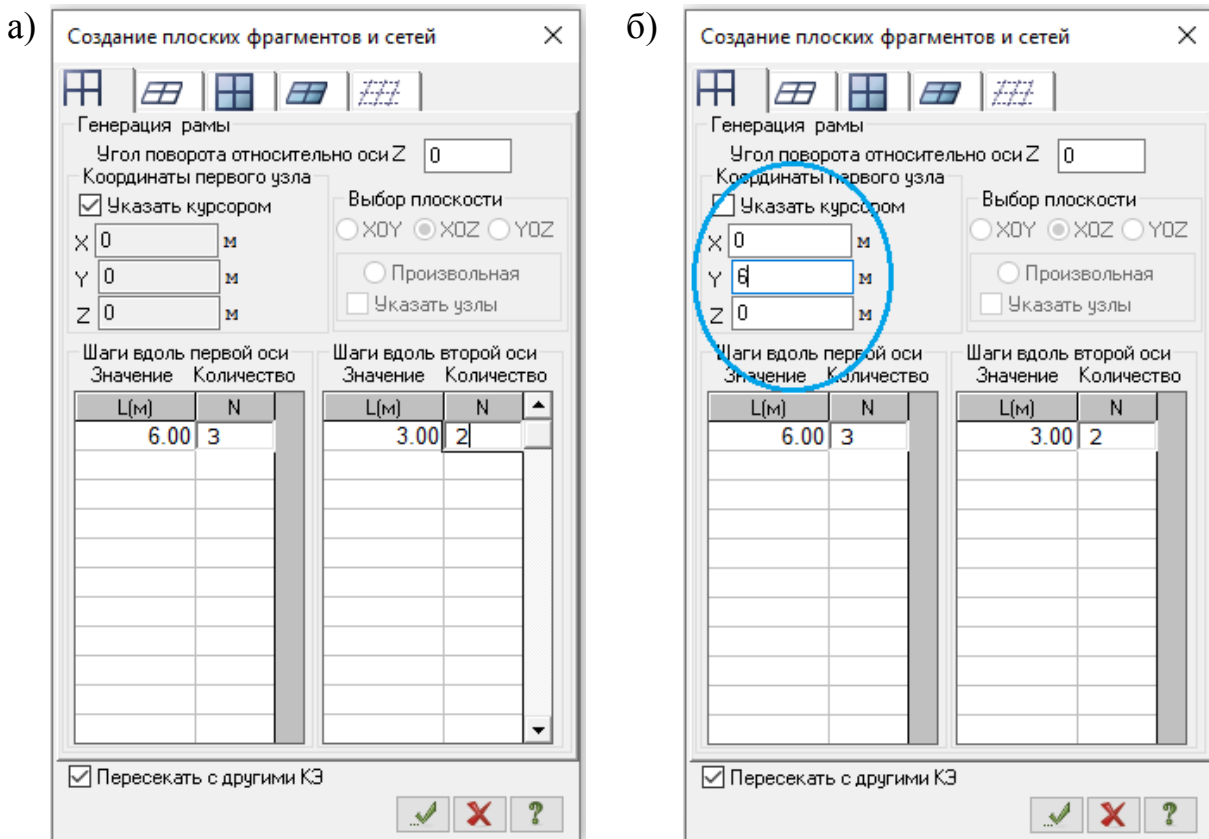


Рис. 7. Диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**

а) создание рамы по оси А; б) создание рамы по оси Б

- *Создайте раму по оси Б.* Для этого в том же окне в поле ввода **Координаты первого узла** снимите флажок **Указать курсором** (рис. 7б) и задайте координаты привязки в пространстве первого узла фрагмента (опорного узла крайней левой колонны по оси Б):

- $$\begin{matrix} X (м) & Y (м) & Z(м) \\ 0 & 6 & 0 \end{matrix}$$

- щелкните по кнопке  – **Применить**.

- *Создайте раму по оси Г.* В поле ввода **Координаты первого узла** задайте координаты привязки в пространстве опорного узла крайней левой колонны по оси Г:




- $$\begin{matrix} X (м) & Y (м) & Z(м) \\ 0 & 12 & 0 \end{matrix}$$

- щелкните по кнопке  – **Применить**.

- *Создайте раму по оси Д.* В том же окне в поле ввода **Координаты первого узла** задайте координаты привязки в пространстве опорного узла крайней левой колонны по оси Д:

- $$\begin{matrix} X (м) & Y (м) & Z(м) \\ 0 & 18 & 0 \end{matrix}$$

- щелкните по кнопке  – **Применить**.

- *Удалите горизонтальные стержни:*
 - Активируйте функцию **Отметка горизонтальных стержней** (Панель **Панель выбора** в нижней области рабочего окна, кнопка ).
 - Выделите горизонтальные элементы либо с помощью одиночного указания курсором, либо путем растягивания вокруг всех нужных элементов «резинового окна» (рис. 8а). При выделении они окрашиваются в красный цвет.
 - Удалите выделенные элементы с помощью функции **Удаление выбранных объектов** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**, кнопка ). Удаление также можно произвести с помощью клавиши Delete на клавиатуре.
 - Отожмите кнопку .

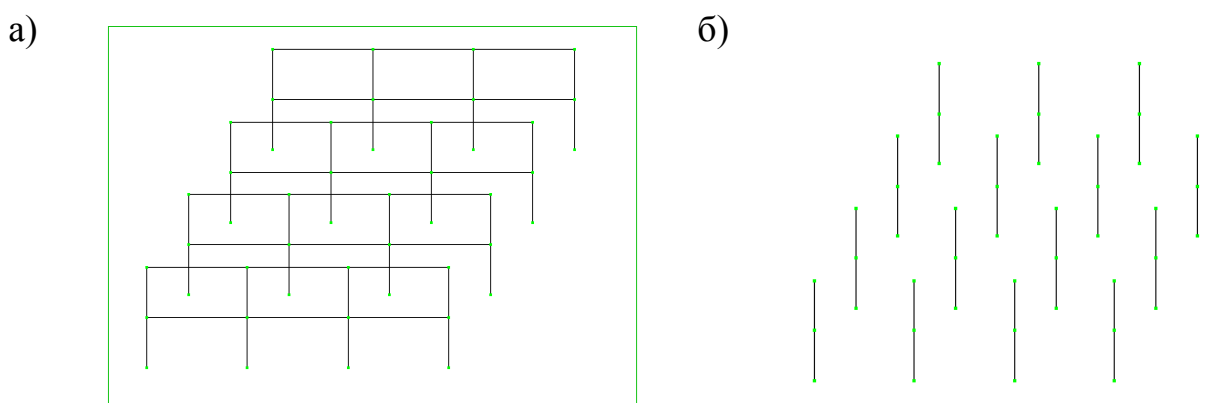





Рис. 8: а) выделение элементов с помощью «резинового окна»; б) вид расчетной схемы после удаления горизонтальных элементов

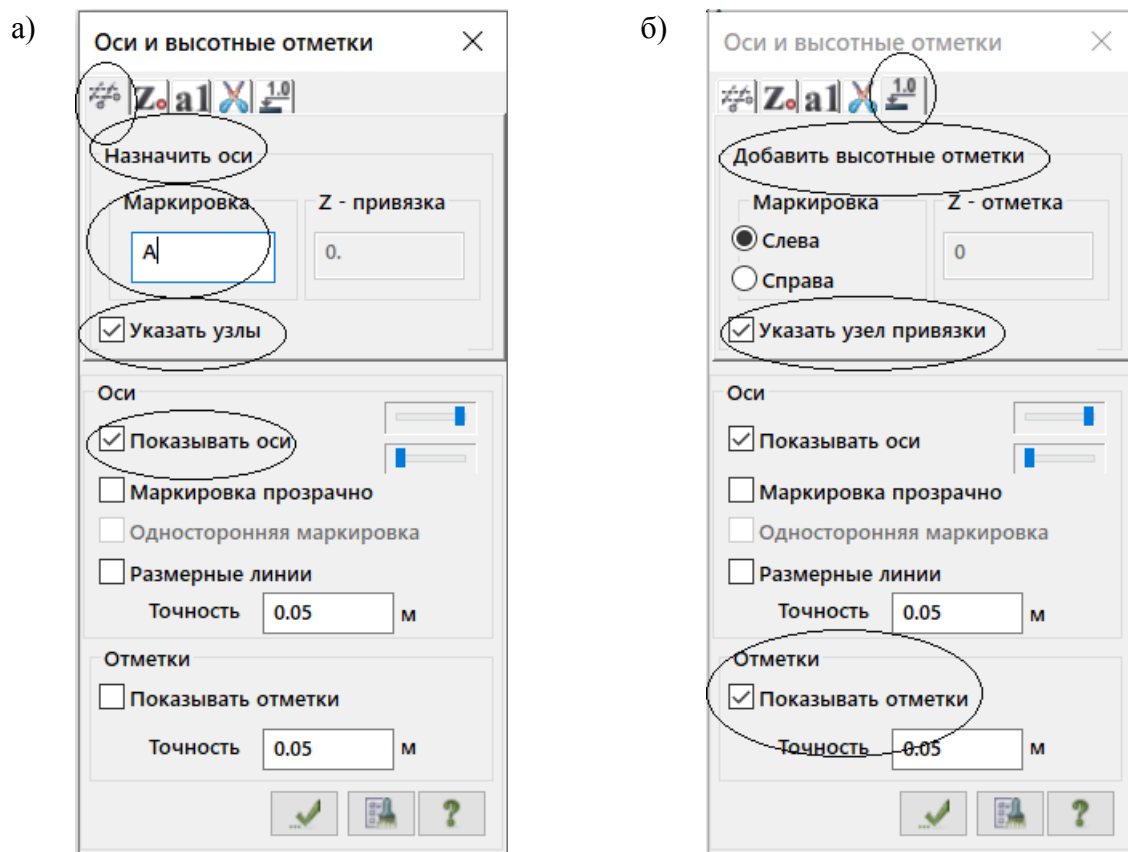
Вывод на экран номеров узлов

- Щелкните по кнопке  – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна).
- В диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и установите флажок **Номера узлов**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

Создание строительных осей и отметок здания (рис. 9)

- *Создайте строительные оси.* Активируйте функцию **Координационные оси и высотные отметки** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**, кнопка ). В открывшемся диалоговом окне **Оси и высотные отметки**, находясь в 1-ой закладке **Назначить оси**, установите флажки **Указать узлы** и **Показывать оси** и установите оси здания:
 - в поле **Маркировка** введите: А. Укажите два узла, через которые будет проходить ось А: наведите курсор на опорный узел крайней левой колонны первого ряда (узел 1) и щелчком левой клавиши мыши

- образуйте резиновую нить. Доведите ее до опорного узла крайней правой колонны (узел 4) и курсором зафиксируйте положение оси А;
- в поле **Маркировка** введите: Б. Добавьте ось Б между узлами 13 и 16, указав последовательно курсором на эту пару узлов (при этом между ними протягивается резиновая нить);
 - аналогично создайте оси Г (узлы 25 и 28), Д (узлы 37 и 40), 1 (1 и 37), 2 (2 и 38), 4 (3 и 39), 5 (4 и 40). Оси В и 3 будут созданы позднее.



в)
Загружение 1

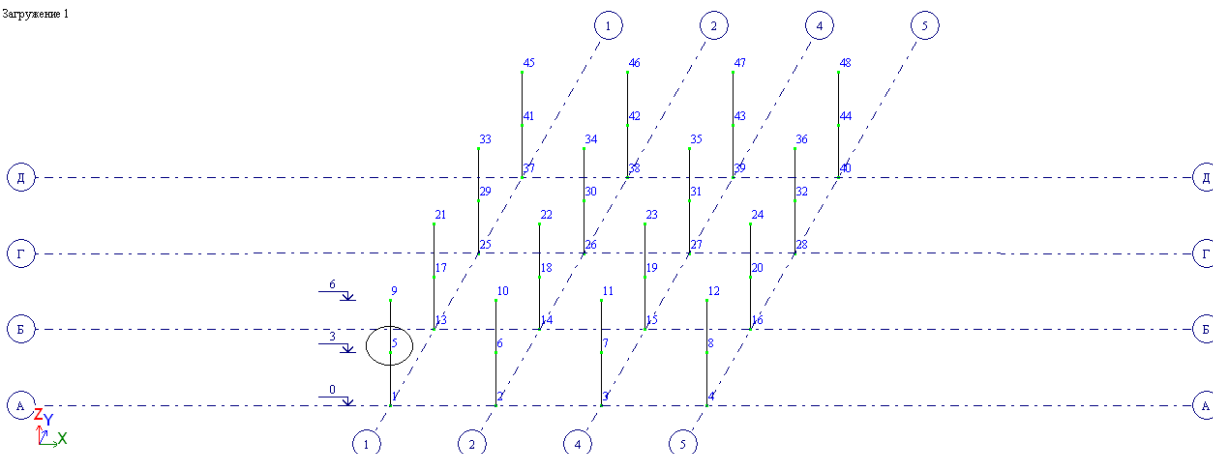







Рис. 9. Окно **Оси и высотные отметки**:






- а) закладка **Назначить оси**; б) закладка **Добавить высотные отметки**;
в) расчетная схема с отображением строительных осей и отметок

 Для корректировки заданных осей могут быть использованы функции:



– **переименовать ось**  (3-я закладка в окне **Оси и высотные отметки**); для переименования оси нужно указать курсором кружок с наименованием оси на расчетной схеме и нажать на кнопку  – **Применить**;


– **удалить ось**  (4-я закладка в окне **Оси и высотные отметки**); для удаления оси нужно указать курсором на кружок с наименованием оси на расчетной схеме и затем нажать на кнопку  – **Применить**.

➤ *Создайте строительные отметки.*

- перейдите в проекцию на плоскость XOZ щелчком по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна);
- активируйте функцию  – **Координационные оси и высотные отметки**. В открывшемся диалоговом окне **Оси и высотные отметки** перейдите во 5-ую закладку **Добавить высотные отметки** и установите флажки **Указать узел привязки** и **Показывать отметки** (рис. 9б);
- курсором выберите опорный узел левой колонны первого ряда. В открывшемся окне **Выбор узла** выберите Узел 1 (0,0,0);
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- курсором выберите средний узел левой колонны. В открывшемся окне **Выбор узла** выберите Узел 5 (0,0,3) и щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- курсором выберите верхний узел левой колонны. В открывшемся окне **Выбор узла** выберите Узел 9 (0,0,6) и щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

Создание плиты перекрытия 1-го этажа:

- в диалоговом окне **Создание плоских фрагментов и сетей** (открывается с помощью кнопки  на вкладке **Создание и редактирование** панели **Создание**) перейдите на закладку **Генерация плиты** ();
- в зоне **Координаты первого узла** установите флажок в поле **Указать курсором** и на схеме укажите курсором на промежуточный узел крайней левой колонны 1-го ряда (узел 5). Он должен окраситься в малиновый цвет, а в диалоговом окне должны отобразиться его координаты (рис. 9в);
- в таблице диалогового окна (рис.10) задайте параметры плиты перекрытия:

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Шаг вдоль первой оси: | Шаг вдоль второй оси: |
| L(м) N | L(м) N |
| 0,6 30 | 0,6 30 |
- щелкните по кнопке .

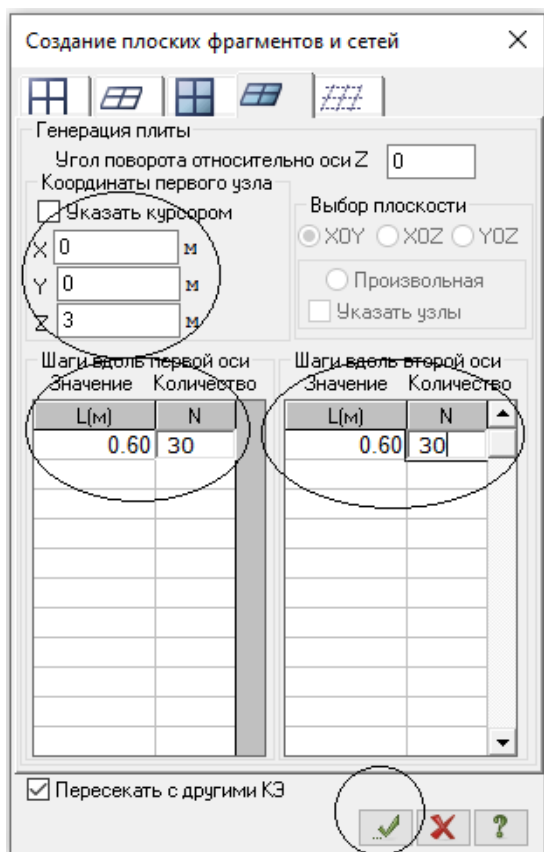






Рис. 10. Диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**


 Рекомендуется в пределах одного пролета плиту разбивать не менее чем на 10 делений. То есть, если пролет равен 6 м, то задаем 10 конечных элементов с размером 0,6 м. При наличии 3-х пролетов по 6 м, получаем 30 конечных элементов с размером 0,6 м.

Создание плиты покрытия:

- не выходя из открытого окна **Создание плоских фрагментов и сетей** (**Генерация плиты**), укажите курсором на верхний узел крайней левой колонны 1-го ряда (узел № 9);
- щелкните по кнопке  – **Применить**.



Создание монолитных железобетонных стен:

- Для удобства работы отобразите на экране только колонны:
 - активируйте функцию **Отметка вертикальных стержней** (панель **Панель выбора** в нижней области рабочего окна, кнопка );
 - выделите вертикальные элементы путем растягивания вокруг всей модели «резинового окна» (колонны должны окраситься в красный цвет);
 - щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора** выполните фрагментацию отмеченных элементов.

 Фрагментацию отмеченных элементов можно произвести также, используя **Меню**, открывающееся при щелчке правой клавиши мыши в любой точке экрана;

- отожмите кнопку .

➤ *Создайте диафрагму жесткости по оси Г:*

- в диалоговом окне **Создание плоских фрагментов и сетей** (кнопка  на вкладке **Создание и редактирование** панели **Создание**) перейдите на закладку **Генерация балки-стенки** ();
- в зоне **Координаты первого узла** установите флажок в поле **Указать курсором** и на схеме укажите курсором на опорный узел колонны в осях 2/Г (узел 26). Он должен окраситься в малиновый цвет;
- в таблице диалогового окна задайте параметры диафрагмы:

Шаг вдоль первой оси: Шаг вдоль второй оси:

| L(м) | N | L(м) | N |
|------|----|------|----|
| 0.6 | 10 | 0.6 | 10 |



Разбивка диафрагмы жесткости на конечные элементы по горизонтали (вдоль первой оси) принимается аналогичной разбивке плит перекрытий и покрытия с целью создания совместных узлов (не менее 10 элементов в пределах пролета). То есть при пролете длиной 6 м задаем 10 элементов с размером 0,6 м). По вертикали (вдоль второй оси) в пределах одного этажа диафрагму достаточно разбить на 5 конечных элементов. То есть при высоте этажа 3 м – 5 элементов по 0,6 м, а при наличии 2-х этажей получаем 10 конечных элементов с размером 0,6 м.



- щелкните по кнопке  – **Применить**.

➤ *Создайте диафрагму жесткости по оси 2:*

- не выходя из закладки **Генерация балки-стенки**, в зоне **Координаты первого узла** установите флажок в поле **Указать курсором** и на схеме укажите курсором на опорный узел колонны в осях 2/Г (узел 14). Он должен окраситься в малиновый цвет;
- в поле **Угол поворота вдоль оси Z** укажите: 90. Это значит, что диафрагма будет развернута на 90 градусов;
- поскольку диафрагма по оси 2 имеет те же размеры, что и предыдущая, в таблице диалогового окна сохраняем параметры:

Шаг вдоль первой оси: Шаг вдоль второй оси:




| L(м) | N | L(м) | N |
|------|----|------|----|
| 0.6 | 10 | 0.6 | 10 |

- щелкните по кнопке  – **Применить**;
- закройте окно **Создание плоских фрагментов и сетей** с помощью кнопки .

➤ *Создайте диафрагмы жесткости по осям 3 и 4:*



Создание диафрагм по осям 3 и 4 будем производить путем копирования ранее созданной диафрагмы по оси 2 с шагом 3 м;

- выделите диафрагму по оси 2, используя кнопку  – **Отметка блока** на панели **Панель выбора**;
- активизируйте функцию **Копирование** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**), закладка **Копирование по параметрам**);
- В открывшемся окне **Копирование объектов** введите dX: 3 м, N: 2 (рис. 11). Все остальные параметры оставьте по умолчанию;
- щелкните по кнопке ;
- снимите выделение с диафрагмы по оси 2, используя кнопку  – **Отмена выделения и изорежима** на **Панели выбора**.

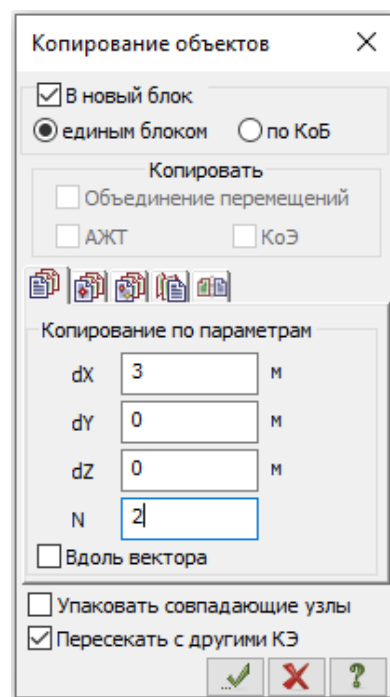














Рис. 11. Окно **Копирование объектов**

➤ *Создайте диафрагмы по осям Б, В:*

- для удобства уберите визуализацию нумерации узлов с расчетной модели, используя кнопку  – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора**. В открывшемся диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и уберите флажок **Номера узлов**. Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**;
- выделите курсором диафрагму по оси Г, активировав предварительно кнопку  – **Отметка блока** на панели **Панель выбора**;
- в окне **Копирование объектов** (по параметрам) задайте копирование выделенного объекта в направлении оси Y с шагом 3 м:

$$\begin{aligned} dX &= 0 \text{ м} \\ dY &= -3 \text{ м} \\ dZ &= 0 \text{ м} \\ N &= 2 \end{aligned}$$
- щелкните по кнопке  и закройте окно **Копирование объекта** (кнопка );
- снимите выделение с диафрагмы по оси Г, используя кнопку  – **Отмена выделения изображения** на **Панели выбора**;
- перейдите в проекцию на плоскость XOY (план) щелчком по кнопке  – **Проекция на XOY** на панели инструментов **Проекция** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна);
- активируйте функцию  – **Отметка элементов** на **Панели выбора**, с помощью «резинового окна» выделите участок диафрагмы в осях Г/3-4 и удалите его, используя функцию **Удаление выбранных**

объектов (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**, кнопка ).

- Удалите колонны примыкающие к стенам ядра жесткости (оси Б/2, Б/4, Г/2, Г/4):
 - для удобства оставьте на экране только фрагмент схемы в осях 2-4/Б-Г. Для этого активируйте функцию  – **Отметка элементов** на **Панели выбора**, с помощью «резинового окна» выделите нужный участок (рис. 12), и щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора** выполните фрагментацию отмеченных элементов;
 - перейдите в диметрическую фронтальную проекцию представления расчетной схемы щелчком по кнопке  – **Изометрическая фронтальная проекция** на панели инструментов **Проекция**.

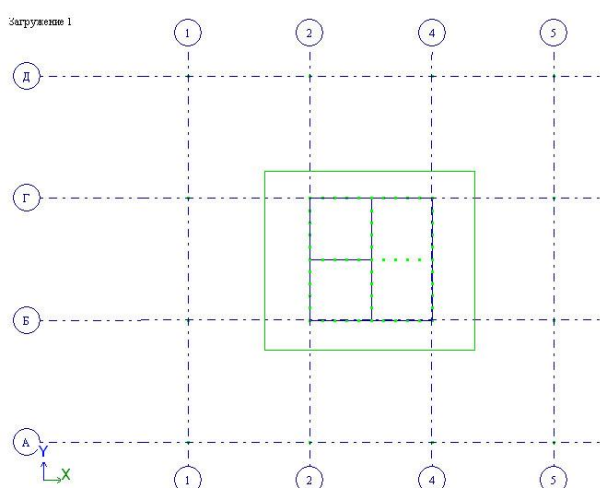




Рис. 12. Выделение фрагмента в осях 2-4/Б-Г с помощью «резинового окна»

- щелкнув предварительно по кнопке  – **Отметка вертикальных стержней** на **Панели выбора** с помощью «резинового окна» выделите оставшиеся колонны;
- удалите выделенные колонны с помощью кнопки  – **Удаление выбранных объектов** (на вкладке **Создание и редактирование** панели **Редактирование** (рис. 13));

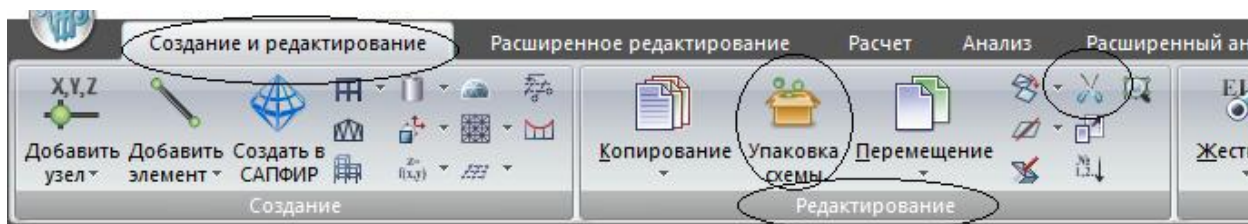





Рис. 13. Удаление выбранных объектов и упаковка схемы


- для упорядочивания нумерации конечных элементов в расчетной модели после удаления колонн можно активизировать кнопку  – **Упаковка схемы** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**). В открывшемся окне **Упаковка** нажмите на кнопку  – **Применить**.



Упаковка схемы производится для сшивки совпадающих узлов и элементов; для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов, а также для упорядочивания нумерации узлов и конечных элементов в расчетной модели.




- *Создайте строительные оси в местах устройства созданных диафрагм (оси 3 и В).*
 - перейдите в проекцию на плоскость ХОУ (план) щелчком по кнопке  – **Проекция на ХОУ** на панели инструментов **Проекция**;
 - активируйте функцию  – **Отметка элементов** на **Панели выбора**, с помощью «резинового окна» последовательно выделите диафрагмы по оси В и оси 3;
 - щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора** выполните фрагментацию отмеченных элементов;
 - перейдите в диметрическую фронтальную проекцию (панель инструментов **Проекция**, кнопка );
 - активируйте функцию **Координационные оси и высотные отметки** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**, кнопка ).
 - в поле **Маркировка** введите: 3. Щелчком левой клавиши мыши укажите любые два узла, через которые будет проходить ось 3;
 - в поле **Маркировка** введите: В. Щелчком левой клавиши мыши укажите любые два узла, через которые будет проходить ось В.
-  Для удобства можно развернуть модель относительно верикальной оси, используя функцию  – **Поворот вокруг оси Z** на панели **Панель выбора**;
- восстановите полную расчетную модель, используя функцию  – **Восстановление конструкции** на **Панели выбора**.

Создание фундаментной плиты:

- Вызовите диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**  (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**). В открывшемся окне перейдите к закладке **Генерация плиты**.
- В этом окне снимите флажок **Указать курсором** в поле ввода **Координаты первого узла** и задайте координаты привязки в пространстве первого узла фрагмента:









| X(м) | Y(м) | Z(м) |
|------|------|------|
| -0.7 | -0.7 | 0. |

- В таблице диалогового окна задайте параметры фундаментной плиты:

| | | | |
|-------------------------|-----------------------|------|----|
| • Шаг вдоль первой оси: | Шаг вдоль второй оси: | | |
| L(м) | N | L(м) | N |
| 0.7 | 1 | 0.7 | 1 |
| 0.6 | 30 | 0.6 | 30 |
| 0.7 | 1 | 0.7 | 1 |
- Щелкните по кнопке .
- Щелкните по кнопке  – **Упаковка схемы** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В открывшемся окне **Упаковка** щелкните по кнопке  – **Применить**.

Полученная расчетная схема каркаса представлена на рис. 15.

Создание отверстий в плите перекрытия 1-го этажа:

- Выделите плиту перекрытия 1-го этажа:
 - щелкните по кнопке  – **Отметка блока** на **Панели выбора**;
 - укажите курсором на любой узел или элемент плиты перекрытия 1-го этажа (плита окрасится в красный цвет).
- Выполните фрагментацию отмеченной плиты, щелкнув по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора**.
- Перейдите в проекцию ХОУ (Панель инструментов **Проекция**, кнопка .
- Создайте отверстие в области лифтовой шахты в осях 2-3/В-Г:
 - активируйте функцию **Отметка элементов** (панель **Панель выбора**, кнопка ) , при этом кнопка **Отметка узлов**  должна быть отжата;
 - выделите в области осей 2-3/В-Г конечные элементы, захватив их целиком в «резиновое окно»;
 - удалите выделенные элементы с помощью функции **Удаление выбранных объектов** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**, кнопка ) или с помощью клавиши **Delete** на клавиатуре.
- Создайте аналогичным образом отверстие размером 3×4,8 м (по заданию) в области лестничной клетки (в осях 3-4/В-Г). При этом обратите внимание на присутствие участка, соответствующего лестничной площадке шириной 1,2 м (2 ряда элементов по 0,6 м).
- Удаление «висячих» узлов, оставшихся в зоне отверстий после исключения из расчетной схемы конечных элементов плиты, лучше всего производить с помощью функции **Упаковка схемы** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**, кнопка ). Для этого в открывшемся окне **Упаковка** в зоне **Удалить из расчетной схемы** установите флажок в поле 'Висячие узлы' и нажмите .

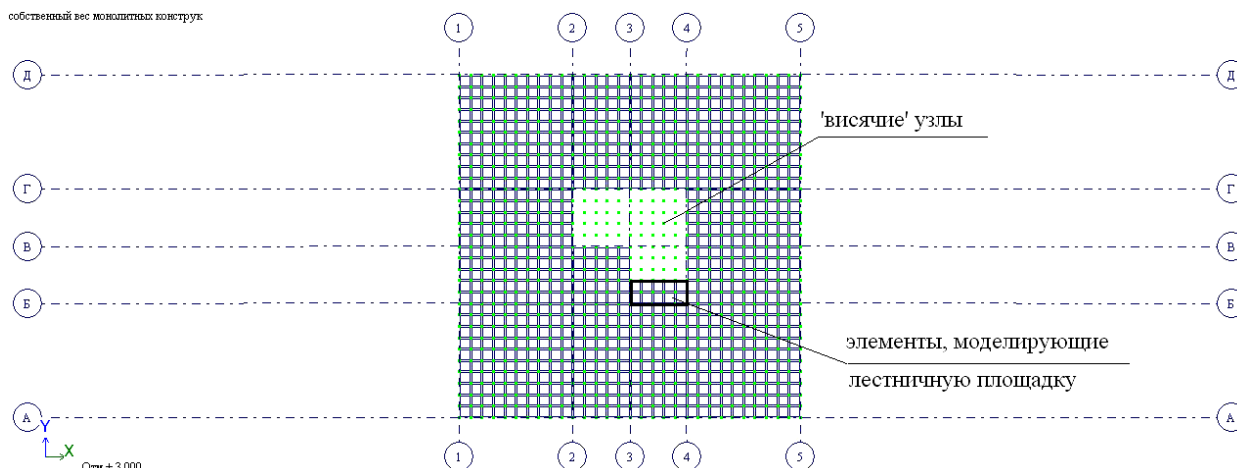


Рис. 14. Отверстия в плите перекрытия 1-го этажа

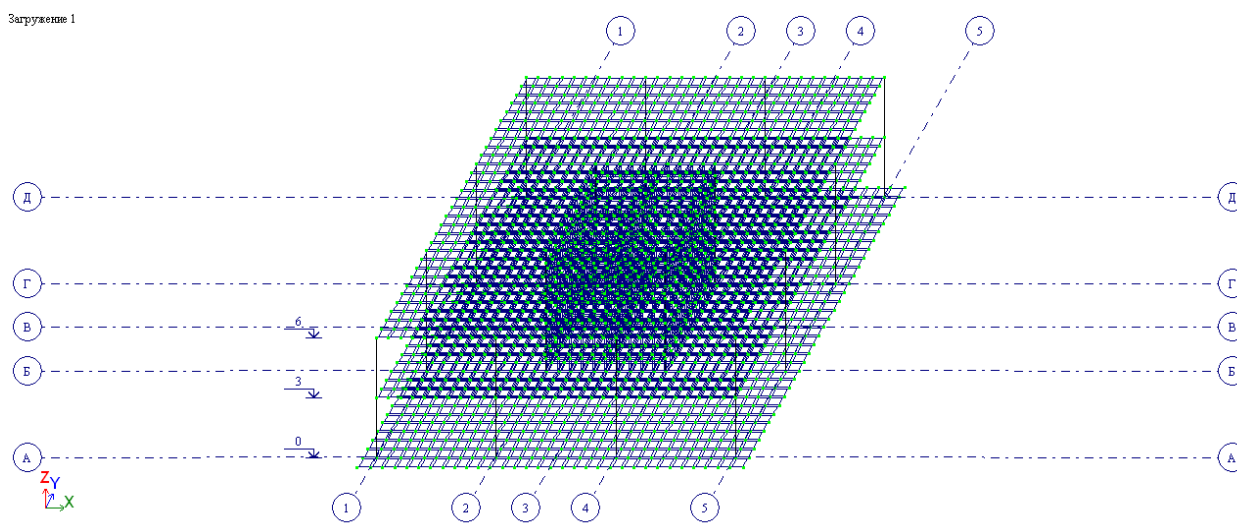


Рис. 15. Расчетная схема каркаса

Сохранение информации о расчетной схеме:

- Для сохранения информации о расчетной схеме откройте меню **Приложения** и выберите пункт **Сохранить** (кнопка на панели быстрого доступа).
- По умолчанию задача сохраняется в папку **Data**.

Этап 3. Задание жесткостных параметров элементов схемы



Для расчета необходимо задать жесткостные параметры элементов. Их количество зависит от типа конечных элементов. К этим параметрам относятся: площади поперечных сечений, моменты инерции сечений, толщина плитных и оболочечных элементов, модули упругости и сдвига, коэффициенты постели упругого основания.




Общая схема задания жесткостных характеристик такова:

- вводятся числовые данные жесткостных характеристик (каждый набор характеристик называется **типом жесткости** или просто **жесткостью**);
- каждому типу жесткости присваивается порядковый номер;
- один из типов жесткости назначается текущим;
- на расчетной схеме отмечаются элементы, которым будет присвоена текущая жесткость;
- кнопкой **Назначить** всем выделенным элементам присваиваются жесткостные характеристики, содержащиеся в текущем типе жесткости.

Формирование типов жесткости


➤ *Сформируйте жесткость колонн:*

- щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы** (рис. 16);
- в этом окне установите флажок **Жесткость**;
- щелкните по кнопке **Добавить** для того, чтобы вывести список стандартных типов сечений;
- в библиотеке закладки **Стандартные типы сечений** появившегося окна выберите двойным щелчком мыши **Брус** (рис. 17);
- в появившемся окне **Задание стандартного сечения** задайте размеры сечения и параметры материала колонны (рис. 18):
 - модуль упругости – $E = 3e7$ кН/м².



Запись $3e7$ эквивалентна записи $3 \cdot 10^7$. Вводится при английской раскладке клавиатуры!

- коэффициент Пуассона – 0.2;
- ширина сечения – $B = 400$ мм;
- высота сечения – $H = 400$ мм;
- удельный вес материала – $R_0 = 25$ кН/м³;

- в поле **Комментарий** введите: *колонны*;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- в списке типов жесткостей окна **Жесткости и материалы** должна появиться строка: 1. Брус 40×40 (колонны).

➤ *Сформируйте жесткость диафрагм жесткости (монолитных стен):*

- в окне **Добавить жесткость** перейдите к четвертой закладке **Пластинчатые, объемные, численные**;

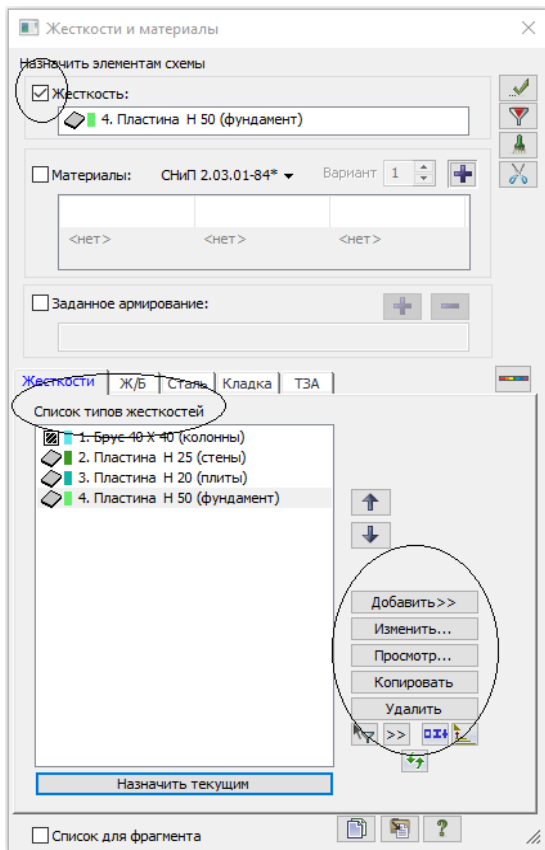


Рис. 16. Окно Жесткости и материалы

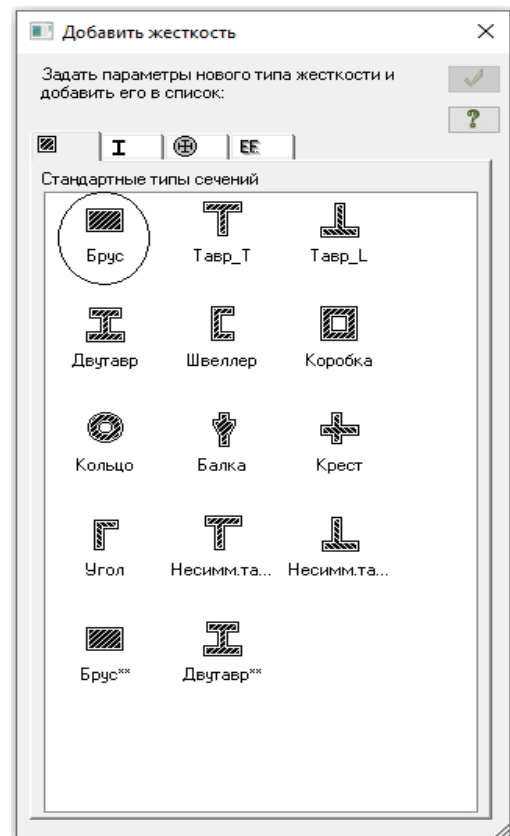


Рис. 17. Окно Добавить жесткость

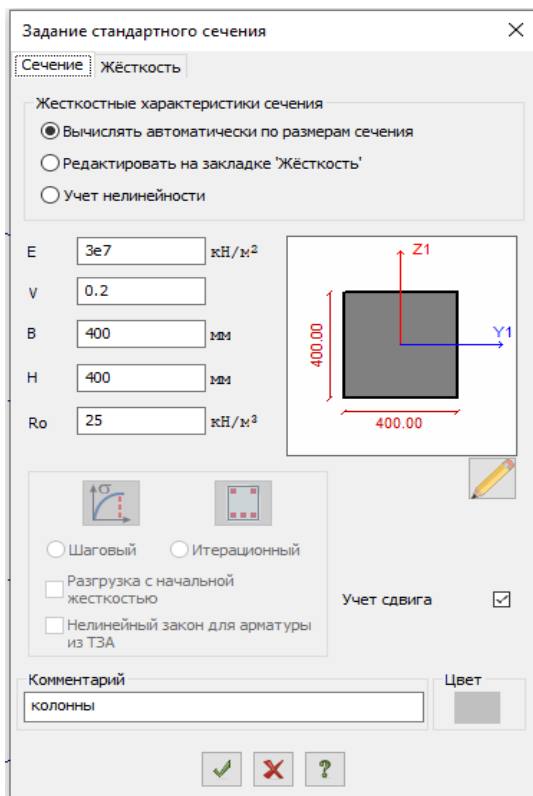


Рис. 18. Окно Задание стандартного сечения

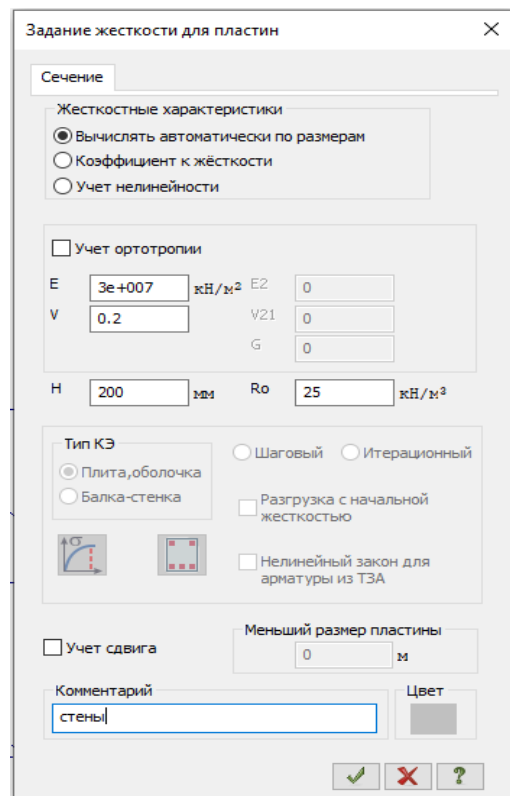





Рис. 19. Окно Задание жесткости для пластин

- в предлагаемой библиотеке двойным щелчком мыши выберите **Пластины**;
- в открывшемся окне **Задание жесткости для пластин** (рис. 19) введите параметры сечения и материала диафрагм жесткости:
 - модуль упругости – $E = 3e7$ кН/м² (при английской раскладке клавиатуры);
 - коэффициент Пуассона – $\nu = 0.2$;
 - толщина – $H = 200$ мм;
 - удельный вес материала – $R_0 = 25$ кН/м³;
- в поле **Комментарий** введите: *стены*;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- в списке типов жесткостей окна **Жесткости и материалы** должна появиться строка: 2. Пластина Н25 (стены).

➤ *Сформируйте жесткость плит покрытия и перекрытия:*

- в окне **Добавить жесткость** в библиотеке закладки **Пластинчатые, объемные, численные** двойным щелчком мыши снова выберите **Пластины**;
- в открывшемся окне **Задание жесткости для пластин** введите параметры сечения и материала монолитных плит:
 - модуль упругости – $E = 3e7$ кН/м²;
 - коэффициент Пуассона – $\nu = 0.2$;
 - толщина – $H = 200$ мм;
 - удельный вес материала – $R_0 = 25$ кН/м³;
- в поле **Комментарий** введите: *плиты*;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- в списке типов жесткостей окна **Жесткости и материалы** должна появиться строка: 3. Пластина Н20 (плиты).

➤ *Сформируйте жесткость фундаментной плиты:*

- в списке типов жесткостей окна **Жесткости и материалы** одним щелчком мыши выделите строку **3. Пластина Н20 (плиты)**;
- щелкните по кнопке **Копировать**;
- далее в списке типов жесткостей с помощью курсора выделите строку **4. Пластина Н 20 (плиты)** и щелкните по кнопке **Изменить**;
- в новом окне **Задание жесткости для пластин** измените параметры для фундаментной плиты:
 - толщина – $H = 500$ мм;
- в поле **Комментарий** введите: *фундамент*;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;



- в списке типов жесткостей окна **Жесткости и материалы** должна появиться строка: 4. Пластина Н50 (фундамент).






Жесткость фундаментной плиты может быть создана стандартным способом аналогично плитам покрытия и перекрытия.

Назначение жесткостей элементам схемы


➤ *Назначьте жесткость колоннам:*


- в списке типов сечений окна **Жесткости и материалы** курсором выделите строку: 1. Брус 40×40 (колонны);
- щелкните по кнопке **Назначить текущим**, при этом выбранный тип сечения записывается в верхней строке редактирования (текущим тип жесткости можно назначить двойным щелчком по строке списка);
- щелкните по кнопке  – **Отметка вертикальных стержней** на **Панели выбора**;
- с помощью «резинового окна» отметьте на расчетной схеме все колонны (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет);
- в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).

➤ *Назначьте жесткость монолитным диафрагмам жесткости:*




- в списке типов сечений окна **Жесткости и материалы** курсором выделите строку: 2. Пластина Н25 (стены);
- щелкните по кнопке **Назначить текущим**;
- для выделения диафрагмы жесткости активируйте кнопку  – **Полифильтр** на панели **Выбора**;
- активизируйте закладку **Фильтр для элементов** (рис. 20);
- установите флажок в поле **По виду КЭ**;
- в раскрывающемся списке выберите **Четырехузловые КЭ (пластины)**;
- установите флажок в поле **По ориентации КЭ** и активируйте радио-кнопку **|| Z**;
- щелкните по кнопке  – **Применить** (на расчетной схеме элементы диафрагм жесткости должны окраситься в красный цвет);
- в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить**.

➤ *Назначьте жесткость плитам покрытия и перекрытия:*

- в списке типов сечений окна **Жесткости и материалы** курсором выделите строку: 3. Пластина Н20 (плиты);
- щелкните по кнопке **Назначить текущим**;
- щелкните по кнопке  – **Отметка блока** на **Панели выбора**;

- укажите курсором на любой узел или элемент плиты перекрытия первого этажа, а затем второго этажа (они окрасятся в красный цвет);
- в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить**.

➤ *Назначьте жесткость фундаментной плите:*

- в списке типов сечений окна **Жесткости и материалы** курсором выделите строку: 4. Пластина Н50 (фундамент);
- щелкните по кнопке **Назначить текущим**;
- щелкните по кнопке  – **Отметка блока** на **Панели выбора**;
- укажите курсором на любой узел или элемент плиты фундамента;
- в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить**;
- Снимите выделение с узлов при помощи кнопки  – **Отмена выделения** на **Панели выбора**.

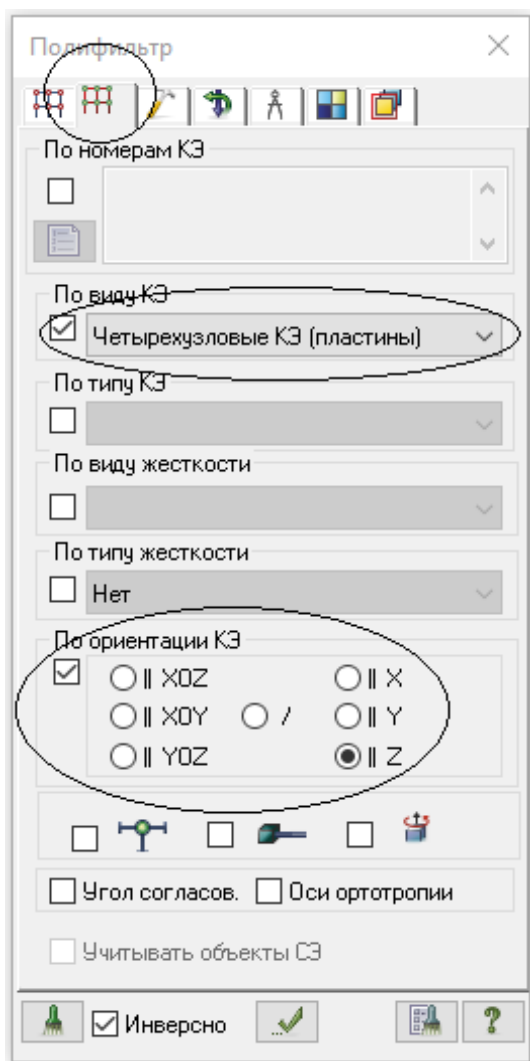


Рис. 20. Диалоговое окно Полифильтр

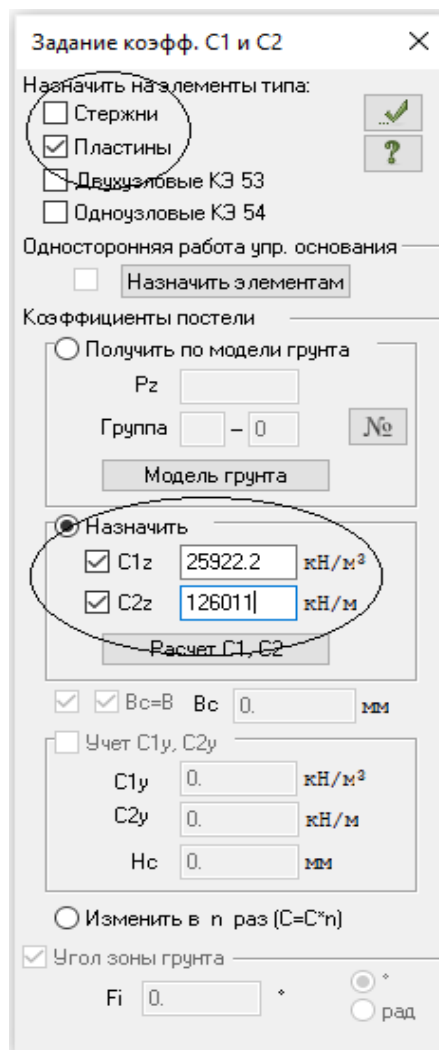







Рис. 21. Диалоговое окно Задание коэф. С1 и С2


Этап 4. Задание параметров упругого основания


- Выделите фундаментную плиту. Для этого при активной кнопке  – **Отметка блока (Панель выбора)** укажите курсором на любой узел или элемент фундаментной плиты.
- Щелчком по кнопке  – **Коэффициенты постели C1, C2** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Задание коэфф. C1 и C2** (рис. 21).
- В этом окне, при установленном флажке **Пластины** и включенной радиокнопке **Назначить**, для задания коэффициентов постели в поле **C1z** введите значение коэф. жесткости упругого основания на сжатие $C1z = 25922.2 \text{ кН/м}^3$. В поле **C2z** введите значение коэф. жесткости упругого основания на сжатие $C2z = 126011 \text{ кН/м}$.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

 Коэффициенты постели $C1z$ и $C2z$, отражающие податливые свойства грунтового основания плитного фундамента, вычисляются студентом самостоятельно на основании формулы О.А. Савинова. Методика их вычисления представлена в *приложении 1* данного пособия.

 При автоматизированном вычислении коэффициентов постели $C1$ и $C2$ в ПК ЛИРА-САПР (показано в *приложении 2*) выполнение данного этапа рационально проводить после задания нагрузок и формирования РСН (расчетных сочетаний нагрузок).

Этап 5. Задание граничных условий

 Для обеспечения геометрической неизменяемости системы в плоскости XOY , на фундаментную плиту необходимо наложить дополнительные граничные условия. При этом для обеспечения свободной деформации плиты в горизонтальной плоскости закрепления рационально устанавливать вдоль осей X и Y по крестообразной схеме, как изложено в примере данных учебно-методического пособия.

 Установка связей по крестообразной схеме – это один из упрощенных способов наложения связей в узлах фундаментной плиты. Более точным способом задания краевых условий в плоскости фундаментной плиты является наложение упруго-податливых связей во всех узлах плиты, соприкасающихся с грунтом. Жесткость связей определяется горизонтальной жесткостью грунтового массива и возможностью трения скольжения нижней поверхности фундамента по грунту. В данном пособии этот вариант не рассматривается.

- Выделите в фундаментной плите группу узлов вдоль оси **З** (рис. 22). Для этого используйте кнопку – **Отметка узлов (Панель выбора)**. После выделения узлы должны окраситься в красный цвет.
- Щелчком по кнопке – **Связи** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис. 24).
- В этом окне, с помощью установки флажков, отметьте направления, по которым запрещены перемещения выделенных узлов: **X**.
- После этого щелкните по кнопке – **Добавить связи в отмеченных узлах** (узлы должны окраситься в синий цвет).

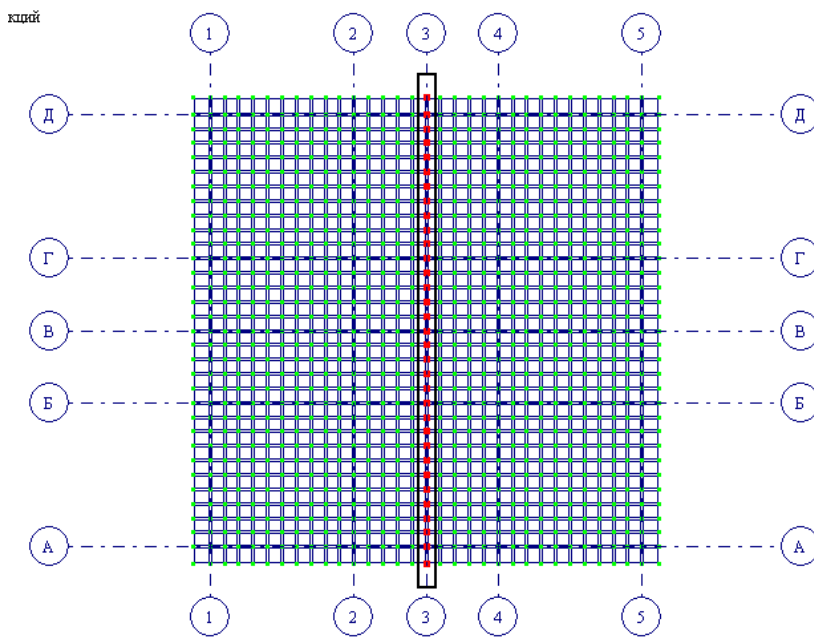


Рис. 22. Закрепляемые узлы

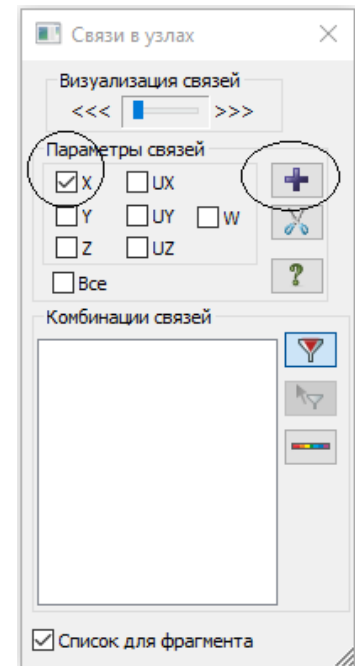


Рис. 23. Диалоговое окно **Связи в узлах**

- Выделите группу узлов вдоль оси **В** (рис. 24).
- В окне – **Связи**, отметьте направления, по которым запрещены перемещения выделенных узлов: **У**.
- После этого щелкните по кнопке – **Добавить связи в отмеченных узлах** (узлы должны окраситься в синий цвет).
- Выделите узел на пересечении осей **З** и **В** (рис. 26).
- В окне – **Связи** закрепите его от поворота вокруг вертикальной оси: **UZ**.
- Щелкните по кнопке – **Добавить связи в отмеченных узлах**.
- Снова щелкните по кнопке – **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**, чтобы снять активность с операции выделения узлов.

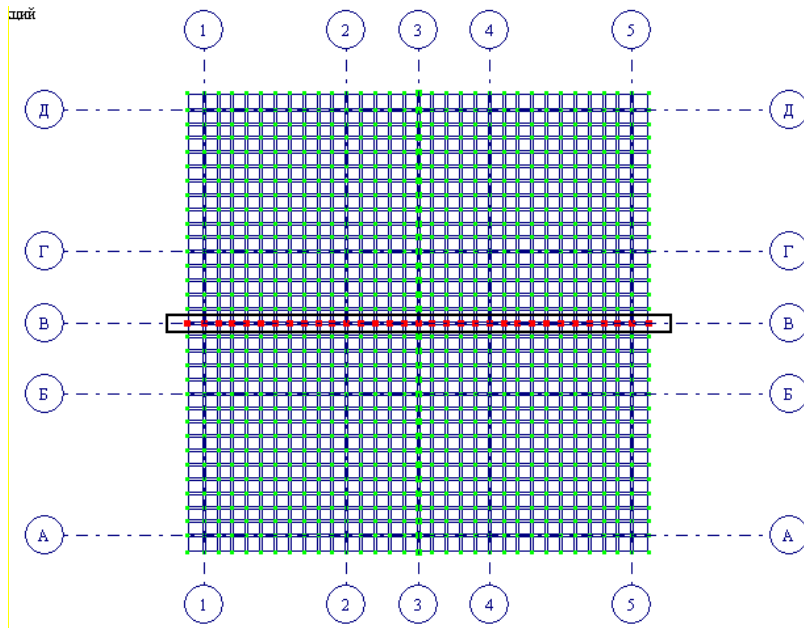


Рис. 24. Закрепляемые узлы

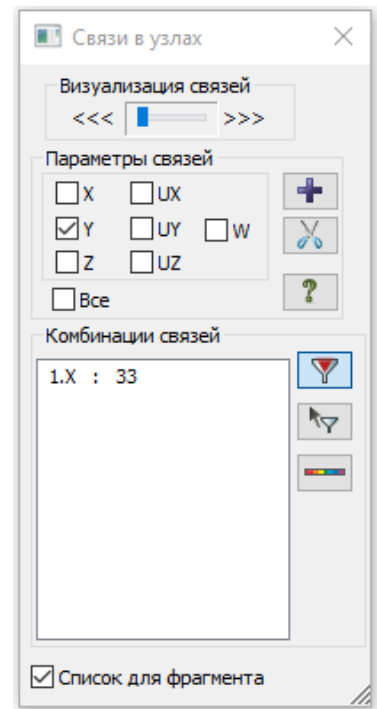


Рис. 25. Диалоговое окно Связи в узлах

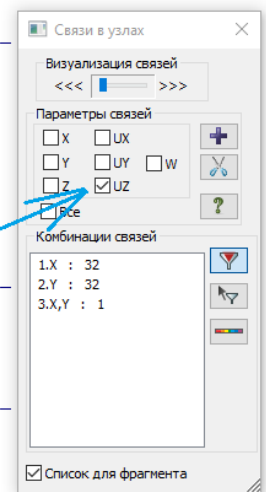
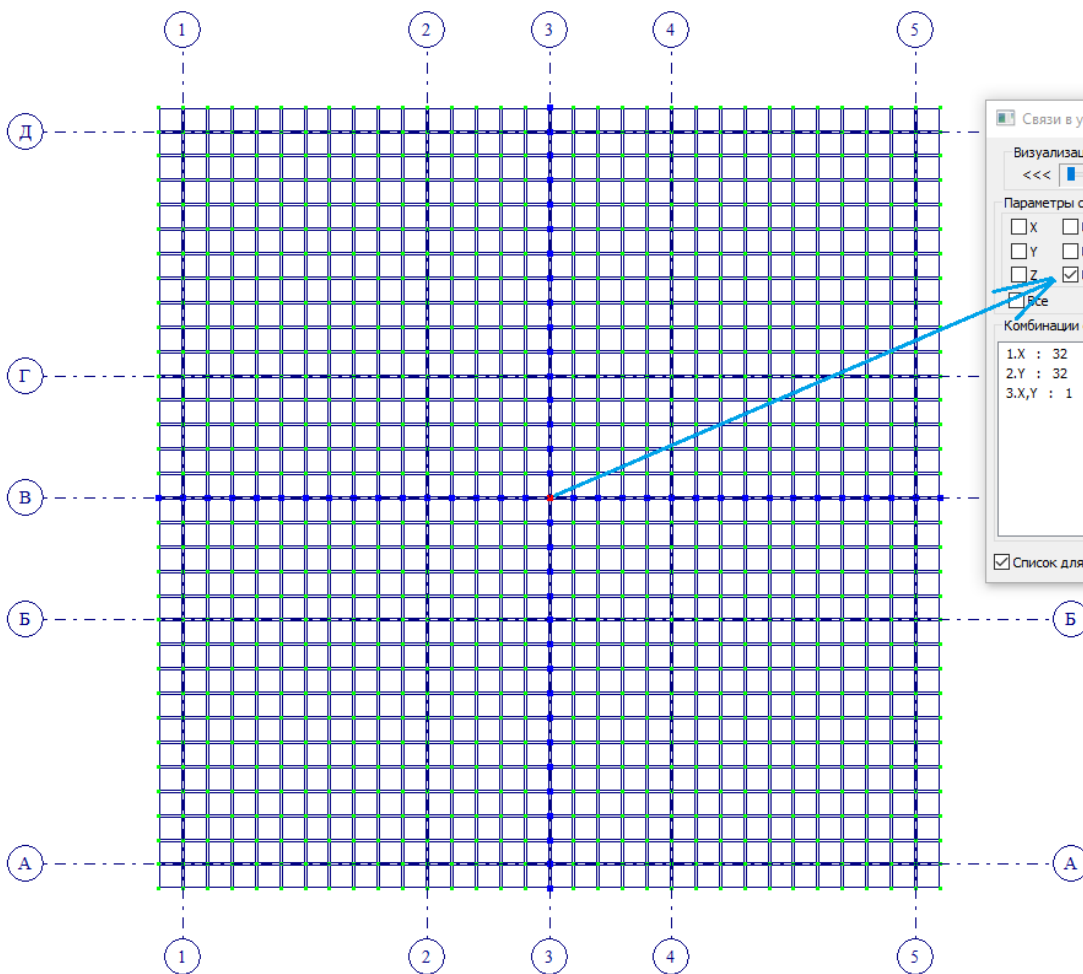


Рис. 26. Узел, закрепляемый от поворота

Этап 6. Задание нагрузок










На здание действуют постоянные и временные нагрузки, имеющие различную долю длительности и коэффициенты надежности по нагрузке [2]. Поэтому рационально задавать их в разных загрузениях. В нашей задаче сформируем 6 загрузений. В первом загрузении зададим собственный вес монолитных конструкций; во втором – нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения, парапетов (q_1 , q_2 , q_2 , Q); в третьем – временные нагрузки на перекрытие 1-го этажа и фундамент (v_2 , v_3); в четвертом – снеговую нагрузку на покрытие (v_1); в пятом – сейсмическую нагрузку вдоль оси X; в шестом – сейсмическую нагрузку вдоль оси Y.



В программе ЛИРА-САПР допускается задание до 300 загрузений. Каждому загрузению присваивается номер, произвольное имя и вид. Загрузение может содержать любое количество нагрузок. Номер, имя и вид загрузения присваиваются с помощью диалогового окна **Редактор загрузений**.

Задание информации о загрузениях

- Вызовите диалоговое окно **Редактор загрузений** щелчком по кнопке **Редактор загрузений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В раскрывающемся списке **Нормы** выберите СП 20.13330.2011/2016.
- Для Загрузения **1** в поле **Имя** введите: *собственный вес монолитных конструкций*.
- В раскрывающемся списке **Вид** выберите строку: **Постоянное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 1 (рис. 27).
- Чтобы добавить второе загрузение, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузение (в конец)**.
- Для Загрузения **2** в поле **Имя** введите: *кровля, полы, перегородки, стены*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Постоянное (P)** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 2.
- Для добавления третьего загрузения, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке .
- Для Загрузения **3** в поле **Имя** введите: *временная на перекрытие и фундамент*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Кратк.доминир1 (Pt1)** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 3.

- Для добавления четвертого загрузения, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке .
- Для Загрузения 4 в поле **Имя** введите: *снеговая нагрузка*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Кратк.доминир2 (Pt2)** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 4.
- Для Загрузения 5 в поле **Имя** введите: *сейсмическая по X*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Сейсмическое (Pse)** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 5.
- Для Загрузения 6 в поле **Имя** введите: *сейсмическая по Y*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Сейсмическое** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 6.
- Чтобы перейти к непосредственному формированию загрузения 1, в поле **Список загрузений** выделите строку 1. *собственный вес...* и щелкните по кнопке **Назначить текущим** (можно назначить текущее загрузение двойным щелчком по строке списка).
- Закройте окно **Редактор загрузений** с помощью кнопки .

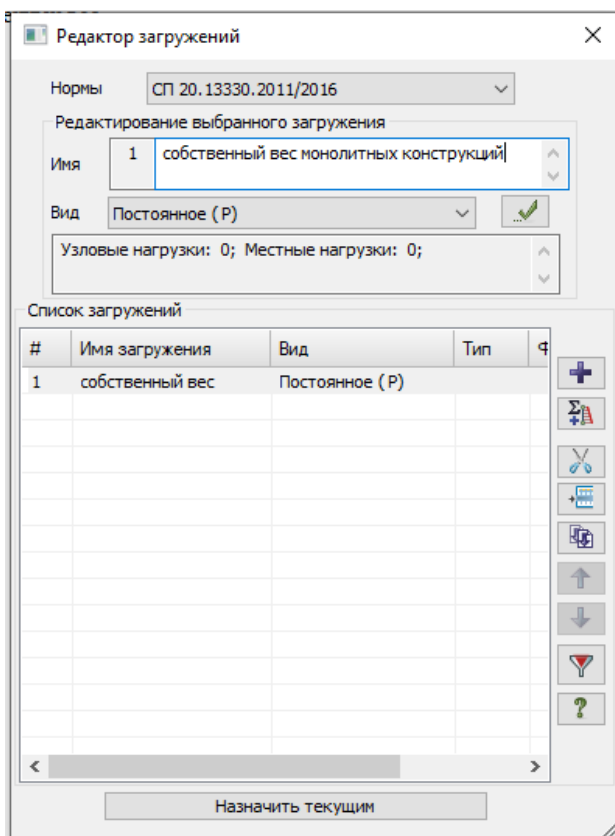


Рис. 27. Диалоговое окно Редактор загрузения

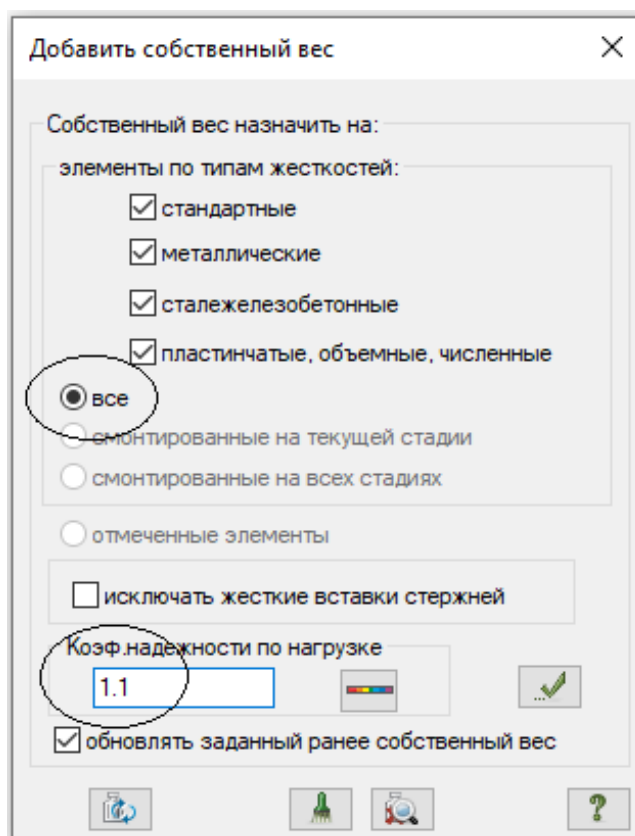






Рис. 28. Диалоговое окно Добавить собственный вес

Формирование загрузки № 1





- Щелчком по кнопке  – **Добавить собственный вес** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис. 28).
- В этом окне выберите:
 - собственный вес назначить **на все элементы**;
 - коэффициент надежности по нагрузке: **1.1**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (все несущие элементы автоматически загрузятся нагрузкой от собственного веса).

 Коэффициент надежности по нагрузке принимается на основании таблицы 7.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Для железобетонных конструкций он равен 1.1.

Формирование загрузки № 2

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузке** в **Строке состояния** (находится в нижней области рабочего окна).

- *Задайте нагрузку от веса парапетов на плиту покрытия:*

- выделите плиту покрытия с помощью операции **Отметка блока** ;
- щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора** выполните фрагментацию отмеченного блока;
- щелкните по кнопке  – **Нагрузка-штамп** (панель **Нагрузка** на вкладке **Создание и редактирование**);
- в открывшемся окне **Нагрузка-штамп** перейдите ко второй закладке **Нагрузка по линии** (рис. 29);
- выберите направление нагрузки: **Z** (задано по умолчанию);
- задайте интенсивность нагрузки **15.5 кН/м**, шаг триангуляции **0.6 м**;
- щелкнув последовательно по левому узлу плиты (в осях 1/A) и правому узлу (в осях 5/A), создайте направляющую линию приложения нагрузки (она будет окрашена в голубой цвет);
- щелкните по кнопке  – **Применить**;

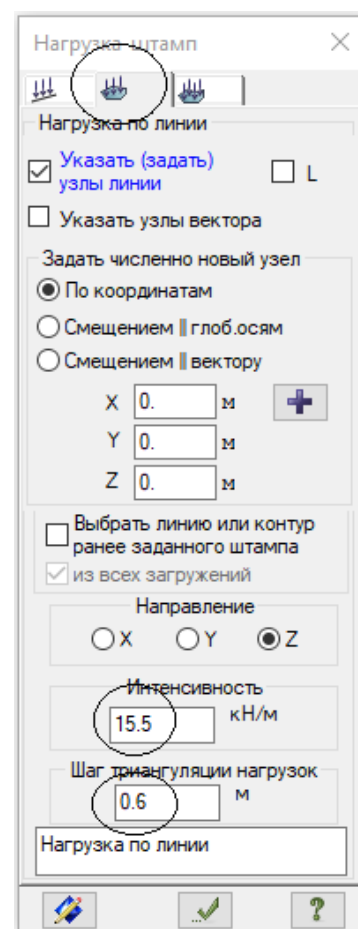



Рис. 29. Диалоговое окно **Нагрузка-штамп**

- на расчетной модели нагрузка-штамп должна отобразиться в виде группы сосредоточенных сил;
- аналогичным образом приложите нагрузку-штамп в осях 1/Д – 5/Д, 1/А – 1/Д, 5А – 5/Д (схема нагружения показана на рис. 30);
- восстановите полную расчетную модель, используя функцию  – **Восстановление конструкции на панели Выбор.**

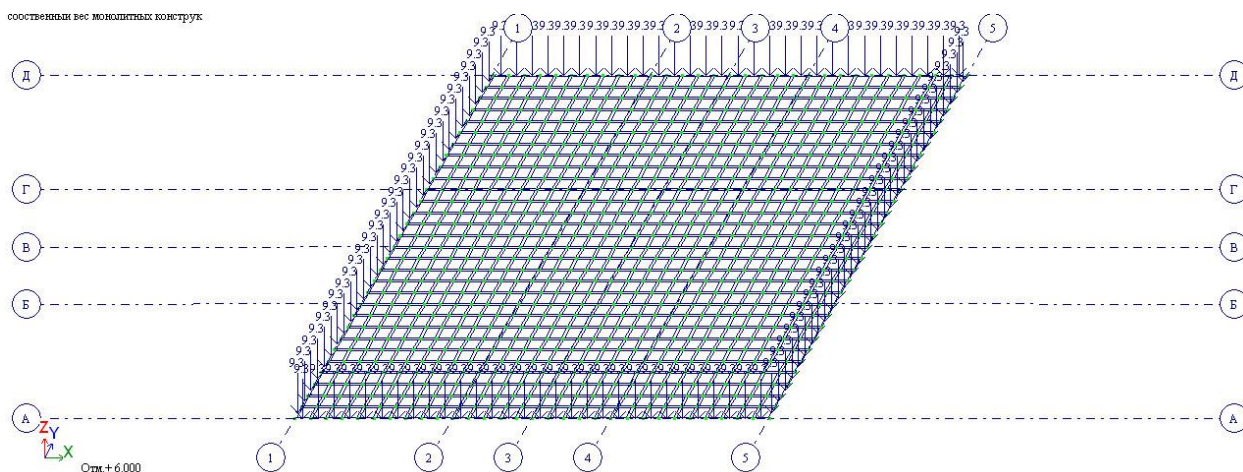


















Рис. 30. Нагрузки от веса парапета (нагрузка-штамп)


- *Задайте нагрузку от веса стенового ограждения на плиту перекрытия 1-го этажа:*
 - выделите плиту перекрытия 1-го этажа с помощью кнопки ;
 - щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора** выполните фрагментацию отмеченного блока;
 - в окне **Нагрузка-штамп** (Нагрузка по линии) задайте интенсивность нагрузки **31 кН/м**, шаг триангуляции **0.6 м**;
 - щелкнув последовательно по левому узлу плиты (в осях 1/А) и правому узлу (в осях 5/А), создайте направляющую линию приложения нагрузки;
 - щелкните по кнопке  – **Применить**;
 - аналогичным образом приложите нагрузку-штамп в осях 1/Д – 5/Д, 1/А – 1/Д, 5А – 5/Д;
 - восстановите полную расчетную модель, используя функцию  – **Восстановление конструкции на Панели выбора.**
- *Задайте нагрузку от веса стенового ограждения на фундаментную плиту:*
 - выделите фундаментную плиту с помощью операции отметки блока ;
 - для удобства дополнительно выделите с помощью «резинового окна» колонны, предварительно щелкнув по кнопке  – **Отметка вертикальных элементов**;
 - щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели **Панель выбора** выполните фрагментацию отмеченных элементов;

- в окне **Нагрузка-штамп** (Нагрузка по линии) задайте интенсивность нагрузки **31 кН/м**, шаг триангуляции **0.6 м**;
- щелкнув последовательно по узлу фундаментной плиты в осях 1/А и 5/А, создайте направляющую линию приложения нагрузки;
- щелкните по кнопке  – **Применить**;
- аналогичным образом приложите нагрузку-штамп в осях 1/Д – 5/Д, 1/А – 1/Д, 5А – 5/;
- закройте окно **Параметры нагрузки**, нажав на кнопку ;
- восстановите полную расчетную модель, используя функцию  – **Восстановление конструкции на Панели выбора**.

➤ *Задайте нагрузку от веса кровли:*

- для удобства работы с моделью отключите визуализацию значений нагрузок с помощью функции  – **Флаги рисования (панель Выбор)**, отключив галочку в поле **Интенсивность нагрузок** и нажав кнопку  в третьей закладке  – **Общие** (рис. 31);
- выделите плиту покрытия с помощью операции отметки блока  (описание см. выше);
- на панели **Нагрузки** вкладки **Создание и редактирование** активируйте окно **Задание нагрузок** (рис. 32), выбрав команду  – **Нагрузка на пластины** в раскрывающемся списке;
- в этом окне по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**;
- щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** вызовите диалоговое окно **Параметры**;
- в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 3.5 \text{ кН/м}^2$ (рис. 33);
- щелкните по кнопке  – **Применить**;
- снимите выделение с узлов плиты покрытия с помощью кнопки  – **Отмена выделения** (панель инструментов **Панель выбора**).

➤ *Задайте нагрузку от полов и перегородок на плиту перекрытия 1-го этажа:*

- выделите плиту перекрытия с помощью операции **Отметка блока** ;

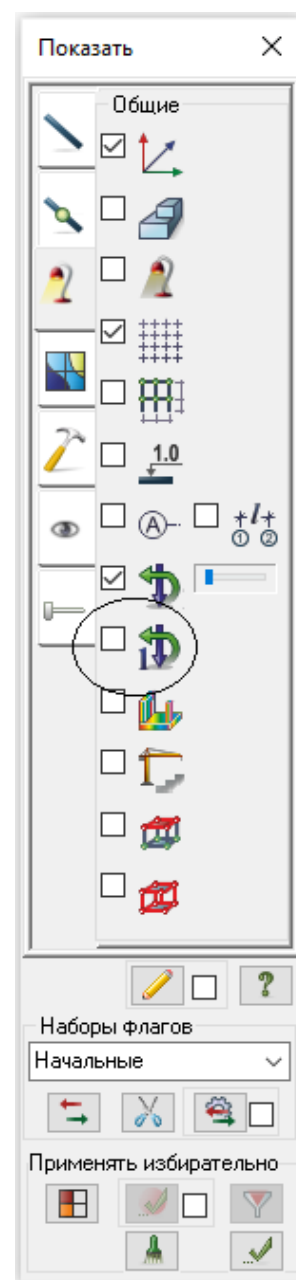






Рис. 31. Окно **Показать**

- в окне **Задание нагрузок** во вкладке **Нагрузки на пластины** щелкните по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис. 32);
- в окне **Параметры** задайте интенсивность нагрузки $p = 2.0 \text{ кН/м}^2$;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- снимите выделение с узлов плиты перекрытия с помощью кнопки  – **Отмена выделения** (панель инструментов **Панель выбора**).

➤ *Задайте нагрузку от веса полов на фундаментную плиту:*

- выделите фундаментную плиту с помощью операции **Отметка блока**;
- в окне **Нагрузки на пластины** щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** вызовите диалоговое окно **Параметры**;
- в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 1.9 \text{ кН/м}^2$;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- снимите выделение с узлов плиты перекрытия с помощью кнопки  – **Отмена выделения** (панель инструментов **Панель выбора**).


➤ Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее** **загружение** в строке состояния.



Рис. 32. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

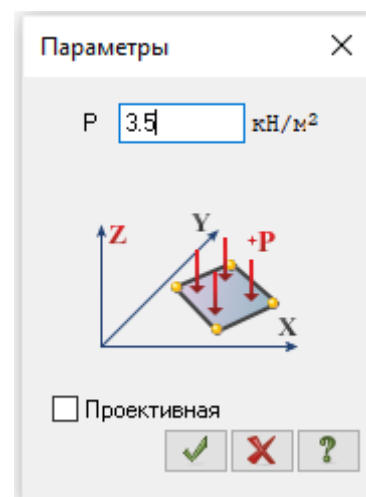












Рис. 33. Диалоговое окно **Параметры**


Формирование загрузки № 3

- *Задайте временную нагрузку на плиту перекрытия 1-го этажа:*
- перейдите в проекцию на плоскость XOZ щелчком по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция**;
 - выделите плиту перекрытия 1-го этажа с помощью «резинового окна» предварительно нажав кнопку  – **Отметка элементов на панели Выбора**;
 - вернитесь в диметрическую фронтальную проекцию расчетной схемы щелчком по кнопке  – **Изометрическая фронтальная проекция** на панели инструментов **Проекция**;
 - в окне **Задание нагрузок** во вкладке **Нагрузки на пластины** (рис. 32) щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** вызовите диалоговое окно **Параметры**;
 - в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 1.95 \text{ кН/м}^2$;
 - щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- *Задайте временную нагрузку на фундаментную плиту:*
- для выделения фундаментной плиты нажмите кнопку  – **Полифильтр** на панели **Выбора**;
 - активизируйте закладку **Фильтр для элементов**;
 - установите флажок в поле **По типу жесткости**;
 - в раскрывающемся списке выберите **Пластина Н50 (фундамент)**;
 - щелкните по кнопке  – **Применить** (на расчетной схеме элементы фундаментной плиты должны окраситься в красный цвет);
 - в окне **Задание нагрузок** (рис. 32) щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** снова вызовите диалоговое окно **Параметры**;
 - в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 4.8 \text{ кН/м}^2$;
 - щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

Формирование загрузки № 4

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее** загрузку в **Строке состояния**.
- *Задайте снеговую нагрузку на плиту покрытия:*
- выделите плиту покрытия любым из представленных ранее способом;
 - в окне **Задание нагрузок** (рис. 32), щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** вызовите диалоговое окно **Параметры**;
 - этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 3.2 \text{ кН/м}^2$;
 - щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
 - закройте окно **Задание нагрузок**, нажав на кнопку .

Формирование загрузки № 5

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – Следующее загрузке в Строке состояния.
- *Задайте сейсмическую нагрузку вдоль буквенных осей здания (вдоль оси X):*
 - в строке Меню найдите вкладку **Нагрузки**, и активируйте функцию **Динамика** (рис. 34);

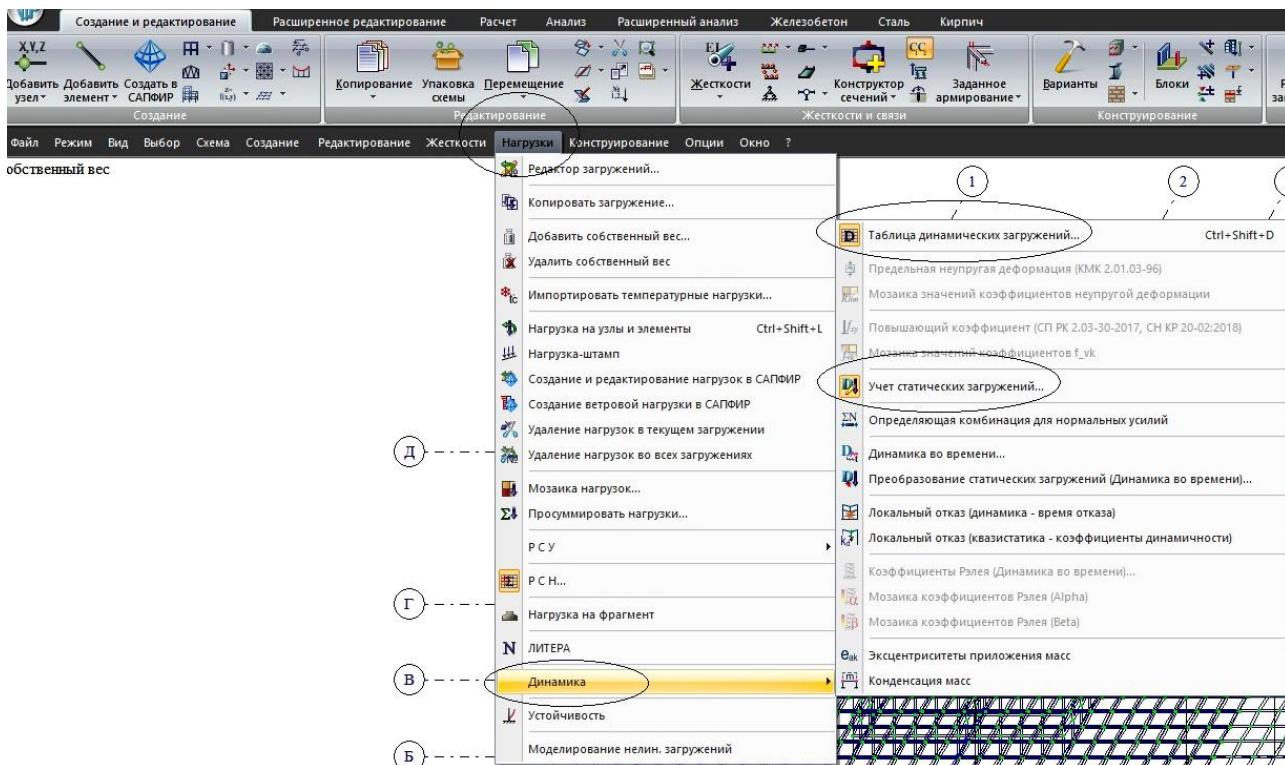




Рис. 34. Строка Меню **Нагрузки**, **Динамика**

- в открывшемся меню активируйте функцию **Учет статических загрузений**. В данной функции производится формирование массовой модели конструкции. В открывшемся окне **Формирование динамических загрузений из статических** задайте (рис. 35):
 - № динамического загрузения 5;
 - № соответствующего статического загрузения – 1;
 - коэф. преобразования – 0.9 (коэффициент особого сочетания для постоянной нагрузки).
- И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).
- Далее в этом же окне задайте:
 - № динамического загрузения 5;
 - № соответствующего статического загрузения – 2;
 - коэф. преобразования – 0.9 (коэффициент особого сочетания для постоянной нагрузки).
- И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).
- Далее в этом же окне задайте:

- № динамического нагружения 5;
- № соответствующего статического нагружения – 3;
- коэф. преобразования – 0.605 (приведенный коэффициент особого сочетания для кратковременной нагрузки с долей длительности 0,35).

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- Далее в этом же окне задайте:
 - № динамического нагружения 5;
 - № соответствующего статического нагружения – 4;
 - коэф. преобразования – 0.71 (приведенный коэффициент особого сочетания для кратковременной нагрузки с долей длительности 0,7).

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

Массовая модель для нагружения 5 сформирована (рис. 36).

- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить.**

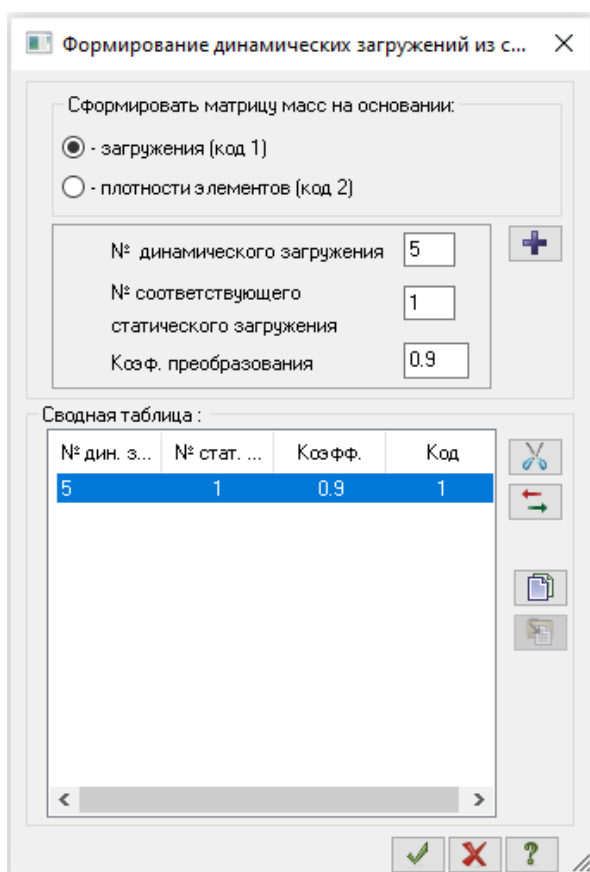


Рис. 35. Окно

Формирование динамических нагружений из статических

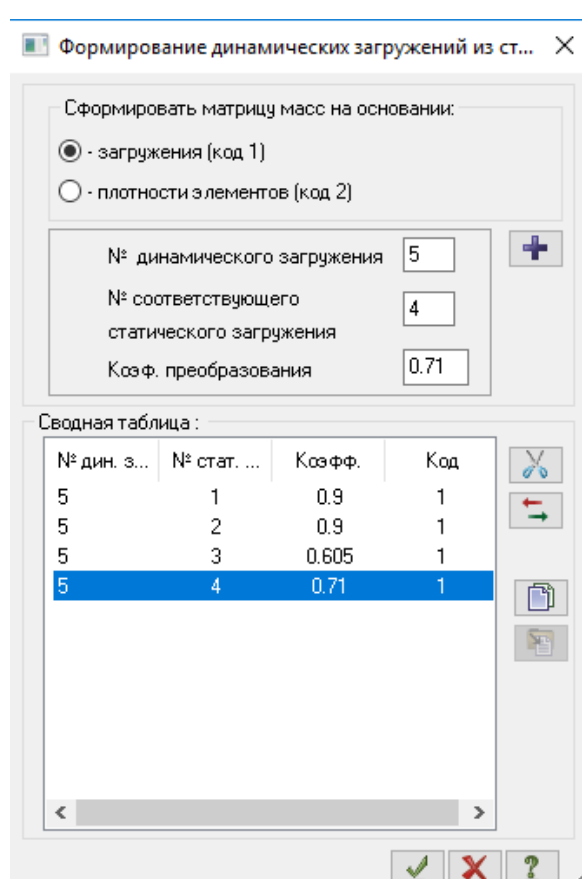


Рис. 36. Вид исходных данных

при формировании массовой модели для нагружения 5

- В строке **Меню** снова найдите вкладку **Нагрузки**, и активируйте функцию **Динамика** (рис. 34).
- В открывшемся меню активируйте функцию **Таблица динамических нагружений** (рис. 34).

- В открывшемся окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** задайте (рис. 37):

- № строки характеристик – 1;
- № загрузки – 5;
- Наименование воздействия – в выпадающем списке выберите: *Сейсмическое (СП 14.13330.14/2018)(56)*;
- количество учитываемых форм – 30.



В зависимости от используемой студентом версии программы ЛИРА-САПР в выпадающем списке **Наименование воздействия** могут быть выбраны модуль 56 (СП 14.13330.14/2018), либо модуль 62 (СП 143330.2018 с изменениями 1), либо иной модуль, соответствующий действующим на рассматриваемой территории нормам проектирования. В данном пособии рассмотрен пример с применением модуля 56.



В работе количество учитываемых форм принято, равным 30 в первом приближении. Согласно [1] минимальное число форм собственных колебаний, учитываемых в расчете, рекомендуется назначать так, чтобы сумма эффективных модальных масс, учтенных в расчете, составляла не менее 90% общей массы системы, возбуждаемой по направлению действия сейсмического воздействия для горизонтальных воздействий и не менее 75% – для вертикального воздействия. Должны быть учтены все формы собственных колебаний, эффективная модальная масса которых превышает 5%.



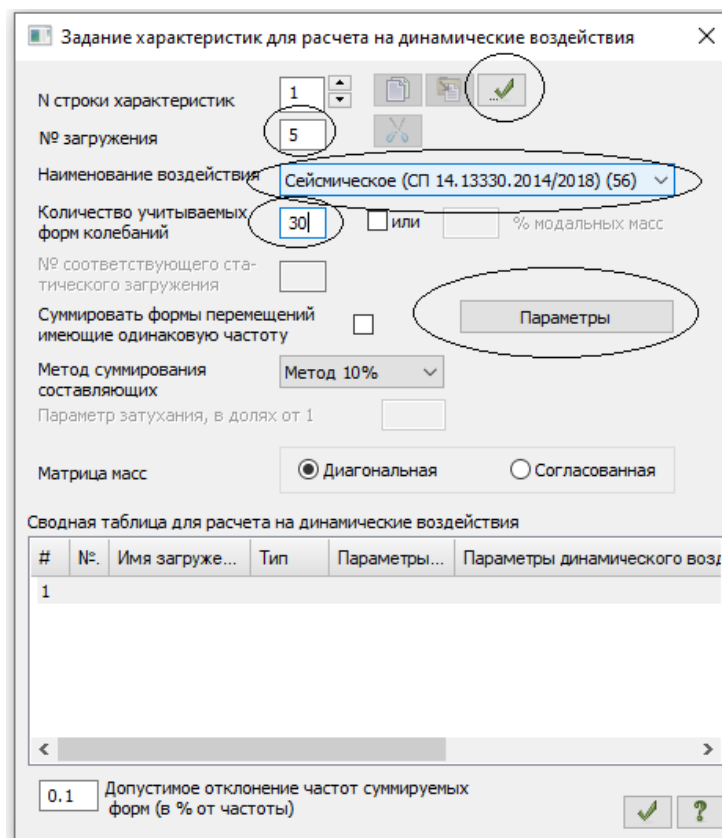
Эффективная модальная масса – это доля массы сооружения, участвующей в динамической реакции по определенной форме колебаний при заданном направлении сейсмического воздействия в виде смещения основания как абсолютно жесткого тела.

- Активируйте кнопку **Парметры**. В открывшемся окне задайте необходимые параметры в соответствии с [1] (рис. 38):

- поправочный коэффициент для сейсмических сил: 1.00;
- тип сооружения: в выпадающем меню выберите: *Жилье*;
- категория грунта: III (по заданию);
- ускорение грунта: 2 м/с^2 (что соответствует расчетной сейсмичности строительной площадки 8 баллов);
- коэффициент ответственности сооружения K_0 : 1 (согласно классификации объектов в сейсмических районах по их назначению, табл. 4.2 [1]);
- коэффициент учета допустимых повреждений K_1 : 0.3 (для зданий с железобетонным каркасом при наличии диафрагм, табл. 5.2 [1]);
- коэффициент рассеивания энергии K_{ψ} : 1.0 (см. п. 3. табл. 5.3 [1]);
- направляющие косинусы равнодействующей сейсм. воздействий:

$CX = 1; CY = 0; CZ = 0$ (это значит: направление сейсмического воздействия вдоль оси **X**);

- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.



Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

№ строки характеристик: 1

№ загрузки: 5

Наименование воздействия: Сейсмическое (СП 14.13330.2014/2018) (56)

Количество учитываемых форм колебаний: 30

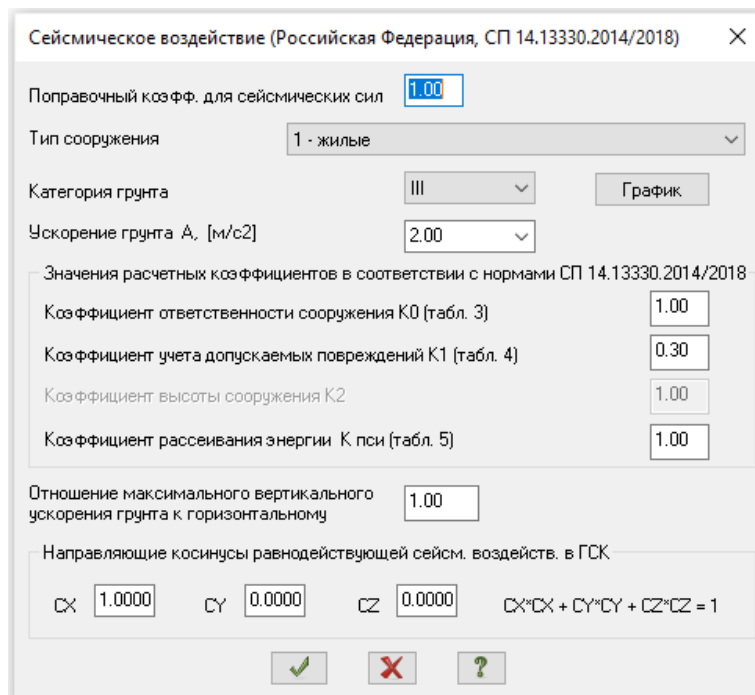
Метод суммирования составляющих: Метод 10%

Матрица масс: Диагональная Согласованная

| # | № | Имя загрузе... | Тип | Параметры... | Параметры динамического возд |
|---|---|----------------|-----|--------------|------------------------------|
| 1 | | | | | |

0.1 Допустимое отклонение частот суммируемых форм (в % от частоты)

Рис. 37. Окно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия**



Сейсмическое воздействие (Российская Федерация, СП 14.13330.2014/2018)

Поправочный коэф. для сейсмических сил: 1.00

Тип сооружения: 1 - жилые

Категория грунта: III

Ускорение грунта A_g [м/с²]: 2.00

Значения расчетных коэффициентов в соответствии с нормами СП 14.13330.2014/2018:

- Коэффициент ответственности сооружения K_0 (табл. 3): 1.00
- Коэффициент учета допускаемых повреждений K_1 (табл. 4): 0.30
- Коэффициент высоты сооружения K_2 : 1.00
- Коэффициент рассеивания энергии K_{psi} (табл. 5): 1.00


Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному: 1.00

Направляющие косинусы равнодействующей сейсм. воздейств. в ГСК:

$CX = 1.0000$ $CY = 0.0000$ $CZ = 0.0000$ $CX^2 + CY^2 + CZ^2 = 1$

Рис. 38. Характеристики сейсмического воздействия

Формирование загрузки № 6

➤ Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в **Строке состояния**.

➤ *Задайте сейсмическую нагрузку вдоль буквенных осей здания (вдоль оси У):*

- в строке **Меню** найдите вкладку **Нагрузки**, и активируйте функцию **Динамика** (рис. 34);
- в открывшемся меню активируйте функцию **Учет статических загрузок**. В данной функции производится формирование массовой модели конструкции. В открывшемся окне (рис. 35) задайте аналогично загрузке 5:
 - № динамического загрузения – 6;
 - № соответствующего статического загрузения – 1;
 - коэф. преобразования – 0.9 (коэффициент особого сочетания для постоянной нагрузки).

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- Далее в этом же окне задайте:
 - № динамического загрузения 6;
 - № соответствующего статического загрузения – 2;
 - коэф. преобразования – 0.9 (коэффициент особого сочетания для постоянной нагрузки).

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- Далее в этом же окне задайте:
 - № динамического загрузения 6;
 - № соответствующего статического загрузения – 3;
 - коэф. преобразования – 0.605 (приведенный коэффициент особого сочетания для кратковременной нагрузки с долей длительности 0,35).

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- Далее в этом же окне задайте:
 - № динамического загрузения 6;
 - № соответствующего статического загрузения – 4;
 - коэф. преобразования – 0.71 (приведенный коэффициент особого сочетания для кратковременной нагрузки с долей длительности 0,7).


И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

Массовая модель для загрузения 6 сформирована.

- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

- В строке **Меню** снова найдите вкладку **Нагрузки**, и активируйте функцию **Динамика** (рис. 34).

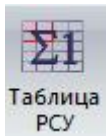
- В открывшемся меню активируйте функцию **Таблица динамических загрузок**.

- В открывшемся окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** задайте:
 - № строки характеристик – 2;
 - № загрузки – 6;
 - наименование воздействия – в выпадающем списке выберите: *Сейсмическое (СП 14.13330.2014)(56)*;
 - количество учитываемых форм – 30.
- Активируйте кнопку **Параметры**. В открывшемся окне аналогично 5-му загрузению задайте необходимые параметры в соответствии с [1]:
 - поправочный коэффициент для сейсмических сил: 1;
 - тип сооружения: в выпадающем меню выберите: *Жилье*;
 - категория грунта: *III* (по заданию);
 - ускорение грунта: 2 м/с^2 (что соответствует расчетной сейсмичности строительной площадки 8 баллов);
 - коэффициент ответственности сооружения K_0 : 1;
 - коэффициент учета допустимых повреждений: 0.3;
 - коэффициент рассеивания энергии K_{psi} : 1.0;
 - направляющие косинусы равнодействующей сейсм. воздействий: $CX = 0$; $CY = 1$; $CZ = 0$ (это значит: направление сейсмического воздействия вдоль оси Y).
- Закройте окно характеристик для расчета на динамические воздействия, нажав на кнопку  – **Подтвердить**.

Этап 7. Генерация таблицы РСУ



В соответствии со строительными нормами расчет армирования несущих элементов каркаса производится по наиболее опасным сочетаниям усилий. Поэтому для дальнейшей работы в разделе **Конструирование** нужно производить расчет РСУ или РСН. Вычисление расчетных сочетаний усилий (РСУ) производится по критерию экстремальных значений напряжений в характерных точках сечений элементов на основании правил, установленных нормативными документами (в отличие от вычисления РСН, где вычисления производятся непосредственным суммированием соответствующих значений перемещений и усилий в элементах).



- Щелкните по кнопке **Таблица РСУ** – **Таблица РСУ** (панель РСУ на вкладке **Расчет**).
- На экране появляется окно – предупреждение **VISOR-SAPR** (рис. 39), в котором щелкните по кнопке **ОК**.

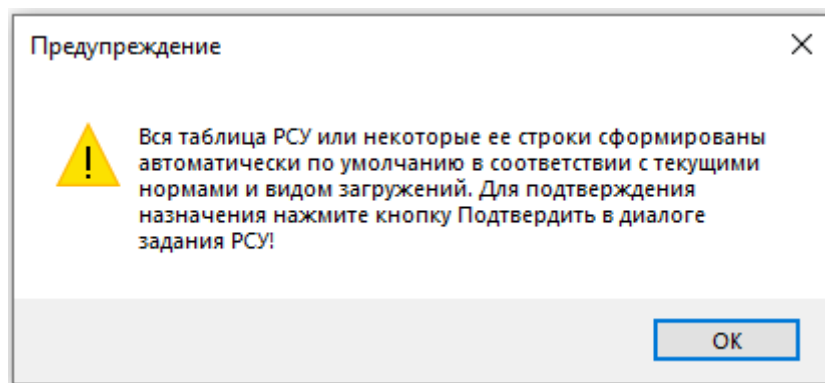







Рис. 39. Окно-предупреждение VISOR-SAPR

 Так как вид загружений задавался в диалоговом окне **Редактор загружений** (рис. 27), таблица РСУ сформировалась автоматически с параметрами, принятыми по умолчанию. Для данной задачи нужно произвести корректировку некоторых параметров, учитывающих особенности нагрузок, в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». В нашей задаче необходимо изменить коэффициент надежности для загружений 2, 4 и долю длительности для загрузки 4.

- В появившемся окне **Расчетные сочетания усилий** в строке **Строительные нормы** выберите: СП 20.13330.2016.
- Введите следующие корректировки:
 - в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку, соответствующую 1-му загружению. сохраните без изменений **Коэффициент надежности 1.1** и **Долю длительности 1,0**, и щелкните по кнопке  – **Применить**;
 - в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку, соответствующую 2-му загружению и в текстовом поле **Коэффициент надежности** задайте величину **1.2** (рис. 40). После этого щелкните по кнопке  – **Применить**;
 - в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку, соответствующую 3-му загружению. Сохраните без изменений **Коэффициент надежности 1.2** и **Долю длительности 0,35**, и щелкните по кнопке  – **Применить**;
 - в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку, соответствующую 4-му загружению. В текстовом поле **Коэффициент надежности** задайте величину **1.4**. В поле **Доля длительности** задайте величину **0.7**. После этого щелкните по кнопке  – **Применить**;

Расчетные сочетания усилий

Номер таблицы РСУ: 1

Имя таблицы РСУ: СП_1

Строительные нормы: СП 20.13330.2016

Номер загрузки: 2 (вес кровли, полов, перегородок, стен)

Вид загрузки: Постоянное(0)

Кoeffициенты для РСУ

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

Кoeffициент надежности: 1.20

Доля длительности: 1.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

| № | Имя загрузки | Вид | Параметры РСУ | Кoeffициенты РСУ |
|---|------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | собственный... | Постоянное(0) | | |
| 2 | вес кровли, п... | Постоянное(0) | 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00 | 1.00 1.00 0.90 1.00 |
| 3 | временная н... | Кратковреме... | | |
| 4 | снеговая наг... | Постоянное(0) | | |
| 5 | Сейсмическо... | Сейсмическо... | | |
| 6 | Сейсмическо... | Сейсмическо... | | |

Рис. 40. Окно Расчетные сочетания усилий

Расчетные сочетания усилий

Номер таблицы РСУ: 1

Имя таблицы РСУ: СП_1

Строительные нормы: СП 20.13330.2016

Номер загрузки: 5 (Сейсмическое по X)

Вид загрузки: Сейсмическое(5)

Кoeffициенты для РСУ

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

Учитывать знакопеременность:

Кoeffициент надежности: 1.00



Доля длительности: 0.00


Не учитывать для II-го пред. сост.:

Сводная таблица для вычисления РСУ:

| № | Имя загрузки | Вид | Параметры РСУ | Кoeffициенты РСУ |
|---|------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| 2 | вес кровли, п... | Постоянное(0) | 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00 | 1.00 1.00 0.90 1.00 |
| 3 | временная н... | Кратковреме... | 2 0 0 0 0 0 1.20 0.35 | 1.00 1.00 0.50 0.80 |
| 4 | снеговая наг... | Постоянное(0) | 0 0 0 0 0 0 1.40 0.70 | 1.00 1.00 0.90 1.00 |
| 5 | Сейсмическо... | Сейсмическо... | 5 0 1 1 0 0 1.00 0.00 | 0.00 0.00 1.00 |
| 6 | Сейсмическо... | Сейсмическо... | | |

Рис. 41. Окно Расчетные сочетания усилий


- в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку, соответствующую 5-му загружению и в текстовом поле **№ группы взаимоисключающих загружений** введите **1** (рис. 41). После этого щелкните по кнопке  – **Применить**;
- в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку, соответствующую 6-му загружению и в текстовом поле **№ группы взаимоисключающих загружений** введите **1**. После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

 Это значит, что загрузки 5 и 6 не будут рассматриваться совместно.

- Для окончания формирования таблицы РСУ, щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

Этап 8. Генерация таблицы РСН



- Щелчком по кнопке  – РСН (панель **Доп. расчеты** на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Расчетные сочетания нагрузок**.
- В случае появления окна **Предупреждение** (рис. 42) нажмите кнопку ОК.

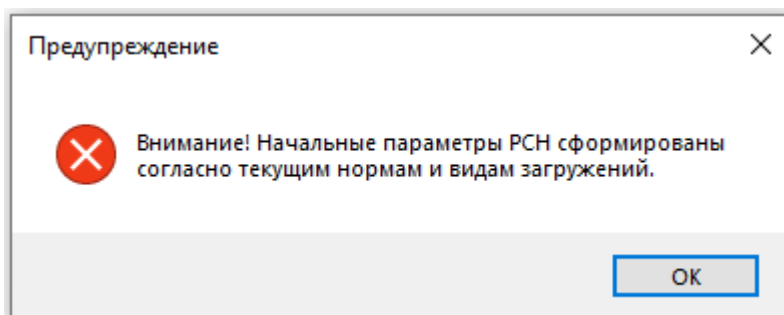




Рис. 42. Окно **Предупреждение**

- В открывшемся окне **Расчетные сочетания нагрузок** введите **Имя таблицы РСН: сочетания пользователя**.
- В выпадающем меню выберите строительные нормы *СП 20.13330.2016*.
- В столбцах **Взаимоискл.**, **Коэф. надежн.** и **Доля длительности** введите аналогичные коэффициенты, заданные при формировании таблицы РСУ.
- Нажатием на клавишу  – **Сочетания пользователя** создайте столбцы для введения коэффициентов сочетания нагрузок.
- В столбцах задайте коэффициенты сочетания интересующих комбинации нагрузок (рис. 43).

 На рис. 43 созданы первые 6 сочетаний пользователя. В РСН 1 задано сочетание, в которое входят только постоянные нагрузки (1+2); во 2-е сочетания (РСН 2) входят постоянные нагрузки и

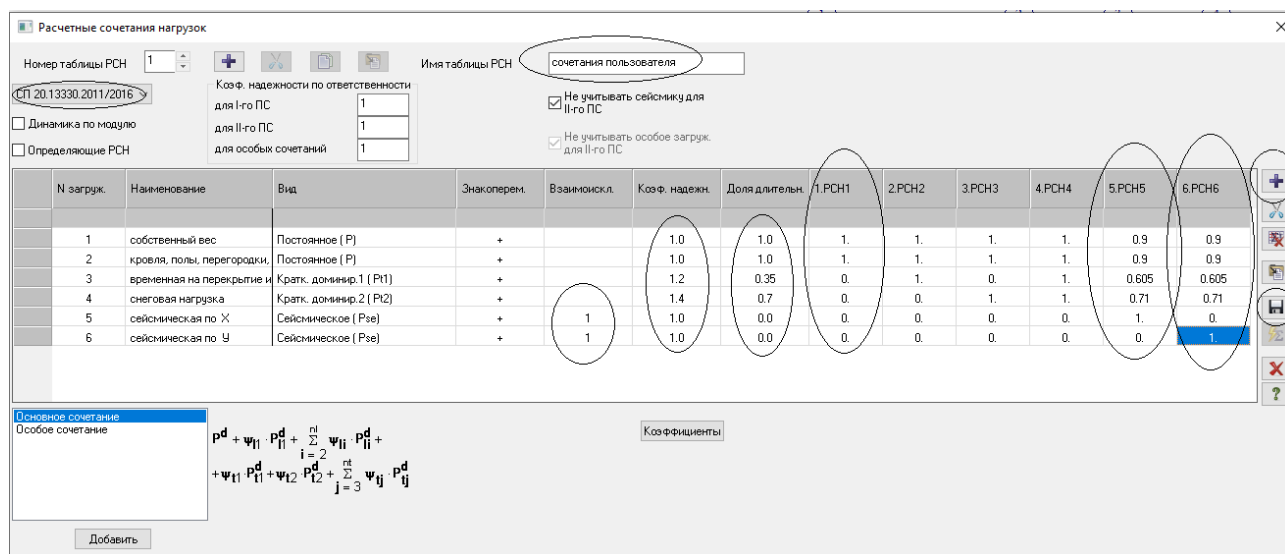
временные на перекрытие и фундамент (1+2+3); в РСН3 – постоянные и снеговая (1+2+4); в РСН 4 – все нагрузки вместе (1+2+3+4). В данном примере все коэффициенты основных сочетаний нагрузок приняты равными 1,0, что означает: нагрузки (а точнее усилия, полученные от заданных нагрузок) будут умножены на коэффициент 1,0.

Сочетания с учетом сейсмических нагрузок можно задать самостоятельно на основании [1]. Так, например, в 5-ом особом сочетании нагрузок (РСН 5) могут быть учтены все статические нагрузки и одна особая (сейсмическая), действующая в положительном направлении оси X (1+2+3+4+5). В 6-ом сочетании (РСН 6) могут быть учтены все статические нагрузки и одна особая (сейсмическая), действующая в положительном направлении оси Y (1+2+3+4+6). Это наиболее характерные комбинации нагрузок. Пользователем также могут быть заданы и другие комбинации.

Вычисление расчетных сочетаний нагружений (РСН) производится непосредственным суммированием соответствующих перемещений узлов и усилий (напряжений).

Программа ЛИРА-САПР позволяет в автоматическом режиме сформировать все возможные сочетания нагрузок, установленные **нормативными документами**. Для этого необходимо выбрать нормативный документ СП 20.13330.2016 и **Добавить Основное сочетание** и **Особое сочетание**. В данном примере это действие не производится, поскольку рассматриваются только интересующие пользователя комбинации нагрузок.

- Нажмите на кнопку  – **Сохранить данные**.
- Закройте окно, нажав на крестик.




| N загруз. | Наименование | Вид | Знакоперен. | Взаимокл. | Козф. надежн. | Доля длительн. | 1.РСН1 | 2.РСН2 | 3.РСН3 | 4.РСН4 | 5.РСН5 | 6.РСН6 |
|-----------|---------------------------|----------------------|-------------|-----------|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | собственный вес | Постоянное (P) | + | | 1.0 | 1.0 | 1. | 1. | 1. | 1. | 0.9 | 0.9 |
| 2 | крыля, полы, перегородки, | Постоянное (P) | + | | 1.0 | 1.0 | 1. | 1. | 1. | 1. | 0.9 | 0.9 |
| 3 | временная на перекрытие и | Кратк. действ.1 (P1) | + | | 1.2 | 0.35 | 0. | 1. | 0. | 1. | 0.605 | 0.605 |
| 4 | снеговая нагрузка | Кратк. действ.2 (P2) | + | | 1.4 | 0.7 | 0. | 0. | 1. | 1. | 0.71 | 0.71 |
| 5 | сейсмическая по X | Сейсмическое (Pse) | + | 1 | 1.0 | 0.0 | 0. | 0. | 0. | 0. | 1. | 0. |
| 6 | сейсмическая по Y | Сейсмическое (Pse) | + | 1 | 1.0 | 0.0 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 1. |


$$R^d + \psi_{11} R_{11}^d + \sum_{i=2}^n \psi_{1i} R_{1i}^d + \psi_{11} R_{11}^d + \psi_{12} R_{12}^d + \sum_{j=3}^n \psi_{1j} R_{1j}^d$$





Рис. 43. Окно Расчетные сочетания нагрузок

Этап 9. Полный расчет схемы

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

Этап 10. Просмотр и анализ результатов расчета

 После расчета задачи, просмотр и анализ результатов расчетов осуществляется во вкладке **Анализ**.

- Для удобства отключите отображение нагрузок на расчетной схеме:
 - активируйте функцию  – **Флаги рисования (панель Выбор)**;
 - перейдите к третьей закладке  – **Общие**;
 - снимите галочку в поле  – **Нагрузки** и нажмите кнопку  – **Перерисовать**.
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов (рис. 44).

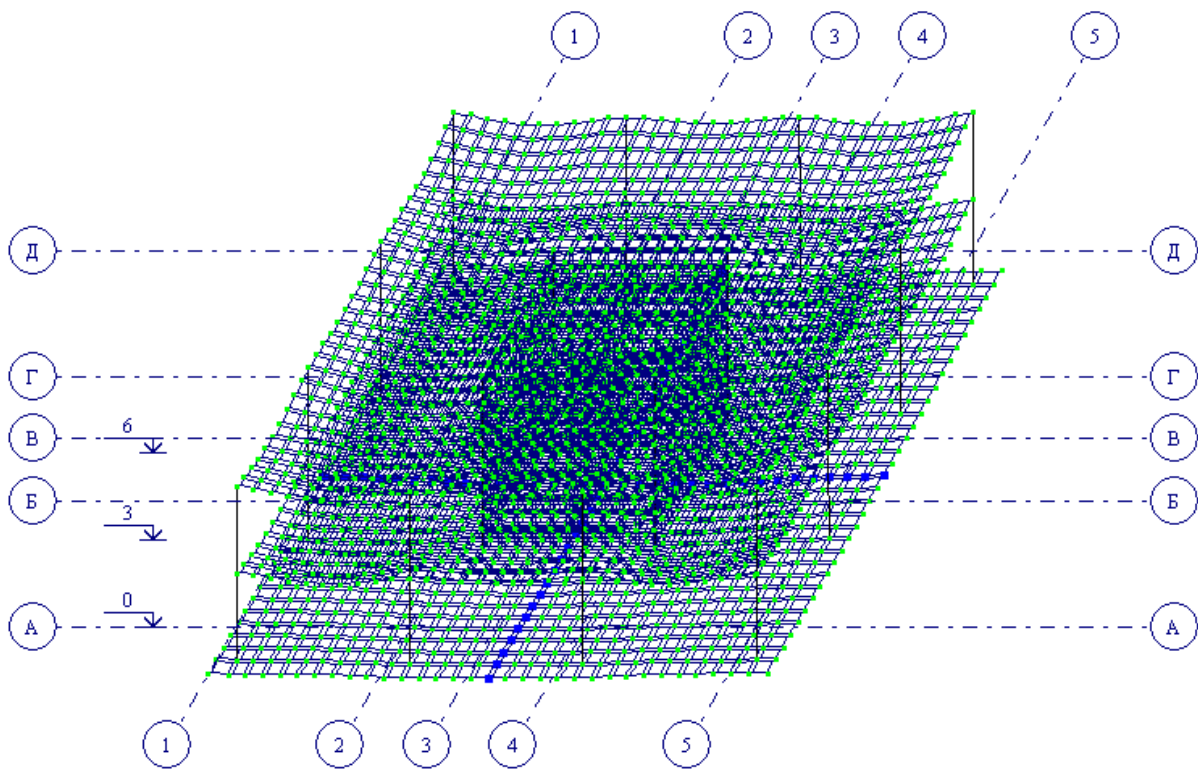







Рис. 44. Расчетная схема с учетом перемещений узлов

Ри

- Чтобы вывести на экран изополя перемещений по направлению Z , выберите команду  – **Изополя перемещений в глобальной системе** в раскрывающемся списке **Мозаика/изополя перемещений** и после этого щелкните по кнопке – **Изополя перемещений по Z** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).

- Чтобы вывести на экран эпюры усилий в колоннах:
 - выделите вертикальные стержневые элементы;
 - для отображения на экране только выделенных стержневых элементов выполните фрагментацию щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**;
 - выведите на экран эпюру **N** щелчком по кнопке **N** – **Эпюры продольных сил N** (панель **Усилия в стержнях** на вкладке **Анализ**);
 - аналогично можно вывести эпюры изгибающих моментов M_x , M_y , M_z , а также эпюры поперечных сил Q_y и Q_z ;
 - можно отобразить мозаику усилий **N** (или M_x , M_y , M_z , Q_y и Q_z), выбрав команду  – **Мозаика усилий в стержнях** в раскрывающемся списке **Эпюры/мозаика усилий** (панель **Усилия в стержнях** на вкладке **Анализ**);
 - для восстановления расчетной схемы в первоначальном виде, щелкните по кнопке  – **Восстановление конструкции** на панели инструментов **Панель выбора**.

- Для просмотра информации о полученных усилиях в отдельном элементе, щелкните по кнопке  – **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора** и укажите курсором на любой из интересующих стержневых конечных элементов (рис. 45).

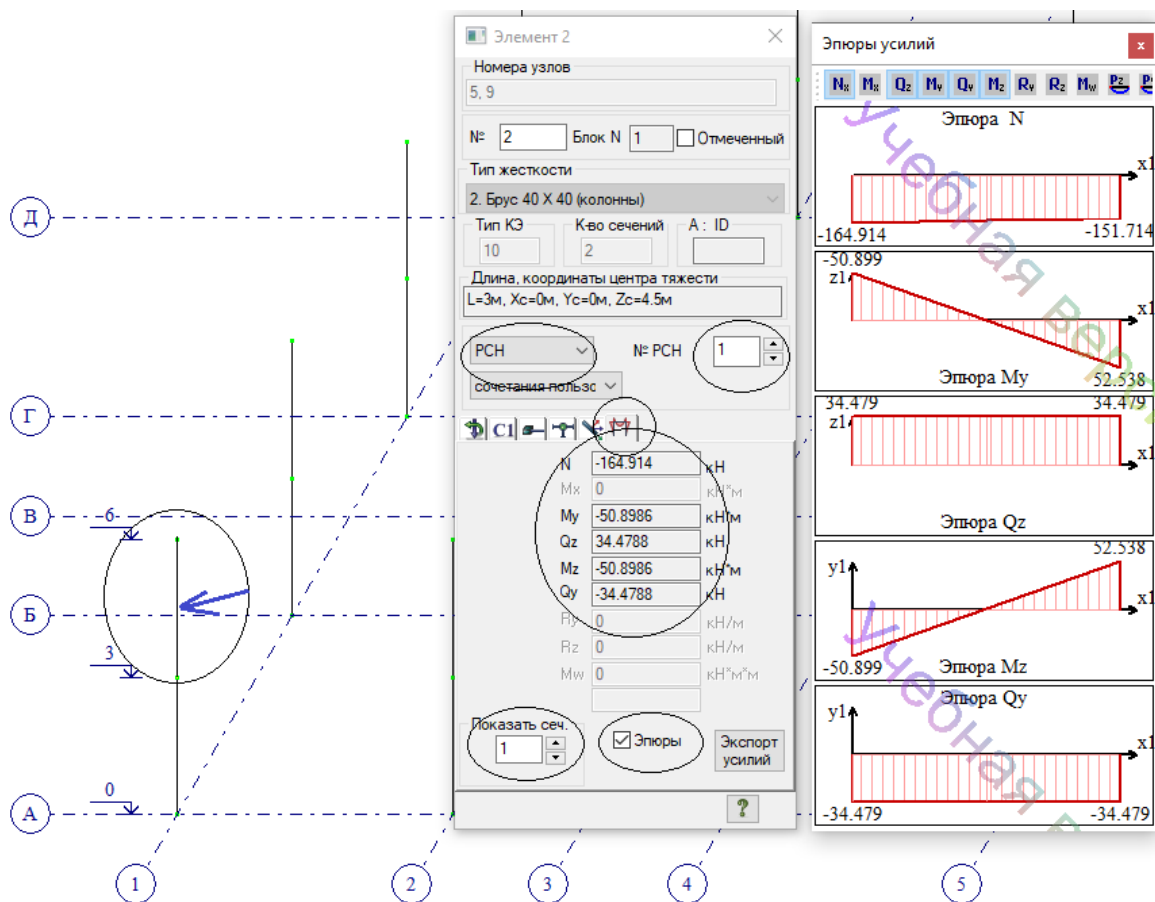









Рис. 45. Информация об элементе. Эпюры усилий

- Чтобы вывести на экран напряженное состояние в плитах (например, в фундаментной плите):
 - выделите фундаментную плиту;
 - выполните ее фрагментацию щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**;
 - выберите команду  – **Мозаика напряжений** в раскрывающемся списке **Мозаика/изополя напряжений** и после этого щелкните по кнопке  – **Мозаика напряжений по Mx** (панель **Напряжения в пластинах и объемных КЭ** на вкладке **Анализ**);
 - аналогично могут быть отображены мозаики напряжений по M_y ;
 - для отображения мозаики напряжений по R_z (отпор упругого основания), щелкните по кнопке  – **Мозаика напряжений по Rz** (панель **Напряжения в пластинах и объемных КЭ** на вкладке **Анализ**);
 - для восстановления расчетной схемы в первоначальном виде, щелкните по кнопке  – **Восстановление конструкции** на панели инструментов **Панель выбора**.

 При отображении **Мозаик напряжений** рекомендуется отключить визуализацию сетки конечных элементов. Для этого активируйте кнопку  – **Флаги рисования**, зайдите в закладку **Значения**, уберите галочку с функции **Ребра пластин и объемных КЭ** (рис. 46) и нажмите на кнопку  – **Применить**.

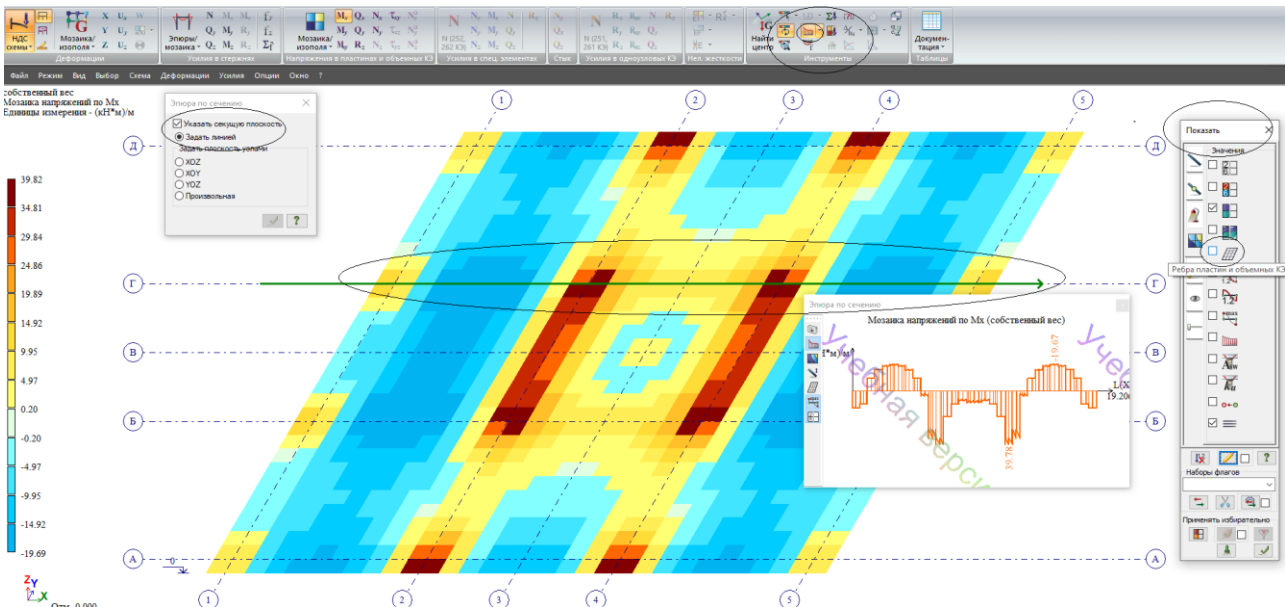











Рис. 46. Окно Эпюра по сечению

- Чтобы вывести на экран одновременно с мозаикой напряжений эпюру моментов в плите, например, M_x в интересующем сечении вдоль оси Г:
 - отобразите мозаику напряжений по M_x , щелкнув по кнопке  – **Мозаика напряжений по Mx** (панель **Напряжения в пластинах и объемных КЭ** на вкладке **Анализ**);

- отключите отображение деформированного состояния конструкции, нажав на кнопку  – **Исходная схема** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**);
 - нажмите на кнопку  – **Эпюра по сечению пластин**. В открывшемся окне **Эпюра по сечению** активируйте функции «**Указать секущую плоскость**» и «**Задать линией**» (рис. 46);
 - с помощью мышки задайте отрезок, пересекающий плиту по интересующему сечению.
- Чтобы произвести смену номера текущего нагружения, в **строке состояния**     1.  (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке **Сменить номер нагружения** выберите строку, соответствующую второму (третьему или четвертому) нагружению и щелкните по кнопке – **Применить**.
- Чтобы отобразить результаты расчета от комбинаций нагрузок, нажмите на кнопку  – **Перейти к анализу результатов по РСН** (строка **состояния** в нижней части окна) и выберите интересующую комбинацию, например, 4-ую (рис. 47).

РСН1

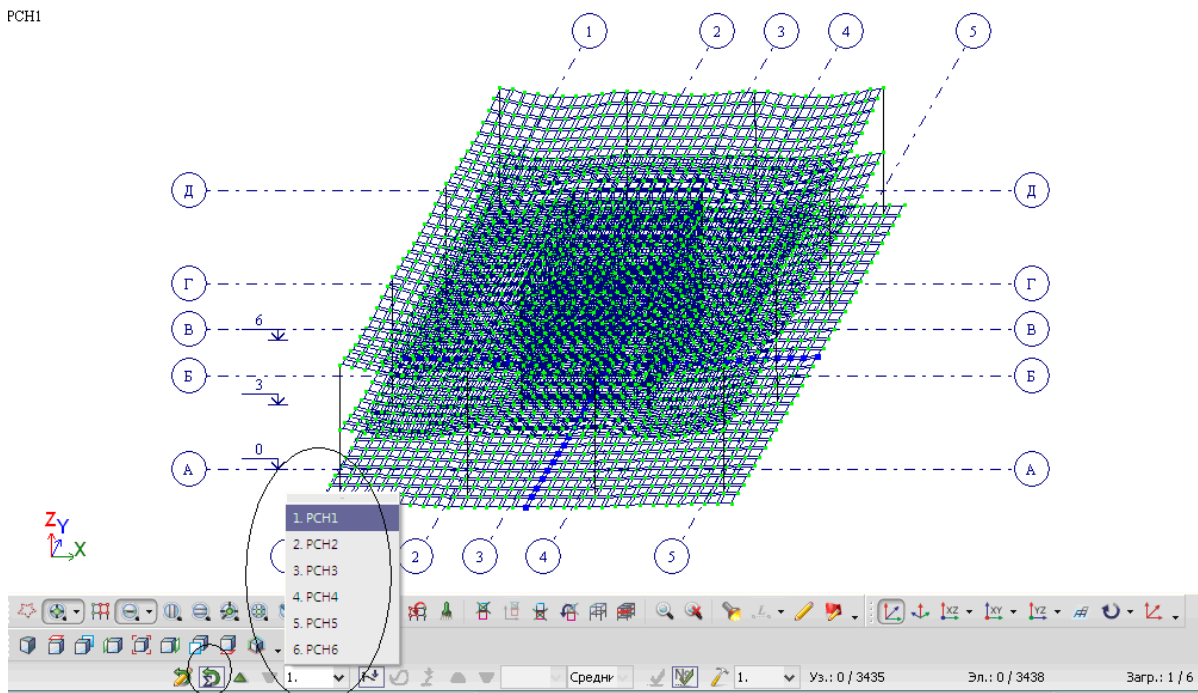


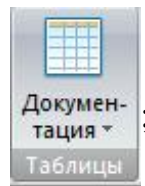



Рис. 47. Выбор интересующей комбинации нагрузок

- Чтобы отобразить результаты расчета в **табличном** виде:
- выделите интересующие элементы, например, колонны;
 - активируйте на панели **Таблицы** (вкладка **Анализ**) кнопку  ;
 - в выпадающем меню выберите **Интерактивные таблицы**;
 - в открывшемся окне **Редактор форм** выберите **Усилия (стержни)**;
 - нажмите на кнопку  – **Применить**;
 - в окне **Создание таблицы элементов** (рис. 48) выберите:



- для РСН (при отсутствии галочки, будут выдаваться результаты для отдельных загружений);
 - для одного РСН (можно выбрать для нескольких или для всех);
 - задайте интересующий номер РСН (например – 4);
 - для выбранных элементов;
- нажмите на кнопку  – **Применить**.

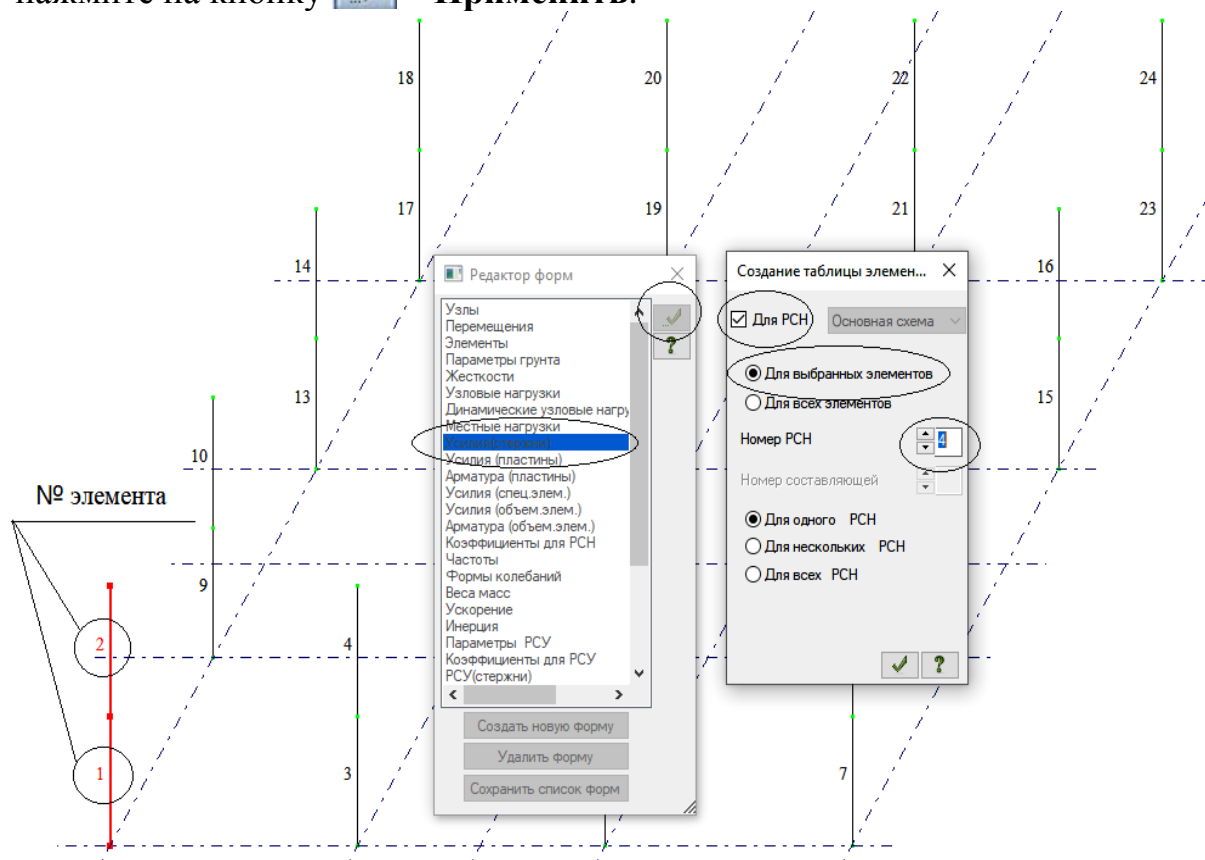


Рис. 48. Формирование таблиц результатов для выделенных элементов


Таблица усилий (стержни) – Учебная версия

| № элем | № сечен | Усилия | | | | | | | | Тип элем | № РСН | Составл |
|--------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|
| | | N (кН) | Mk (кН*м) | Mu (кН*м) | Qz (кН) | Mz (кН*м) | Qu (кН) | Ry (кН/м) | Rz (кН/м) | | | |
| 1 | 1 | - 428.644 | 0.000 | 72.498 | - 23.148 | 72.656 | 23.216 | 0.000 | 0.000 | 10 | 4 | - |
| 1 | 2 | - 415.444 | 0.000 | 3.054 | - 23.148 | 3.008 | 23.216 | 0.000 | 0.000 | 10 | 4 | - |
| 2 | 1 | - 182.869 | 0.000 | - 65.356 | 40.599 | - 65.358 | - 40.590 | 0.000 | 0.000 | 10 | 4 | - |
| 2 | 2 | - 169.669 | 0.000 | 56.440 | 40.599 | 56.411 | - 40.590 | 0.000 | 0.000 | 10 | 4 | - |

Рис. 49. Форма таблицы усилий

Этап 11. Отображение результатов динамического расчета

- Чтобы отобразить параметры собственных колебаний конструкции в табличном виде:
 - Находясь во вкладке **Анализ**, найдите в строчном **Меню** функцию **Окно**, и в выпадающем окне выберите **Интерактивные таблицы** (рис. 50).

- Щелчком по строке **Интерактивные таблицы** откройте окно **Редактор форм**, выберите строку **Частоты** и нажмите на кнопку  – **Применить** (рис. 50). На экране отобразится таблица **Частоты собственных колебаний** (рис. 51).

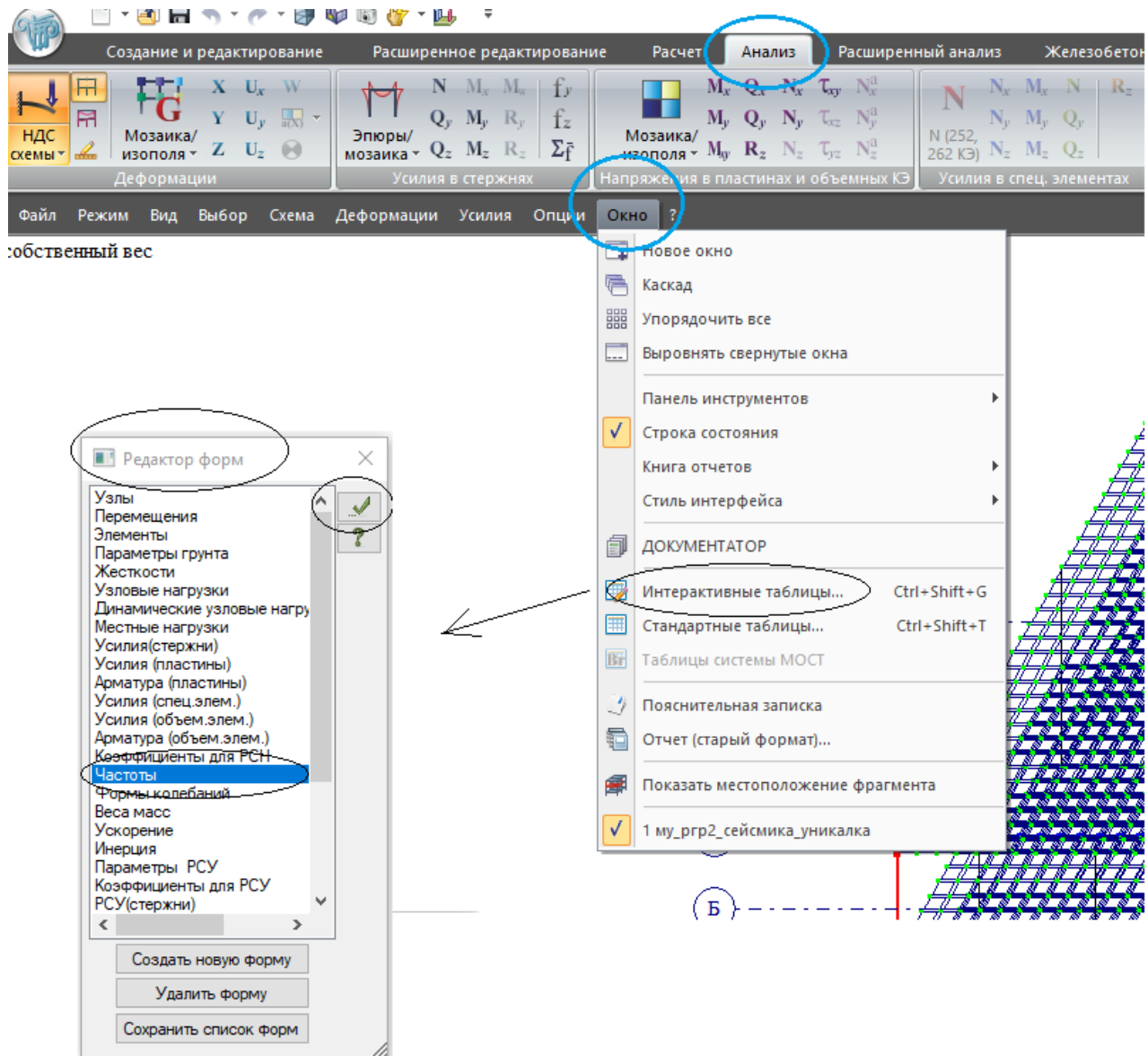












Рис. 50. Функция **Окно** в строчном Меню и окно **Редактор форм**

| Частоты собственных колебаний-Учебная версия | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------|-----------------------|--------------|------------|----------------|----------------|---------------------|--|
| № загруз | № формы | Собст. значения | Частоты | | Период (с) | Коеф. распред. | Мод. масса (%) | Сумма мод. масс (%) | |
| | | | Круг. частота (рад/с) | Частота (Гц) | | | | | |
| 5 | 1 | 0.036 | 27.590 | 4.391 | 0.228 | 4.314 | 19.227 | 19.227 | |
| 5 | 2 | 0.036 | 27.617 | 4.395 | 0.228 | 1.514 | 2.367 | 21.594 | |
| 5 | 3 | 0.031 | 32.334 | 5.146 | 0.194 | - 0.052 | 0.003 | 21.597 | |
| 5 | 4 | 0.023 | 42.936 | 6.833 | 0.146 | 0.000 | 0.000 | 21.597 | |
| 5 | 5 | 0.022 | 46.347 | 7.376 | 0.136 | 0.149 | 0.023 | 21.620 | |
| 5 | 6 | 0.021 | 46.640 | 7.423 | 0.135 | - 3.117 | 10.035 | 31.654 | |
| 5 | 7 | 0.021 | 46.718 | 7.435 | 0.134 | 0.247 | 0.063 | 31.718 | |

Рис. 51. Фрагмент таблицы **Частоты собственных колебаний**

- Чтобы отобразить формы собственных колебаний:
 - в строке состояния     1.  (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке **Сменить номер загрузки** выберите строку, соответствующую пятому, нажмите на кнопку  – **Применить** (рис. 52);
 - нажмите на кнопку  – **Формы колебаний**;
 - в раскрывающемся списке выберите, например, форму 6 (или другую) и нажмите на  – **Применить**;
 - на экране отобразится выбранная форма колебаний;
 - отключите отображение осей и отметок здания. Для этого активируйте кнопку  – **Флаги рисования**, зайдите в закладку **Общие** и уберите галку с функций **Строительные оси** и **Строительные отметки** (рис. 47), нажмите на кнопку  – **Применить**.

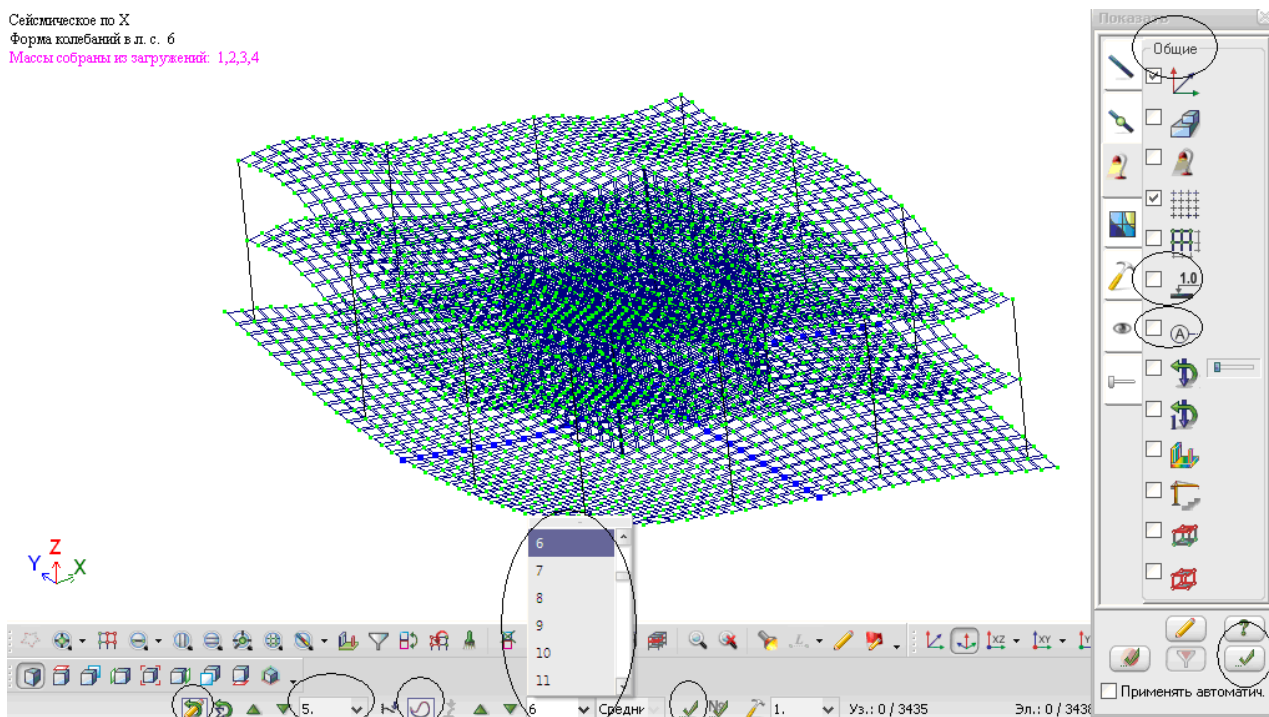




Рис. 52. Отображение форм колебаний

- Чтобы отключить отображение деформированного состояния конструкции при колебаниях, нажмите на кнопку  – **Исходная схема** (панель Деформации на вкладке Анализ).

Этап 12. Подбор арматуры в фундаментной плите

- Выделите фундаментную плиту и выполните ее фрагментацию, щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Перейдите во вкладку **Железобетон**.

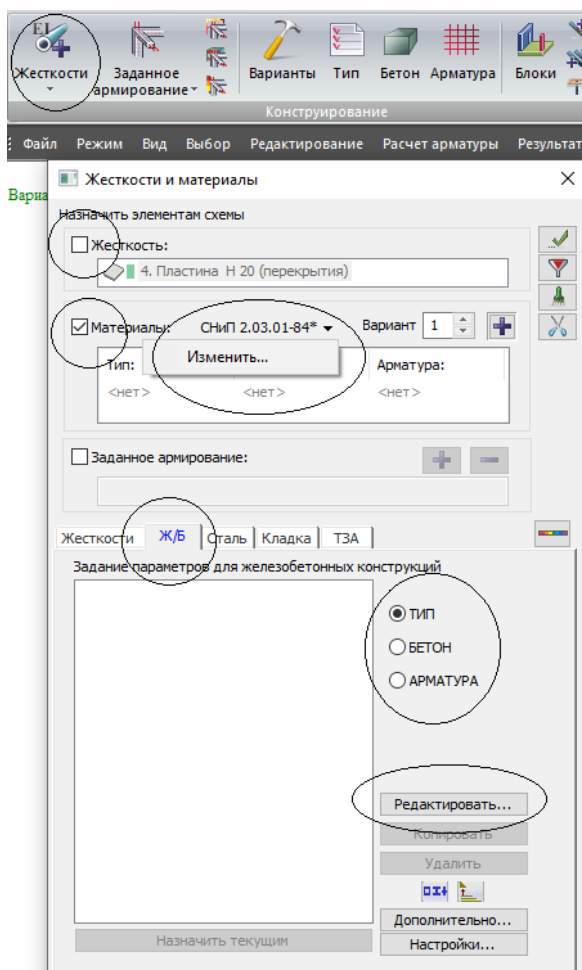


Рис. 53.
Окно **Жесткости и материалы**

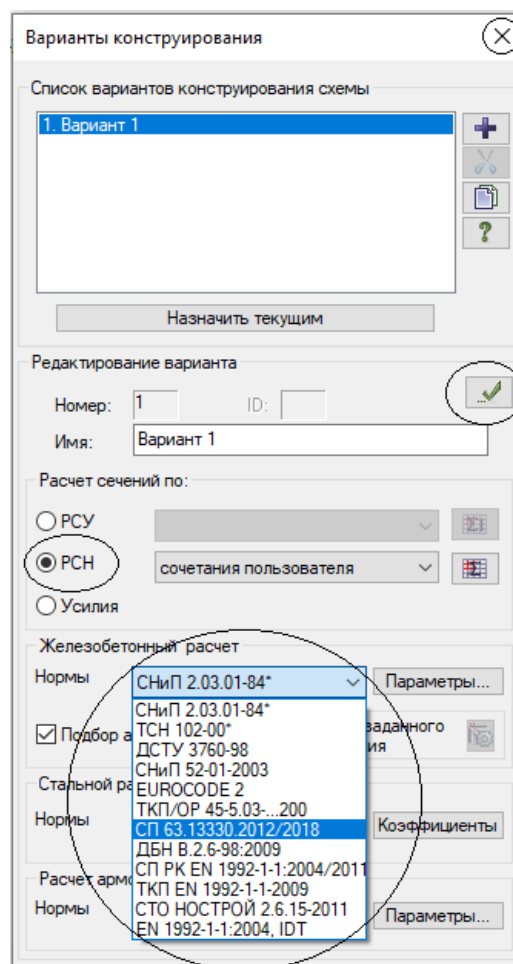




Рис. 54.
Окно **Варианты конструирования**

- **Задать материалы для фундаментной плиты:**
- с помощью кнопки  – **Жесткости и материалы** (панель **Конструирование**) откройте окно **Жесткости и материалы**. Активируйте закладку **Ж/б** – *задание параметров для железобетонных конструкций*;
 - измените нормы проектирования СНиП 2.03.01-84 на СП 63.1330.2012, перейдя в окно **Варианты конструирования** (рис. 53, 54);
 - в этом же окне выберите **расчет сечений по РСН**;
 - нажмите на кнопку  – **Применить**;
 - закройте окно **Варианты конструирования**, нажав на крестик
 - в окне **Жесткости и материалы** активизируйте радио-кнопку **Тип** и щелкните по кнопке **Редактировать** (рис. 53);
 - в открывшемся окне **СП 63.13330.2012** **Материалы для расчета Ж/Б конструкций**, щелкните мышкой в поле **Пластина** (рис. 55);

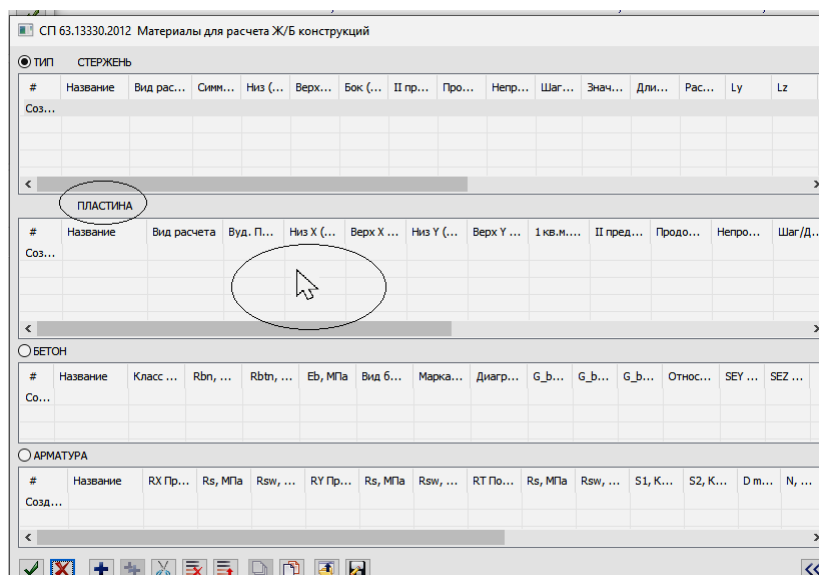




Рис. 55. Окно СП 63.13330.2012 Материалы для расчета Ж/Б конструкций

- справа появится поле (рис. 56), в котором задайте следующие параметры для пластинчатых элементов:
 - название: *фундамент*;
 - расстояние к ц.т. арматуры: $a1x = 50$ мм, $a1y = 50$ мм;
 $a2x = 50$ мм, $a2y = 50$ мм;
 - шаг арматурных стержней: 200 мм;
 - все остальные параметры оставьте по умолчанию;
- нажмите на кнопку  – **Подтвердить**;
- активируйте радио-кнопку **Бетон** и щелкните в любой точке поля **Бетон**;
- в правой части окна задайте Характеристики бетона (рис. 57):
 - название: *фундамент*;
 - класс бетона: В25, тяжелый;
 - коэффициенты условий работы: $\gamma_{b2} = 1$, $\gamma_{b3} = 1$, $\gamma_{b5} = 1$;
 - относительная влажность воздуха, (%): 69;
 - учет сейсмического воздействия: $m_{br} = 1.2$ (п.2. табл. 5.4[1]),
 $m_{tr} = 1.0$ (п.3. табл. 5.4[1]);
 - все остальные параметры оставьте по умолчанию;
- нажмите на кнопку  – **Подтвердить**;



Коэффициенты условий работы бетона γ_{b2} , γ_{b3} , γ_{b5} принимаются согласно СП 63.13330.2012 (п. 6.1.12).



Согласно СП 63.13330.2012 относительную влажность воздуха окружающей среды необходимо принимать по СП 131.13330 «Строительная климатология» как среднюю относительную месячную влажность наиболее теплого месяца для района строительства. Для Казани она составляет 69% (табл. 4.1 СП 131.13330.2012).

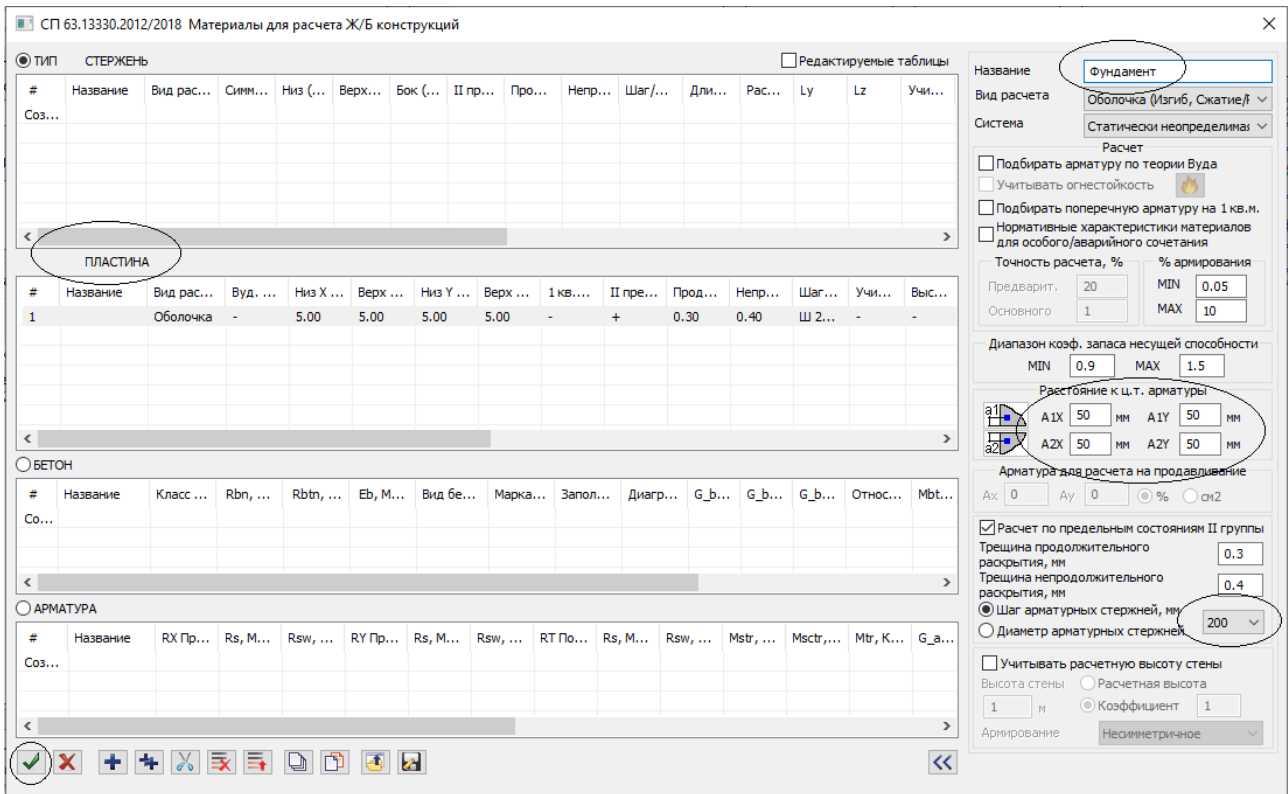


Рис. 56. Общие характеристики

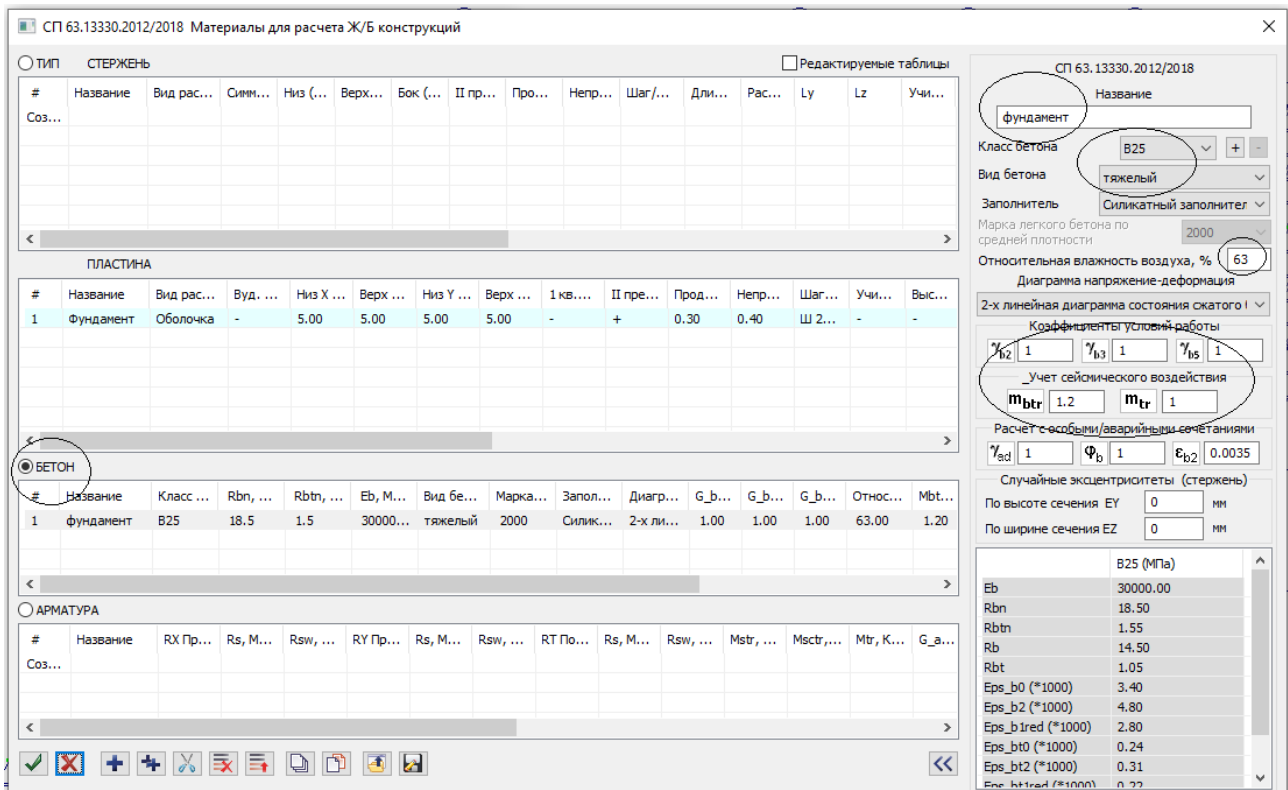



Рис. 57. Характеристики бетона

- активируйте радио-кнопку **Арматура** и щелкните в любой точке соответствующего поля;

- в правой части окна задайте Характеристики арматуры (рис. 58):
 - название: *фундамент*;
 - учет сейсмического воздействия: $m_{str} = 1$, $m_{sctr} = 1$, $m_{tr} = 1$ [1];
 - все остальные параметры оставьте по умолчанию;
- нажмите на кнопку  – **Подтвердить**.

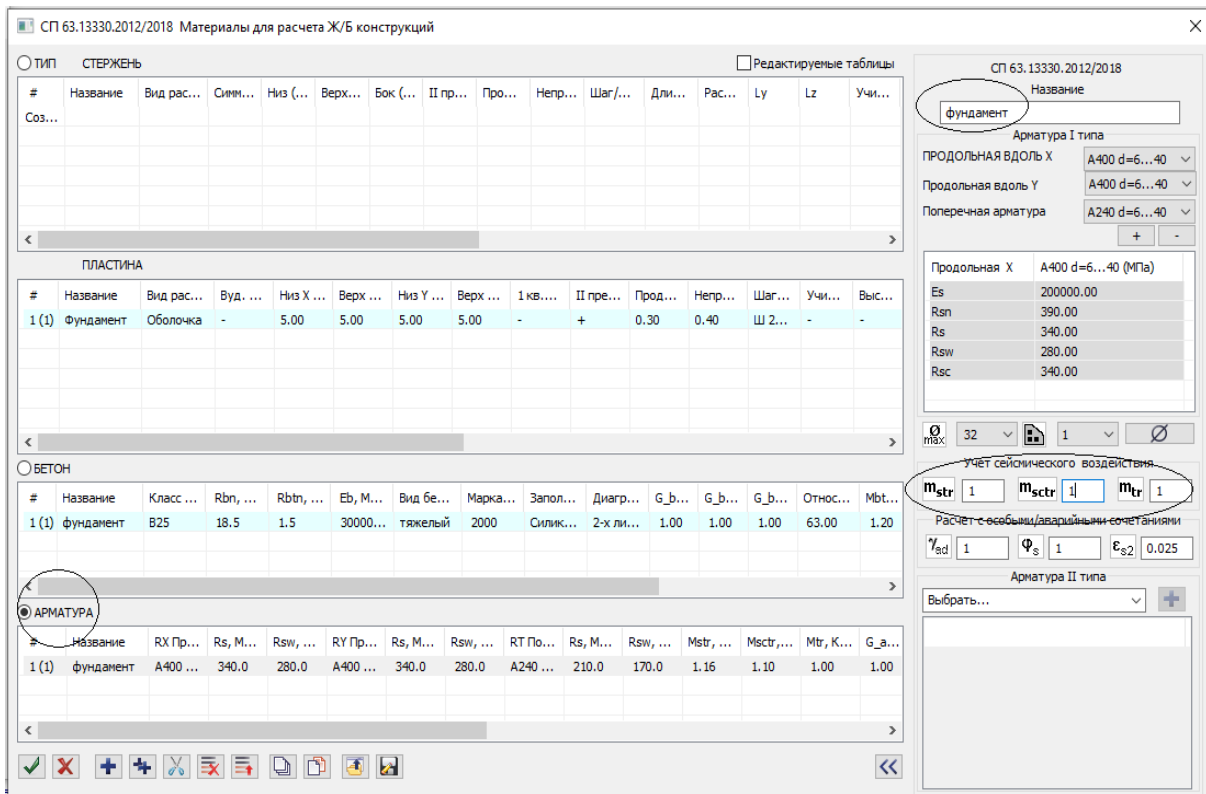




Рис. 58. Характеристики арматуры

- Присвойте созданные материалы элементам фундаментной плиты:
 - выделите фундаментную плиту;
 - в диалоговом окне **Жесткости и материалы**, щелкните по кнопке  – **Применить**;
 - закройте окно **Жесткости и материалы**.
- Запустите расчет по подбору арматуры плиты, нажав на кнопку  – **Расчет арматуры** (панель **Расчет** на вкладке **Железобетон**).
- В открывшемся окне **Расчет и конструирование железобетонных элементов**, щелкните по кнопке **Подтвердить**.

Этап 13. Просмотр результатов армирования

После расчета задачи, просмотр и анализ результатов армирования осуществляется с помощью панели **Армирование пластин** (в некоторых версиях программы с помощью панели **Пластины**) во вкладке **Железобетон** (рис. 59).

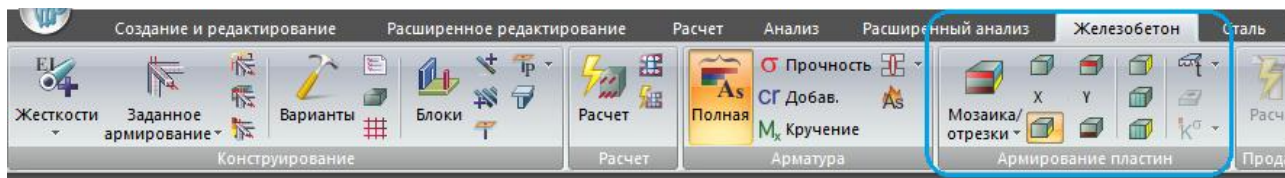








Рис. 59. Ленточное меню

- Чтобы посмотреть мозаику отображения площади верхней арматуры в пластинах по направлению местной оси $X1$, щелкните по кнопке  – **Верхняя арматура в пластинах по оси $X1$** .
- Для отображения площади верхней арматуры в пластинах по направлению местной оси $Y1$, щелкните по кнопке  – **Верхняя арматура в пластинах по оси $Y1$** .
- Для отображения площади нижней арматуры в пластинах по направлению местной оси $X1$, щелкните по кнопке  – **Нижняя арматура в пластинах по оси $X1$** .
- Для отображения площади нижней арматуры в пластинах по направлению местной оси $Y1$, щелкните по кнопке  – **Нижняя арматура в пластинах по оси $Y1$** .
- Для просмотра информации о подобранной арматуре в одном из элементов плиты:
 - щелкните по кнопке  – **Информация об узле или элементе** на панели инструментов **Панель выбора** и укажите курсором на любой из интересующих конечных элементов;
 - в появившемся диалоговом окне перейдите на закладку **Арматура продольная** (или в некоторых версиях **Информация о подобранной арматуре**). В этом окне содержится полная информация о выбранном элементе, в том числе и с результатами подбора арматуры;
 - закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
3. СП 22.13330. 2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
4. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. ЛИРА-САПР 2013: учебное пособие. – М., 2013. – 376 с.
5. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций.– М.: АСВ, 2009. – 360 с.
6. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова; под ред. академика РААСН А.С. Городецкого. – М.: Электронное издание, 2015. – 460 с.
7. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56 с.
8. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. – Л.: Стройиздат, 1979. – 200 с.
9. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Гостройиздат, 1963. – 636 с.
10. Цытович Н.А. Механика грунтов. Краткий курс: учебник для строительных вузов – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
11. Нуриева Д.М. Расчет пространственного каркаса монолитного железобетонного здания с плитным фундаментом на упругом основании с применением расчетного комплекса Лира-САПР: учебно-методическое пособие. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2017. – 71 с.
12. Официальный сайт ПК ЛИРА-САПР. База знаний. www.liraland.ru, <https://help.liraland.ru>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Вычисление коэффициентов постели плитного фундамента при наличии динамических нагрузок

При моделировании плитных фундаментов упруго-податливые свойства его грунтового основания могут быть учтены с помощью коэффициентов постели C_1 и C_2 . Коэффициент сжатия C_1 связывает интенсивность вертикального отпора грунта с его осадкой. Коэффициент сдвига C_2 характеризует вертикальные силы сдвига, возникающие в сыпучих и малосвязных грунтах вследствие зацепления и внутреннего трения между частицами грунта.

При наличии динамических нагрузок коэффициент сжатия C_1 может быть определен с помощью формулы О.А. Савинова [8; 9; 10; 12]:

– для прямоугольного фундамента с размерами $b \times l$:

$$C_1 = C_0 \left(1 + \frac{2(l+b)}{\Delta b} \right) \sqrt{\frac{q}{p_0}}; \quad (1)$$

– для круглого фундамента с радиусом R :

$$C_1 = C_0 \left(1 + \frac{2}{\Delta R} \right) \sqrt{\frac{q}{p_0}}, \quad (2)$$

где p_0 – давление под опытным штампом, принимается равным 2 т/м^2 ;

q – среднее давление под подошвой фундамента, т/м^2 ;

Δ – константа упругого основания, равная единице в $1/\text{м}$;

C_0 – коэффициент жесткости упругого основания при удельном давлении $p_0 = 2 \text{ т/м}^2$, принимаемый по табл. П.1.1, П.1.2.

Таблица П.1.1

Коэффициент жесткости грунта [9,12]

| № | Наименование грунта | $C_0 \text{ кН/м}^3$ |
|---|--|----------------------|
| 1 | Пески: | |
| | 1) пылеватые, очень влажные и насыщенные водой; | 8000 – 10000 |
| | 2) мелкие, независимо от плотности и влажности; | 10000 – 12000 |
| 2 | 3) средней крупности, крупные и гравелистые, независимо от плотности и влажности | 12000 – 16000 |
| | Глины, суглинки и супеси: | |
| | 1) находящиеся в пластичном состоянии, близком к границе текучести; | 5000 – 10000 |
| | 2) пластичные; | 10000 – 20000 |
| | 3) твердые | 20000 – 30000 |

Примечание. Источники:

1. Цытович Н.А. Механика грунтов, 1963, стр. 482, табл. 43 [9].

2. Справка ПК ЛИРА-САПР, раздел «Алгоритм расчета коэффициентов постели грунтового основания» [12].

Коэффициент жесткости грунта [8;10]

| Характеристика оснований | Наименование грунта | C_0 кН/м ³ |
|--------------------------|---|-------------------------|
| Нежесткие | Глины и суглинки текучепластичные ($I_L > 0,75$), супеси текучие | 6000 |
| Малой жесткости | Глины и суглинки мягкопластичные ($0,5 < I_L < 0,75$) | 8000 |
| | Супеси пластичные ($0,5 < I_L < 1$) | 10000 |
| | Пески пылеватые водонасыщенные, рыхлые ($e > 0,8$) | 12000 |
| Средней жесткости | Глины и суглинки тугопластичные ($0,25 < I_L < 0,5$) | 20000 |
| | Супеси пластичные ($0 < I_L < 0,5$) | 16000 |
| | Пески пылеватые средней плотности и плотные ($e \leq 0,8$) | 14000 |
| | Пески мелкие, средней крупности и крупные независимо от влажности и плотности | 18000 |
| Жесткие | Глины и суглинки твердые ($I_L < 0$) | 30000 |
| | Супеси твердые ($I_L < 0$) | 22000 |
| | Крупнообломочные грунты (гравий, галька, щебень) | 26000 |

Примечание. Источники:

1. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет, 1979, стр. 57, табл. 2.2 [8].
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. Краткий курс: учебник для строительных вузов, 1983, стр. 276 [10].

При наличии **слоистого** грунтового основания определяется **усредненный** коэффициент жесткости $C_{ГР0}$ и закладывается в выражения (1; 2) вместо C_0 . Он вычисляется по формуле (3) на основании принятых по табл. П.1.1, П.1.2 для каждого i -ого слоя грунта коэффициентов жесткости C_{0i} :

$$C_{ГР0} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{0i} h_i}{H_c}, \quad (3)$$

где H_c – сжимаемая толщина грунта, определяется методом послойного суммирования согласно [3] от действия расчетных статических нагрузок.

h_i – мощность i -ого слоя грунта;

n – количество слоев грунта в пределах сжимаемой толщи H_c .

Коэффициент сдвига C_2 может быть определен на основании модели Пастернака [5; 6; 7; 8] по формуле:

$$C_2 = \frac{C_1 H_c^2 (1 - 2\mu_{ГР}^2)}{6(1 + \mu_{ГР})}, \quad (4)$$

где $\mu_{ГР}$ – усредненный коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) грунтов, расположенных в пределах сжимаемой толщи:

$$\mu_{ГР0} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i h_i}{H_c}, \quad (5)$$


для i -го слоя грунта коэффициент поперечной деформации μ может определяться по табл. П.1.3.

Таблица П.1.3

Таблица 5.10 из СП 22.13330. 2016. Основания зданий и сооружений

| Грунты | Коэффициент поперечной деформации μ |
|---|---|
| Крупнообломочные грунты | 0,27 |
| Пески и супеси | 0,3–0,35 |
| Суглинки | 0,35–0,37 |
| Глины при показателе текучести: | |
| $I_L \leq 0$ | 0,2–0,3 |
| $0 < I_L \leq 0,25$ | 0,3–0,38 |
| $0,25 < I_L \leq 1$ | 0,38–0,45 |
| Примечание. Меньшее значение μ определяют при большей плотности грунта | |

Вычисление коэффициентов постели плитного фундамента в структуре ПК ЛИРА-САПР

Предварительно необходимо определить суммарную вертикальную нагрузку от здания на уровне подошвы фундамента. Расчет может быть произведен ручным способом (пример см. в *приложении 2* [11]). Либо в среде ПК ЛИРА-САПР с применением функции  – **Просуммировать нагрузки** (панель **Инструменты** на вкладке **Создание и редактирование**, П.2.1).

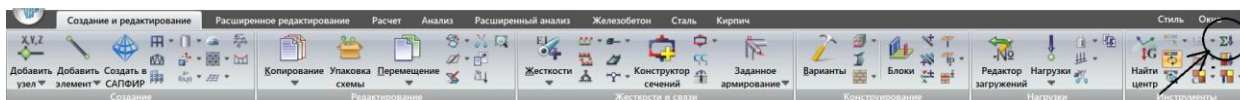



Рис. П.2.1. Расположение кнопки **Просуммировать нагрузки**

В открывшемся окне **Суммирование нагрузок** можно активировать радио-кнопку **РСН** и выбрать ту комбинацию, в которую включены все вертикальные статические нагрузки от здания. Например, РСН 4 (включает в себя нагрузку от собственного веса здания и временные нагрузки на покрытие, перекрытия и фундамент). Затем нажать кнопку  – **Применить**. В поле *Суммарные нагрузки* в строке ΣP_z можно увидеть суммарную вертикальную нагрузку от здания (П.2.2).

Суммирование нагрузок

Нагрузки Инерционные силы Нагрузка на фрагмент

Список узлов: Все Список элементов: Все

Выбор загрузки:

Загрузка РСН

№ РСН: 4

Единицы: м,кН

Суммарные нагрузки

| | Объемные | Пластины | Стержни | Узлы | Всего |
|--------------|----------|----------|---------|------|---------|
| ΣP_x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ΣP_y | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ΣP_z | 0 | 79616.4 | 1267.2 | 0 | 80883.6 |
| ΣM_x | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ΣM_y | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ΣM_z | | 0 | 0 | 0 | 0 |

Координаты центров сил

| Cx_x | Cx_y | Cx_z | Px |
|----------|----------|----------|----|
| Cy_x | Cy_y | Cy_z | Py |
| Cz_x | Cz_y | Cz_z | Pz |
| 9.000097 | 9.000092 | 11.47768 | |

Опрокидывающий момент

Контрольная точка A


| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |

Момент относительно A

| Mx | My | Mz |
|-------------|--------------|----|
| 727959.7346 | -727960.1943 | 0 |

Указать курсором **Вычислить**

Рис. П.2.2. Окно **Суммирование нагрузок**

Далее можно приступить к вычислению коэффициентов постели, которое в структуре ПК ЛИРА-САПР производится автоматизировано. Для этого необходимо вызвать диалоговое окно **Вычисление коэффициентов постели C1 и C2** с помощью кнопки  – **Коэффициенты постели C1, C2** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**, рис. П.2.3). В открывшемся диалоговом окне нажать **Расчет C1,C2** (рис. П.2.4).

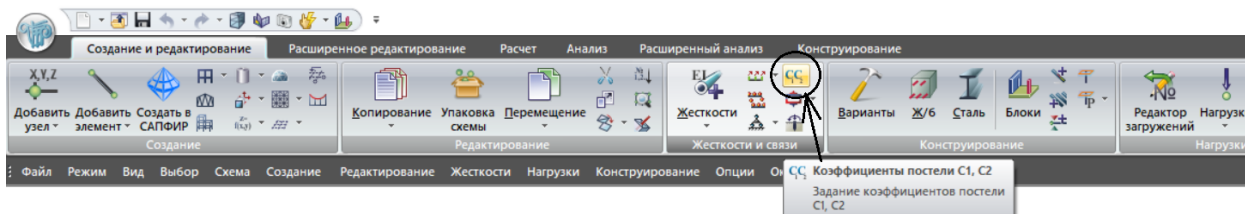


Рис. П.2.3. Кнопка **Коэффициенты постели C1, C2**

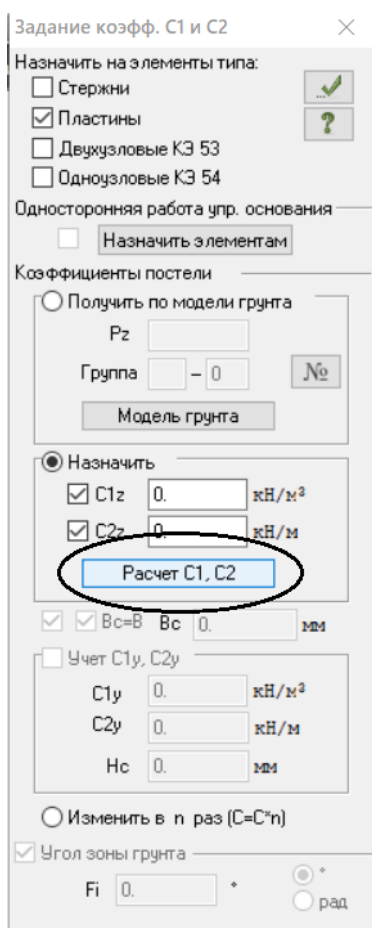


Рис. П.2.4. Окно **Задание коэф. C1 и C2**

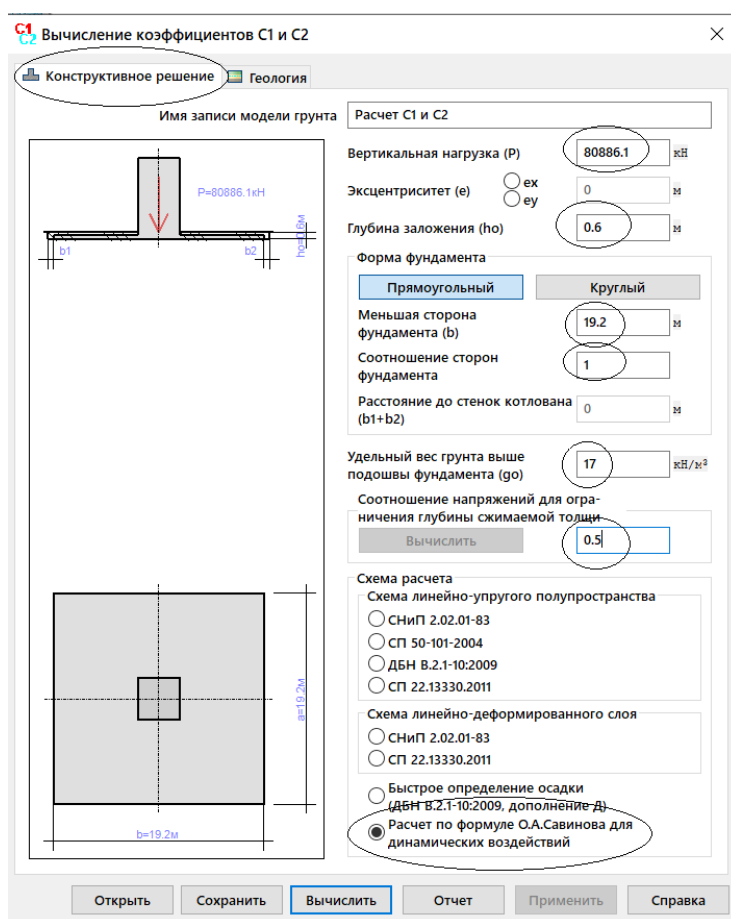


Рис. П.2.5. Окно **Вычисление коэффициентов C1 и C2**, Вкладка **Конструктивное решение**

Окно **Вычисление коэффициентов C1 и C2** содержит 3 закладки:

- Конструктивное решение (рис. П.2.5).
- Геология (рис. П.2.6).
- Результат (появляется после вычислений).

В закладке **Конструктивное решение** должны быть заданы исходные данные:

- вертикальная нагрузка от здания ΣP_z ;
- глубина заложения фундамента d ;
- форма фундамента (прямоугольная или круглая);
- соотношение сторон фундамента l/b ;
- удельный вес грунта выше подошвы фундамента;
- соотношение напряжений для ограничения сжимаемой толщи (равно **0,5** при определении осадки и мощности сжимаемой толщи грунта H_c от вертикальных статических нагрузок методом послойного суммирования в соответствии с [3]).

Также в данном окне с помощью радио-кнопки необходимо выбрать схему расчета: **расчет по формуле О.А. Савинова для динамического воздействия**.

На рис. П.2.5 показан пример задания исходных данных для здания с плитным фундаментом размерами $b \times l = 19,2 \times 19,2$ м, глубиной заложения $d = 0,6$ м и равнодействующей вертикальной нагрузки от здания на уровне подошвы фундамента $P = 80883,6$ кН.

В закладке **Геология** задаются инженерно-геологические условия. В списке выбирается **Количество слоев грунта** (задается количество слоев, расположенных *ниже подошвы фундамента*). Далее, в следующем списке последовательно выбирается **Номер текущего слоя** и задаются характеристики каждого из слоев:

- E – модуль деформации грунта (по ветви первичного нагружения);
- k – коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения $E_e = k \cdot E$ (в соответствии с [3] при отсутствии данных для зданий геотехнических категорий 1 и 2 допускается принимать $k = 5$);
- μ – коэффициент Пуассона;
- h – толщина слоя;
- γ – удельный вес грунта.

Щелчок кнопки **Цветовое отображение слоя** откроет диалоговое окно для выбора цвета, которым будет отображаться текущий слой на схеме заданного геологического разреза.

Необходимо задать признак грунта – **песчаный** или **пылевато-глинистый**. А также указать, является ли соответствующий слой грунта водонасыщенным или водоупорным. Далее чтобы воспользоваться эмпирической формулой О.А. Савинова, необходимо указать коэффициент жесткости C_0 , соответствующий виду грунта (табл. П1.1, П1.2 приложения 1 данного пособия). Обратим внимание на то, что при нажатии на кнопку **Коэффициент жесткости для формулы О.А. Савинова** выводится справочная таблица, содержащая коэффициенты C_0 .

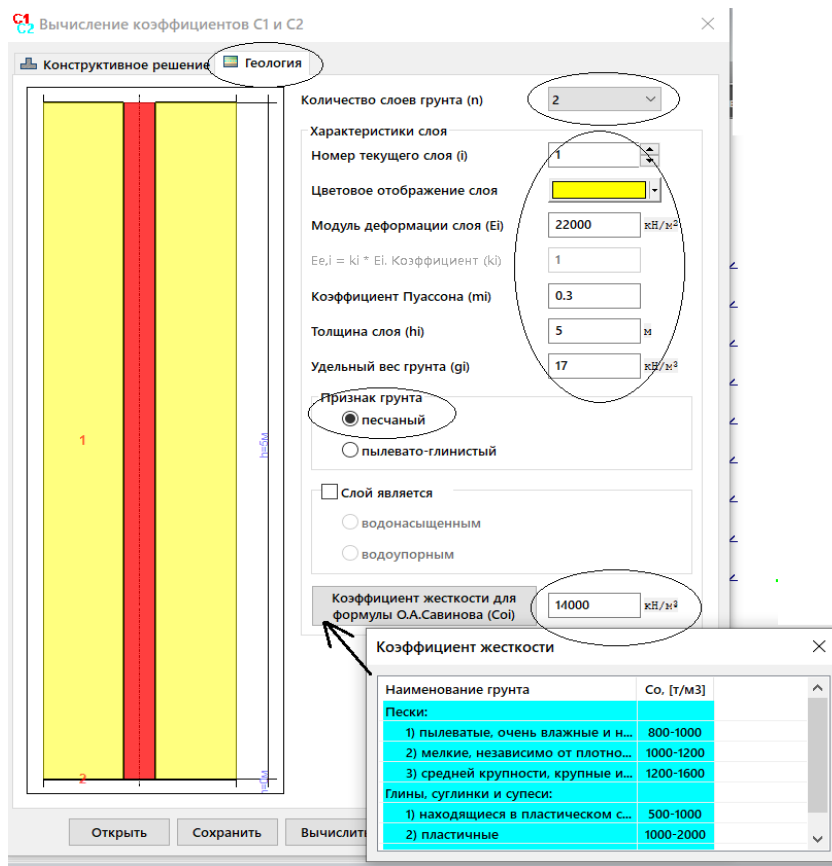


Рис. П.2.6. Характеристики 1-го слоя (пример)

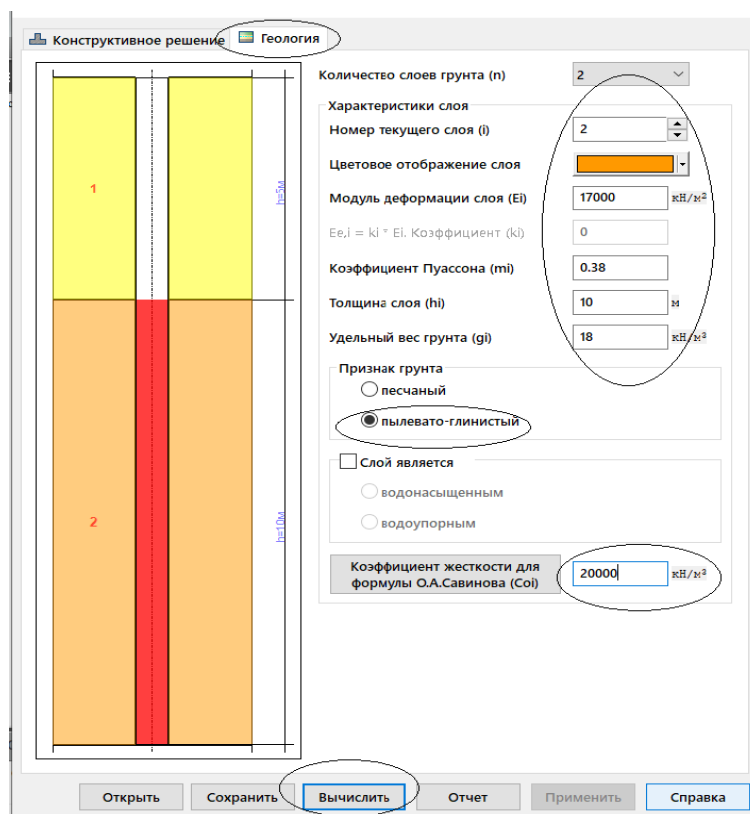


Рис. П.2.7. Характеристики 2-го слоя (пример)

На рис. П.2.6 и П.2.7 представлен пример формирования исходных данных в случае 2-слойного основания, сложенного грунтами с характеристиками:

ИГЭ – 1 – песок пылеватый средней плотности (модуль деформации $E_1 = 22000$ кПа; удельный вес $\gamma_1 = 17$ кН/м³; коэффициент Пуассона $\mu_1 = 0,3$; мощность слоя от уровня подошвы фундамента $h_1 = 5$ м, коэффициент жесткости 14000 кН/м³);

ИГЭ – 2 – глина полутвердая (показатель текучести $I_L = 0,25$; модуль деформации $E_2 = 17000$ кПа; удельный вес $\gamma_2 = 18$ кН/м³; коэффициент Пуассона $\mu_2 = 0,38$; мощность слоя $h_2 = 10$ м, коэффициент жесткости 14000 кН/м³).

При нажатии на кнопку **Вычислить** выполняется расчет и добавляется третья закладка **Результат** (рис. П.2.8). На этой закладке отображается схема распределения вертикальных напряжений и результаты вычислений:

- мощность сжимаемой толщи;
- осредненный в пределах сжимаемой толщи коэффициент жесткости $C_{ГР0}$;
- коэффициенты постели C_1 и C_2 .

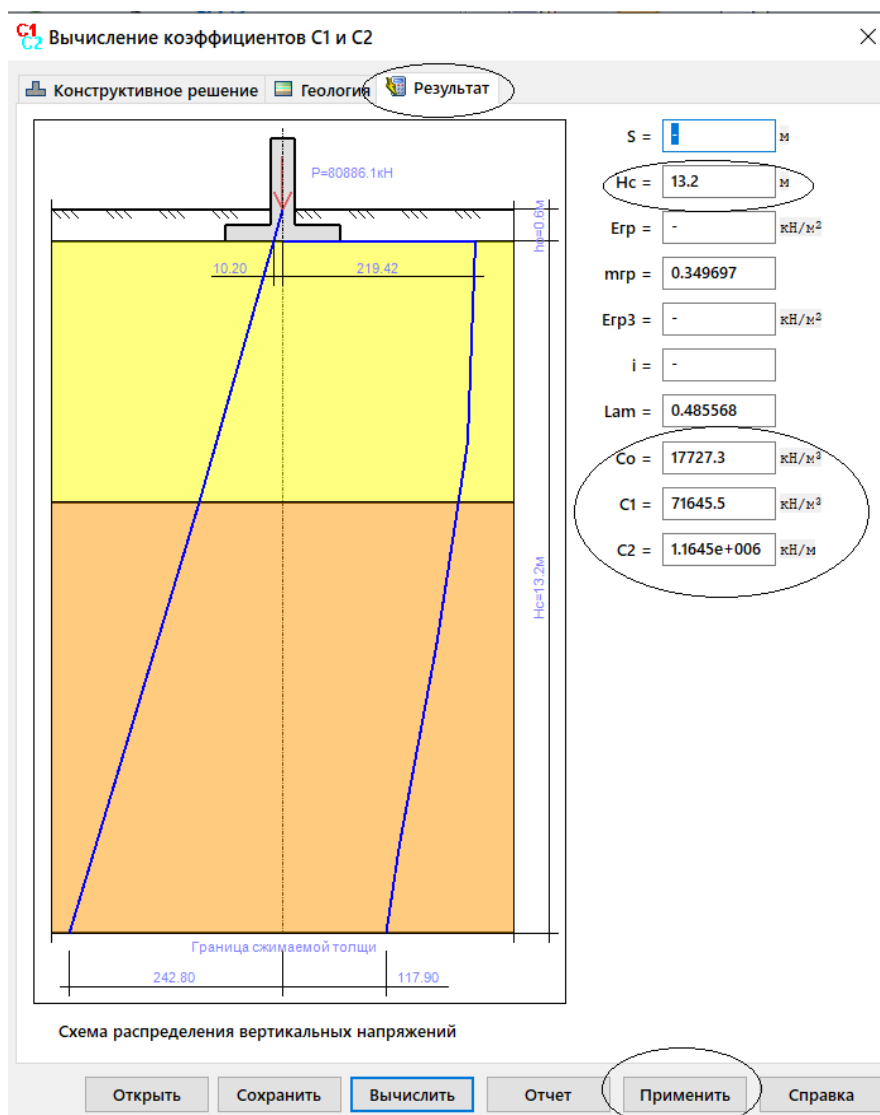


Рис. П.2.8. Результаты вычисления коэффициентов постели

Пример оформления пояснительной записки

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений
и инженерной геологии

Расчетно-графическая работа
на тему:

**«Расчет пространственного каркасного здания с плитным фундаментом
на сейсмические воздействия с применением расчетного комплекса
ЛИРА-САПР»**

по дисциплине
«Сейсмостойкость сооружений»

Выполнил студент гр. 9УН01
ФИО: Иванов А.С.
шифр: 12345

Проверил: Нуриева Д.М

Казань, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | стр. |
|--|------|
| 1. Исходные данные | 3 |
| 2. Описание расчетной модели каркаса. | 5 |
| 3. Результаты расчета. | 6 |
| 3.1. Результаты расчета каркаса на собственные колебания | 6 |
| 3.2. Деформированное состояние каркаса при особом сочетании нагрузок. | 10 |
| 3.3. Эпюры внутренних усилий в колоннах при особом сочетании нагрузок | 11 |
| 3.4. Напряженно-деформированное состояние плиты покрытия при особом сочетании нагрузок. | 15 |
| 3.5. Напряженно-деформированное состояние и требуемое армирование плитного фундамента при особом сочетании нагрузок. | 17 |
| 3.6. Определение коэффициентов постели. | 22 |
| Список используемой литературы | 23 |

1. Исходные данные

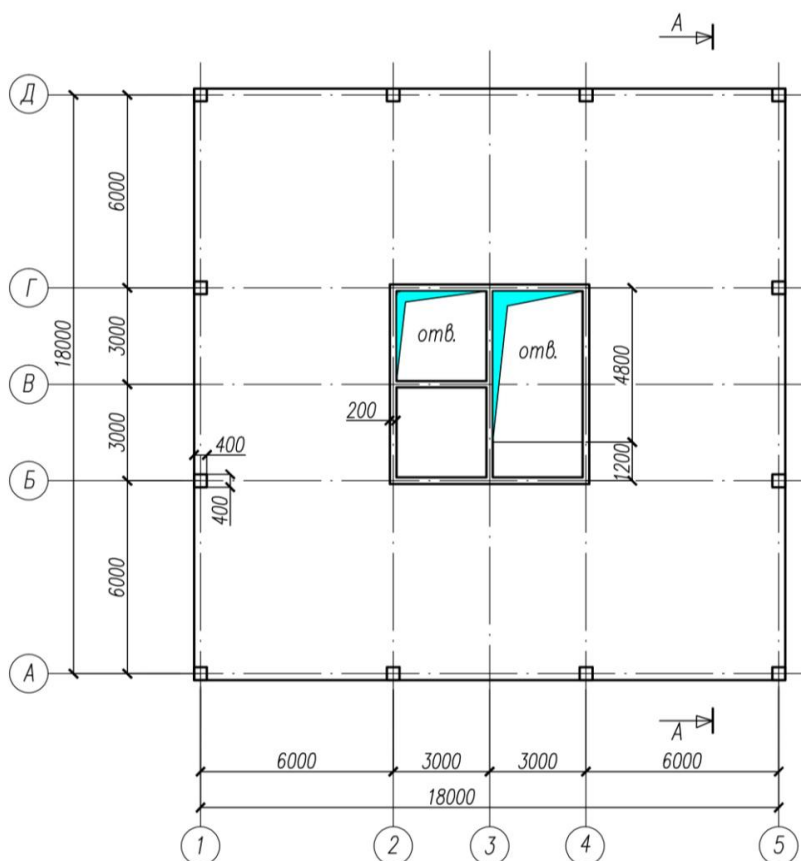


Рис. 1.1. План здания

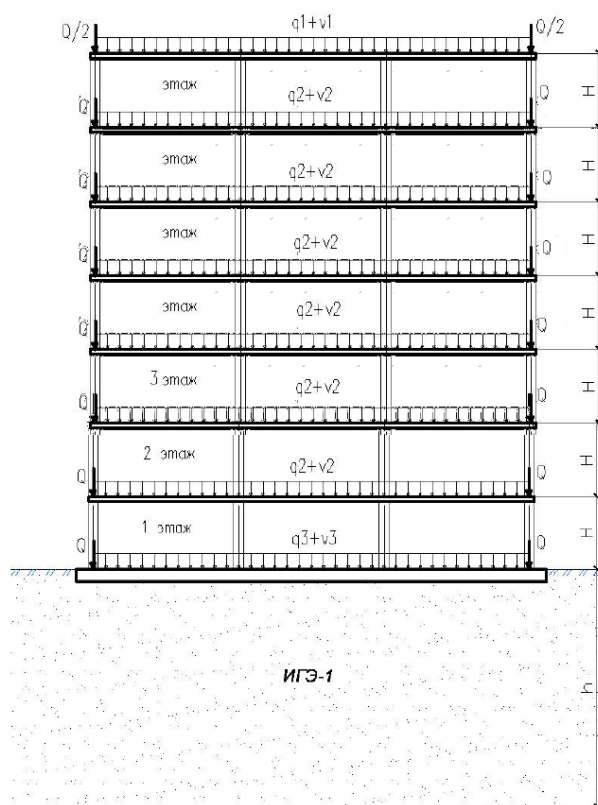


Рис. 1.2. Расчетная схема здания

Лист

3

Конструктивное решение здания

Здание имеет каркасную конструктивную систему. Выполнено из монолитного железобетона. В качестве несущих элементов каркаса выступают колонны, стены ядра жесткости, безбалочные (плоские) плиты перекрытия и покрытия. Фундамент плитный сплошного сечения.

В качестве основания плитного фундамента служит песок средней крупности, средней плотности (ИГЭ-1) с расчетными характеристиками:

- мощность $h = 15$ м;
- модуль деформации $E = 22000$ кПа;
- удельный вес $\gamma = 17$ кН/м³;
- коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.
- коэффициенты постели $C1 = 60050,6$ кН/м³, $C2 = 763874,42$ кН/м (вычисление коэффициентов представлено в *приложении 1*).

Параметры несущих элементов:

- колонны сечением 500×500 мм;
- стены ядра жесткости толщиной 250 мм;
- плиты перекрытия и покрытия толщиной 200 мм;
- плитный фундамент толщиной 700 мм;
- вылет консолей фундамента относительно осей крайних колонн 700 мм;
- глубина заложения фундамента 500 мм;
- высота этажа $H = 3000$ мм.

Материалы:

- бетон класса В25 с модулем деформации $E = 3 \cdot 10^7$ кПа;
- арматура класса А400.

Нагрузки

Постоянные расчетные нагрузки:

- от собственного веса монолитных конструкций (задаются автоматически в структуре программы Лира-САПР);
- от веса кровли на покрытие $q1 = 3,5$ кПа;
- от веса полов и перегородок на перекрытие $q2 = 2,0$ кПа;
- от веса полов на фундамент $q2 = 1,9$ кПа;
- от веса стен ограждающих конструкций $Q = 31$ кН/м;
- от веса парапетов $Q/2 = 15,5$ кН/м.

Временные расчетные нагрузки:

- от веса снега на покрытие $v1 = 3,2$ кПа;
- временная на перекрытие $v2 = 1,95$ кПа;
- временная на фундамент $v3 = 4,8$ кПа.

Расчетные временные нагрузки принимались на основании СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Лист

4

2. Описание расчетной модели каркаса

Определение усилий в несущих элементах здания от постоянных и временных нагрузок производилось с использованием расчетного комплекса ЛИРА-САПР. При этом была создана пространственная модель, в которой колонны моделировались стержневыми элементами (кэ 10); плиты перекрытия, покрытия, фундамент, стеновое ограждение из железобетона – оболочечными элементами (кэ 41). Упругие свойства грунтов основания учитывались с помощью коэффициента постели, вычисленного на основе формулы Савинова. Вычисление коэффициента постели ручным способом и с помощью ПК Лира-САПР представлены в *приложении 1* РГР. Расчетная модель каркаса показана на рис. 2.1.

Расчет был произведен на основные сочетания нагрузок, в состав которых вошли:

загрузка 1 – собственный вес монолитных конструкций здания;

загрузка 2 – вес кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения (q_1, q_2, q_3, Q);

загрузка 3 – временная нагрузка на перекрытие, фундамент (v_2, v_3);

загрузка 4 – снеговая нагрузка на покрытие (v_1);

загрузка 5 – сейсмическое воздействие по направлению цифровых осей здания (по X);

загрузка 6 – сейсмическое воздействие по направлению буквенных осей здания (по Y).

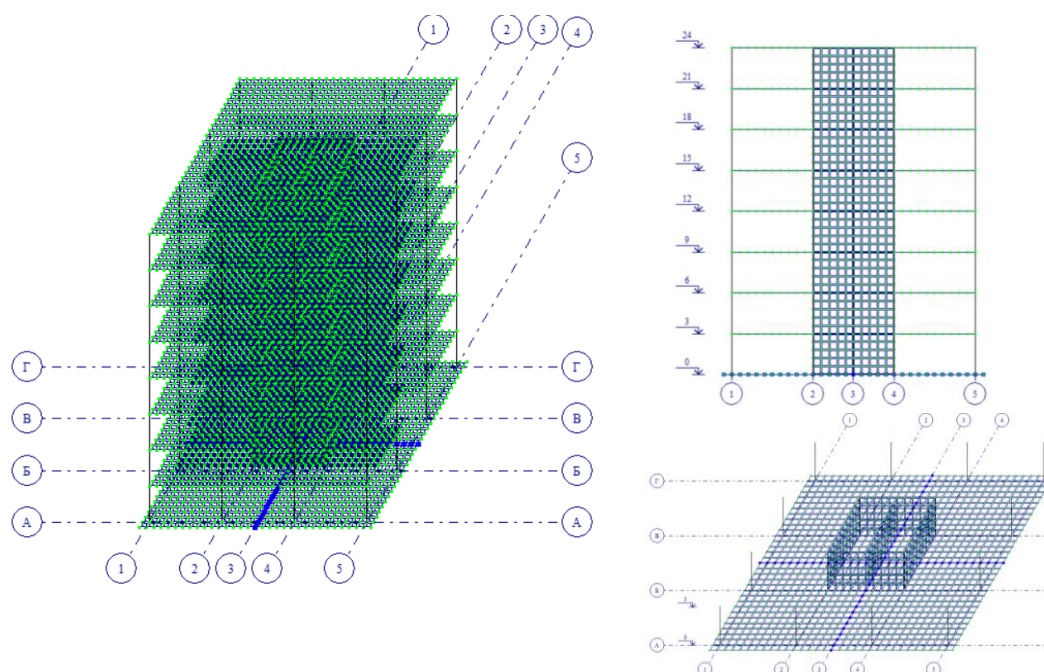


Рис. 2.1. Расчетная модель каркаса и ее фрагменты

Лист

5

3. Результаты расчета

3.1. Результаты расчета каркаса на собственные колебания

Расчет каркаса на собственные колебания (модальный анализ) производился предварительно перед основным расчетом с целью определения динамических характеристик здания (форм, периодов и амплитуд собственных колебаний), необходимых для определения сейсмических нагрузок. Модальный анализ производился с использованием модуля [100], входящего в состав ПК ЛИРА-САПР. Полученные частотные характеристики отражены в табл. 3.1.1.

Анализ результатов расчета на собственные колебания показал, что при определении сейсмических нагрузок необходимо учитывать не менее 1000 первых форм колебаний. Общая сумма их эффективных модальных масс составила 90,002% от общей массы сооружения, что больше требуемого значения 90% согласно п.5.9 [1]. При этом наиболее энергоемкими (значимыми) для сейсмического воздействия, действующего в направлении цифровых осей, являются формы собственных колебаний № 1, 66, 68, 170, 172, 236; для сейсмического воздействия в направлении буквенных осей – формы № 2, 73, 86, 90, 184, 269. Данные формы колебаний отражены на рис. 3.1.1, 3.1.2.

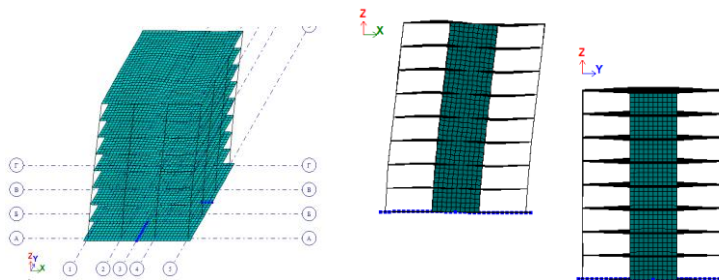
Таблица 3.1.1

Фрагменты таблицы частот собственных колебаний (Ли́ра-САПР)

| Частоты собственных колебаний-Учебная версия | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------|-----------------------|--------------|------------|---------------|---------------|--------------------|
| № загруз | № формы | Собст. значения | Частоты | | Период (с) | Коэф.распред. | Мод.масса (%) | Сумма мод.масс (%) |
| | | | Круг. частота (рад/с) | Частота (Гц) | | | | |
| 5 | 1 | 0.113 | 8.825 | 1.405 | 0.712 | 1.479 | 65.253 | 65.253 |
| 5 | 2 | 0.107 | 9.316 | 1.483 | 0.674 | 0.000 | 0.000 | 65.253 |
| 5 | 3 | 0.089 | 11.195 | 1.782 | 0.561 | 0.000 | 0.000 | 65.253 |
| 5 | 4 | 0.040 | 25.211 | 4.012 | 0.249 | 0.000 | 0.000 | 65.253 |
| 5 | 5 | 0.038 | 26.074 | 4.150 | 0.241 | - 0.190 | 0.422 | 65.676 |
| 5 | 6 | 0.038 | 26.110 | 4.156 | 0.241 | 0.000 | 0.000 | 65.676 |
| 5 | 65 | 0.026 | 38.697 | 6.159 | 0.162 | 0.000 | 0.000 | 68.656 |
| 5 | 66 | 0.026 | 39.016 | 6.210 | 0.161 | 1.416 | 9.670 | 78.327 |
| 5 | 67 | 0.025 | 39.352 | 6.263 | 0.160 | 0.000 | 0.000 | 78.327 |
| 5 | 68 | 0.025 | 39.502 | 6.287 | 0.159 | 0.704 | 4.419 | 82.746 |
| 5 | 168 | 0.013 | 74.651 | 11.881 | 0.084 | 0.085 | 0.051 | 83.606 |
| 5 | 169 | 0.013 | 74.974 | 11.932 | 0.084 | 0.000 | 0.000 | 83.606 |
| 5 | 170 | 0.013 | 75.677 | 12.044 | 0.083 | - 0.392 | 1.983 | 85.589 |
| 5 | 171 | 0.013 | 76.900 | 12.239 | 0.082 | 0.000 | 0.000 | 85.589 |
| 5 | 172 | 0.013 | 77.507 | 12.336 | 0.081 | - 0.462 | 1.514 | 87.103 |
| 5 | 173 | 0.013 | 78.017 | 12.417 | 0.081 | 0.000 | 0.000 | 87.103 |
| 5 | 235 | 0.010 | 100.869 | 16.054 | 0.062 | 0.000 | 0.000 | 87.381 |
| 5 | 236 | 0.010 | 101.353 | 16.131 | 0.062 | - 0.393 | 1.022 | 88.403 |
| 5 | 237 | 0.010 | 101.722 | 16.190 | 0.062 | 0.001 | 0.000 | 88.403 |
| 5 | 1006 | 0.003 | 368.769 | 58.691 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 90.011 |
| 5 | 1007 | 0.003 | 370.641 | 58.989 | 0.017 | - 0.037 | 0.008 | 90.018 |
| 6 | 1 | 0.113 | 8.825 | 1.405 | 0.712 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 2 | 0.107 | 9.316 | 1.483 | 0.674 | 1.484 | 64.657 | 64.657 |
| 6 | 3 | 0.089 | 11.195 | 1.782 | 0.561 | 0.000 | 0.000 | 64.657 |
| 6 | 72 | 0.023 | 43.123 | 6.863 | 0.146 | 0.002 | 0.000 | 65.608 |
| 6 | 73 | 0.023 | 43.212 | 6.877 | 0.145 | 0.656 | 1.480 | 67.088 |
| 6 | 74 | 0.023 | 43.255 | 6.884 | 0.145 | 0.000 | 0.000 | 67.088 |
| 6 | 75 | 0.023 | 43.265 | 6.886 | 0.145 | 0.001 | 0.000 | 67.088 |
| 6 | 85 | 0.023 | 43.793 | 6.970 | 0.143 | 0.005 | 0.000 | 67.821 |
| 6 | 86 | 0.023 | 43.814 | 6.973 | 0.143 | - 0.678 | 1.144 | 68.966 |
| 6 | 87 | 0.023 | 43.832 | 6.976 | 0.143 | 0.002 | 0.000 | 68.966 |
| 6 | 88 | 0.023 | 43.854 | 6.980 | 0.143 | 0.573 | 0.997 | 69.963 |
| 6 | 89 | 0.023 | 43.920 | 6.990 | 0.143 | 0.004 | 0.000 | 69.963 |
| 6 | 90 | 0.023 | 43.951 | 6.995 | 0.143 | - 1.223 | 11.667 | 81.630 |
| 6 | 91 | 0.023 | 44.041 | 7.009 | 0.143 | - 0.003 | 0.000 | 81.630 |
| 6 | 183 | 0.012 | 83.855 | 13.346 | 0.075 | 0.000 | 0.000 | 83.078 |
| 6 | 184 | 0.012 | 86.584 | 13.780 | 0.073 | 0.531 | 3.003 | 86.081 |
| 6 | 185 | 0.011 | 87.183 | 13.876 | 0.072 | 0.002 | 0.000 | 86.081 |
| 6 | 268 | 0.009 | 112.393 | 17.888 | 0.056 | 0.259 | 0.223 | 87.339 |
| 6 | 269 | 0.009 | 113.799 | 18.112 | 0.055 | - 0.273 | 1.118 | 88.457 |
| 6 | 270 | 0.009 | 117.256 | 18.662 | 0.054 | 0.000 | 0.000 | 88.457 |
| 6 | 999 | 0.003 | 364.396 | 57.995 | 0.017 | - 0.002 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1000 | 0.003 | 364.737 | 58.050 | 0.017 | 0.001 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1001 | 0.003 | 364.961 | 58.085 | 0.017 | 0.001 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1002 | 0.003 | 365.296 | 58.139 | 0.017 | 0.012 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1003 | 0.003 | 367.387 | 58.471 | 0.017 | - 0.001 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1004 | 0.003 | 367.730 | 58.526 | 0.017 | - 0.001 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1005 | 0.003 | 368.552 | 58.657 | 0.017 | - 0.003 | 0.000 | 90.002 |
| 6 | 1006 | 0.003 | 368.769 | 58.691 | 0.017 | - 0.045 | 0.011 | 90.013 |
| 6 | 1007 | 0.003 | 370.641 | 58.989 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 90.013 |

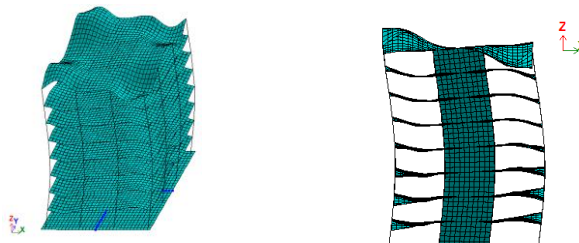
Форма 1
 поступательная
 по оси X

период: $T = 0,712$ с
 модальная масса:
 65,253%



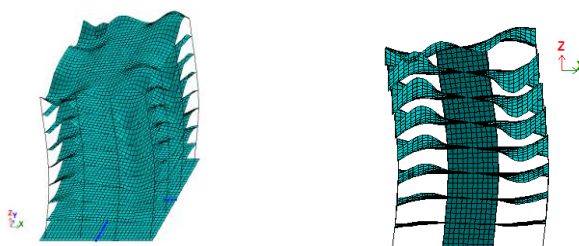
Форма 66

период: $T = 0,161$ с
 модальная масса:
 9,67%



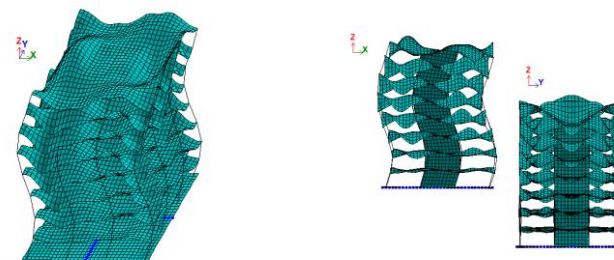
Форма 68

период: $T = 0,159$ с
 модальная масса:
 4,419%



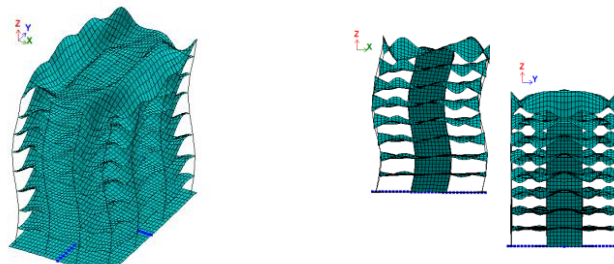
Форма 170

период: $T = 0,083$ с
 модальная масса:
 1,983%



Форма 172

период: $T = 0,081$ с
 модальная масса:
 1,514%



Форма 236

период: $T = 0,062$ с
 модальная масса:
 1,022%

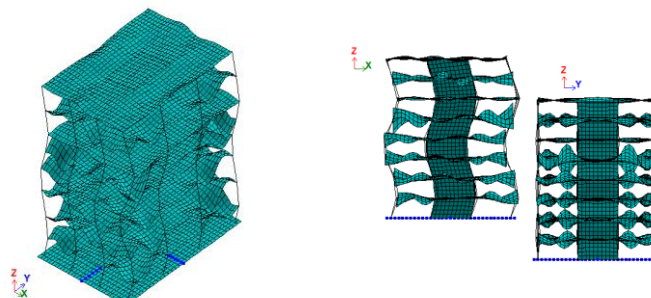
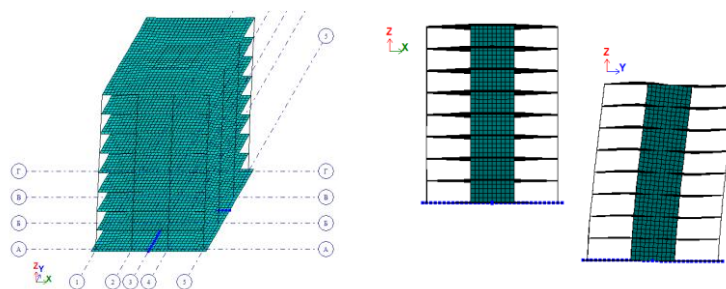


Рис. 3.1.1. Формы собственных колебаний, учитываемые при формировании загрузки 5 (сеймика вдоль буквенных осей зданий (по X))

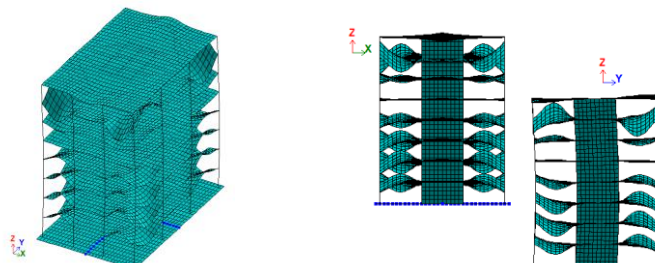
Форма 2
 поступательная
 по оси Y

период: $T = 0,674$ с
 модальная масса:
 64,657%



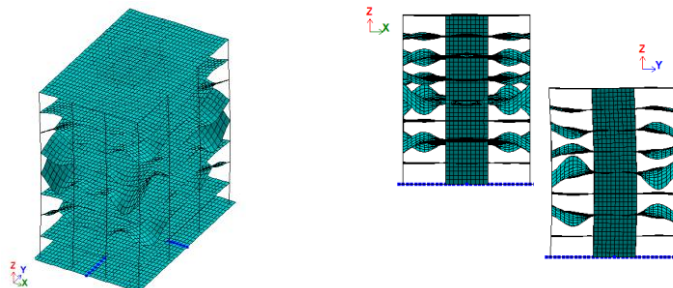
Форма 73

период: $T = 0,656$ с
 модальная масса:
 1,48%



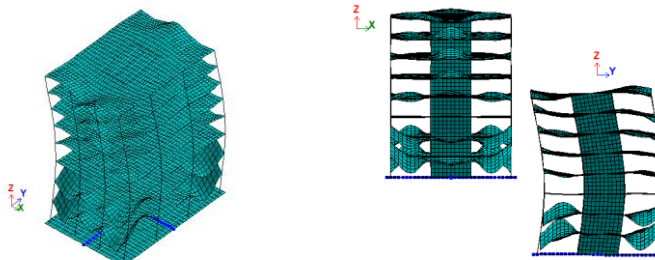
Форма 86

период: $T = 0,1431$ с
 модальная масса:
 1,144%



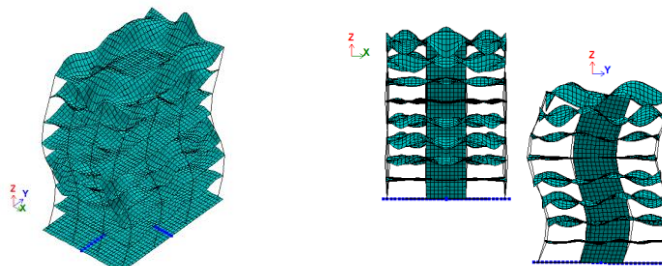
Форма 90

период: $T = 0,1432$ с
 модальная масса:
 11,667%



Форма 184

период: $T = 0,073$ с
 модальная масса:
 3,003%



Форма 269

период: $T = 0,055$ с
 модальная масса:
 1,118%

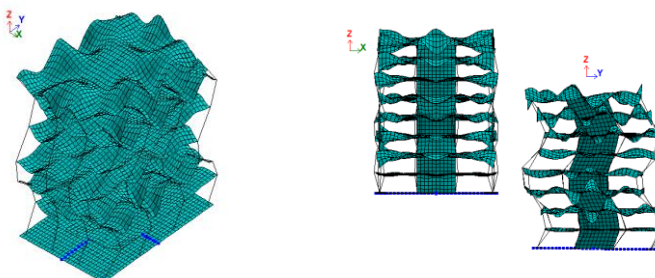


Рис. 3.1.2. Формы собственных колебаний, учитываемые при формировании загрузки **б** (сейсмика вдоль буквенных осей зданий (**по Y**))

3.2. Деформированное состояние каркаса при особом сочетании нагрузок

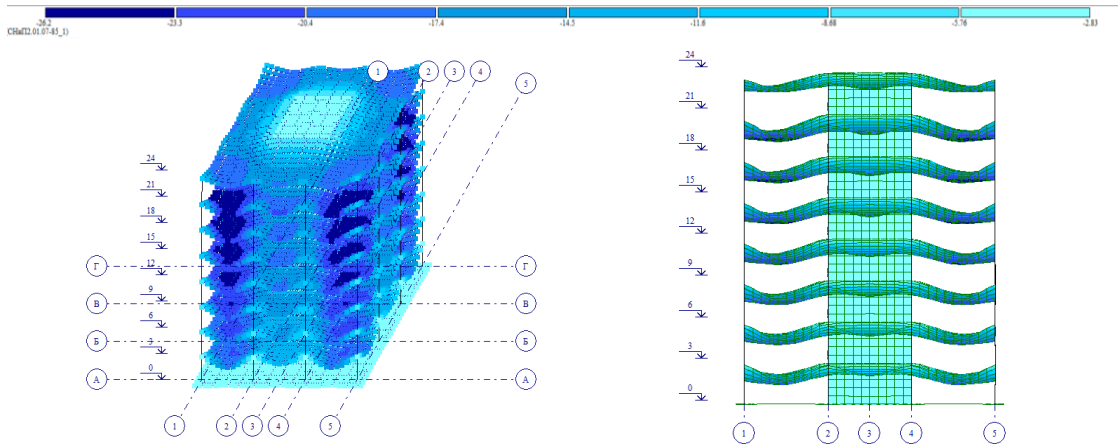


Рис. 3.2.1. Изополя вертикальных перемещений при комбинации нагрузок 1+2+3+4

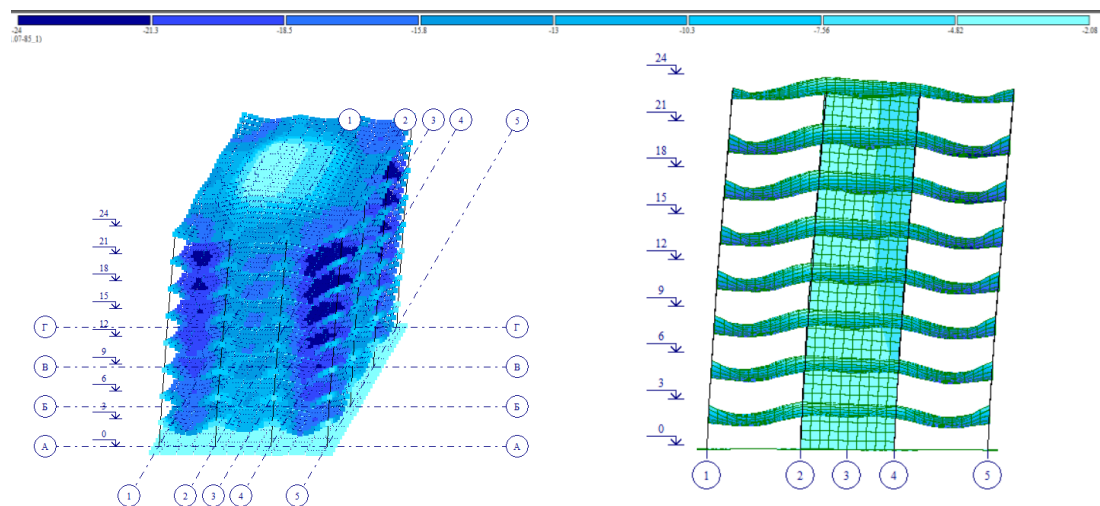


Рис. 3.2.2. Изополя вертикальных перемещений при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (PCH 5)

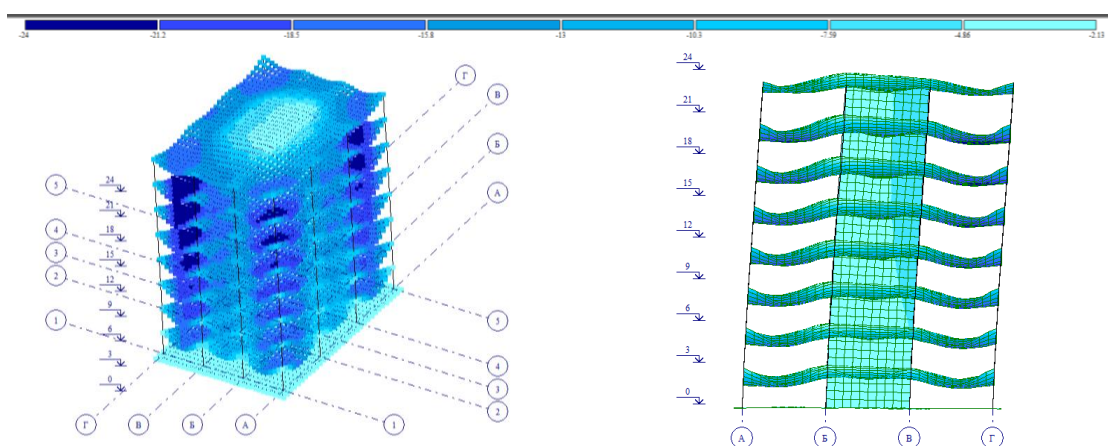


Рис. 3.2.3. Изополя вертикальных перемещений при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (PCH 6)

3.3. Эпюры внутренних усилий в колоннах при особом сочетании нагрузок

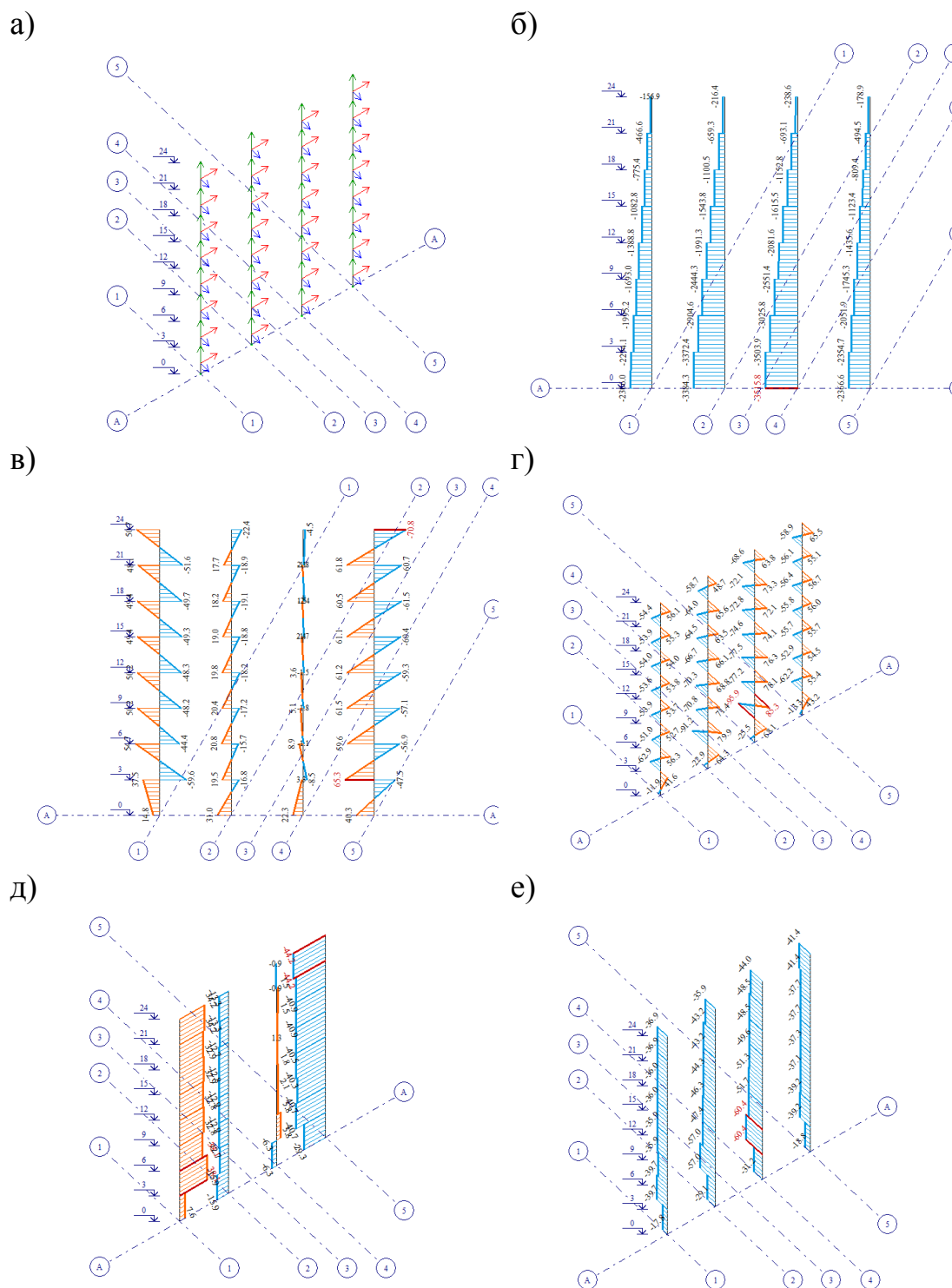


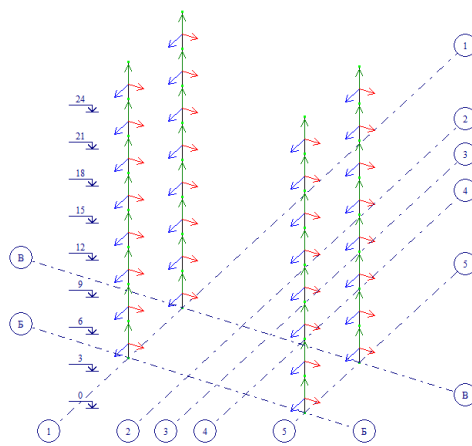
Рис. 3.3.1. Усилия в колоннах по оси А при особом сочетании нагрузок (1+2+3+4+5):

- а) направление местных осей;
- б) эпюры продольных усилий N , кН;
- в) эпюры изгибающих моментов M_y , кН·м;
- г) эпюры изгибающих моментов M_z , кН·м;
- д) эпюры поперечных сил Q_z , кН;
- е) эпюры поперечных сил Q_y , кН

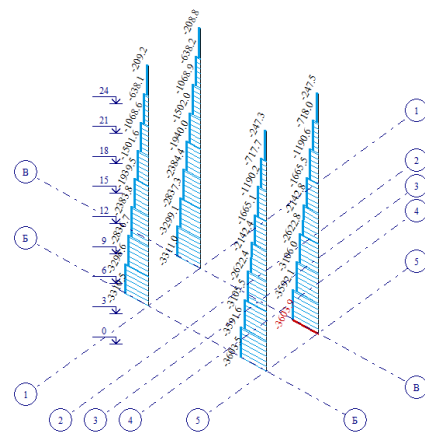
Лист

11

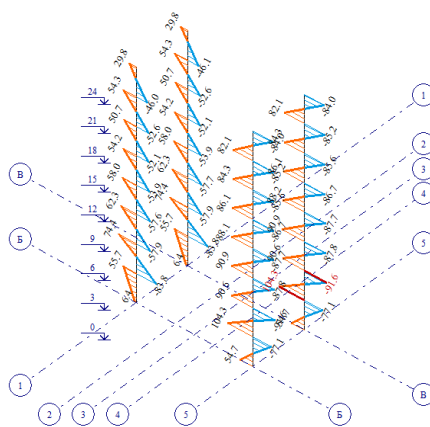
а)



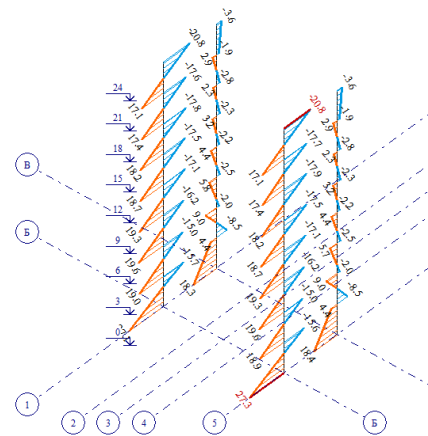
б)



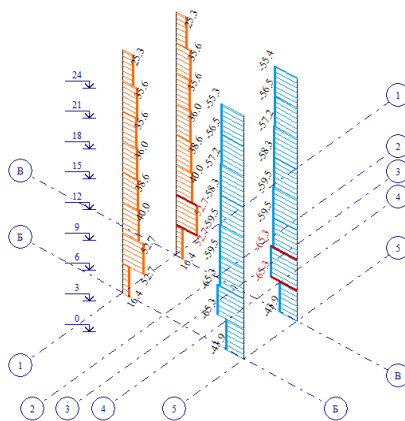
в)



г)



д)



е)

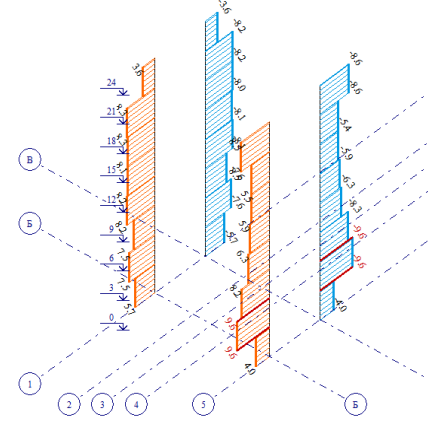
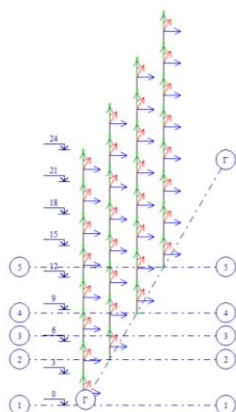


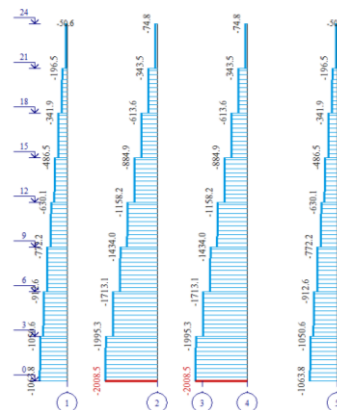
Рис. 3.3.2. Усилия в колоннах по осям **Б и В**
при особом сочетании нагрузок (1+2+3+4+5):

- а) направление местных осей;
- б) эпюры продольных усилий N , кН;
- в) эпюры изгибающих моментов M_y , кН·м;
- г) эпюры изгибающих моментов M_z , кН·м;
- д) эпюры поперечных сил Q_z , кН;
- е) эпюры поперечных сил Q_y , кН

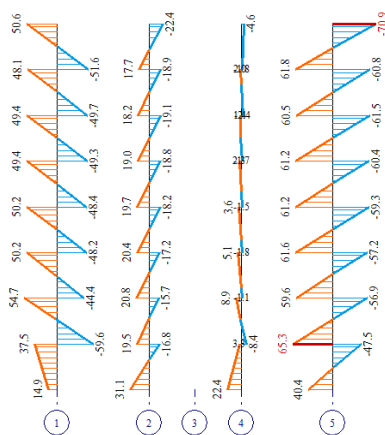
а)



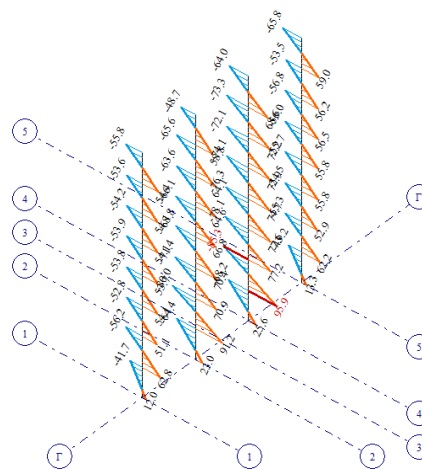
б)



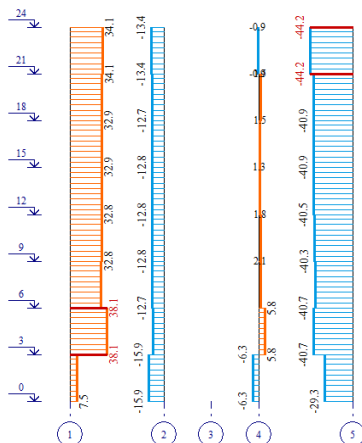
в)



г)



д)



е)

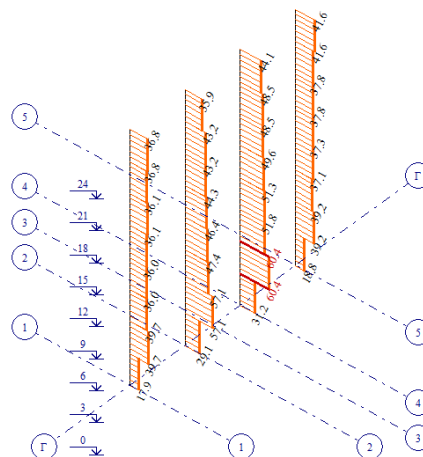


Рис. 3.3.3. Усилия в колоннах по оси Г при комбинации нагрузок (1+2+3+4+5):

- а) направление местных осей;
- б) эпюры продольных усилий N, кН;
- в) эпюры изгибающих моментов M_y , кН·м;
- г) эпюры изгибающих моментов M_z , кН·м;
- д) эпюры поперечных сил Q_z , кН;
- е) эпюры поперечных сил Q_y , кН.

Примечание: аналогичным образом могут быть отображены усилия в колоннах от особого сочетания нагрузок (1+2+3+4+6)

Лист

13

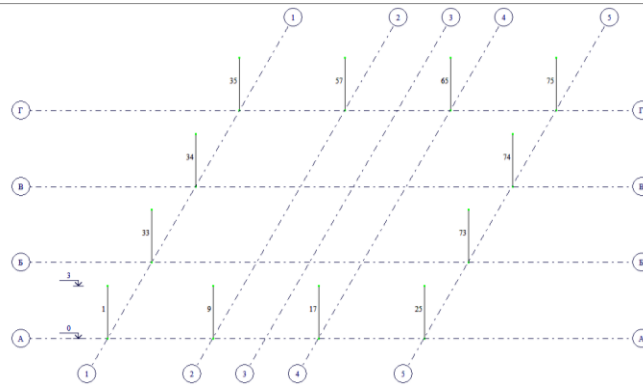


Рис. 3.3.4. Нумерация конечных элементов (колонн первого этажа)

Таблица 3.3.1

Расчетные сочетания усилий для наиболее нагруженных колонн 1-го этажа при комбинации нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5)

| № элем | № сечен | Усилия | | | | | | | | Тип элем | № РСН | Составл |
|--------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|
| | | N (кН) | Mk (кН*м) | Mu (кН*м) | Qz (кН) | Mz (кН*м) | Qu (кН) | Ru (кН/м) | Rz (кН/м) | | | |
| 1 | 1 | - 2310.75 | 0.000 | 14.756 | 7.592 | - 11.953 | - 17.870 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 1 | 2 | - 2298.87 | 0.000 | 37.531 | 7.592 | 41.656 | - 17.870 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 9 | 1 | - 3390.03 | 0.000 | 30.922 | - 15.848 | - 22.923 | - 29.101 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 9 | 2 | - 3378.15 | 0.000 | - 16.623 | - 15.848 | 64.380 | - 29.101 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 17 | 1 | - 3511.26 | 0.000 | 22.232 | - 6.250 | - 25.543 | - 31.225 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 17 | 2 | - 3499.38 | 0.000 | 3.484 | - 6.250 | 68.132 | - 31.225 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 25 | 1 | - 2361.38 | 0.000 | 40.242 | - 29.237 | - 13.282 | - 18.809 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 25 | 2 | - 2349.50 | 0.000 | - 47.470 | - 29.237 | 43.147 | - 18.809 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 33 | 1 | - 3311.47 | 0.000 | 6.340 | 16.466 | 5.804 | 5.498 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 33 | 2 | - 3299.59 | 0.000 | 55.739 | 16.466 | - 10.688 | 5.498 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 34 | 1 | - 3311.47 | 0.000 | 6.340 | 16.466 | - 5.804 | - 5.498 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 34 | 2 | - 3299.59 | 0.000 | 55.739 | 16.466 | 10.688 | - 5.498 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 35 | 1 | - 2310.75 | 0.000 | 14.756 | 7.592 | 11.953 | 17.870 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 35 | 2 | - 2298.87 | 0.000 | 37.531 | 7.592 | - 41.656 | 17.870 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 57 | 1 | - 3390.03 | 0.000 | 30.922 | - 15.848 | 22.923 | 29.101 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 57 | 2 | - 3378.15 | 0.000 | - 16.623 | - 15.848 | - 64.380 | 29.101 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 65 | 1 | - 3511.26 | 0.000 | 22.232 | - 6.250 | 25.543 | 31.225 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 65 | 2 | - 3499.38 | 0.000 | 3.484 | - 6.250 | - 68.132 | 31.225 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 73 | 1 | - 3603.05 | 0.000 | 54.616 | - 43.891 | 3.082 | 4.130 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 73 | 2 | - 3591.17 | 0.000 | - 77.057 | - 43.891 | - 9.306 | 4.130 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 74 | 1 | - 3603.05 | 0.000 | 54.616 | - 43.891 | - 3.082 | - 4.130 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 74 | 2 | - 3591.17 | 0.000 | - 77.057 | - 43.891 | 9.306 | - 4.130 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 75 | 1 | - 2361.38 | 0.000 | 40.242 | - 29.237 | 13.282 | 18.810 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |
| 75 | 2 | - 2349.50 | 0.000 | - 47.470 | - 29.237 | - 43.147 | 18.810 | 0.000 | 0.000 | 10 | 5 | - |

Таблица 3.3.2

Расчетные сочетания усилий для наиболее нагруженных колонн 1-го этажа при комбинации нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6)

| № элем | № сечен | Усилия | | | | | | | | Тип элем | № РСН | Составл |
|--------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|
| | | N (кН) | Mk (кН*м) | Mu (кН*м) | Qz (кН) | Mz (кН*м) | Qu (кН) | Ru (кН/м) | Rz (кН/м) | | | |
| 1 | 1 | - 2312.21 | 0.000 | - 12.130 | 17.977 | 11.202 | - 8.989 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 1 | 2 | - 2300.33 | 0.000 | 41.801 | 17.977 | 38.169 | - 8.989 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 9 | 1 | - 3312.73 | 0.000 | 5.764 | - 5.516 | 2.309 | - 18.185 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 9 | 2 | - 3300.85 | 0.000 | - 10.782 | - 5.516 | 56.864 | - 18.185 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 17 | 1 | - 3312.73 | 0.000 | - 5.764 | 5.516 | 2.309 | - 18.185 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 17 | 2 | - 3300.85 | 0.000 | 10.782 | 5.516 | 56.864 | - 18.185 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 25 | 1 | - 2312.21 | 0.000 | 12.130 | - 17.977 | 11.202 | - 8.989 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 25 | 2 | - 2300.33 | 0.000 | - 41.801 | - 17.977 | 38.169 | - 8.989 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 33 | 1 | - 3400.32 | 0.000 | - 22.929 | 29.198 | 27.173 | 14.213 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 33 | 2 | - 3388.44 | 0.000 | 64.665 | 29.198 | - 15.465 | 14.213 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 34 | 1 | - 3514.19 | 0.000 | - 25.347 | 31.159 | 18.287 | 4.586 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 34 | 2 | - 3502.31 | 0.000 | 68.130 | 31.159 | 4.529 | 4.586 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 35 | 1 | - 2359.92 | 0.000 | - 13.356 | 18.852 | 36.437 | 27.691 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 35 | 2 | - 2348.04 | 0.000 | 43.200 | 18.852 | - 46.634 | 27.691 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 57 | 1 | - 3588.56 | 0.000 | 2.925 | - 4.083 | 50.775 | 42.141 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 57 | 2 | - 3576.68 | 0.000 | - 9.324 | - 4.083 | - 75.648 | 42.141 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 65 | 1 | - 3588.56 | 0.000 | - 2.925 | 4.083 | 50.775 | 42.141 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 65 | 2 | - 3576.68 | 0.000 | 9.324 | 4.083 | - 75.648 | 42.141 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 73 | 1 | - 3400.32 | 0.000 | 22.928 | - 29.198 | 27.174 | 14.213 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 73 | 2 | - 3388.44 | 0.000 | - 64.665 | - 29.198 | - 15.466 | 14.213 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 74 | 1 | - 3514.19 | 0.000 | 25.347 | - 31.159 | 18.287 | 4.586 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 74 | 2 | - 3502.31 | 0.000 | - 68.130 | - 31.159 | 4.530 | 4.586 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 75 | 1 | - 2359.92 | 0.000 | 13.356 | - 18.852 | 36.438 | 27.691 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |
| 75 | 2 | - 2348.04 | 0.000 | - 43.200 | - 18.852 | - 46.634 | 27.691 | 0.000 | 0.000 | 10 | 6 | - |

Лист

14

3.4. Напряженно-деформированное состояние плиты покрытия (отм.24.000) при особом сочетании нагрузок

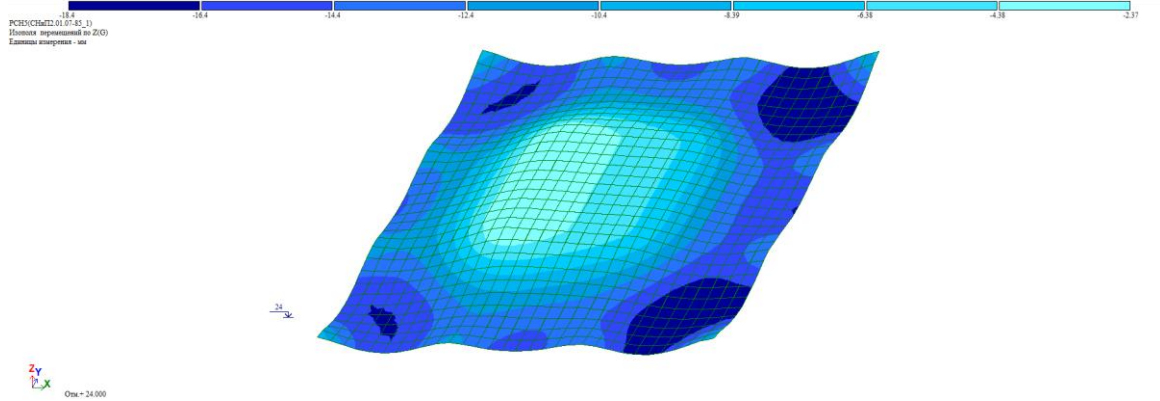


Рис. 3.4.1. Вертикальные перемещения в плите покрытия при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5), мм

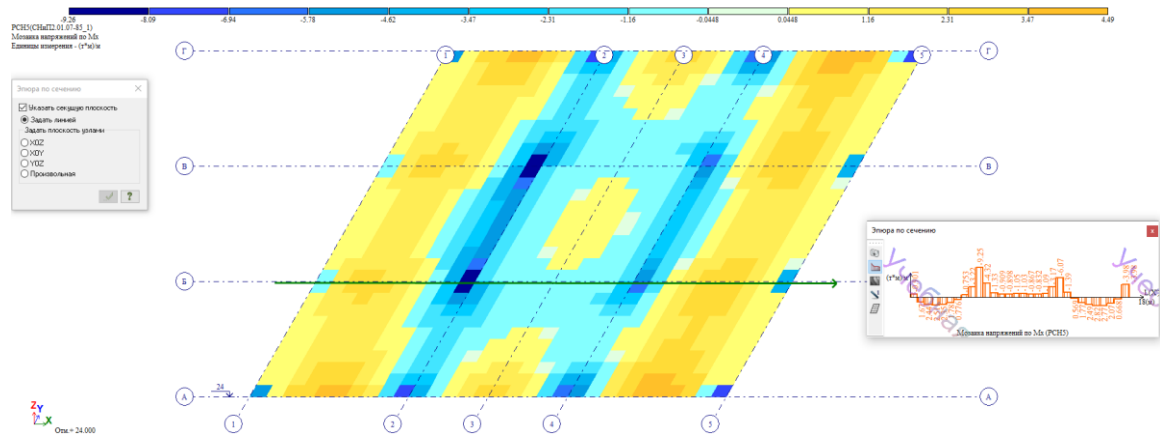


Рис. 3.4.2. Мозаика изгибающих моментов M_x в плите покрытия при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5), кН·м

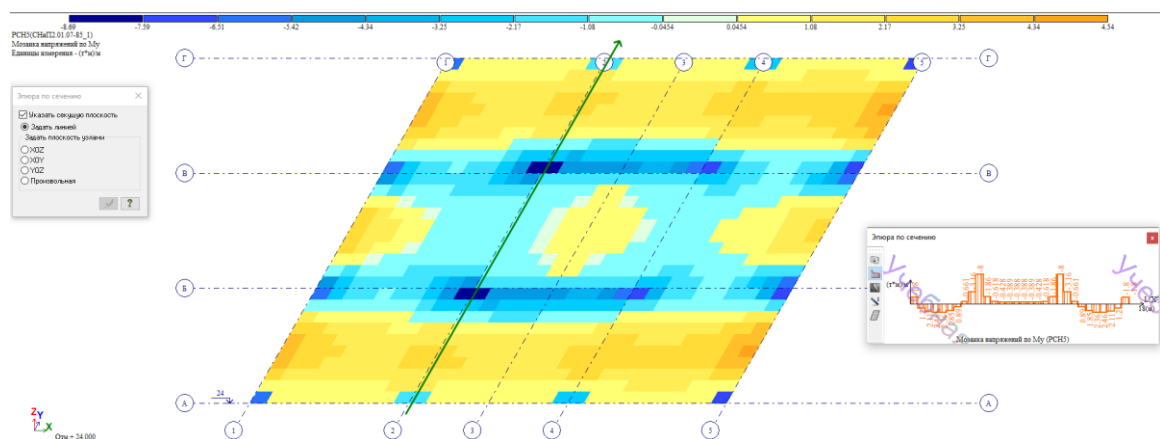


Рис. 3.4.3. Мозаика изгибающих моментов M_y в плите покрытия при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5), кН·м

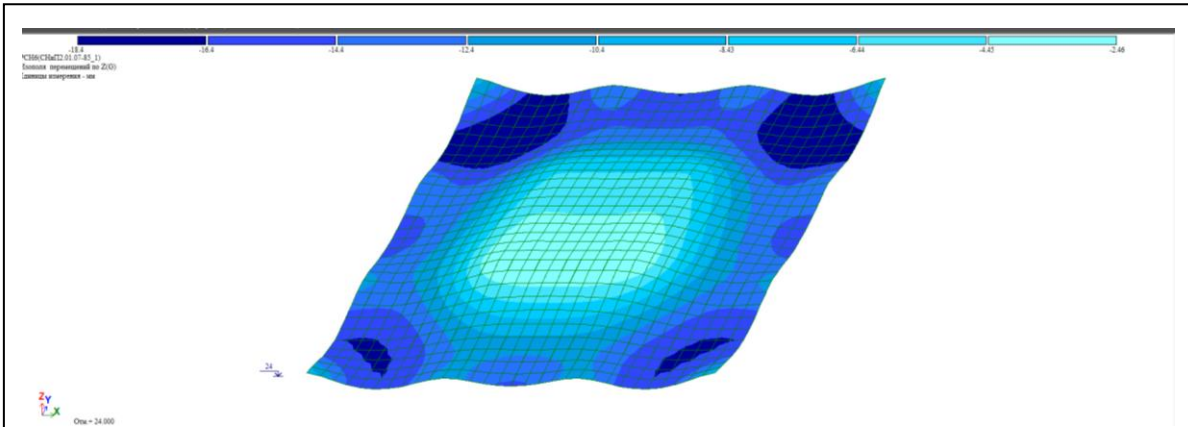


Рис. 3.4.4. Вертикальные перемещения в плите покрытия при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6), мм

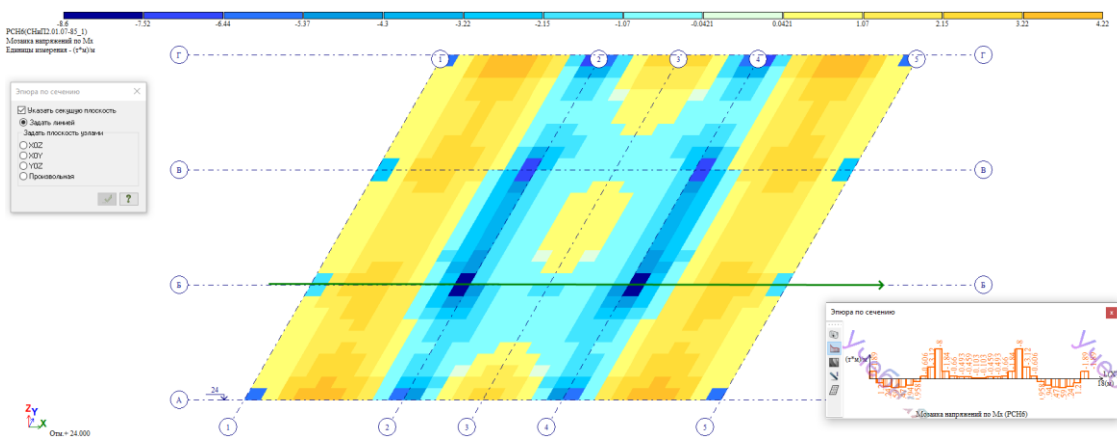


Рис. 3.4.5. Мозаика изгибающих моментов M_x в плите покрытия при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6), кН·м

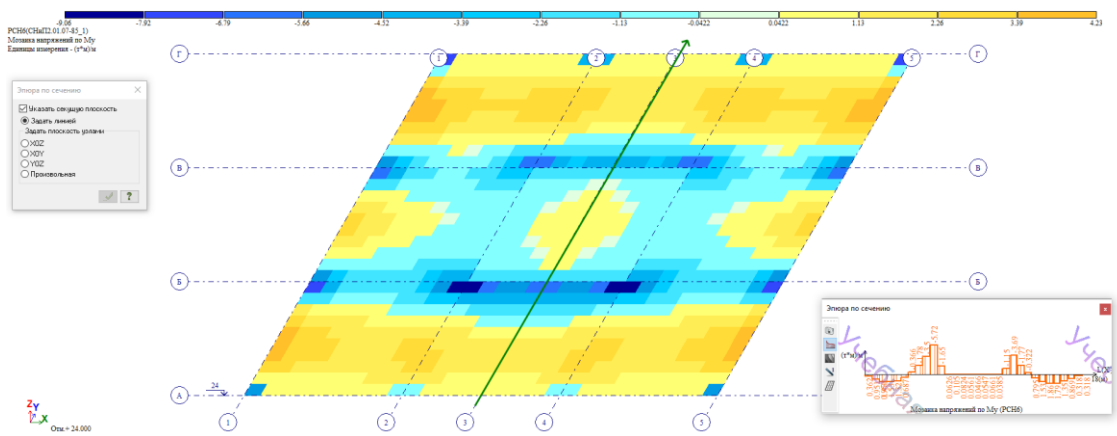


Рис. 3.4.6. Мозаика изгибающих моментов M_y в плите покрытия при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6), кН·м.

Примечание 1: на рис.3.4.5 отображена эпюра моментов по оси Б, на рис.3.4.6 – по оси 3.

Примечание 2: аналогичным образом может быть отражено НДС в интересующих плитах перекрытия.

3.5. Напряженное состояние и требуемое армирование плитного фундамента при особом сочетании нагрузок

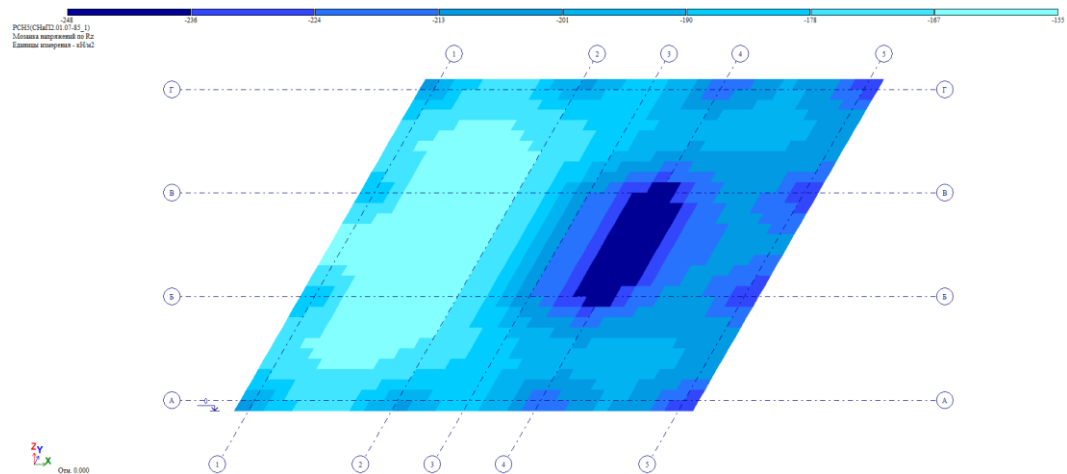


Рис. 3.5.1. Отпор упругого основания R_z под плитным фундаментом при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5), кН/м^2

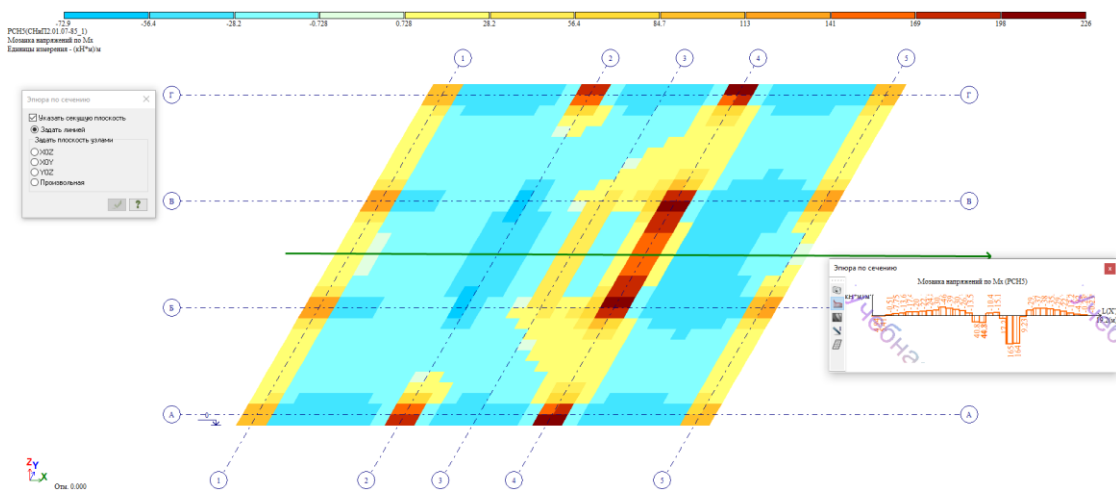


Рис. 3.5.2. Мозаика изгибающих моментов M_x в плитном фундаменте при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5), $\text{кН}\cdot\text{м}$

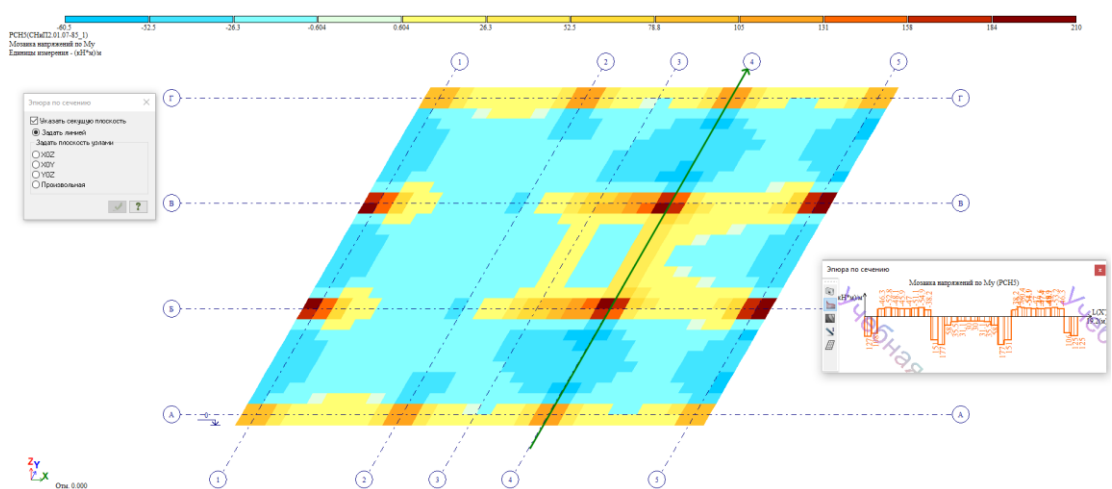


Рис. 3.5.3. Мозаика изгибающих моментов M_y в плитном фундаменте при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+5 (РСН 5), $\text{кН}\cdot\text{м}$

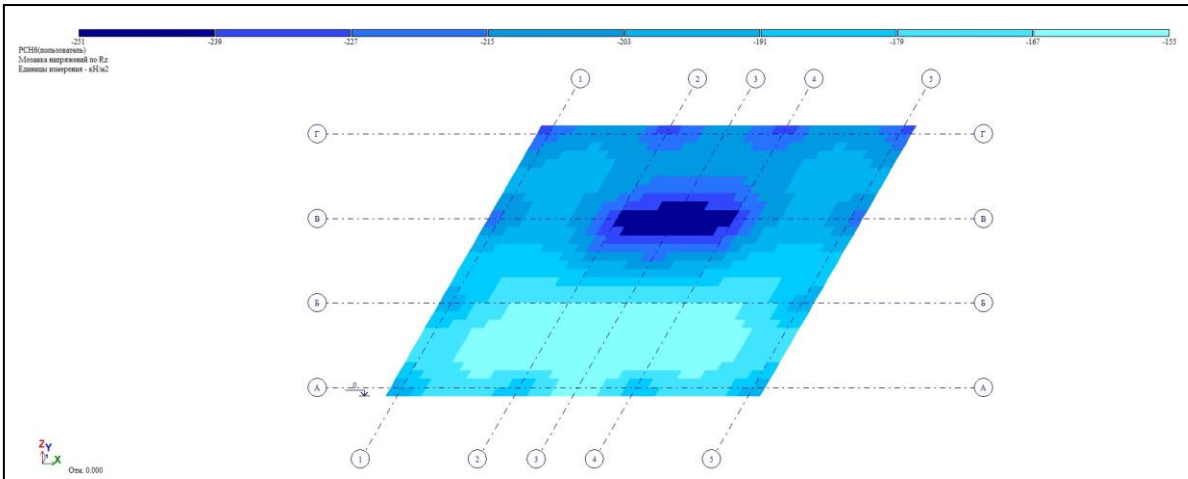


Рис. 3.5.4. Отпор упругого основания R_z под плитным фундаментом при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6), кН/м^2

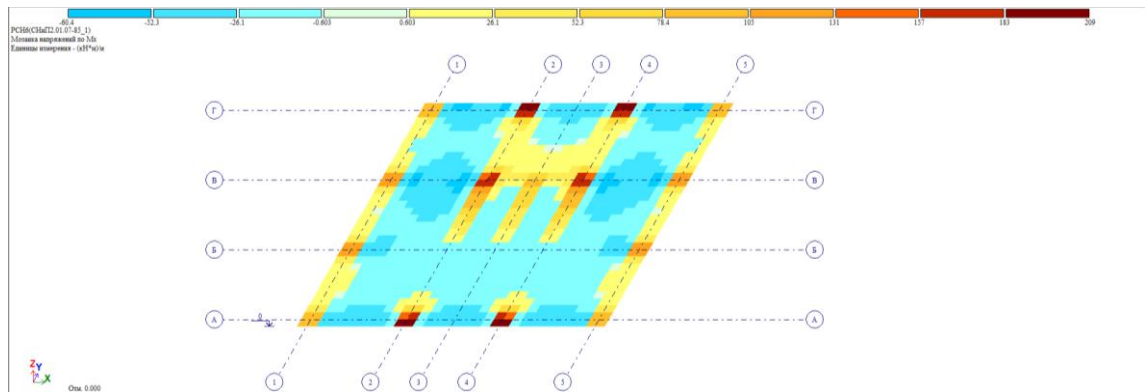


Рис. 3.5.5. Мозаика изгибающих моментов M_x в плитном фундаменте при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6), $\text{кН}\cdot\text{м}$

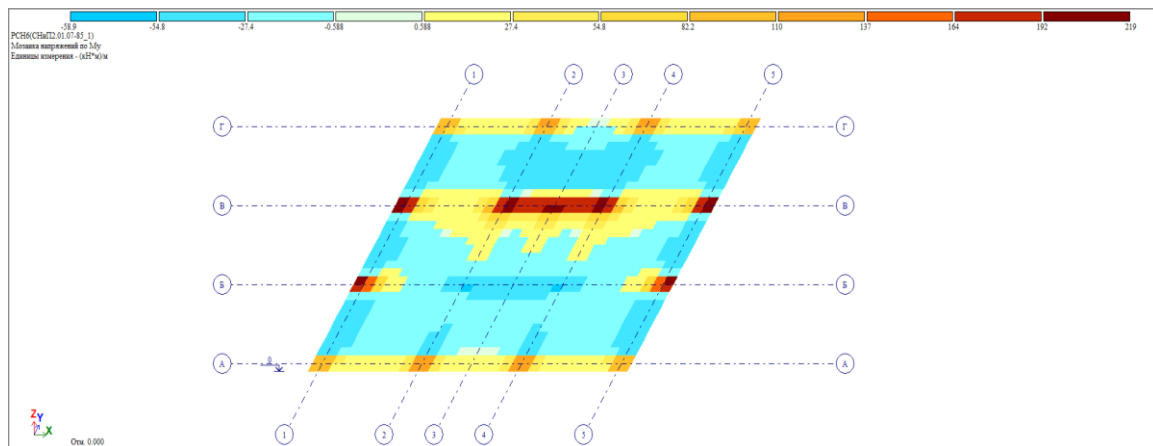


Рис. 3.5.6. Мозаика изгибающих моментов M_y в плитном фундаменте при особом сочетании нагрузок 1+2+3+4+6 (РСН 6), $\text{кН}\cdot\text{м}$

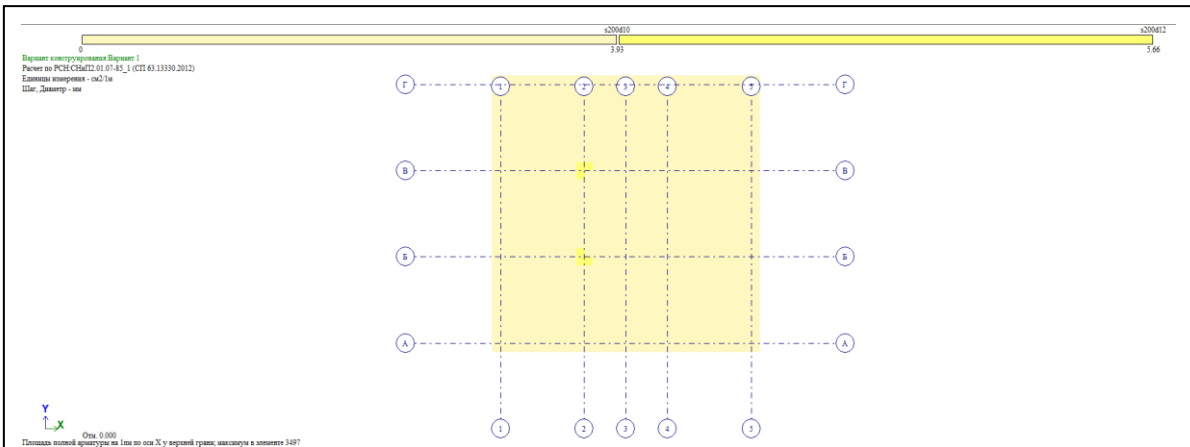


Рис. 3.5.7. Требуемое армирование в верхней зоне плиты фундамента вдоль буквенных осей здания

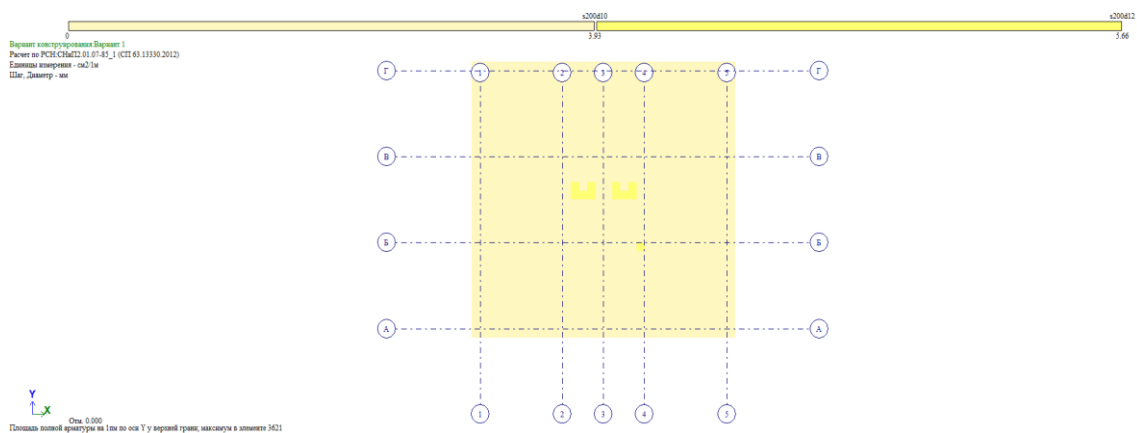


Рис. 3.5.8. Требуемое армирование в верхней зоне плиты фундамента вдоль цифровых осей здания

Анализ показывает, что при особом сочетании нагрузок в **верхней зоне** плитного фундамента в направлении цифровых и буквенных осей требуется основная арматура диаметром 12 мм с шагом 200 мм.

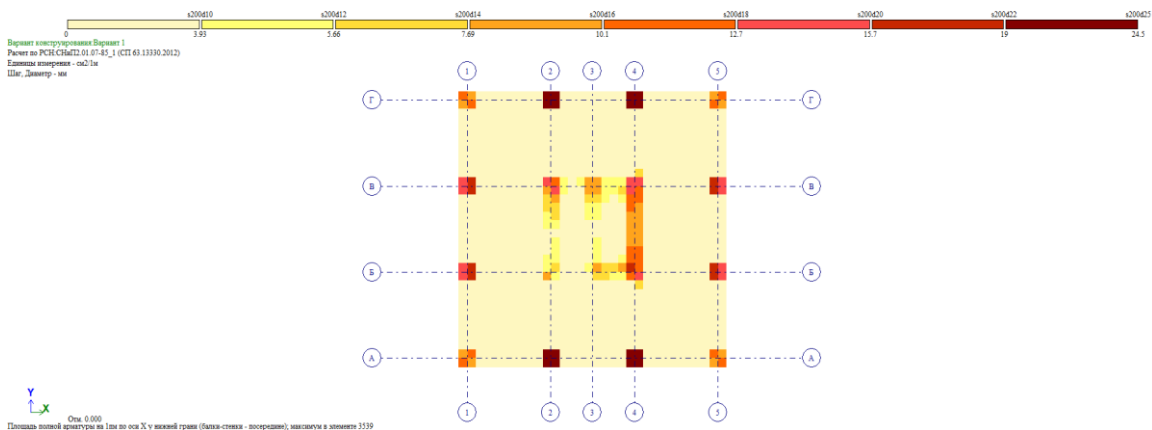


Рис. 3.5.9. Требуемое армирование в нижней зоне плиты фундамента вдоль цифровых осей здания

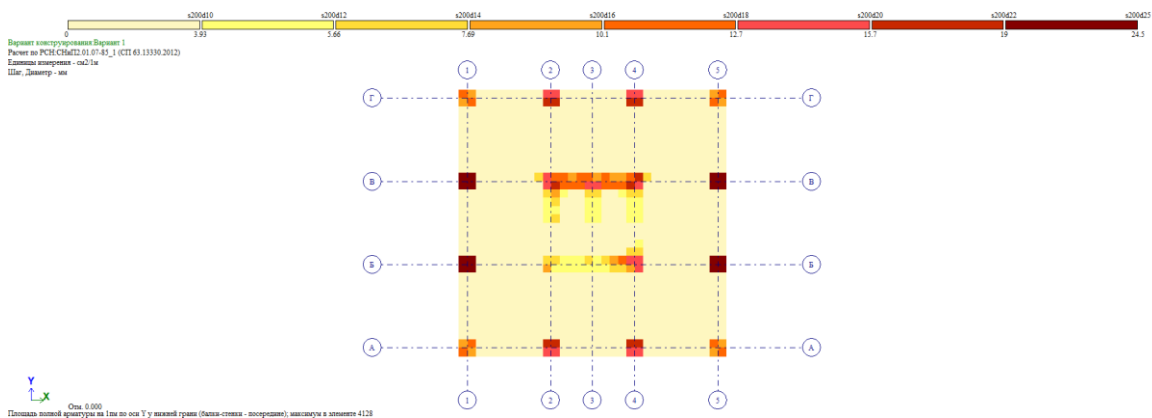


Рис. 3.5.10. Требуемое армирование в нижней зоне плиты фундамента вдоль цифровых осей здания

Анализ результатов расчета показывает, что при особом сочетании нагрузок в **нижней зоне** плитного фундамента в направлении цифровых и буквенных осей требуется основная арматура диаметром 10 мм с шагом 200 мм, что меньше минимально допустимого диаметра 12 мм, рекомендуемого для плитных фундаментах. Поэтому основное армирование плиты окончательно принимаем по конструктивным требованиям стержнями диаметром 12 мм с шагом 200 мм.

В таком случае в опорных зонах в направлении оси Х (буквенные оси здания) под стенами ядра жесткости в осях Б-В/2-4 и под колоннами в осях А/1, А/5, Г/1, Г/5 потребуется дополнительная арматура $\varnothing 16$ А400 с шагом 200 мм, под колоннами в осях Б/1, Б/5, В/1, В/5 – $\varnothing 20$ А400 с шагом 200 мм, в осях А/2, А/4, Г/2, Г/4 – $\varnothing 22$ А400 с шагом 200 мм.

В направлении оси Y (цифровые оси здания) требуется дополнительная арматура:

- под стенами ядра жесткости в осях Б-В/2-4:
 $\varnothing 16$ А400 с шагом 200 мм;
- под колоннами в осях А/1, А/5, Г/1, Г/5:
 $\varnothing 16$ А400 с шагом 200 мм.
- под колоннами в осях Б/1, Б/5, В/1, В/5:
 $\varnothing 22$ А400 с шагом 200 мм;
- под колоннами в осях А/2, А/4, Г/2, Г/4:
 $\varnothing 20$ А400 с шагом 200 мм.

Важно отметить, что при подборе армирования плитного фундамента расчет должен быть проведен также и на основные сочетания нагрузок с использованием моделей грунтового оснований, описывающих работу грунта при статических нагружениях [7]. Окончательное армирование должно приниматься по наибольшему требуемому армированию.

Таблица 3.5.1

**Сводная таблица требуемого армирования плитного
фундамента при особом сочетании нагрузок**

| Зона плиты | Армирование | Площадь сечения арматуры, см ² |
|---|--------------|---|
| В верхней зоне вдоль буквенных осей (по оси X) | | |
| основная | Ø12 А400/200 | 5,66 см ² |
| дополнительное армирование не требуется | | |
| В верхней зоне вдоль цифровых осей (по оси Y) | | |
| основная | Ø12 А400/200 | 5,66 см ² |
| дополнительное армирование не требуется | | |
| В нижней зоне вдоль буквенных осей (по оси X) | | |
| основная | Ø12 А400/200 | 5,66 см ² |
| дополнительное армирование под колоннами в осях: | | |
| А/1, А/5, Г/1, Г/5 | Ø16 А400/200 | $\frac{10,1 \text{ см}^2}{\Sigma=15,76 \text{ см}^2}$ |
| Б/1, Б/5, В/1, В/5 | Ø20 А400/200 | $\frac{12,7 \text{ см}^2}{\Sigma=18,36 \text{ см}^2}$ |
| А/2, А/4, Г/2, Г/4 | Ø22 А400/200 | $\frac{15,7 \text{ см}^2}{\Sigma=21,36 \text{ см}^2}$ |
| доп. армирование под стенами ядра жесткости в осях: | | |
| Б-В/2-4 | Ø16 А400/200 | $\frac{10,1 \text{ см}^2}{\Sigma=15,76 \text{ см}^2}$ |
| В нижней зоне вдоль цифровых осей (по оси Y) | | |
| основная | Ø12 А400/200 | 5,66 см ² |
| дополнительная под колоннами в осях: | | |
| А/1, А/5, Г/1, Г/5 | Ø16 А400/200 | $\frac{10,1 \text{ см}^2}{\Sigma=15,76 \text{ см}^2}$ |
| Б/1, Б/5, В/1, В/5 | Ø22 А400/200 | $\frac{15,7 \text{ см}^2}{\Sigma=21,36 \text{ см}^2}$ |
| А/2, А/4, Г/2, Г/4 | Ø20 А400/200 | $\frac{12,7 \text{ см}^2}{\Sigma=18,36 \text{ см}^2}$ |
| под стенами ядра жесткости в осях: | | |
| Б/2-4, В/2-4 | Ø16 А400/200 | $\frac{10,1 \text{ см}^2}{\Sigma=15,76 \text{ см}^2}$ |

Лист

21

3.6. Определение коэффициентов постели

В качестве основания плитного фундамента выступает песок средней крупности, средней плотности (ИГЭ-1) с расчетными характеристиками:

- мощность $h = 15$ м;
- модуль деформации $E = 22000$ кПа;
- удельный вес $\gamma = 17$ кН/м³;
- коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Для моделирования упруго-податливых свойств грунтового основания плитного фундамента здания были вычислены коэффициенты постели C_1 и C_2 . Коэффициент сжатия C_1 , связывающий интенсивность вертикального отпора грунта с его осадкой, был определен с помощью формулы О.А. Савинова [8–10]:

$$C_1 = C_0 \left(1 + \frac{2(l+b)}{\Delta b} \right) \sqrt{\frac{q}{p_0}} = 18000 \left(1 + \frac{2(19,4+19,4)}{1 \cdot 19,4 \cdot 19,4} \right) \sqrt{\frac{153}{20}} = \\ = 60050,6 \text{ кН/м}^3,$$

где $l = 19,4$ м, $b = 19,4$ м – размеры подошвы фундамента;

Δ – константа упругого основания, равная единице в 1/м;

q – среднее давление под подошвой фундамента, $q = 153$ кПа;

p_0 – давление под опытным штампом, принимаемое равным $2 \text{ т/м}^2 = 20 \text{ кН/м}^2$;

C_0 – коэффициент жесткости упругого основания при давлении $p_0 = 20$ кПа; для песка средней крупности $C_0 = 18000 \text{ кН/м}^3$ (табл. П.1.2, приложения 1 [12]).

Коэффициент сдвига C_2 , характеризующий вертикальные силы сдвига в сыпучих и малосвязных грунтах вследствие зацепления и внутреннего трения между частицами грунта, был определен по формуле Пастернака [7;11]:

$$C_2 = \frac{C_1 H_c^2 (1 - 2\mu_{ГР}^2)}{6(1 + \mu_{ГР})} = \frac{60050,6 \cdot 11^2 \cdot (1 - 2 \cdot 0,3^2)}{6 \cdot (1 + 0,3)} = 763874,42 \text{ кН/м},$$

где $\mu_{ГР} = 0,3$ – усредненный коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) грунтов, расположенных в пределах сжимаемой толщи;

$H_c = 11$ м – мощность сжимаемой толщи грунтов в основании плитного фундамента, получена при расчете осадки плитного фундамента методом послойного суммирования от расчетных вертикальных статических нагрузок.

Список используемой литературы

1. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
3. СП 22.13330. 2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
4. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. ЛИРА-САПР 2013: учебное пособие. – М., 2013. – 376 с.
5. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций.– М.: АСВ, 2009. – 360 с.
6. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова; под ред. академика РААСН А.С. Городецкого. – М.: Электронное издание, 2015. – 460 с.
7. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56 с.
8. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. – Л.: Стройиздат, 1979. – 200 с.
9. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Гостройиздат, 1963. – 636 с.
10. Цытович Н.А. Механика грунтов. Краткий курс: учебник для строительных вузов – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
11. Нуриева Д.М. Расчет пространственного каркаса монолитного железобетонного здания с плитным фундаментом на упругом основании с применением расчетного комплекса Лира-САПР: учебно-методическое пособие. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2017. – 71 с.
12. Официальный сайт ПК ЛИРА-САПР. База знаний. www.liraland.ru, <https://help.liraland.ru>.

Нуриева Д.М.

**РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ
С ПЛИТНЫМ ФУНДАМЕНТОМ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТНОГО
КОМПЛЕКСА ЛИРА-САПР**

Учебно-методическое пособие
к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине
«Сейсмостойкость сооружений» для специальности 08.05.01
«Строительство уникальных зданий и сооружений»