

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 30.09.2026 11:27:39  
Уникальный программный ключ:  
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Строительный институт

Ал.Н. Краев, Ан. Н. Краев, А.Н. Коркишко, П.И Васенин

**РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА УНИКАЛЬНОГО ЗДАНИЯ НА  
УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТНОГО  
КОМПЛЕКСА ЛИРА 10.10**

Учебно-методическое пособие для студентов строительной  
специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений  
Специализация №1 «Строительство высотных и большепролетных зданий  
и сооружений»

Тюмень, 2020

УДК 624.15:624.04:004.9

ББК 38.5

Н90

**Краев Ал.Н., Краев Ан.Н., Коркишко А.Н., Васенин П.И**

Расчет фундамента уникального здания на упругом основании с применением расчетного комплекса ЛИРА 10.10: Учебно-методическое пособие для студентов строительной специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация №1 «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» / Краев Ал.Н., Краев Ан.Н., Коркишко А.Н., Васенин П.И – Тюмень: Изд-во Тюменский индустриальный университет, 2020. – 88 с.

В учебно-методическом пособии описаны требования и рекомендации к выполнению курсового проекта по дисциплине «Спецкурс по проектированию фундаментов уникальных зданий и сооружений». Приведен обучающий пример с применением программного комплекса ЛИРА 10.10 для расчета модели каркаса монолитного железобетонного здания с фундаментом, позволяющий студентам освоить интерфейс программы, особенности компьютерного моделирования и анализа результатов расчетов. Приведены справочные данные по сбору нагрузок на здание и определению коэффициентов постели фундамента, учитывающих податливые свойства грунтового основания.

Учебно-методическое пособие рекомендовано для использования студентам строительной специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация №1 «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» при выполнении расчетных работ, курсовых и дипломных проектов.

Рецензенты:

Кандидат технических наук,  
заведующий кафедры строительные конструкции  
Технический директор ООО «ЛИРА софт»

В.Ф. Бай  
А.В. Колесников

УДК 624.15:624.04:681.5

ББК 38.5

© Тюменский индустриальный университет, 2020

© Краев Ал.Н., Краев Ан.Н., Коркишко А.Н., Васенин П.И., 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                            | 4  |
| 1. Исходные данные .....                                                                                                  | 5  |
| 2. Требования к выполнению расчетной работы .....                                                                         | 10 |
| 3. Пример расчета пространственного каркаса монолитного железобетонного<br>уникального здания с плитным фундаментом ..... | 13 |
| 3.1. Исходные данные для примера расчёта.....                                                                             | 13 |
| 3.2. Начало работы .....                                                                                                  | 15 |
| 3.3. Создание новой задачи .....                                                                                          | 16 |
| 3.4. Создание геометрической схемы.....                                                                                   | 17 |
| 3.5. Задание жесткостных параметров элементам расчётной схемы.....                                                        | 25 |
| 3.6. Задание параметров упругого основания .....                                                                          | 31 |
| 3.7. Задание граничных условий.....                                                                                       | 34 |
| 3.8. Задание нагрузок .....                                                                                               | 35 |
| 3.9. Генерация таблицы РСУ.....                                                                                           | 45 |
| 3.10. Полный расчет схемы .....                                                                                           | 49 |
| 3.11. Просмотр и анализ результатов расчета .....                                                                         | 49 |
| 3.12. Просмотр результатов армирования .....                                                                              | 60 |
| 4. Пример расчета пространственного каркаса монолитного железобетонного<br>уникального здания со свайным фундаментом..... | 62 |
| 5. Расчёт железобетонной плиты на продавливание .....                                                                     | 72 |
| 6. Расчёт фундаментной плиты в физически нелинейной постановке .....                                                      | 74 |
| Список используемых источников.....                                                                                       | 80 |
| Приложение 1. Пример определения нагрузок на здание .....                                                                 | 81 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Виды уникальных зданий и сооружений определены Градостроительным Кодексом Российской Федерации (гл.6, ст.48.1 «Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты»). К уникальным относятся здания и сооружения с высотой превышающей 100 м, для ветроэнергетических установок - более чем 250 м или с величиной пролета более 100 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 15 м.

Большепролетными зданиями и сооружениями являются здания и сооружения, конструктивное решение которого включает хотя бы одну большепролетную конструкцию.

Большепролетная конструкция - это строительная конструкция с пролетом 18 и более метров - для гражданских, 30 и более метров - для промышленных зданий и сооружений или с консолью 9 и более метров.

Высотными зданиями и сооружениями являются здания и сооружения высотой более 75 м.

В современном строительстве массово используют при возведении зданий и сооружений стальные и монолитные железобетонные конструкций. Учитывая, что строительство часто ведется на площадках, сложенных относительно слабыми грунтами, конструктивное решение зданий может предусматривать устройство различных видов фундаментов. Расчёт фундаментов зданий и сооружений рекомендовано выполнять путём моделирования 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 конструкции, особенностей взаимодействия ее отдельных элементов и т.п. Среди распространенных программных комплексов можно отметить такие как: ЛИРА 10.10, 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 пособии представлены требования и рекомендации к выполнению курсового проекта по дисциплине «Спецкурс по проектированию фундаментов уникальных зданий и сооружений». Приведен обучающий пример формирования расчетной модели монолитного каркасного здания с плитным и свайным фундаментом в структуре программы ЛИРА 10.10, позволяющий студенту освоить интерфейс программы, а также изучить механизмы создания компьютерных моделей сооружений и особенности анализа результатов расчета. Приведены справочные данные по сбору нагрузок на здание и определению коэффициентов постели для фундамента, учитывающих податливые свойства грунтового основания.

Методическое пособие рекомендовано для использования студентам строительных специальностей и направлений подготовки при выполнении расчетных работ, курсовых и дипломных проектов.

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Дано 38-этажное здание, выполненное из монолитного железобетона. Здание имеет каркасную конструктивную систему. В качестве несущих элементов выступают колонны, стены лестничных клеток и лифтовых шахт и безбалочные (плоские) плиты перекрытия и покрытия. Несущие элементы выполнены из бетона класса В50 с применением арматуры класса А500С. Плиты перекрытия имеют отверстия в местах устройства лестничных клеток и лифтовых шахт.

Основание фундамента представлено грунтами: песок (ИГЭ-1), глина (ИГЭ-2) и суглинок (ИГЭ-3).

На здание действуют постоянные и временные нагрузки.

Постоянные нагрузки включают в себя:

- собственный вес монолитных конструкций;
- вес кровли на покрытие;
- вес полов и перегородок на перекрытие и фундамент;
- вес наружного стенового ограждения.

Временные нагрузки включают в себя:

- снеговую нагрузку на покрытие;
- временную нагрузку на перекрытие;
- временную нагрузку на фундамент;
- ветровая нагрузка.

В таблице 1 представлены исходные данные для выполнения курсового проекта: параметры здания, характеристики слоёв грунта и значения действующих нагрузок. Выбор исходных данных осуществляется на основании шифра. В качестве шифра принимаются три последние цифры номера зачетной книжки. Например, шифру 123 соответствуют: № плана – 4;  $a = 3,6$  м;  $b = 5,4$  м;  $c = 6,6$  м;  $a = 5,7$  м и т.д.

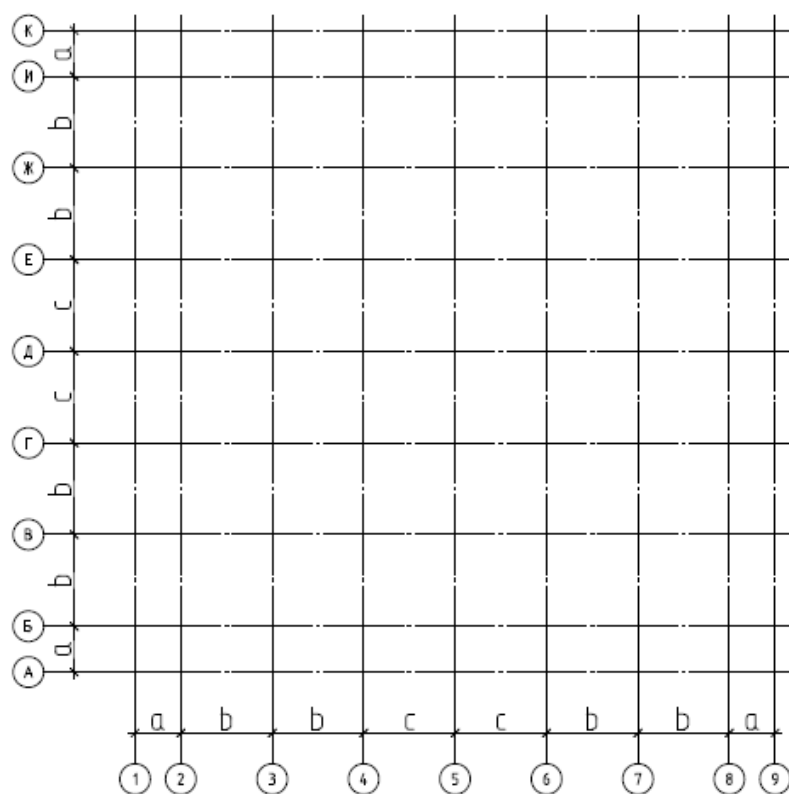
Таблица 1 - Исходные данные

|                                                                                            |          |          |           |           |          |           |          |           |           |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Цифра шифра                                                                                | 0        | 1        | 2         | 3         | 4        | 5         | 6        | 7         | 8         | 9        |
| <b>Параметры здания</b>                                                                    |          |          |           |           |          |           |          |           |           |          |
| № плана (3 цифра шифра)                                                                    | 1        | 2        | 1         | 2         | 1        | 2         | 1        | 2         | 1         | 2        |
| a, м (2 цифра шифра)                                                                       | 3        | 3,3      | 3,6       | 3,9       | 3        | 3,3       | 3,6      | 3,9       | 3         | 3,3      |
| b, м (3 цифра шифра)                                                                       | 6        | 6,6      | 5,7       | 5,4       | 5,1      | 6,9       | 7,2      | 6         | 6,6       | 5,1      |
| c, м (1 цифра шифра)                                                                       | 6        | 6,6      | 6,9       | 6,3       | 6,6      | 7,2       | 6        | 6,6       | 6,3       | 6,9      |
| высота этажа H, м (3 цифра шифра)                                                          | 3,0      | 3,3      | 3,6       | 3,9       | 3,9      | 4,2       | 4,5      | 3,0       | 3,3       | 3,6      |
| количество этажей (2 цифра шифра)                                                          | 35       | 34       | 36        | 33        | 33       | 31        | 30       | 36        | 34        | 38       |
| толщина плит перекрытия, покрытия, мм (2 цифра шифра)                                      | 250      | 350      | 320       | 280       | 220      | 250       | 280      | 260       | 250       | 290      |
| толщина фундаментной плиты (плитный фундамент) / (свайный фундамент), мм (1 цифра шифра)   | 2000/800 | 2100/900 | 2200/1000 | 2050/1100 | 2150/900 | 2300/1000 | 2350/800 | 2450/1000 | 3000/1100 | 2300/900 |
| сечение колонн, м (3 цифра шифра)                                                          | 0,9×0,9  | 0,8×0,8  | 1,0×1,0   | 0,6×0,6   | 0,8×0,8  | 1,2×1,2   | 0,7×0,7  | 1,0×1,0   | 0,8×0,8   | 0,9×0,9  |
| толщина монолитных стен, мм (2 цифра шифра)                                                | 1000     | 900      | 1200      | 1100      | 950      | 1250      | 1050     | 1110      | 1260      | 1160     |
| <b>Нагрузки</b>                                                                            |          |          |           |           |          |           |          |           |           |          |
| Постоянные нагрузки:                                                                       |          |          |           |           |          |           |          |           |           |          |
| - <b>нормативная нагрузка от веса кровли, кН/м<sup>2</sup> (2 цифра шифра)</b>             |          |          |           |           |          |           |          |           |           |          |
| Пароизоляция                                                                               | 0,03     | 0,04     | 0,06      | 0,05      | 0,08     | 0,08      | 0,05     | 0,09      | 0,04      | 0,05     |
| Утеплитель толщиной 120 мм, плотностью 30 кг/м <sup>3</sup>                                | 0,064    | 0,042    | 0,055     | 0,074     | 0,054    | 0,075     | 0,024    | 0,034     | 0,064     | 0,044    |
| Разуклонка из керамзитобетона плотностью 600 кг/м <sup>3</sup> толщиной до 200 мм          | 1,2      | 1,6      | 1,1       | 1,4       | 1,7      | 1,0       | 1,7      | 1,3       | 1,25      | 1,15     |
| Цементно-песчаная стяжка толщиной 40 мм, плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup>                 | 0,78     | 0,86     | 0,81      | 0,65      | 0,67     | 0,54      | 0,43     | 0,64      | 0,82      | 0,70     |
| Гидроизоляция                                                                              | 0,31     | 0,38     | 0,44      | 0,35      | 0,37     | 0,46      | 0,48     | 0,33      | 0,37      | 0,39     |
| - <b>нормативная нагрузка от веса полов на фундамент, кН/м<sup>2</sup> (1 цифра шифра)</b> |          |          |           |           |          |           |          |           |           |          |
| Пол из легкого бетона плотностью до 1200 кг/м <sup>3</sup> толщиной 50 мм                  | 0,62     | 0,73     | 0,68      | 0,71      | 0,65     | 0,76      | 0,67     | 0,83      | 0,72      | 0,61     |
| Керамогранит толщиной 10 мм на клею ВЕТОНИТ                                                | 0,32     | 0,38     | 0,42      | 0,29      | 0,33     | 0,37      | 0,41     | 0,40      | 0,39      | 0,31     |

|                                                                                                      |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| <b>- нормативная нагрузка от веса стен ограждающих конструкций, кН/м<sup>2</sup> (2 цифра шифра)</b> |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| Блоки из газобетона толщиной 400 мм плотностью 400 кг/м <sup>3</sup> ;                               | 1,65     | 1,78     | 1,54     | 1,61     | 1,72     | 1,69     | 1,63    | 1,58    | 1,57     | 1,62     |
| Утеплитель толщиной 150 мм, плотностью до 65 кг/м <sup>3</sup>                                       | 0,12     | 0,15     | 0,11     | 0,18     | 0,13     | 0,14     | 0,18    | 0,19    | 0,16     | 0,10     |
| Навесной фасад из керамогранита                                                                      | 0,61     | 0,68     | 0,63     | 0,67     | 0,69     | 0,71     | 0,64    | 0,62    | 0,60     | 0,65     |
| Слой цементно-песчаной штукатурки толщиной 20 мм плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup>                   | 0,35     | 0,38     | 0,36     | 0,44     | 0,41     | 0,30     | 0,35    | 0,37    | 0,39     | 0,40     |
| <b>- нормативная нагрузка от веса полов и перегородок, кН/м<sup>2</sup> (3 цифра шифра)</b>          |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| Стяжка из цементно-песчаного раствора толщиной до 40 мм, плотностью до 1800 кг/м <sup>3</sup>        | 0,72     | 0,74     | 0,68     | 0,71     | 0,69     | 0,67     | 0,75    | 0,65    | 0,79     | 0,77     |
| Линолеум                                                                                             | 0,11     | 0,13     | 0,14     | 0,17     | 0,15     | 0,16     | 0,15    | 0,14    | 0,11     | 0,19     |
| Вес перегородок                                                                                      | 1,05     | 1,15     | 1,18     | 1,25     | 1,20     | 1,60     | 1,45    | 1,31    | 1,24     | 1,32     |
| <b>- нормативная нагрузка от веса парапетов, кН/м (1 цифра шифра)</b>                                | 7,55     | 6,58     | 7,22     | 7,34     | 6,87     | 6,97     | 6,68    | 6,90    | 7,20     | 7,10     |
| Временные нагрузки:                                                                                  |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| - на покрытие (снег), снеговой район (3 цифра шифра)                                                 | 6        | 3        | 2        | 5        | 3        | 4        | 5       | 3       | 5        | 4        |
| - на перекрытие, кН/м <sup>2</sup> (1 цифра шифра)                                                   | 150      | 200      | 150      | 400      | 150      | 200      | 400     | 200     | 150      | 400      |
| - на фундамент, кН/м <sup>2</sup> (2 цифра шифра)                                                    | 400      |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| - ветровая нагрузка, ветровой район                                                                  | 4        | 2        | 3        | 4        | 5        | 2        | 3       | 4       | 2        | 3        |
| <b>Характеристики грунтов</b>                                                                        |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| ИГЭ-1: песок средней крупности                                                                       |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| - мощность слоя h, м, для скважины С1/С2/С3 (1 цифра шифра)                                          | 11/18/16 | 16/18/12 | 13/16/11 | 14/10/17 | 18/16/10 | 19/12/15 | 19/13/6 | 18/8/19 | 16/19/13 | 18/14/10 |
| - модуль деформации E, кПа (2 цифра шифра)                                                           | 68000    | 76000    | 81000    | 69000    | 78000    | 77000    | 69800   | 72000   | 68000    | 72200    |
| - удельный вес γ, кН/м <sup>3</sup> (3 цифра шифра)                                                  | 18,8     | 19,7     | 18,4     | 20,0     | 16,5     | 19,7     | 19,8    | 19,6    | 17,5     | 19,2     |
| - коэффициент Пуассона μ (1 цифра шифра)                                                             | 0,3      | 0,3      | 0,3      | 0,3      | 0,3      | 0,3      | 0,3     | 0,3     | 0,3      | 0,3      |
| ИГЭ-2: суглинок мягкопластичный                                                                      |          |          |          |          |          |          |         |         |          |          |
| - мощность слоя h, м, для скважины С1/С2/С3 (1 цифра шифра)                                          | 6/3/8    | 7/4/10   | 8/6/9    | 3/8/7    | 5/8/3    | 7/9/6    | 4/7/9   | 5/7/6   | 8/3/7    | 6/3/8    |

[illegible]

План 1



План 2

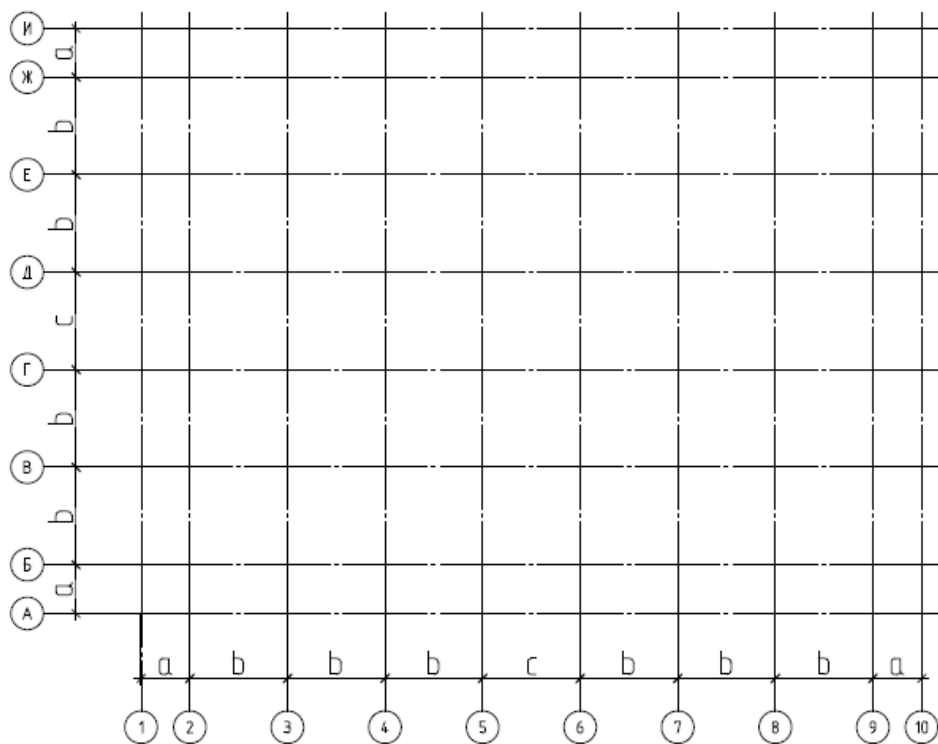


Рис. 1. Схемы планов здания

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

При выполнении курсового проекта требуется создать пространственную расчетную модель каркаса в структуре программы ЛИРА 10.10. Задать параметры жесткости несущих железобетонных элементов, опорные крепления (связи), нагрузки. Расположение стен ядра жесткости здания, колонн и диафрагм назначается самостоятельно студентом. При формировании нагружений необходимо создать 5 загрузений. В первом загрузении задать собственный вес монолитных конструкций; во втором – нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения, парапетов; в третьем – временные нагрузки на перекрытие, фундамент; в четвертом – снеговую нагрузку на покрытие; в пятом загрузении – ветровую нагрузку. Произвести генерацию таблицы расчетных сочетаний усилий (РСУ). Для учета работы грунтового основания рассчитать коэффициенты постели для плитного и свайного фундамента. В структуре программы произвести расчет, и получить напряженно-деформированное состояние (НДС) фундаментной плиты и, дополнительно, требуемое армирование фундаментной плиты. 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 10.10; описание типов используемых конечных элементов; информацию о заданных загрузениях.

Результаты расчета должны отражать:

- деформированное состояние каркаса;
- эпюры внутренних усилий в колоннах;
- вертикальные перемещения и мозаики изгибающих моментов в плите покрытия или перекрытия;
- вертикальные перемещения и мозаики изгибающих моментов в плитах фундамента;
- требуемое и принятое армирование верхней и нижней зоны плит фундамента.

Отображение деформированного состояния каркаса, НДС колонн и плиты фундамента производить от комбинации нагрузок (собственный вес монолитных конструкций + нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения, парапетов + временные нагрузки на перекрытие, фундамент + снеговая нагрузка на покрытие + ветровая нагрузка), плиты покрытия – (собственный вес монолитных конструкций + нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения, парапетов + снеговая нагрузка на покрытие), перекрытия – (собственный вес монолитных конструкций + нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения, парапетов + временные нагрузки на перекрытие, фундамент).

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 преподавателю сдается на проверку в электронном виде рабочий файл решаемой задачи. Файл должен иметь расширение \*.fer (формируется в структуре программы ЛИРА 10.10). Имя файла должно отражать фамилию, номер группы и шифр студента. Например: Иванов СУЗ- 16-123.fer.

### 3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО УНИКАЛЬНОГО ЗДАНИЯ С ФУНДАМЕНТОМ

#### 3.1 Исходные данные для примера расчёта

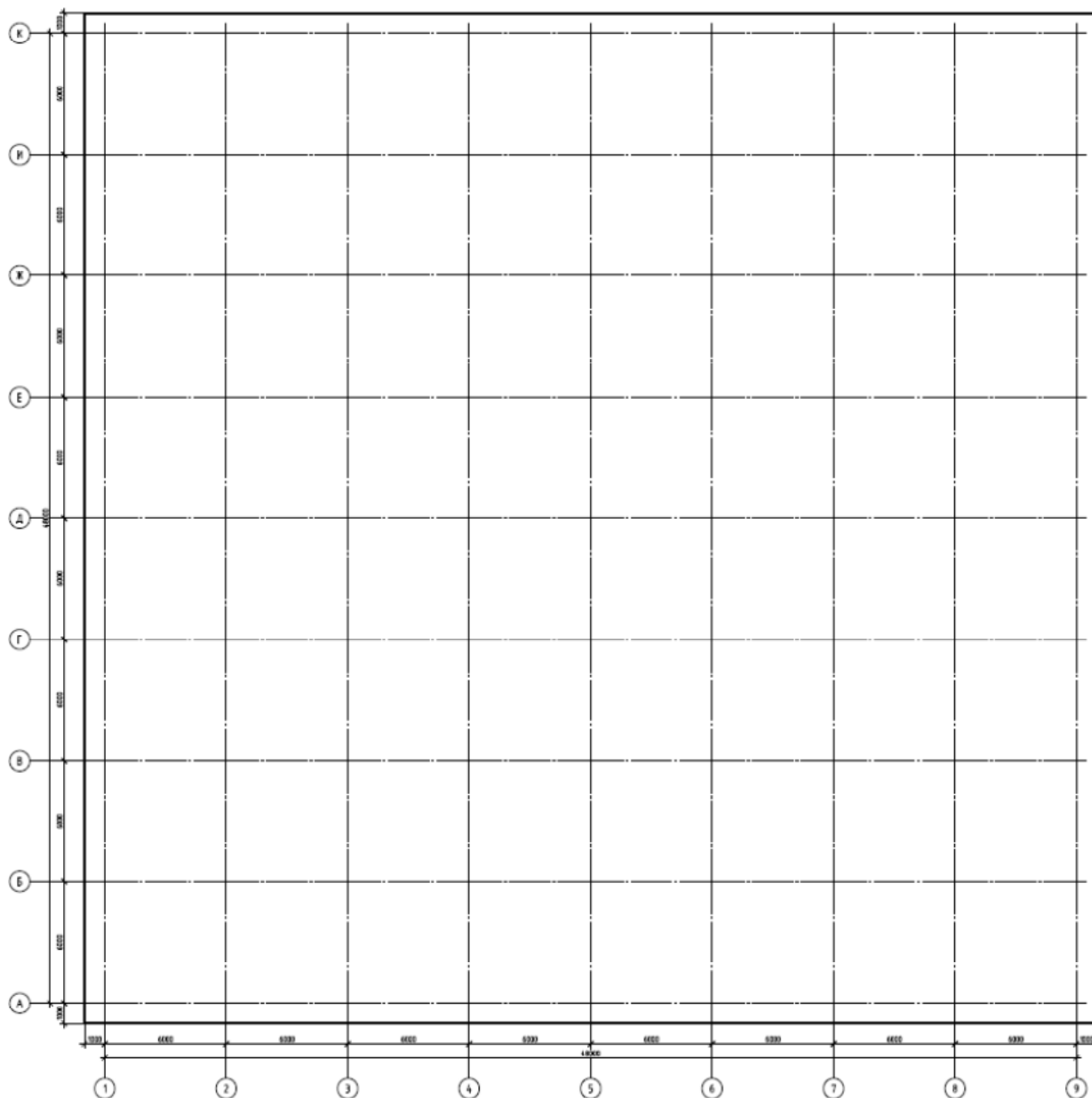


Рис. 2. План здания с контуром фундаментной плиты

#### *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. Рассматриваемые фундаменты: плитный сплошного сечения и свайный.

В качестве основания фундамента служат следующие инженерно-геологические элементы с расчетными характеристиками:

#### Песок (ИГЭ-1)

- мощность:  $h_{\text{скважина \#1}}=12,5$  м;  $h_{\text{скважина \#2}}=10,3$  м;  $h_{\text{скважина \#3}}=8,7$  м;
- модуль деформации  $E = 88000$  кПа;
- удельный вес  $\gamma = 17,5$  кН/м<sup>3</sup>;
- коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ .

#### Суглинок (ИГЭ-2)

- мощность:  $h_{\text{скважина \#1}}=18,5$  м;  $h_{\text{скважина \#2}}=12,4$  м;  $h_{\text{скважина \#3}}=14,7$  м;
- модуль деформации  $E = 63000$  кПа;
- удельный вес  $\gamma = 18,7$  кН/м<sup>3</sup>;
- коэффициент Пуассона  $\mu = 0,35$ .

#### Глина (ИГЭ-3)

- мощность:  $h_{\text{скважина \#1}}=19,5$  м;  $h_{\text{скважина \#2}}=17,4$  м;  $h_{\text{скважина \#3}}=20,1$  м;
- модуль деформации  $E = 82000$  кПа;
- удельный вес  $\gamma = 19,8$  кН/м<sup>3</sup>;
- коэффициент Пуассона  $\mu = 0,38$ .

#### Параметры несущих элементов:

- колонны сечением 800×800 мм;
- стены ядра жесткости толщиной 1000 мм;
- плиты перекрытия и покрытия толщиной 250 мм;
- плитный фундамент толщиной 2000 мм;
- плита свайного фундамента 1000 мм;
- вылет консолей фундаментной плиты относительно крайних

осей 1000 мм;

- глубина заложения фундамента 9000 мм (три подземных этажа).

#### Материалы:

- бетон класса В50 с модулем деформации  $E = 3 \cdot 10^7$  кПа;
- арматура класса А500С.

#### Нагрузки

##### Постоянные расчетные нагрузки:

- от собственного веса монолитных конструкций (задается автоматически в структуре программы ЛИРА 10.10);
- от веса кровли на покрытие - 2,96 кПа;
- от веса полов и перегородок на перекрытие - 2,26 кПа;
- от веса полов на фундамент - 1,14 кПа;
- от веса стен ограждающих конструкций - 8,25 кН/м;
- от веса парапетов - 7,52 кН/м.

##### Временные расчетные нагрузки:

- от веса снега на плиту покрытия - 2,8 кПа;
- временная на плиту перекрытия - 1,95 кПа;
- временная на фундаментную плиту - 4,8 кПа.

Примечание: расчетные временные нагрузки принимались на основании СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Расчет каркаса производится на основные сочетания нагрузок, в состав которых входят:

*загрузка 1* – собственный вес монолитных конструкций здания;

*загрузка 2* – вес кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения;

*загрузка 3* – временная нагрузка на плиту перекрытия, фундамент;

*загрузка 4* – снеговая нагрузка на плиту покрытия;

*загрузка 5* – временная ветровая нагрузка.

### 3.2. Начало работы

Для того чтобы открыть программу ЛИРА 10.10 необходимо выполнить следующую команду Windows:

**Пуск → Программы → LIRA-soft → Lira 10.8 → LIRA10.8x64.**

## Примечание

1. Открытие программы также возможно с помощью ярлыка, установленного на рабочем столе.

### 3.3. Создание новой задачи

➤ Для создания новой задачи выберите пункт **Новый проект** → *Создать новый проект*.

➤ В диалоговом окне **Параметры проекта** (рис. 4) задайте следующие параметры:

- признак схемы – 5 (шесть степеней свободы в узле  $X, Y, Z, U_x, U_y, U_z$ );
- имя создаваемой задачи – **Иванов СУЗ-16-123** (при выполнении расчетной работы указывается фамилия, номер группы и три последние цифры зачетной книжки (шифр); в остальных случаях может задаваться любое имя, например, **каркас, фундамент, нелинейный расчёт**);
- описание задачи – расчет пространственного каркаса уникального здания фундаментом на упругом основании. Расчетная работа.

➤ После щелкните по кнопке → **Создать**.

Параметры проекта

Имя: Иванов СУЗ-16-123 (2)

Описание:

Тип создаваемой задачи

☐ (1) Плоская ферма или балка-стенка (X,Z)

☐ (2) Плоская рама (X,Z,Uy)

☐ (3) Плоская плита или ростверк (Z,Ux,Uy)

☐ (4) Пространственная ферма или объемный массив (X,Y,Z)

☒ (5) Пространственная конструкция (X,Y,Z,Ux,Uy,Uz)

☐ (7) Пространственная конструкция с учетом деформации стержней (X,Y,Z,Ux,Uy,Uz,W)

☐ В задаче будут присутствовать нелинейные элементы

☐ В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ»

☐ В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+»

☐ В задаче будет использоваться система «МОСТ»

☐ В задаче будет использоваться система «PUSHOVER»

☐ Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ»)

☐ Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)

☐ Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Применить изменения Отменить

Рис. 3. Диалоговое окно «Параметры проекта»

### 3.4. Создание геометрической схемы

Расположения и количество вертикальных элементов (стены, колонны, пилоны) в плане и по высоте здания может быть различным. Студент самостоятельно разрабатывает схему расположения вертикальных элементов в плане и на этажах здания.

#### Создание строительных осей и отметок здания (рис. 5)

- Создайте строительные оси. Активируйте функцию → **Строительные оси и отметки** (панель → **Создание** на вкладке → **Создание и редактирование**, кнопка ). В открывшемся диалоговом окне → **Строительные оси** установите флажки в разделе → **Привязка**. Вручную задаются значения координат привязки строительных осей по осям X и Y. Флажки в квадратном окне устанавливаются со стороны выноса подписи строительных осей здания. В диалоговом окне → **Маркировка и интервалы** задаются возможные варианты буквенных и численных маркировок и интервалы между осями.

- в поле → **Плоскость отображения осей** задав числовое значение можно поднять координатную сеть по оси Z или задать уровень сети курсором мышки (выделить узел, нажать правую клавишу мышки и выбрать из меню → **Установить координату Z плоскости отображения осей**);

- С помощью кнопок  можно добавлять несколько сеток осей, или удалять.

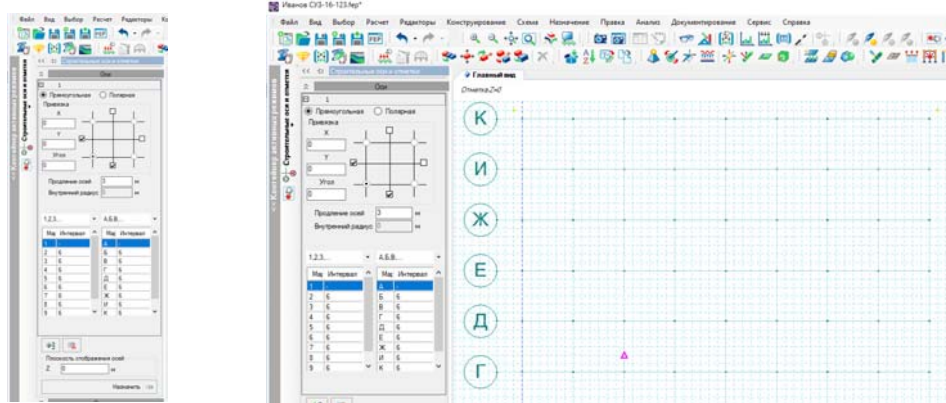


Рис. 4. Расчетная схема с отображением строительных осей и отметок

### Создание фундаментной плиты и плит перекрытия и покрытия:

➤ во вкладке → **Координационная сеть** для удобства построения увеличим количество шагов до 50);

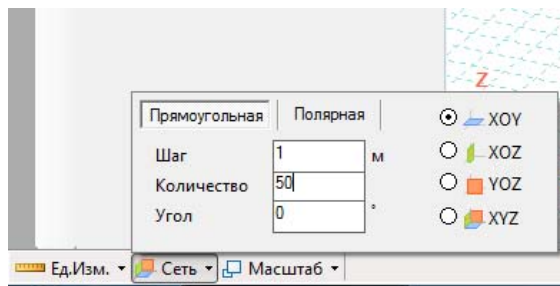


Рис. 5. Параметры координационной сети

➤ так как фундаментная плита выходит за границы осей на 1 м, необходимо добавить узлы в угловых точках схемы используя кнопку на панели инструментов →  **Добавить узлы**. При активной панели → **Добавить узлы** предоставляются следующие возможности задания узла/узлов:

1) По координатам – задание значений координат новых узлов в соответствующих полях ввода;

2) На сети построения – добавление в расчетную схему новых узлов указанием курсора мыши на точки пересечения сети построения.

➤ На схеме укажите курсором на точки пересечения Сети построения места добавления узлов. Добавленный узел должен окраситься в зеленый цвет. На рисунке 7, для наглядности, добавленные узлы выделены красным цветом.

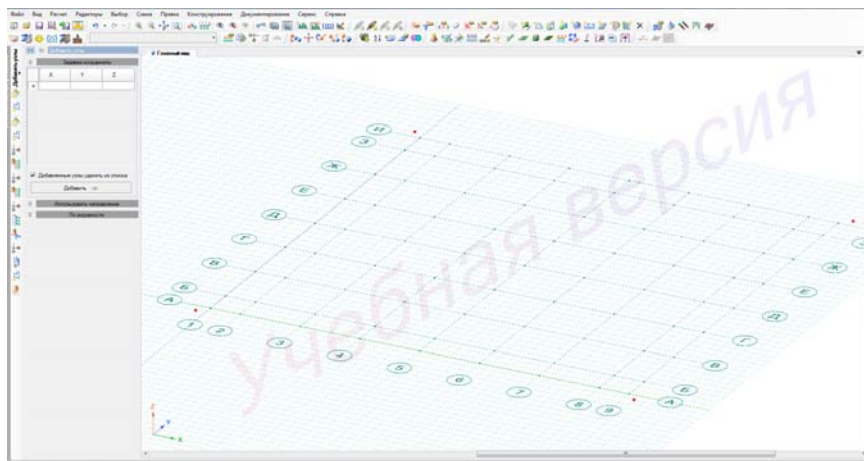


Рис. 6. Добавленные узлы в расчетной схеме выделены красным цветом

➤ Используя кнопку  **Архитектурные элементы** на панели инструментов. Используя во вкладке → **Задание** активируя радио-кнопку → **Внешний контур пластины** путем привязки к добавленным узлам создадим архитектурный элемент → **Пластину**.

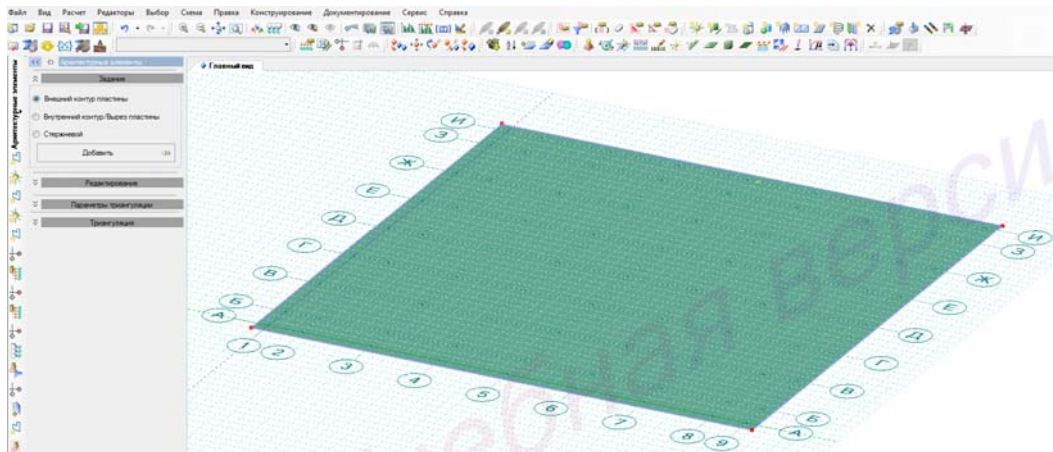


Рис. 7. Создание фундаментной плиты в расчётной схеме

### Создание колонн

➤ Для создания колонн необходимо добавить узел в точке пересечения строительных осей в месте расположения оси колонны и скопировать данный узел на высоту этажа - 3м или устанавливать колонны путем привязки к координатной сети используя вкладку → **Архитектурные элементы** .

➤ Процесс добавления узлов был описан выше. Для выполнения копирования узла используем кнопку на панели инструментов  → **Копировать выбранный фрагмент**. Раскрывающаяся панель → **Использовать смещения (dX, dY, dZ)** нужно ввести необходимые координаты в направлении которых будет копироваться выделенный фрагмент, а также ввести количество копируемых элементов. После ввода необходимых параметров нажать кнопку → **Копировать**.

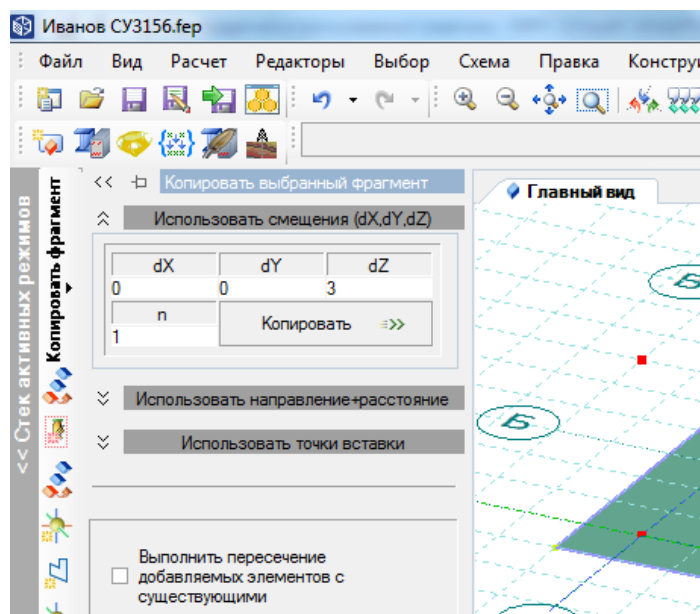


Рис. 8. Копирование узла

➤ Используя кнопку → **Архитектурные элементы**  на панели инструментов. Используя во вкладке → **Задание** активируя радио-кнопку → **Колонна** и указав в окне → **Высота этажа** - 3 метра, путем привязки к добавленным узлам или привязываясь к координатной сети нажав на левую кнопку мышки создадим архитектурный элемент – **Колонна**.

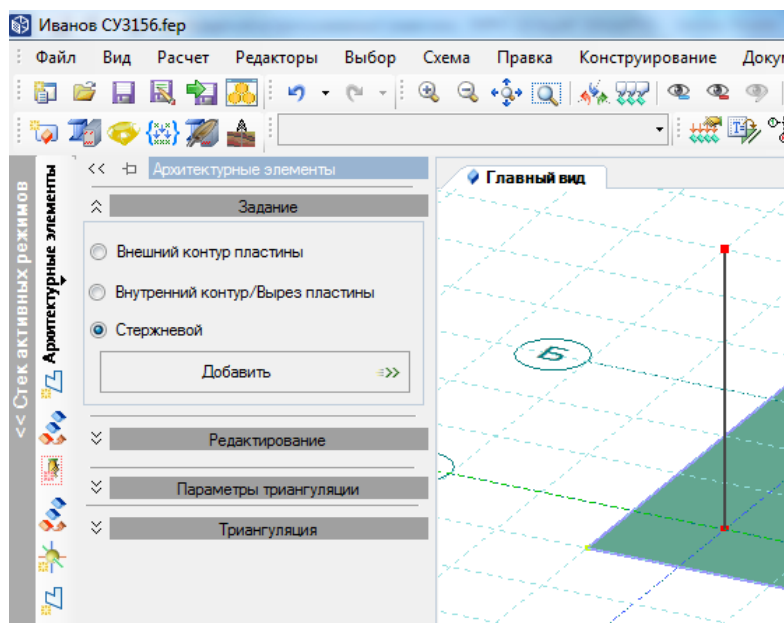


Рис. 9. Создание архитектурного элемента колонна

➤ Для удобства копирования стержневых архитектурных элементов, предварительно выделив плиту и используя кнопку на панели инструментов →



Скрыть выделенное скроем плитку.

- Используя кнопку на панели инструментов →  **Копировать выбранный фрагмент**. Предварительно выделив стержневой архитектурный элемент в раскрывающейся панели → **Использовать точки вставки** копируем вручную стержневые элементы согласно разработанной схеме расположения колонн в плане.

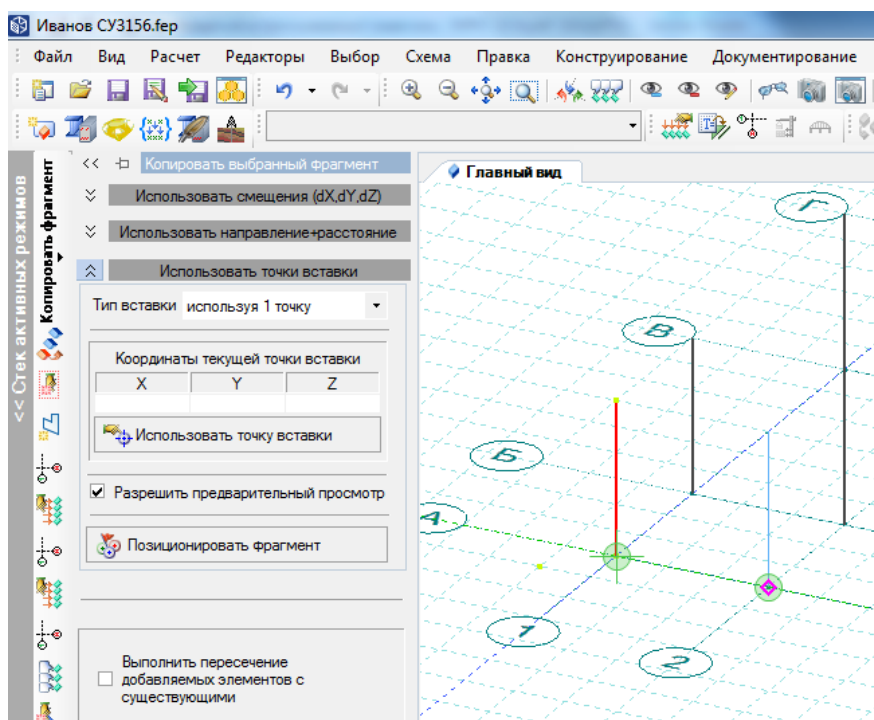


Рис. 10. Копирование колонн

### Создание монолитных железобетонных стен

- Используя кнопку →  **Архитектурные элементы** на панели инструментов. Используя во вкладке → **Задание** активируя радио-кнопку → **Внешний контур пластины** путем привязки к вертикальным стержням в месте расположения плит ядра жесткости здания создадим архитектурные элементы → **Пластины**.

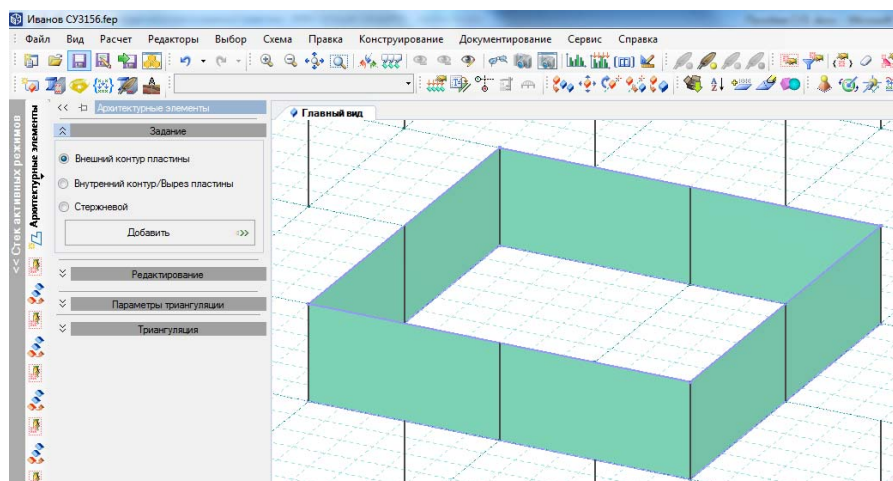


Рис. 11. Создание вертикальных стен ядра жесткости здания

➤ Для формирования проёмов в стенах ядра жесткости здания создаём два узла по нижней грани стены и копируем эти узлы на высоту проёма. После этого используя кнопку →  **Архитектурные элементы** на панели инструментов и активируя радио-кнопку → **Проём/Вырез пластины** формируем запланированные проемы.

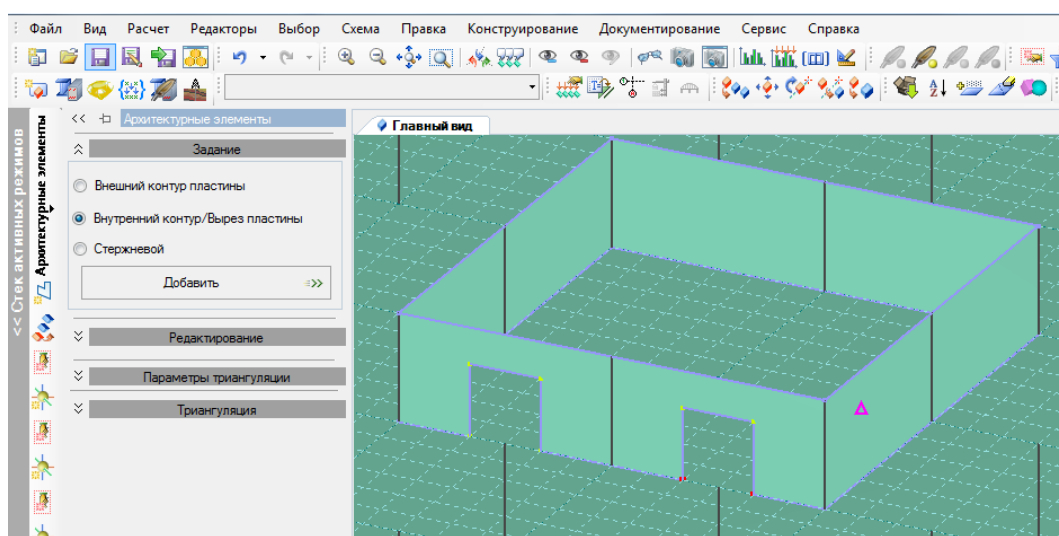


Рис. 12. Формирование проёмов в вертикальных стенах

Так как по заданию глубина заложения фундамента здания составляет 9 метров необходимо выполнить компоновку вертикальных элементов (для обеспечения жесткости фундаментной плиты рекомендовано использовать в качестве вертикальных элементов подземных этажей - стены) трёх подземных этажей. Схема расстановки вертикальных элементов подземных этажей представлена на рисунке 13.

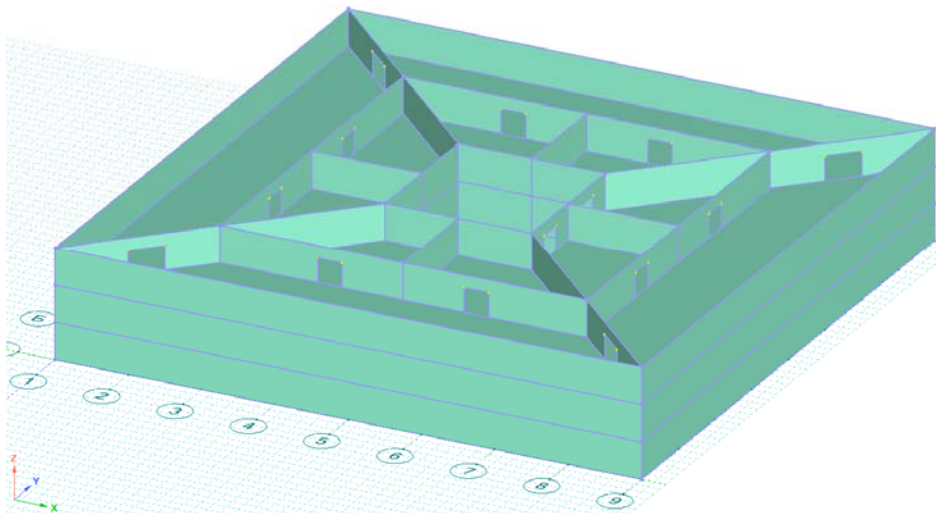


Рис. 13. Схема расстановки вертикальных элементов подземных этажей здания

Для удобства создания элементов надземных этажей перенесем  
→ **Координатную сеть построения** и → **Строительные оси и отметки на 9 метров** вдоль оси Z.

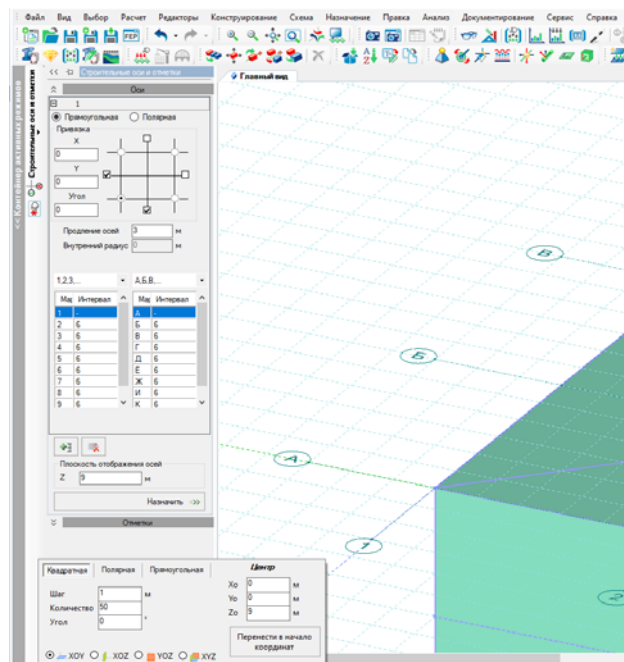


Рис. 14. Перенос координатной сети построения

*Создайте плиту перекрытия третьего подземного этажа* используя кнопку

→  **Архитектурные элементы** на панели инструментов. В плите перекрытия первого этажа вырезаем отверстие ограниченное стенами ядра

**жесткости** используя кнопку →  **Архитектурные элементы** на панели

инструментов и активируя радио-кнопку → **Проем/Вырез.**

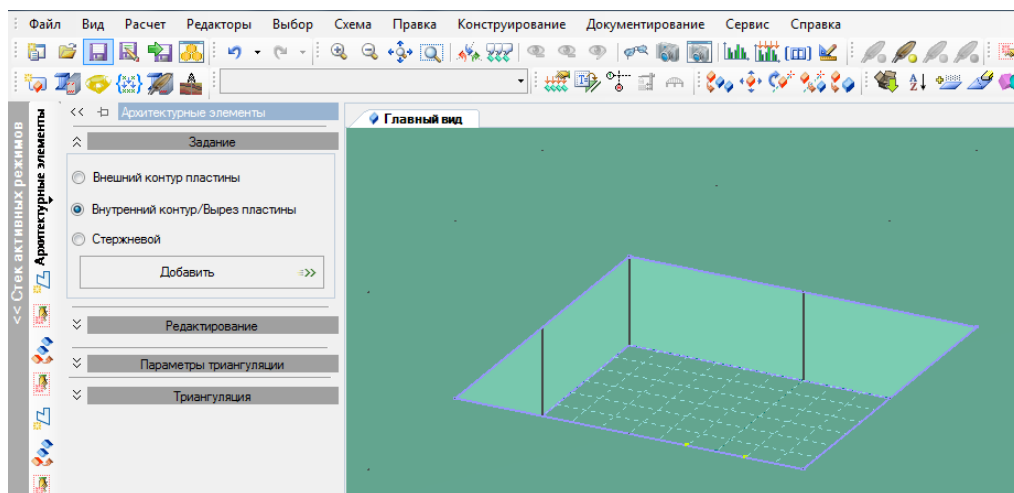


Рис. 15. Формирование отверстия в плите перекрытия

➤ Далее копируем элементы четвертого этажа и выполняем копирование этажей по заданию используя кнопку на панели инструментов →



**Копировать выбранный фрагмент.**

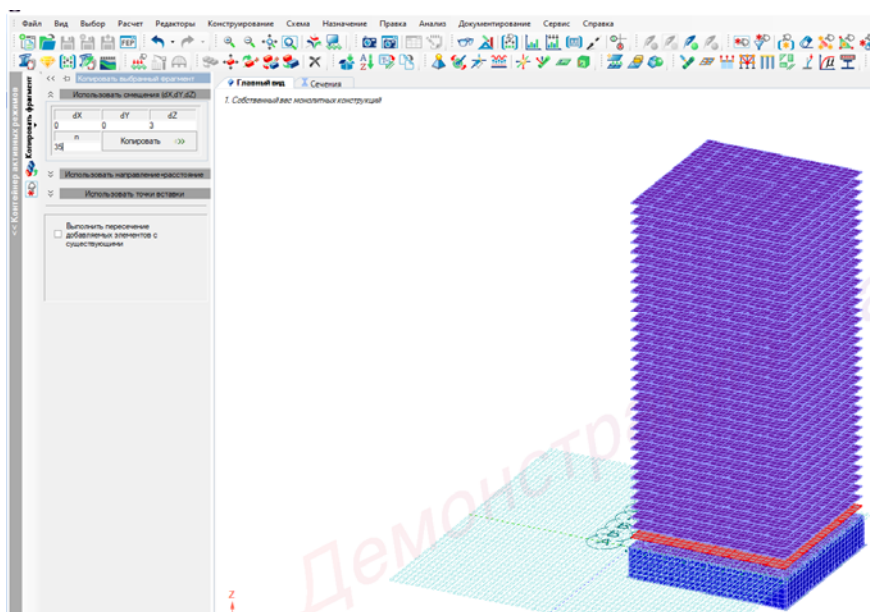


Рис. 16. Копирование элементов четвертого надземного этажа здания

### Создание плиты покрытия:

➤ Удаляем верхнюю плиту здания с отверстием и используя кнопку →



**Архитектурные элементы** на панели инструментов создаём плиту покрытия.

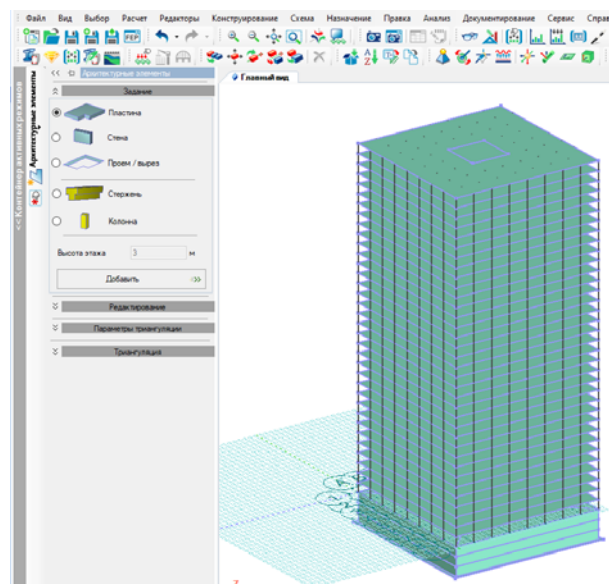


Рис. 17. Формирование плиты покрытия

### 3.5. Задание жесткостных параметров элементам расчетной 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

- *Формирование жесткостей элементов расчетной схемы:*

- щелчком по кнопке →  **Редактор сечений/жесткостей** (на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис. 18).
- в этом окне щелкните по кнопке → **Параметрические сечения** для того, чтобы вывести список стандартных типов сечений;
- в библиотеке закладки → **Параметрические сечения** выпадающего окна выберите двойным щелчком мыши → **Брус**;
- в появившемся окне → **Описание** напишите → **Колонна 800x800 мм** и задайте размеры сечения колонны:

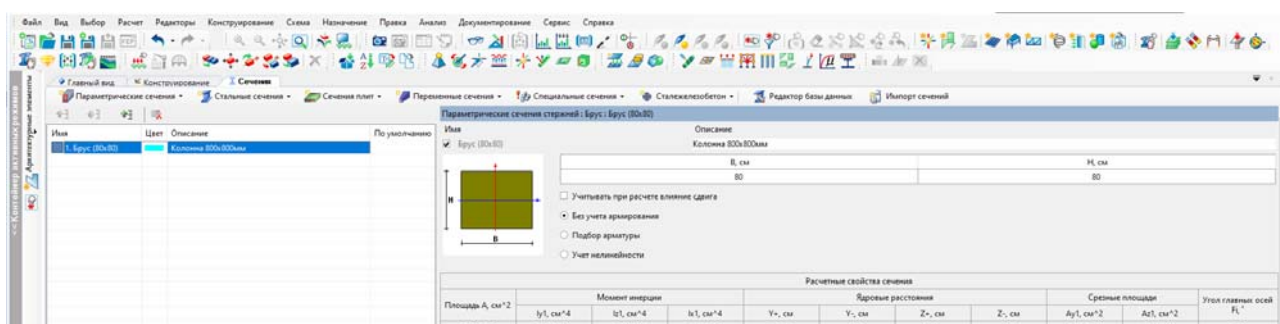


Рис. 18. Формирование параметров сечения колон

Далее формируем жесткости фундаментной плиты, плит перекрытия и покрытия, стен ядра жесткости аналогичным способом выбирая вкладку → **Сечение плит** → **Пластина** (рис. 19).

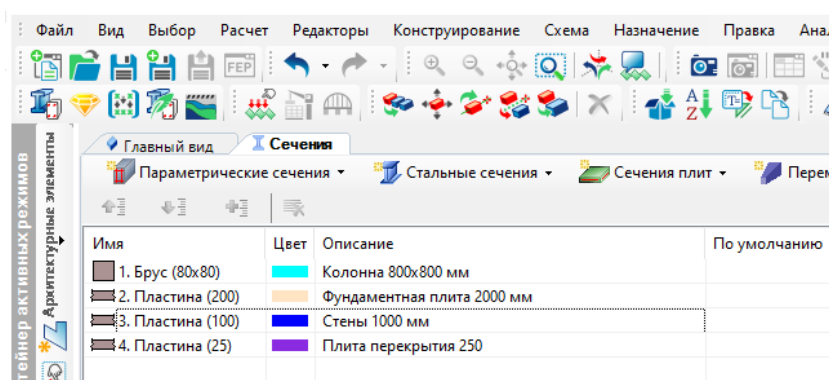


Рис. 19. Формирование параметров сечения элементов здания

➤ После этого необходимо назначить тип материала конечным элементам используя кнопку на панели инструментов → **Редактор материалов**. Выбрав из горизонтальных закладок → **Материал из базы данных** в выпадающей вкладке выбираем → **Бетон из базы данных** → СП 63-

13330-2012. Выбрать материал В50.

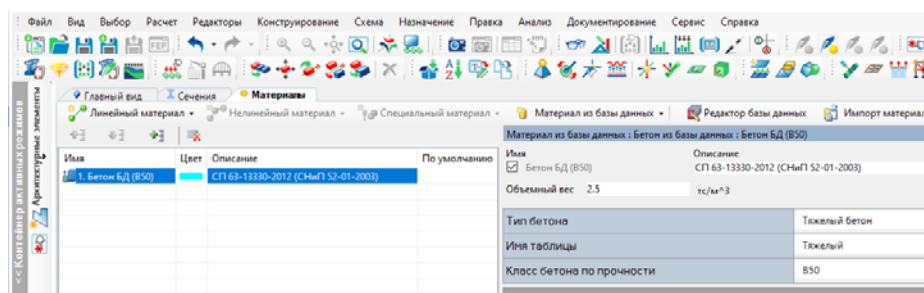


Рис. 20. Назначение типа материала

### Назначение жесткостей элементам схемы

➤ *Назначьте жесткость и материал колоннам:*

- При помощи кнопки на панели инструментов →  **Фильтр выбора** в горизонтальных вкладках выбираем → **Фильтр по архитектурным элементам** ставим галочку на вкладку → **по типу** в выпадающем меню выбираем вкладку → **(10) Универсальный конечный элемент пространственного стержня/Архитектурный стержень** и нажимаем кнопку → **Выбрать**. Стержневые элементы выделяются красным цветом.

- При помощи кнопки на панели инструментов →  **Назначить выбранным элементов сечений/материалов** назначаем ранее заданные сечение и материал колонн нажав кнопку → **Назначить**.

- Используя кнопку на панели инструментов →  **Атрибуты представления** выбрав в выпадающем меню → **Отображение с учетом назначенных сечений** и нажав кнопку → **Назначить** визуально станут видны элементы с назначенными жесткостями.

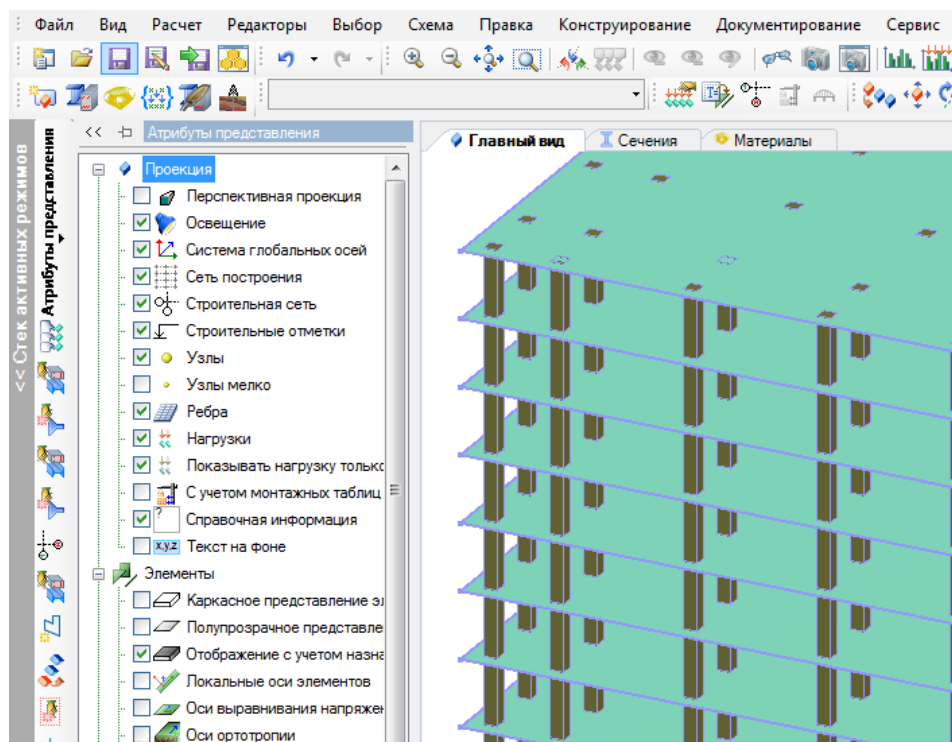


Рис. 21. Отображение колонн с учетом назначенных жесткостей

➤ *Назначьте жесткость и материал монолитным стенам:*

- Для удобства назначения выделим стены здания и используя кнопку

на панели инструментов →  **Скрыть невыделенное** скроем остальные элементы.

- Выделим стены здания, используя кнопку на панели инструментов →



**Выбрать объекты.**

- При помощи кнопки на панели инструментов →  **Назначить**

**выбранным элементов сечений/материалов** назначаем ранее заданные сечение и материал из выпадающего меню диафрагмам жесткости нажав кнопку → **Назначить.**

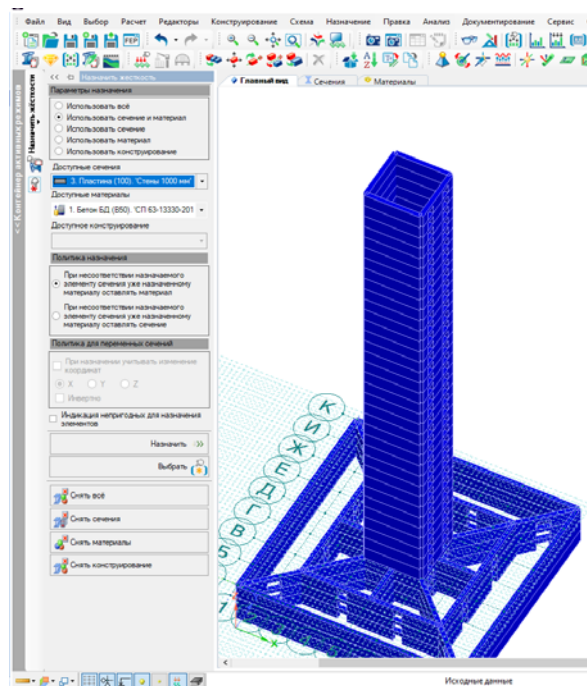


Рис. 22. Назначение жесткости стенам здания

➤ *Назначьте жесткость и материал плитам покрытия и перекрытия:*

- При помощи кнопки на панели инструментов →  **Фильтр выбора** в горизонтальных вкладках выбираем → **Фильтр по архитектурным элементам** ставим галочку на вкладку по типу в выпадающем меню выбираем вкладку → **(42,44) Конечный элемент тонкой оболочки/Архитектурная пластина** и нажимаем кнопку → **Выбрать**. Пластинчатые элементы выделяются красным цветом.

- Используя кнопку на панели инструментов →  **Скрыть невыделенное** скроем остальные элементы.

- Далее при помощи кнопки на панели инструментов →  **Фильтр выбора** в горизонтальных вкладках выбираем → **Фильтр по архитектурным элементам** ставим галочку на вкладку → **по сечению** в выпадающем меню выбираем вкладку → **Пластины (1) стены ядра жесткости здания 1000 мм** и нажимаем кнопку → **Выбрать**. Диафрагмы жесткости выделяются красным цветом.

- Используя кнопку на панели инструментов →  **Скрыть выделенное** скроем стены, так как жесткость и материал им был назначен.
- Выделим фундаментную плиту, используя кнопку на панели инструментов →  **Выбрать объекты** и аналогичным способом скроем ее, так как у фундаментной плиты другая жесткость.
- Предварительно выделив плиты перекрытия и покрытия используя кнопку на панели инструментов →  **Назначить выбранным элементов сечений/материалов** назначаем ранее заданные сечение и материал из выпадающего меню плитам покрытия и перекрытия нажав кнопку → **Назначить**.

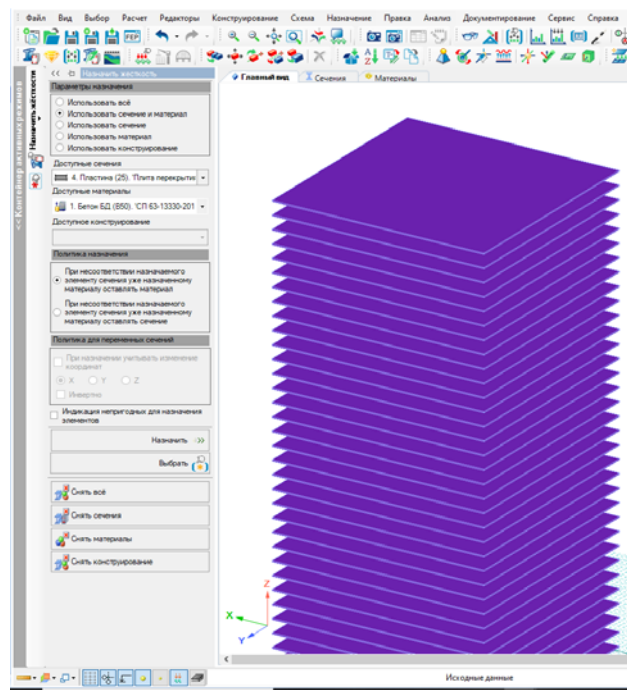


Рис. 23. Отображение плит перекрытия и покрытия с учетом назначенных жесткостей

➤ *Назначьте жесткость фундаментной плите:*

- Выделим фундаментную плиту, используя кнопку на панели инструментов →  **Выбрать объекты** и используя кнопку на панели инструментов →  **Скрыть невыделенное** скроем остальные элементы.

- Предварительно выделив фундаментную плиту используя кнопку на панели инструментов →  **Назначить** **выбранным** **элементов сечений/материалов** назначаем ранее заданные сечение и материал из выпадающего меню фундаментной плите нажав кнопку → **Назначить**.

- Используя кнопку →  **Показать скрытое** на панели инструментов отобразится полная расчетная схема с назначенными жесткостями элементов.

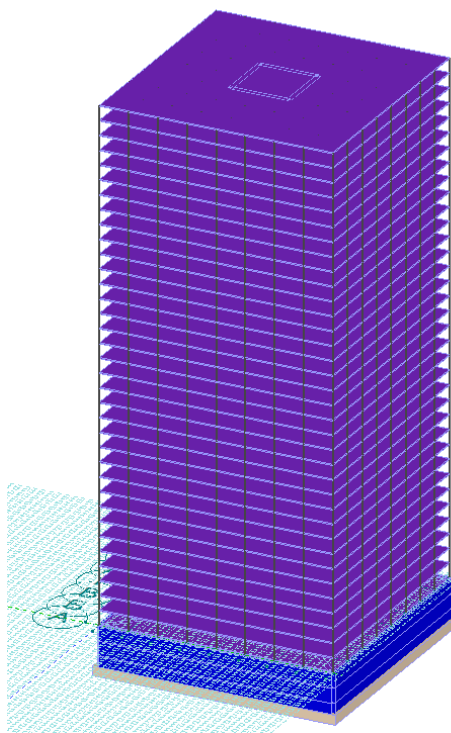


Рис. 24. Отображение элементов здания с учетом назначенных жесткостей

### 3.6. Задание параметров упругого основания

➤ Выполним триангуляцию архитектурного элемента - «фундаментная плита» на пластины и узлы конечных элементов. Используя кнопку на панели инструментов →  **Фильтр выбора** в горизонтальных вкладках выбираем → **Фильтр по архитектурным элементам** ставим галочку на вкладку → **по сечению** в выпадающем меню выбираем вкладку →

**2. Пластина (200) ‘Фундаментная плита 2000 мм’** и нажимаем кнопку → **Выбрать**. Архитектурная пластина выделится красным цветом.

➤ Используя кнопку →  **Архитектурные элементы** на панели инструментов, выбрав вкладку → **Параметры триангуляции** и активируя радио-кнопку → **ReGridQuad** устанавливаем → **Шаг 1 м** (разбивка с шагом 1 метр назначается для уменьшения количества элементов в расчётной схеме), и ставим галочку в окне → **В местах пересечения со стержнями создавать твердые тела** и нажимаем кнопку → **Назначить**. Используя вкладку → **Триангуляция** предварительно выделим → **Плитные архитектурные элементы** и нажать кнопку → **Триангулировать**.

➤ Далее для удобства анализа полученных результатов и корректного подбора арматуры в плитах перекрытия, покрытия и фундаментной плите необходимо сонаправить глобальные оси с осями выравнивания напряжений (предварительно необходимо выделить плиты перекрытия, покрытия и фундаментную плиту). Для этого используя кнопку на панели инструментов →



**Атрибуты представления** выбрав в выпадающем меню → **Элементы: базовые** и выбрав галочкой вкладку → **Оси выравнивания напряжений** → **Назначить**, в результате визуально станут видны оси выравнивания напряжений.

➤ Используя вкладку → **Назначить пластинам оси выравнивания напряжений и оси ортотропии** выбираем во вкладке → **Задание по оси в направлении Z1** поменять на противоположное. Оси Y и X в данном примере сонаправлены.

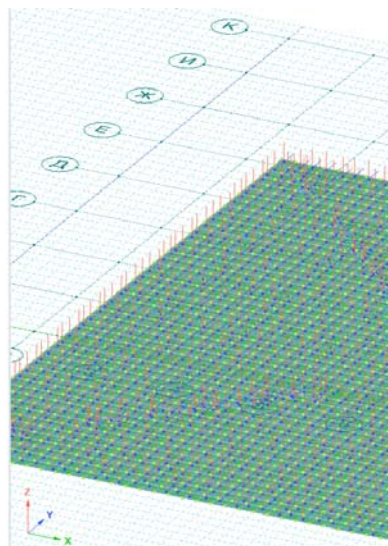


Рис.25. Отображение местных осей напряжения в фундаментной плите

- Выделите фундаментную плиту и скройте оставшиеся элементы. С

помощью кнопку на панели инструментов →  **Упругое основание** выбрав в параметрах основания → **Пластины** поставить галочку в окошке → **Уточнять по модели грунта**. Зададимся ориентировочным значением  $P_z=60 \text{ тс/м}^2$  и нажмем кнопку → **Назначить**.

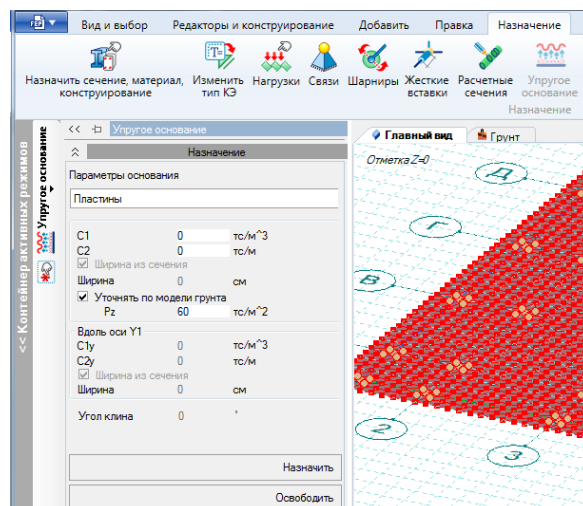


Рис. 26. Задание ориентировочного значения  $P_z$

- С помощью кнопки на панели инструментов →  **Редактор**

**грунта** используя кнопку →  **Скважина** добавим 3 скважины. По заданию назначим в скважинах мощность слоев и физико-механические характеристики грунта.

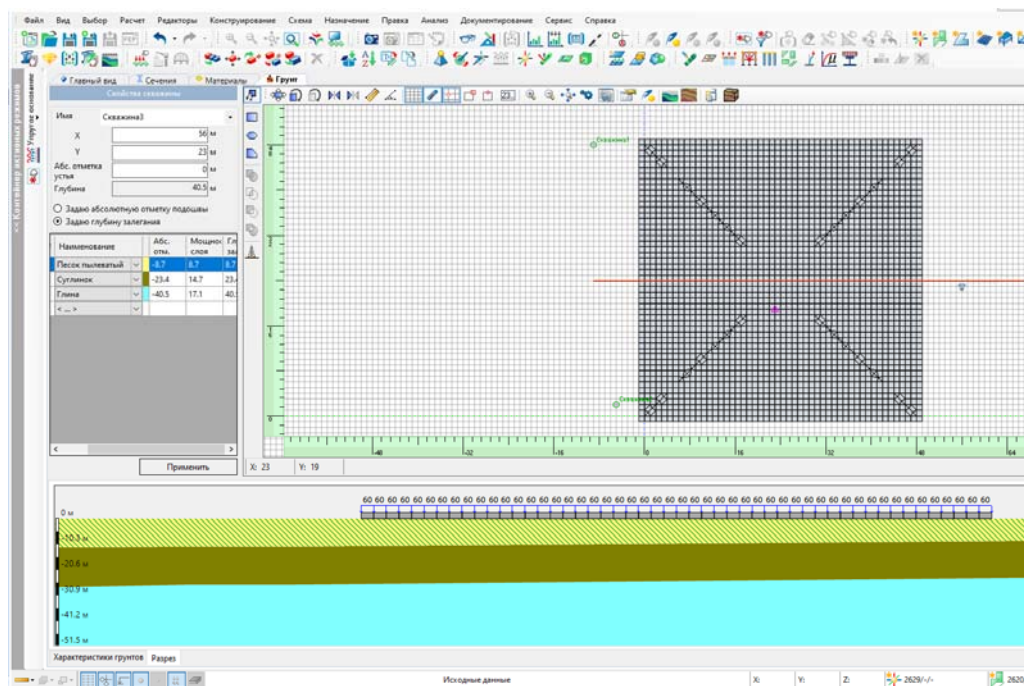
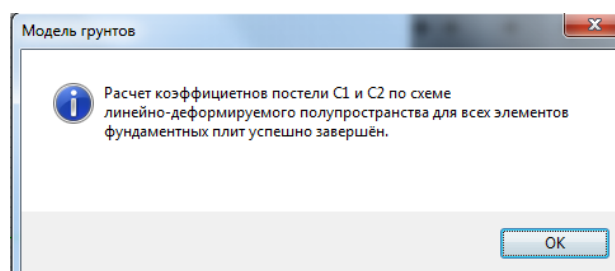


Рис. 27. Назначение мощности слоёв и физико-механических характеристик грунта

После этого используя кнопку на панели инструментов →

**Выполнить расчёт коэффициента постели** выбрав → **Метод 3** во вкладке плиты поставить радио-кнопку на против норм СП 22.13330.2016 и нажать кнопку **ОК**.



### 3.7. Задание граничных условий

Во избежание геометрической изменяемости расчетной модели здания, на фундаментную плиту необходимо наложить дополнительные граничные условия.

Так как на каркас здания действуют вертикальные и горизонтальные

нагрузки, а передача нагрузки на упругое основание должно осуществляться с минимальным ограничением, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости, необходимо выполнить закрепление фундаментной плиты путем наложения связей на узлы. Для этого необходимо:

- Выделить узлы фундаментной плиты. Они должны окраситься в красный цвет.
- Во вкладке → **Назначить связь** в окне → **Направление связи** выполнить закрепление связей → **перемещение вдоль X**, **перемещение вдоль Y** и **поворот относительно Z**, путем установки галочек напротив запрещающего направления. Убеждаемся, что радио-кнопка стоит на против → **Закрепить** и нажимаем кнопку → **Применить**.

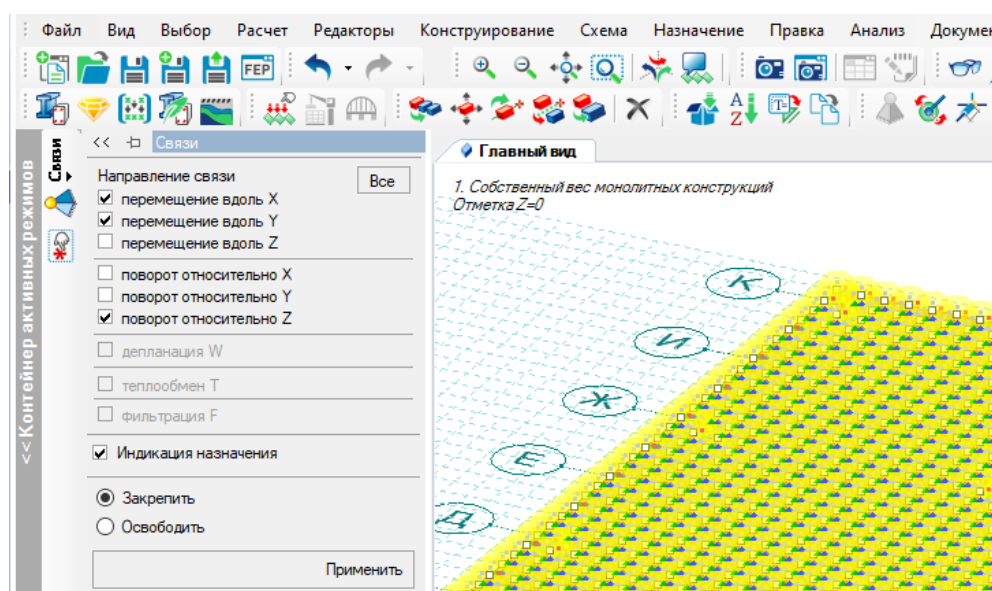


Рис. 28. Формирование связей в узлах фундаментной плиты

### 3.8. Задание нагрузок

На здание действуют постоянные и временные нагрузки, имеющие различную долю длительности и коэффициенты надежности по нагрузке [1]. Поэтому рационально задавать нагрузки в разных загрузениях. В представленной задаче сформируем 5 загрузений. В первом загрузении зададим собственный вес монолитных конструкций; во втором – нагрузки от веса кровли, полов, перегородок, наружного стенового ограждения и парапетов;

в третьем – временные нагрузки на перекрытия и фундамент; в четвертом – снеговую нагрузку на покрытие; в пятом – ветровую нагрузку. Расчет нагрузок на здание выполнен в приложении 1.

#### Задание информации о загрузениях

➤ Во вкладке на панели инструментов → **Редактор и конструирование** выбираем вкладку →  **Редактор загрузений**.

➤ Для загрузки **1** щелкните по вкладке → **Добавить загрузение** и в выпадающем меню выбрать вкладку → **Статическое загрузение**. В поле → **Имя** введите: *Собственный вес монолитных конструкций*.

➤ Чтобы добавить второе загрузение, необходимо повторно щелкнуть по вкладке → **Добавить загрузение** и в выпадающем меню выбрать вкладку → **Статическое загрузение**. Для загрузки **2** в поле → **Имя** введите: *Кровля, полы, перегородки, стены*.

➤ Для добавления третьего загрузения необходимо повторно зайти во вкладку → **Добавить загрузение** и в выпадающем меню выбрать вкладку → **Статическое загрузение**. Для загрузки **3** в поле → **Имя** введите: *Временная на перекрытие и фундамент*.

➤ Для добавления четвертого загрузения, необходимо повторно войти во вкладку → **Добавить загрузение** и в выпадающем меню выбрать вкладку → **Статическое загрузение**. Для загрузки **4** в поле → **Имя** введите: *Снеговая нагрузка*.

➤ Для добавления пятого загрузения, необходимо повторно щелкнуть по вкладке → **Добавить загрузение** и в выпадающем меню выбрать вкладку → **Пульсационная составляющая ветрового воздействия**. Для загрузки **5** в поле → **Имя** введите: *Ветер по X*.

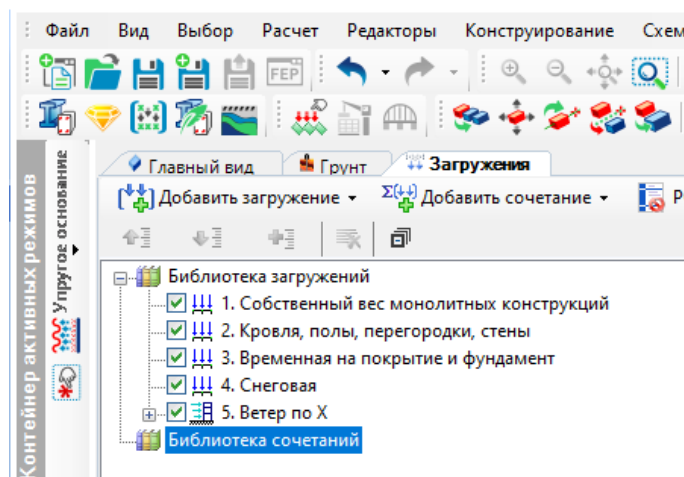
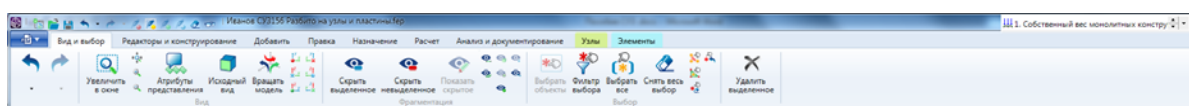


Рис. 29. Формирование информации о загрузке

➤ Чтобы перейти к непосредственному формированию загрузки 1, в поле командной строки выбираем текущую загрузку из выпадающего меню → **Список загрузок** строку → 1. *Собственный вес монолитных конструкций*.



### Формирование загрузки № 1

➤ В командной строке выберите вкладку → **Назначение** далее выберите кнопку → **Нагрузки**. Нажмите на вкладку → **Библиотека нагрузок** в выпадающем меню выберите → **Интерактивные нагрузки** → **Собственный вес**. Предварительно выделив все элементы модели нажмите кнопку → **Назначить** (рис. 29).

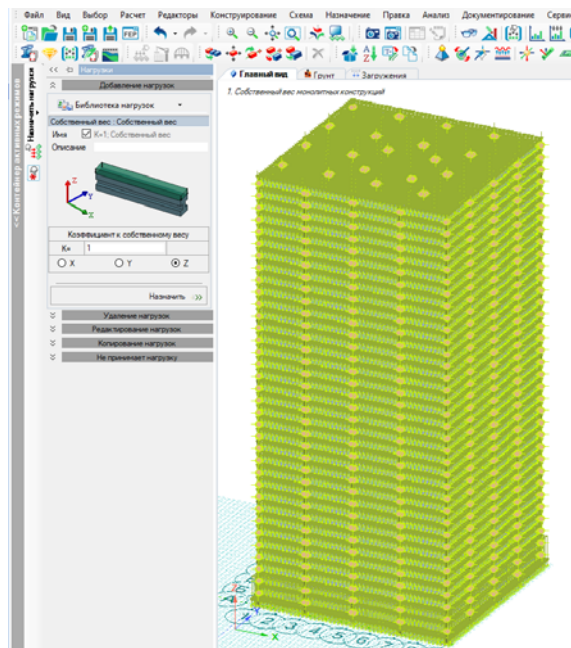


Рис. 29. Формирование нагружения от собственного веса конструкций

### Формирование нагружения № 2

➤ Смените номер нагружения в поле командной строки. Выбираем текущее нагружение из выпадающего меню → **Список нагружений** строку → **2. Кровля, полы, перегородки, стены.**

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

- выделите плиту покрытия и скройте остальные элементы расчетной модели;
- выделив крайние пластины плиты покрытия, нажимаем на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила по линии** и назначаем нагрузку от веса парапетов;

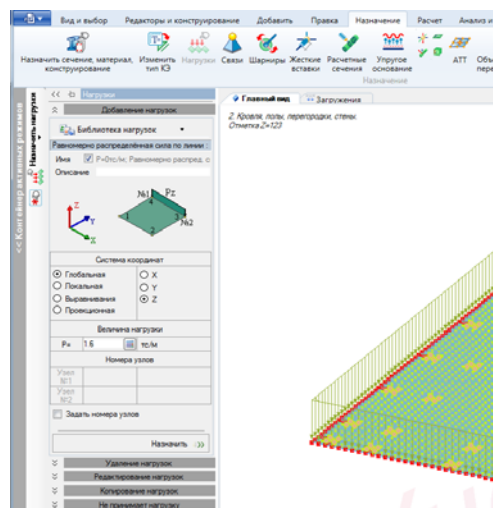


Рис. 30. Формирование нагрузки от веса парапетов

➤ *Задайте нагрузку от веса стенового ограждения на плиты перекрытия:*

- выделите плиты перекрытия, скрыв остальные элементы расчётной модели;
- выделив крайние пластины плит перекрытия, нажимаем на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила по линии** и назначаем нагрузку от веса стен ограждающих конструкций;

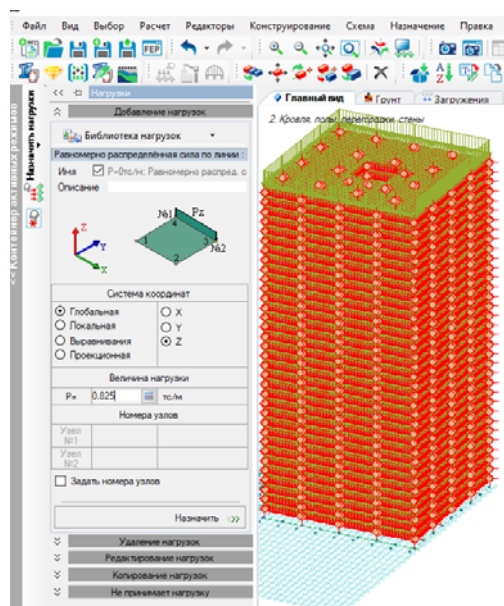


Рис. 31. Формирование нагрузки от веса стен

- выделив крайние пластины плит перекрытия, нажимаем на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину**

→ **Равномерно распределенная сила по линии** и назначаем нагрузку от веса стен ограждающих конструкций;

➤ *Задайте нагрузку от полов и перегородок на плиты перекрытия:*

- выделите плиты перекрытия расчетной модели, скрыв остальные элементы;

- выделив плиты перекрытия расчетной модели и нажав на вкладку

→ **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину**

→ **Равномерно распределенная сила** и назначаем нагрузку от веса полов и перегородок на перекрытие  $p = 0,227 \text{ тс/м}^2$  нажав на кнопку → **Назначить**.

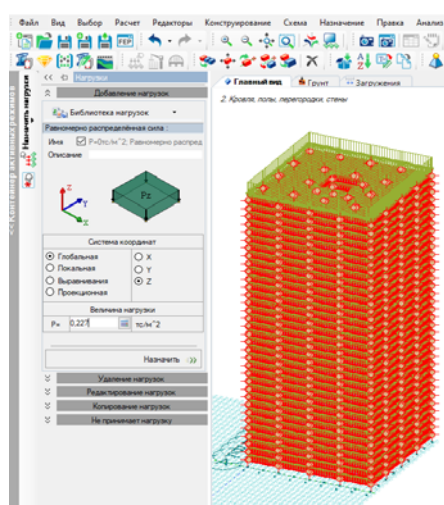


Рис. 32. Формирование нагрузки от веса полов и перегородок

➤ *Задайте нагрузку от веса стенового ограждения на фундаментную плиту:*

- выделите фундаментную плиту и скройте остальные элементы расчетной модели;

- выделив крайние пластины фундаментной плиты, нажимаем на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила по линии** и назначаем нагрузку от веса стен ограждающих конструкций;

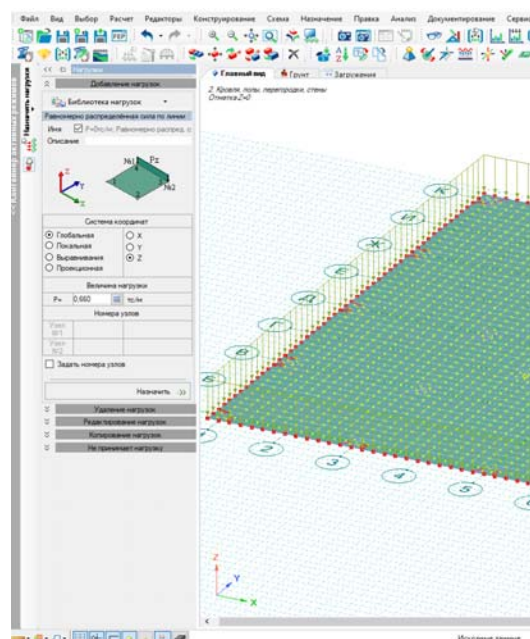


Рис. 33. Формирование нагрузки от веса парапетов

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

- выделите фундаментную плиту, скрыв остальные элементы;
- выделив фундаментную плиту расчетной модели и нажав на вкладку

→ **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила** и назначаем нагрузку от веса полов на фундаментную плиту  $p = 0,114 \text{ тс/м}^2$  нажав щелкните по кнопке → **Назначить**.

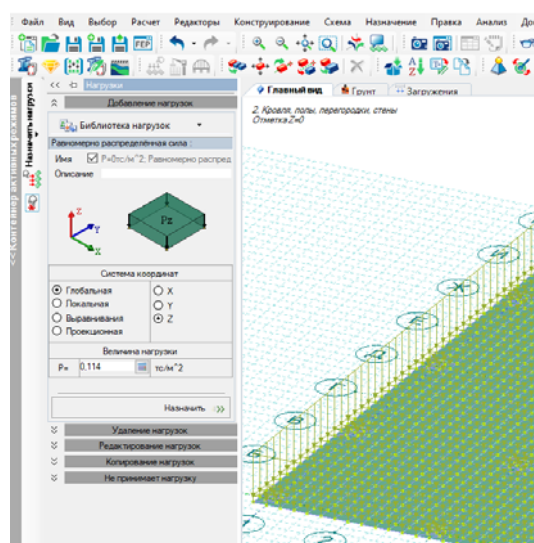


Рис. 34. Формирование нагрузки от веса полов на фундамент

➤ *Задайте нагрузку от веса кровли:*

- выделите плиту покрытия расчетной модели, скрыв остальные элементы;
- выделив плиту перекрытия расчетной модели и нажав на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила** и назначаем нагрузку от веса кровли на покрытие  $p = 0,296 \text{ тс/м}^2$  нажав на кнопку → **Назначить**.

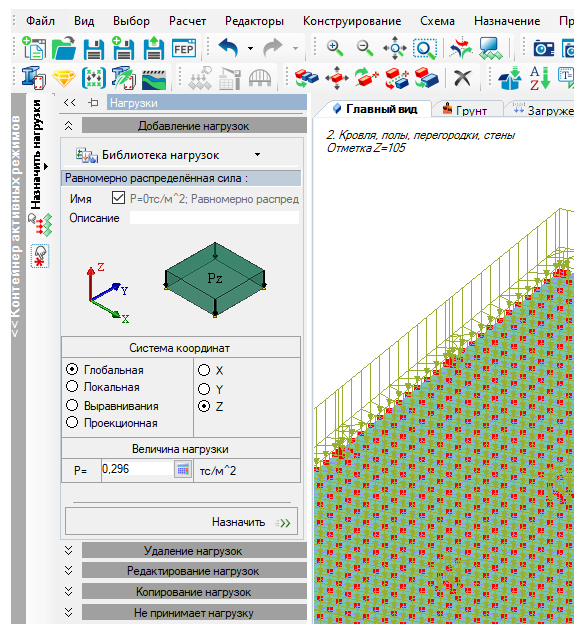


Рис. 35. Формирование нагрузки от веса кровли

### Формирование загрузения № 3

➤ Смените номер загрузки. В поле командной строки выбираем текущее загрузение из выпадающего меню → **Список загрузений** строку → **3. Временная на перекрытие и фундамент**.

- выделите плиты перекрытия расчетной модели, скрыв остальные элементы;
- выделив плиты перекрытия расчетной модели и нажав на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила** и назначаем временную нагрузку на перекрытия  $v = 0,195 \text{ тс/м}^2$  нажав щелкните по кнопке → **Назначить**.

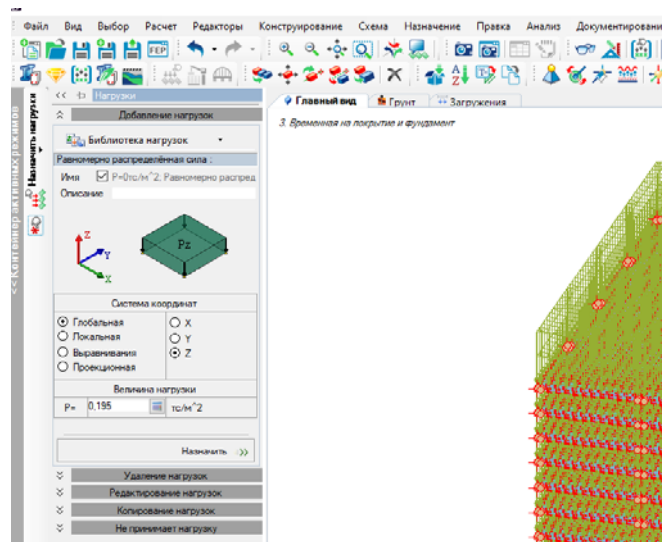


Рис. 36. Формирование временной нагрузки на перекрытие

➤ Задайте временную нагрузку на фундаментную плиту:

- выделите фундаментную плиту расчетной модели, скрыв остальные элементы;
- выделив фундаментную плиту расчетной модели и нажав на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила** и назначаем временную нагрузку фундаментную плиту  $v = 0,48 \text{ тс/м}^2$  нажав на кнопку → **Назначить**.

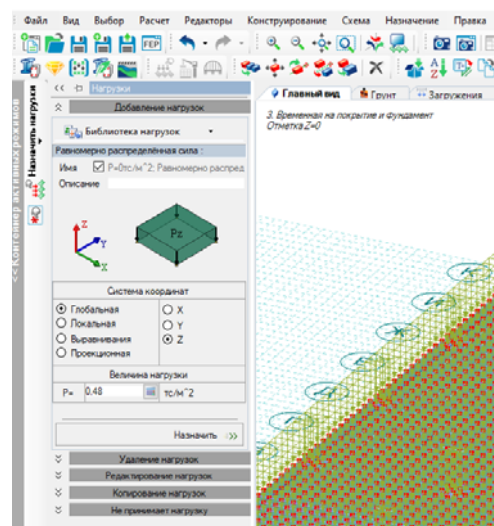


Рис. 37. Формирование временной нагрузки на фундаментную плиту

#### Формирование загрузения № 4

- Смените номер загрузения в поле командной строки выбираем текущее загрузение из выпадающего меню → **Список загрузений** строку

→ 4. Снеговая нагрузка.

➤ *Задайте снеговую нагрузку на плиту покрытия:*

- выделите плиту покрытия расчетной модели, скрыв остальные элементы;

- выделив плиту покрытия расчетной модели и нажав на вкладку → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на пластину** → **Равномерно распределенная сила** и назначаем временную нагрузку на покрытие  $v = 0,28 \text{ тс/м}^2$  нажав на кнопку – **Назначить**.

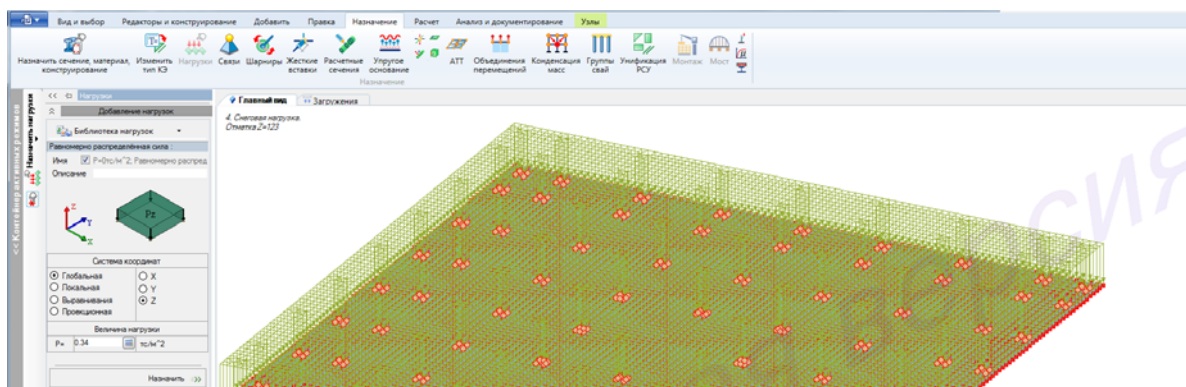


Рис. 38. Формирование временной нагрузки на плиту покрытия

#### Формирование нагружения № 5

➤ Смените номер нагружения в поле командной строки выбираем текущее нагружение из выпадающего меню → **Список нагружений** строку → 5. *Ветер по X*.

➤ *Задайте ветровую нагрузку по направлению оси X (В учебных целях формирование нагружения ветровой нагрузки вдоль оси Y выполняться не будет. Ветровая нагрузка вдоль оси Y будет идентична ветровой нагрузки вдоль оси X так как здание квадратное):*

- во вкладке → **Назначение** → **Нагрузки** → **Библиотека нагрузок** → **Нагрузки на расчетную схему** → **Произвольная нагрузка на поверхность**. С помощью радио-кнопки во вкладке → **Система координат** активируем кнопку в направлении ординаты, которой прикладывается нагрузка → (X). Во вкладке → **Прикладываем к** перемещаем индикатор радио-кнопки на → **стержням**. Во вкладке → **Параметры нагрузки** выбираем → **Нерегулярная** и используя

кнопку →  **Указать контур на схеме** назначаем нагрузку от ветра согласно рассчитанных зон и значений.

5.1. Средние составляющие ветрового воздействия

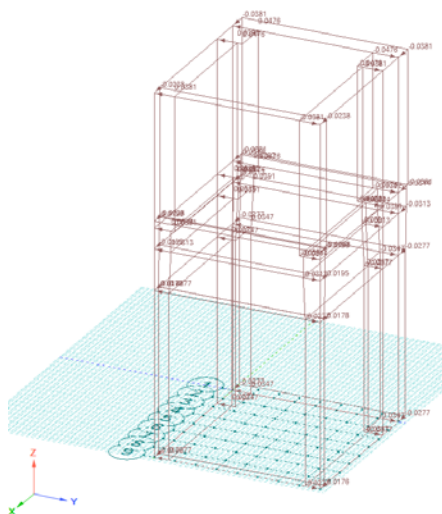


Рис. 39. Формирование ветровой нагрузки

### 3.9. 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).

➤ Нажмите на кнопку →  **Редактор загружений** → **Добавить сочетание** → **Пользовательское сочетание**.

➤ Создаем комбинации нагрузок для отображение деформированного

состояния каркаса. Напряженно-деформированное состояние колонн и плиты фундамента производить от комбинации нагрузок (1+2+3+4+5), плиты покрытия – (1+2+4+5), перекрытия – (1+2+3+5) устанавливая напротив необходимого загружения коэффициенты сочетая в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», если загружение не учитывается в сочетании ставиться 0.

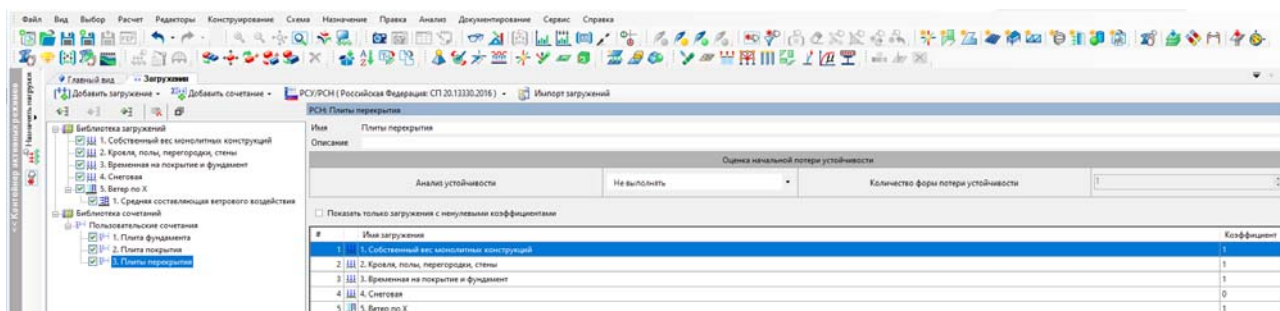


Рис. 40. Создание пользовательских сочетаний для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций здания

Так как в схеме задавались расчетные нагрузки, для оценки перемещений необходимо откорректировать коэффициенты приведения к нормативным нагрузкам. Для этого выбираем вкладку → **Редактор загружений** и выбрав загружение 2 (загружение 1. Собственный вес сформировано программой автоматически – корректировать его нет необходимости) → **2. Кровля, полы, перегородки, стены** во вкладке → **Коэффициенты приведения** → **К расчетным нагрузкам** указываем значение 1, → **К нормативным нагрузкам** указываем значение  $1/1,2=0,833$ . Аналогично корректируем коэффициенты для остальных загружений.

На рисунке 40 созданы 4 сочетания. В 1-ом задано сочетание, в которое входят все нагрузки (1+2+3+4+5); во 2-е сочетание входят постоянные, снеговая и ветровая нагрузки, без временной нагрузки на покрытие и фундамент (1+2+4+5); в 3-е – постоянные нагрузки и временные на перекрытие и фундамент, без снеговой нагрузки (1+2+3+5).

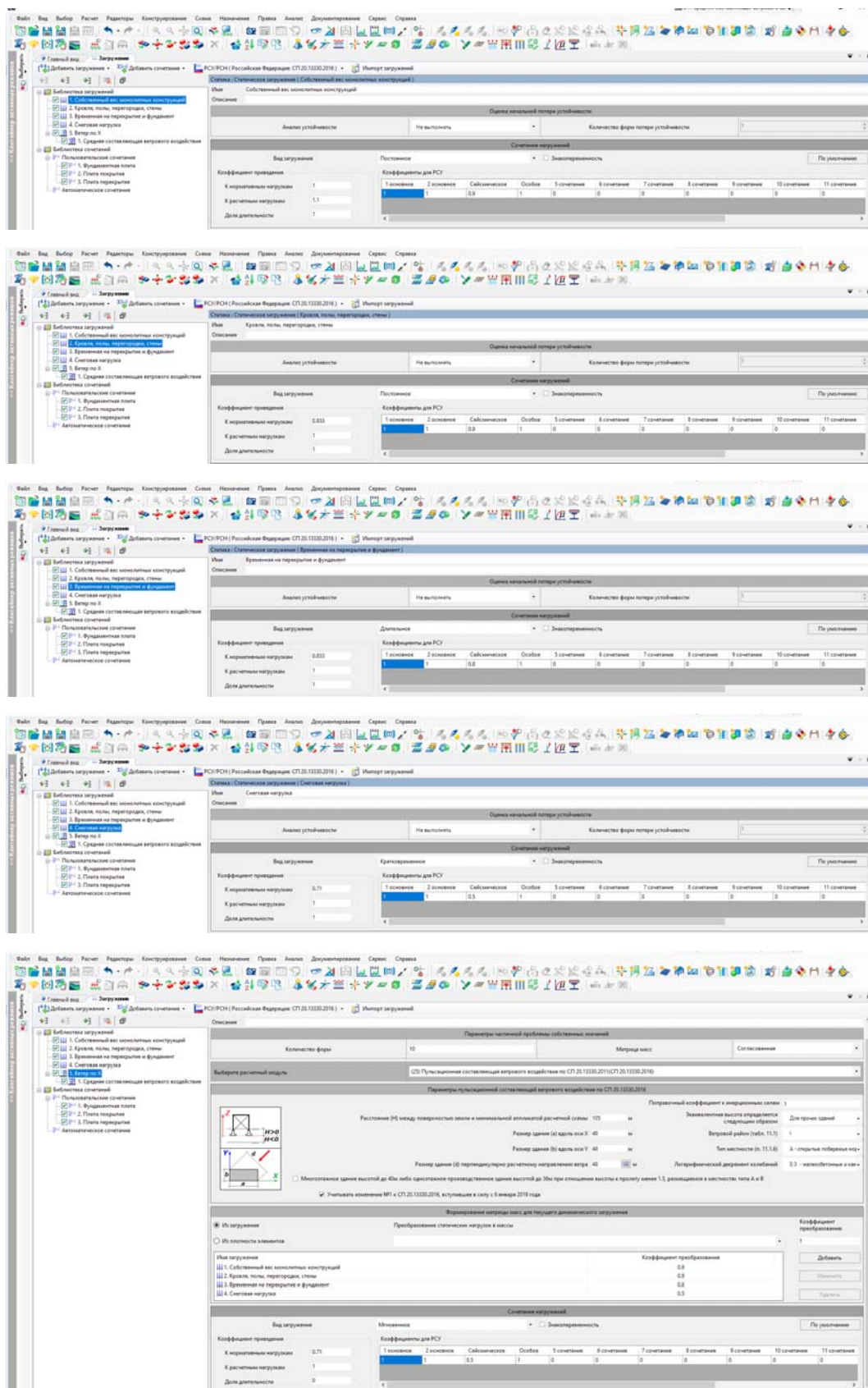


Рис. 41. Корректировка коэффициентов приведения к нормативным нагрузкам

В данном примере коэффициенты сочетания нагрузок приняты согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», если коэффициент сочетания равен 1,0 это означает: нагрузки (а точнее усилия, полученные от заданных нагрузок) будут умножены на 1,0.

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

Программа ЛИРА 10.10 позволяет в автоматическом режиме сформировать сочетания нагрузок, установленные СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Для этого необходимо во вкладке → **Добавить сочетания** выбрать → **Автоматическое сочетание**.

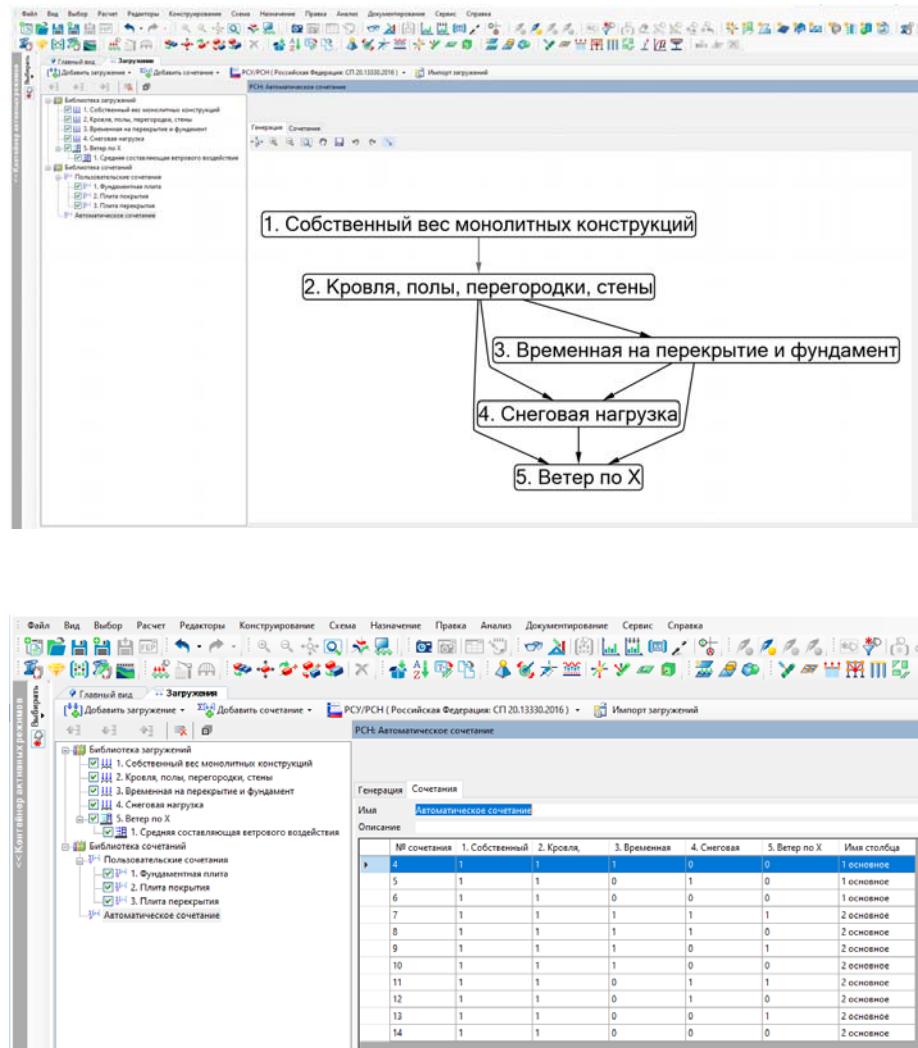


Рис. 42. Формирование автоматического сочетания

### 3.10. Полный расчет схемы

- Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке → 

**Выполнить расчет** (панель → **Расчет** на вкладке → **Расчет**). Перед началом расчета появится предупреждение → **Параметры грунтового основания необходимо пересчитать. Пересчитать?** Выполнить перерасчет нажав кнопку → **Да**.

### 3.11. Просмотр и анализ результатов расчета

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

- Для удобства, отключите отображение нагрузок и узлов на расчетной схеме, используя кнопку на панели инструментов →  **Атрибуты представления**.

- В режиме просмотра результатов расчета расчетная схема, может отображаться, с учетом перемещений узлов (рис. 43) при этом необходимо нажать кнопку во вкладке → **Результаты** →  **Деформируемая схема**.

- Для анализа результатов расчёта от заданных сочетаний, нажмите на кнопку на панели инструментов во вкладке → **Результаты** →  **Загрузки / РСН**. Переключение сочетаний выполняется в верхнем правом окне.

- Чтобы вывести на экран перемещение узлов по направлению X, нажмите на кнопку →  **Узлы** → **Перемещение по X**. Для отображении изолиний необходимо включить отображение узлов в расчетной схеме, используя кнопку на панели инструментов →  **Атрибуты представления**.



➤ Чтобы вывести на экран напряженное состояние в плитах (например, в фундаментной плите):

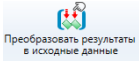
- выделите фундаментную плиту;
- скройте остальные элементы расчетной схемы;
- выберите команду во вкладке → **Результаты** →  **Пластины**

→ **Усилие Mx**;

- аналогично могут быть отображены мозаики напряжений по  $M_y$  и т.д.;

- для отображения мозаики напряжений по  $R_z$  (отпор упругого основания), щелкните по кнопке → **Усилие R<sub>z</sub>**;

- Так как коэффициентов пастели в расчётной схеме задавался «условно» для плиты фундамента, необходимо выполнить перерасчет значения  $R_z$  от нормативных нагрузок (осадка фундамента здания определяется от нормативного значения нагрузок). Для этого заходим в командное меню → **Результаты** → **Пластины** → **Усилие R<sub>z</sub>**. Выбираем → **Тип сочетания** → **Нормативное**. После этого заходим во вкладку → **Специальные результаты** и

нажимаем на кнопку →  **Преобразовать результаты в исходные данные** **Преобразовать результаты в исходные данные**. Выбираем вкладку → **Преобразование в R<sub>z</sub>** → **Тип сочетания** → **Нормативное** и нажимаем кнопку → **Преобразовать**.

➤ Выполнять пересчет расчетной схемы необходимо до достижения минимального значения процента изменения нагрузки (менее 0,001%).

- Далее заходим во вкладку → **Расчет** → **Исходные данные**. И выполняем повторно расчёт нажав на кнопку → **Выполнить расчёт** → **Запустить расчёт**;

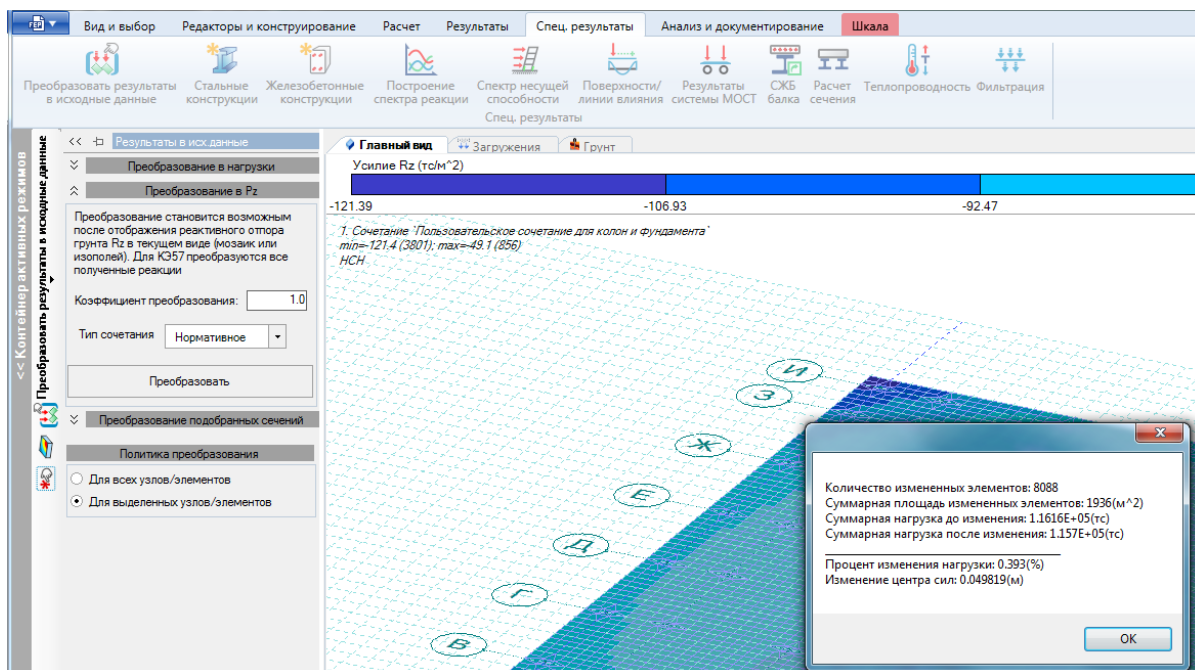
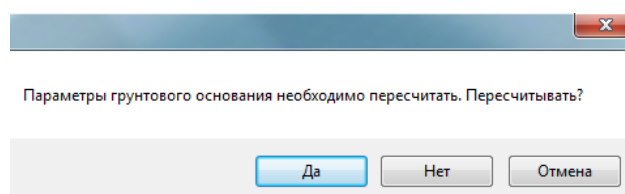


Рис. 45. Уточнение параметра  $P_z$

- Появится в конце расчета предупреждение → **Параметры грунтового основания необходимо пересчитать. Пересчитать?** Выполнить перерасчет нажав кнопку → **Да**;



- После расчета необходимо проверить процент изменения нагрузки выполнив следующие операции: → **Результаты** → **Пластины** → **Усилие  $R_z$** . Выбираем → **Тип сочетания** → **Нормативное**. После этого заходим во вкладку → **Специальные результаты** и нажимаем на кнопку → **Преобразовать результаты в исходные данные**. Выбираем вкладку → **Преобразование в  $P_z$**  → **Тип сочетания** → **Нормативное**.

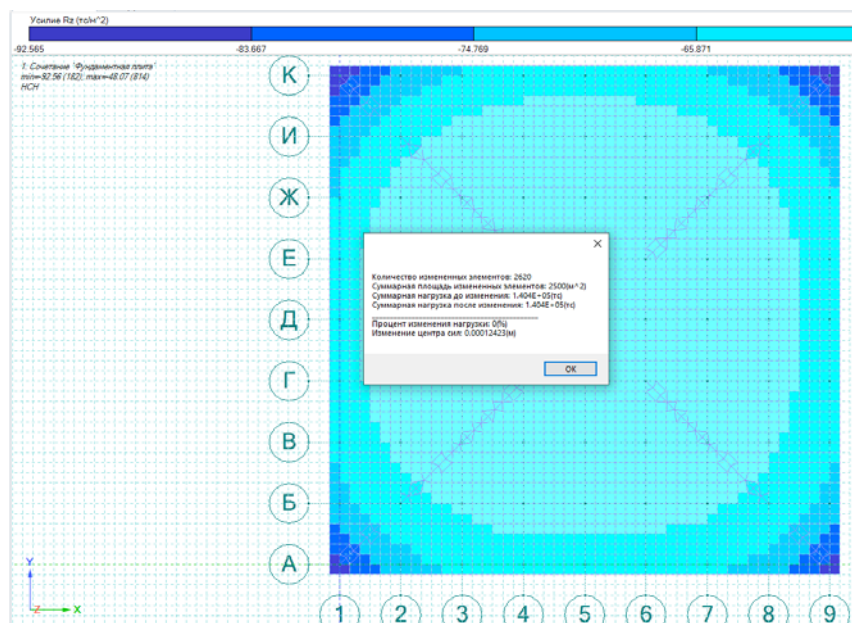


Рис. 46. Проверка процента изменения нагрузки при определении параметра  $P_z$

- Так как результат менее 0,001% перерасчет  $P_z$  делать нет необходимости.
- Для анализа величины осадки фундаментной плиты необходимо нажать на панели инструментов вкладку → **Результаты** → **Узлы** → **Перемещение по Z** → **Тип сочетания** → **Нормативная нагрузка**.

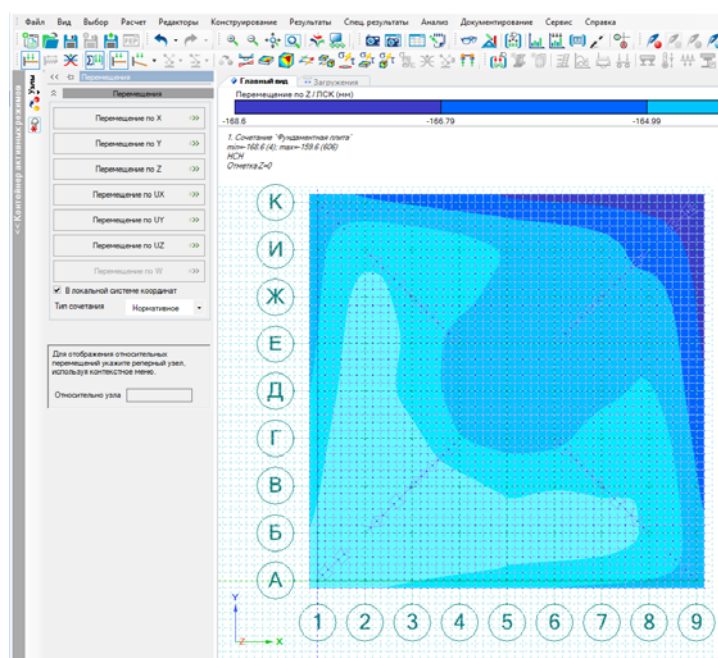


Рис. 47. Анализ величины осадки фундамента.

### 3.12. Подбор арматуры в фундаментной плите

Выделите фундаментную плиту и скройте остальные элементы расчётной схемы. Перейдите во вкладку → **Расчёт** → **Расчет конструкций** → **Тип расчёта** → **подбор. Конструирование** – убрать галочку напротив → **стальные элементы**, так как в нашей расчетной схеме они отсутствуют. В окне силовые факторы необходимо поставить галочку напротив РСУ (подбор арматуры будет выполняться по максимальным (минимальным) усилиям, возникающим при сочетании нагрузок).

➤ Задайте материалы для фундаментной плиты:

- с помощью кнопки → **Редактор параметров конструирования** в выпадающем меню выбрать → **Железобетонные элементы** → выбираем вкладку → **ж.б. пластина**.
- измените нормы проектирования СНИП 2.03.01-84 на СП 63.1330.2012;
- для проверки второй группы предельного состояния ниже во вкладке → **II предельное состояние** поставить галочку в окне → **произвести расчёт**.

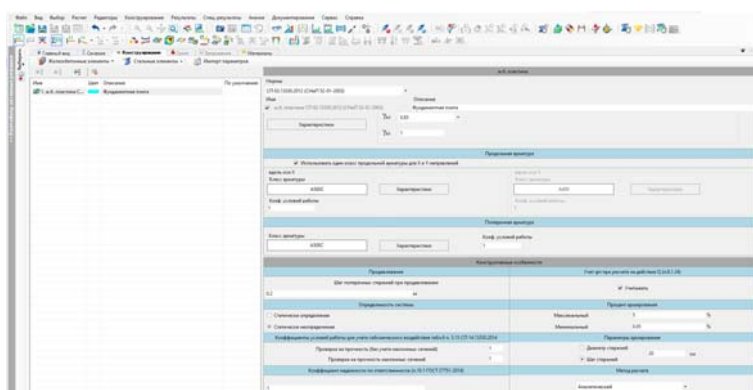


Рис. 48. Задание материалов для железобетонных пластин

Предварительно выделив фундаментную плиту и используя кнопку →



**Назначить сечение, материал, конструирование.** В окне → **Допустимое конструирование** выбираем назначенную → **ж.б. пластину** и нажимаем на кнопку → **Назначить**.

Предварительно выделив фундаментную плиту и используя кнопку → **Расчет конструкций** поставив галочки в окне → **PCY** и нажимите на кнопку → **Отправить элемент на расчет.**

• Далее используя вкладку → **Специальные результаты** и нажав на кнопку → **Железобетонные конструкции.** Поставив галочку напротив → **Продольная арматура** и нажав кнопку → **Показать** отобразится подобранная площадь армирования железобетонной пластины.

• Из результатов расчета на основные сочетания нагрузок и воздействий видно, что в некоторых элементах возникают напряжения, превосходящие предел прочности на сжатие материала конструкций, а усилия и на мозаике имеют пики (на рис.47 треугольные элементы выделены красным цветом). Это объясняется следующими причинами, которые необходимо учитывать при анализе результатов: при расчете методом конечных элементов имеет место погрешность вычисления усилий и напряжений в зонах больших градиентов и местах концентрации напряжений (внутренние углы элементов конструкций, места приложения нагрузок, зоны стыковки стержневых и пространственных конечных элементов и т.д.).

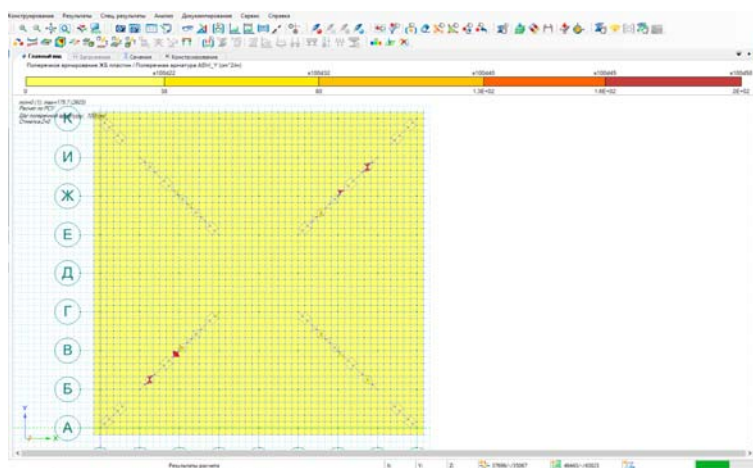


Рис. 49. Подобранная площадь продольного армирования железобетонной пластины.

• На гистограмме, нажимая правую кнопку мышки и установив галочку напротив → **Шкала для арматуры.** Так как площадь подобранной арматуры в фундаментной плите значительная, необходимо задаться → **Фоновой арматурой** поставив галочку напротив. Задав шаг и диаметр фоновой

арматуры, а также шаг или диаметр основной арматуры на гистограмме отразится армирование плиты с учетом установленных критериев.

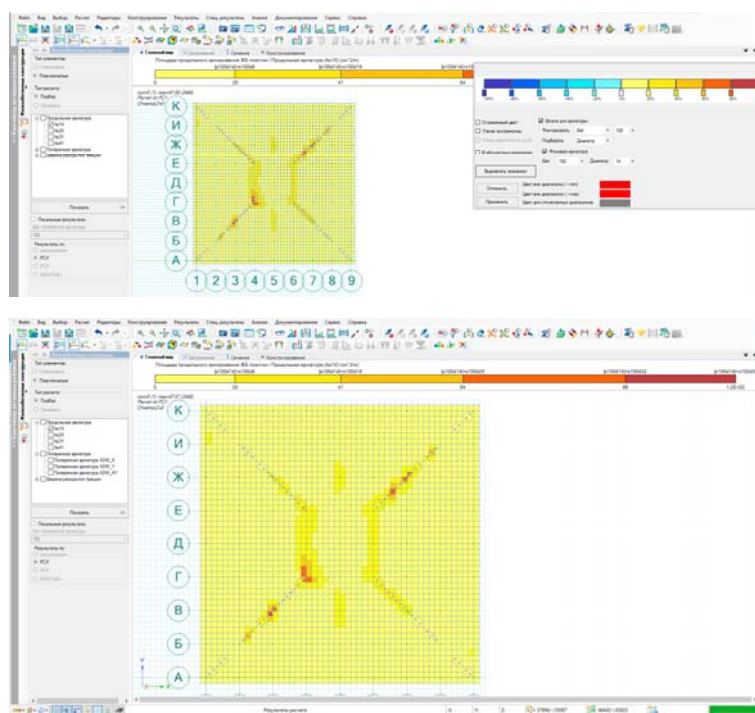


Рис. 50. Подбор шага и диаметра стержней арматуры железобетонной плиты.

После подбора арматуры плиты в продольном и поперечном направлении необходимо выполнить проверку подобранной схемы армирования фундаментной плиты. Для этого заходим во вкладку → **Преобразовать результаты в исходные данные** → **Преобразование подобранных сечений**. Устанавливая радио-кнопку → **Для проверки заданного армирования**. Оставим в выпадающем меню → **Железобетона** → **Усилия**. Нажимаем кнопку → **Выполнить преобразования**. После этого выбираем кнопку → **Расчет – Исходные данные**. Нажимаем на вкладку → **Редактор и конструирование** → **Редактор сечений/жесткостей**. Появилось дополнительное сечение → **Фундаментная плита 2000 мм, новое сечение**.

Нажимая два раза правую кнопку мыши на значение → **Нач. площадь, см<sup>2</sup>** назначаем диаметр арматуры и количество стержней на п.м. плиты в выбранном направлении, таким образом, чтобы заданная площадь армирования превышала подобранную.

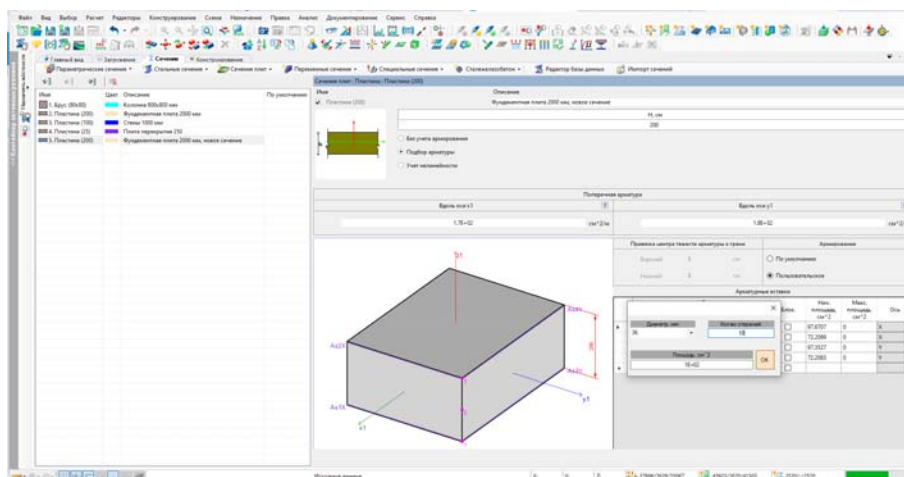


Рис. 51. Задание шага и диаметра стержней арматуры железобетонной плиты для выполнения проверочного расчёта.

- после этого необходимо выполнить расчет → **Расчёт** → **Выполнить расчёт**;
- далее заходим во вкладку → **Расчёт** → **Конструирование**. Выбрать → **Тип расчета** → **Проверка**. Силовые факторы поставить галочку **PCY** и нажать на кнопку → **Отправить элемент на расчет**.
- После этого необходимо выбрать вкладку → **Специальные результаты** → **Железобетонные конструкции** выбрав → **Тип расчета** → **Проверка** поставив галочку на против → **Прочность** и нажать кнопку → **Показать**. Отобразиться процент использования элемента. Кроме этого, в выпадающем меню → **Прочность** возможно выбрать усилие (красным выделены треугольные конечные элементы процент армирования в которых превышают 100 %. Это треугольные элементы с пиковыми значениями усилий полученные в результате погрешности вычисления усилий и напряжений в зонах больших градиентов и местах концентрации напряжений);

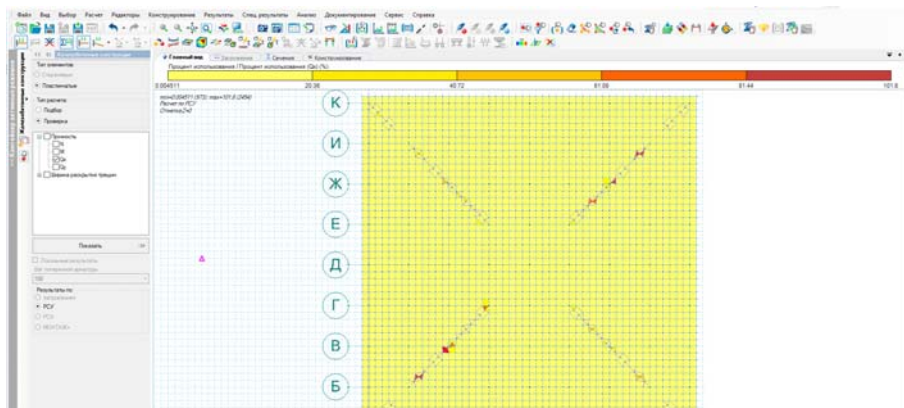


Рис. 52. Превышение прочностных характеристик по  $Q_x$  в местах концентрации напряжений

- Аналогично можно проверить процент использования ширины раскрытия трещины выбрать вкладку → **Специальные результаты** → **Железобетонные конструкции** выбрав → **Проверка** поставив галочку на против → **Ширина раскрытия трещин** и нажать кнопку → **Показать**. Отобразиться процент использования;

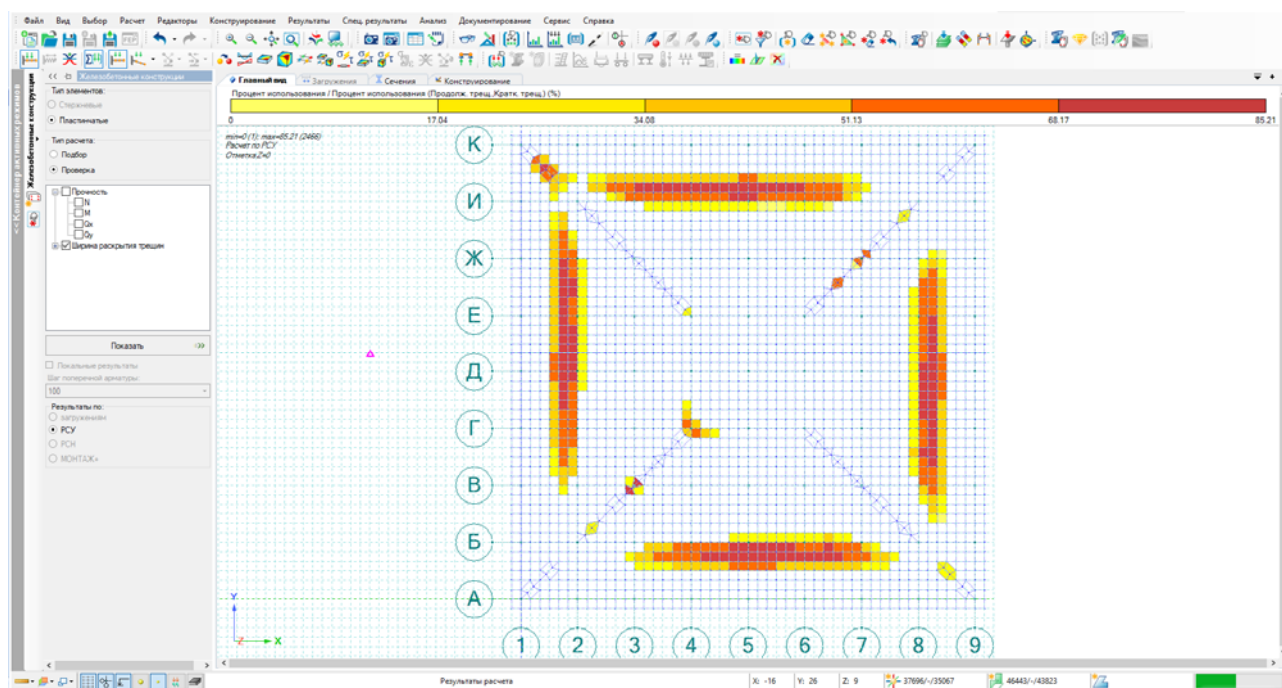


Рис. 53. Проверка ширины раскрытия трещины в железобетонном элементе.

- Зайдя во вкладку → **Результаты**, предварительно нажав на кнопку → **Загружения / РСУ**, после этого используя кнопку → **Узлы** выбрав → **Тип сочетания** → **Нормативное** нажав на кнопку → **Перемещение по Z** позволит оценить упругую осадку здания;

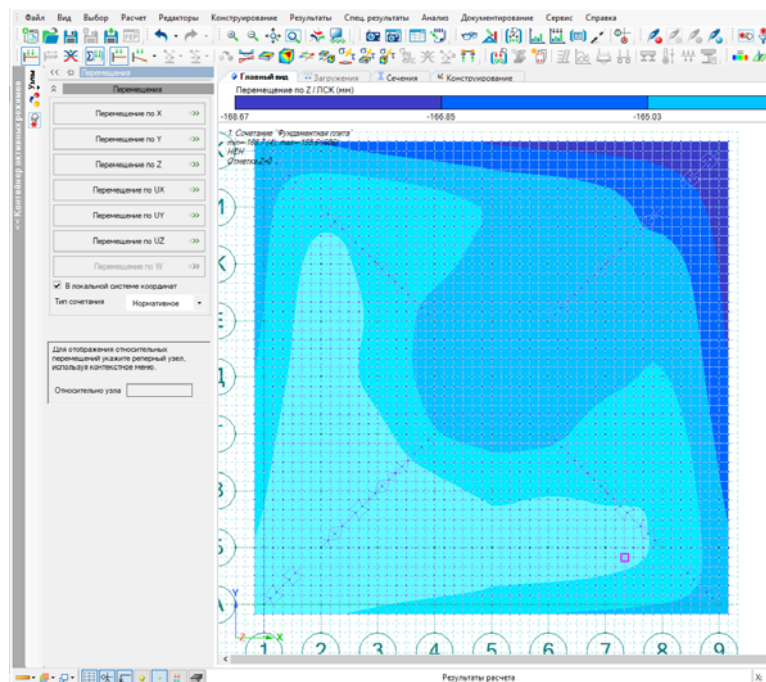


Рис. 54. Анализ осадки здания

- Наведя курсор мышки на крайний угол плиты и нажав правую кнопку мышки необходимо выбрать в выпадающем меню вкладку → **Установить реперный узел**, тем самым, относительно этого узла отобразятся перемещения плиты, что позволит оценить величину деформации фундаментной плиты относительно оси Z;

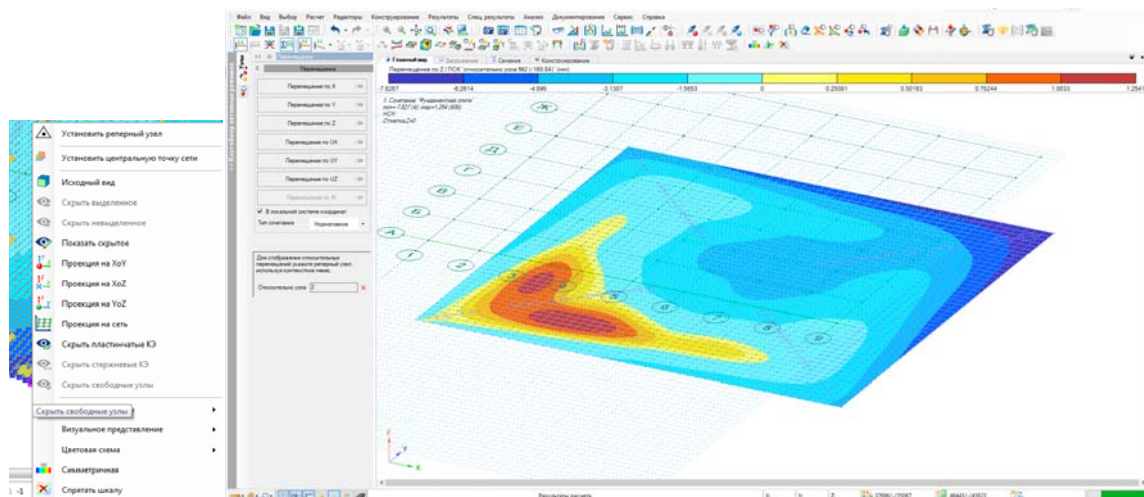


Рис. 55. Вертикальные деформации фундаментной плиты

- Необходимо перебрать заданные сочетания и выбрать расчет с наибольшим значением перемещения по оси Z.

### 3.12. Просмотр результатов армирования

После расчета задачи, просмотр и анализ результатов армирования осуществляется с помощью вкладки → **Специальные результаты** → **Железобетонные конструкции**.

- При выборе галочки в → **Типе расчёта** → **Подбор**. Поставив галочку напротив → **Продольная арматура** и нажав кнопку → **Показать** отобразится мозаика площади продольного армирования ЖБ пластин. Наведя курсор на верхней части шкалы появляется дополнительное окно, в котором можно формировать основное армирование и дополнительное, варьируя шагом или диаметром;

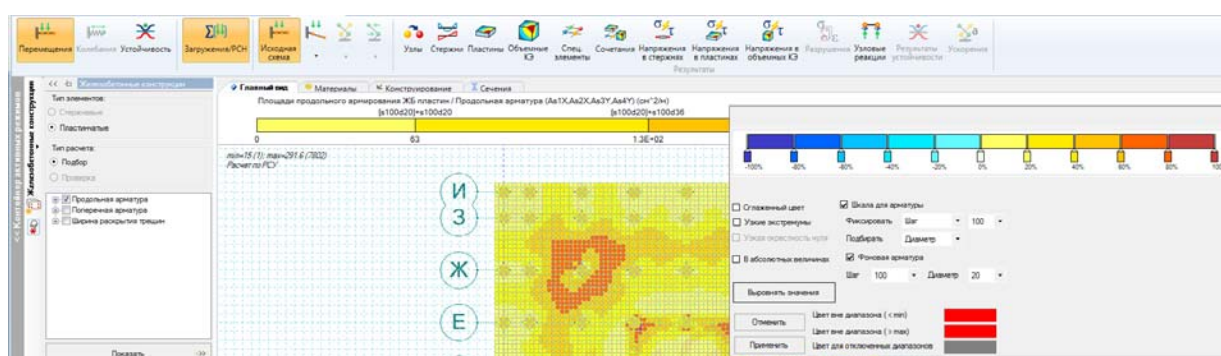


Рис. 56. Подбор продольного армирования железобетонной плиты

- Аналогичные действия по подбору арматуры можно сделать с поперечной арматурой;

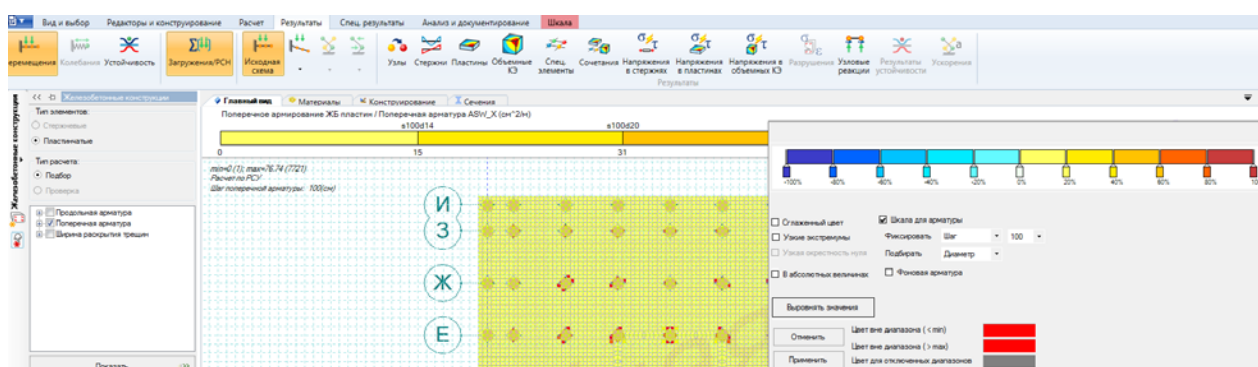


Рис. 57. Подбор поперечного армирования железобетонной плиты

- выбрав вкладку → **Специальные результаты** → **Железобетонные конструкции** выбрав → **Тип расчета** → **Подбор** поставив галочку на против

→ **Ширина раскрытия трещин** и нажать кнопку → **Показать**. Отобразится мозаика ширины раскрытия трещин;

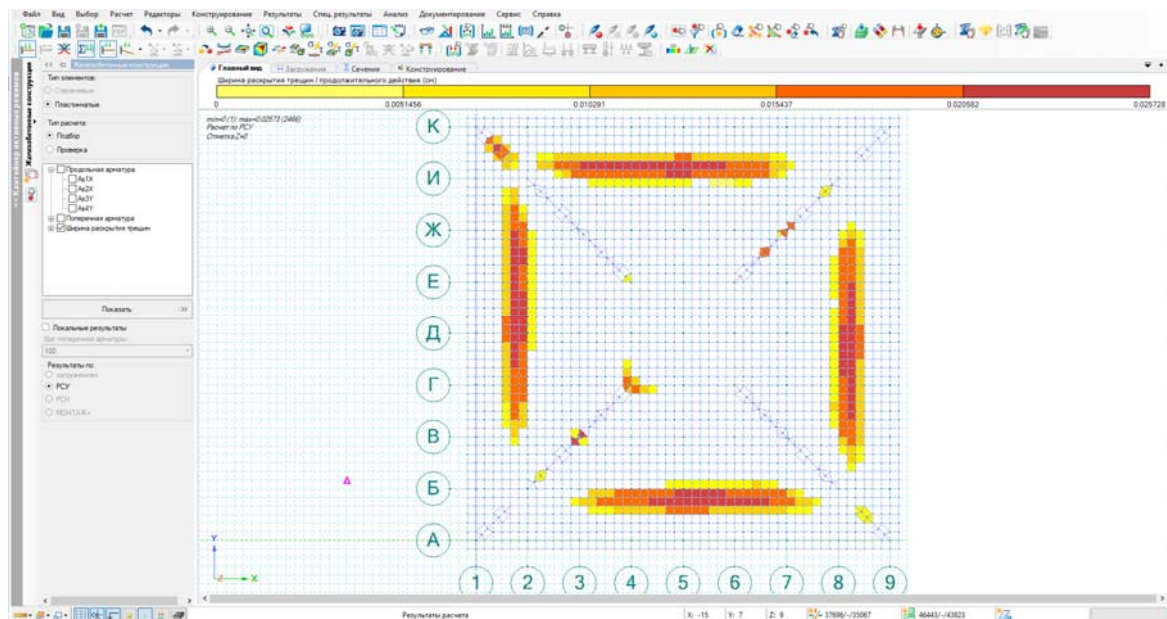


Рис. 58. Мозаика ширины раскрытия трещины в железобетонной плите

- Проставив галочку напротив → **Локальные результаты** нажимая правую кнопку мышки на элемент в расчетной схеме появляется окно с результатами армирования плиты;

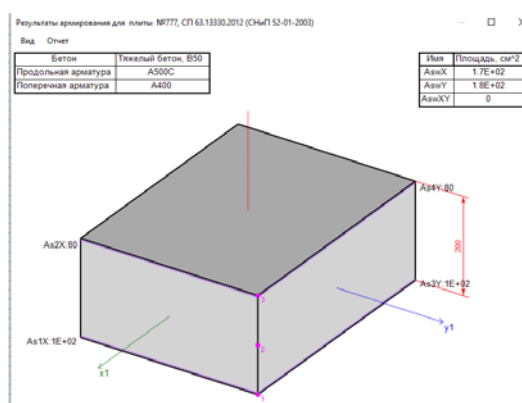


Рис. 59. Результаты армирования элемента плиты

Чтобы посмотреть мозаику отображения площади арматуры в пластинах по направлению местных осей, верхней или нижней арматуры, необходимо в выпадающем меню продольная арматура поставить галочку напротив армирования необходимого для отображения арматуры. Буквенное и цифровое обозначение армирования приведено на рисунке 59, показанном при запросе локальных результатов.

#### 4. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО УНИКАЛЬНОГО ЗДАНИЯ СО СВАЙНЫМ ФУНДАМЕНТОМ

Расчет свайного фундамента выполняется путем использования 57- го одноузлового элемента моделирующего работу свай. При этом расчет выполняется согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» и СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» по двум группам предельного состояния.

Перед выполнением расчёта необходимо задать толщину плитного ростверка, согласно задания (ростверк для группы свай).

Для начала работы необходимо сохранить упругий расчет модели с плитным фундаментом под другим именем используя вкладку → **FER** → **Сохранить как – Иванов СУЗ-16-123 свайный фундамент**. После этого выбрать вкладку → **Назначение** → **Упругое основание**. В окошке → **Параметры основания** выбрать из выпадающего меню выбрать → **Пластины** и нажать кнопку → **Освободить**. Кроме этого необходимо освободить узлы плиты от связей. Для этого необходимо выделить узлы со связями. Во вкладке → **Назначения** выбрать кнопку → **Назначить связь**. В окне → **Направления связей** нажать кнопку → **Все** и переключив радио-кнопку на → **Освободить** и нажать кнопку → **Применить**.

После этого необходимо предварительно расставить в узлы фундаментной плиты сваи, используя 57 одноузловой элемент. Схему установки свай студент разрабатывает самостоятельно. Сначала выделяем узлы в которых будут установлены сваи и с помощью вкладки → **Добавить** → **Добавить КЭ** → **Добавить** и выбрав в меню → **Одноузловые элементы** в выпадающем окне → **Тип создаваемых элементов** выбрать → **(57) КЭ упругая связь (одноузловой)** и нажать кнопку → **Добавить**. Узел с добавленным конечным элементом будет обведен черным квадратом.

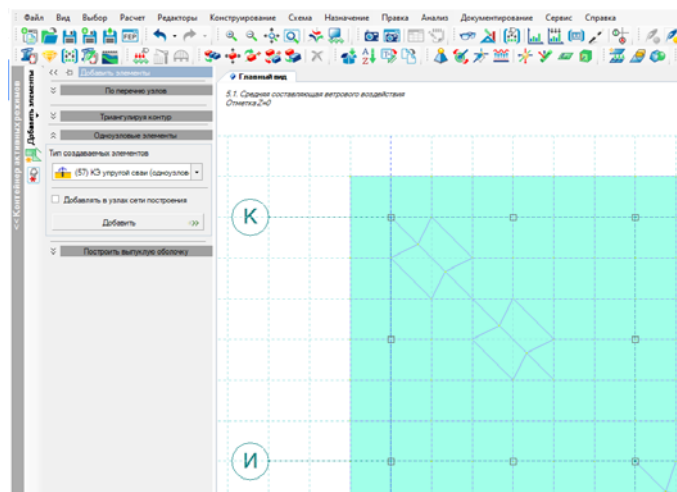


Рис. 60. Схема расстановки свай в фундаментной плите

Далее необходимо зайти во вкладку → **Редактор сечений / жесткостей**. Во вкладке → **Специальные сечения** в выпадающем меню выбрать строку → **Свая (упругая связь)**. В окне → **Описание** внести название → **Свая 35х35** длина **21 м**. Так как свая прямоугольная нажимаем на картинку с прямоугольным сечением и вносим поперечные размеры сваи  $b=35$  см,  $h=35$  см. Ниже указываем длину сваи 21 м и количество участков разбиения указываем, таким образом, чтоб максимальная длина участка сваи не превышала 2 м. В строке → **Способ погружения свай** выбрать → **Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механическими (подвесными), паровоздушными и дизельными молотами**. В строке → **Тип конструкции** выбрать → **Фундаменты под конструкции за исключением п.2 и п.3**.

Для назначения жесткостей в 57 конечных элементах необходимо выделить их на расчётной схеме используя кнопку → **Фильтр выбора** → **Фильтр по элементам** ставим галочку напротив → **по типу** и в выпадающем меню выбираем → **(57) КЭ упругая связь (одноузловой)** и нажимаем кнопку **Выбрать**. Далее используя вкладку → **Назначить сечение, материал, конструирование** установив радио-кнопку в → **Параметрах назначения** → **Использовать сечение** и выбрать в выпадающем меню → **Доступные сечения** → **Свая (упругая связь)** и нажимаем кнопку → **Назначить**.



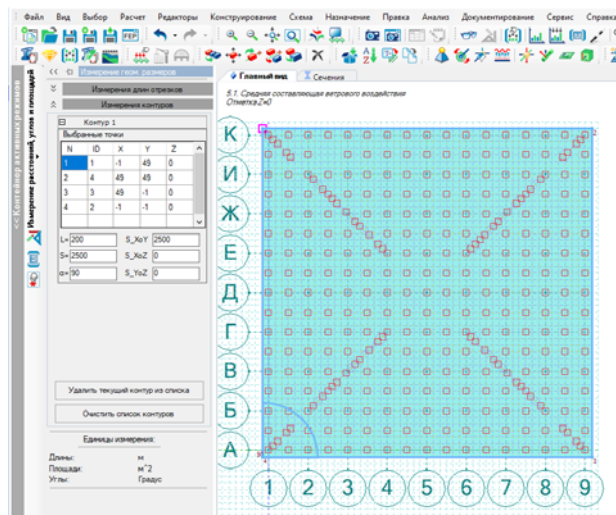


Рис. 63. Измерение площади условного фундамента

Полученное значение вводим в окно. Способ расстановки свай в примере - рядовой. Радио-кнопку устанавливаем на против → **Способ расстановки свай** → **Рядовой** и нажать кнопку → **Добавить условный фундамент**.

Во вкладке → **Редакторы и конструирование** выбираем кнопку → **Редактор грунта** на нем отражены сваи расчетной схемы. На скважинах в расчётной схеме необходимо поднять абсолютную отметку устья на величину заглубления фундамента. В нашем случае на 9 м. В результате, при выполнении разреза сваи будут отображаться ниже дневной поверхности.

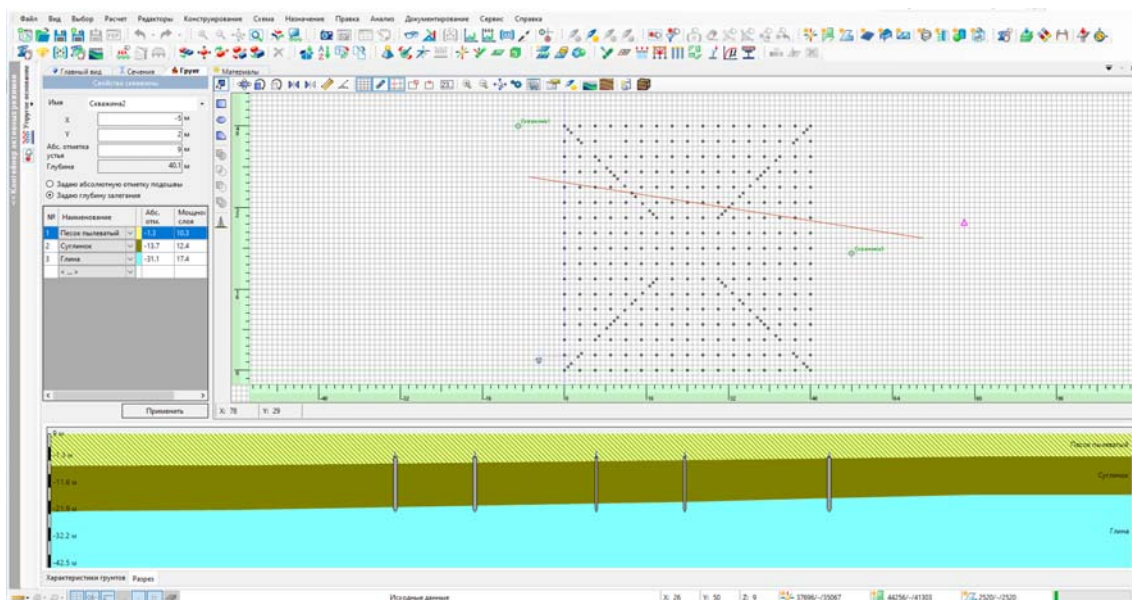


Рис. 64. Схема расположения свай в плане и на разрезе

Установим нормы и характеристики расчёта используя кнопку во вкладке →  **Редактор грунта**.

В меню → **Общие** радио-кнопкой выбираем → **Метод 2** выбираем вкладку → **Сваи**, и так как несущая способность свай определяется расчетным путем назначаем → **Коэффициент надежности по грунту** равный 1,5.

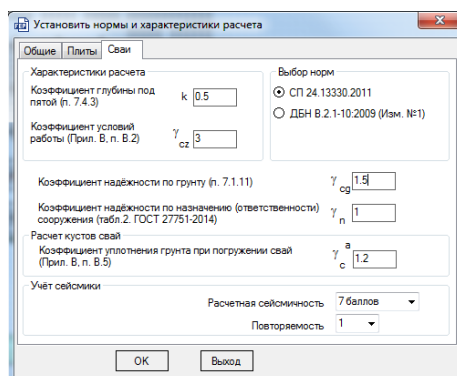
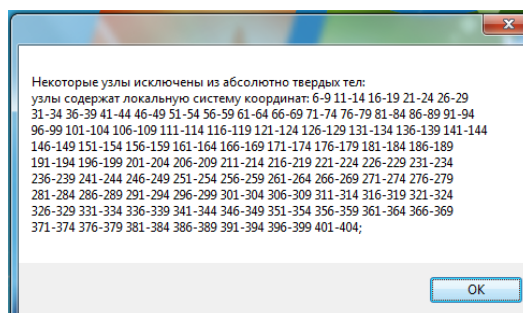


Рис. 65. Назначение норм и характеристик расчёта

После этого нажимаем кнопку → **ОК** и используя кнопку →  **Выполнить расчёт коэффициента постели** рассчитаем фундамент.

Так как значением  $P_z=60$  тс задались произвольно «условно», необходимо уточнить нагрузку на сваи выполнив полный расчет. Перед расчетом программа предупредит, что узлы с абсолютно твердыми телами будут исключены из абсолютно твердых тел.



После выполнения полного расчета во вкладке → **Результаты** используя кнопку →  **Спец. элементы** **Специальные элементы**. Предварительно нажав на кнопку → **Загружения /РСН** в меню → **Тип сочетания** выбираем → **Нормативное** и нажимаем кнопку → **Усилие Rz**. Чтобы увидеть распределение усилий по сваям необходимо щелкнуть правой кнопкой мышки и выбрать → **Визуальное представление** → **Мозаика**.

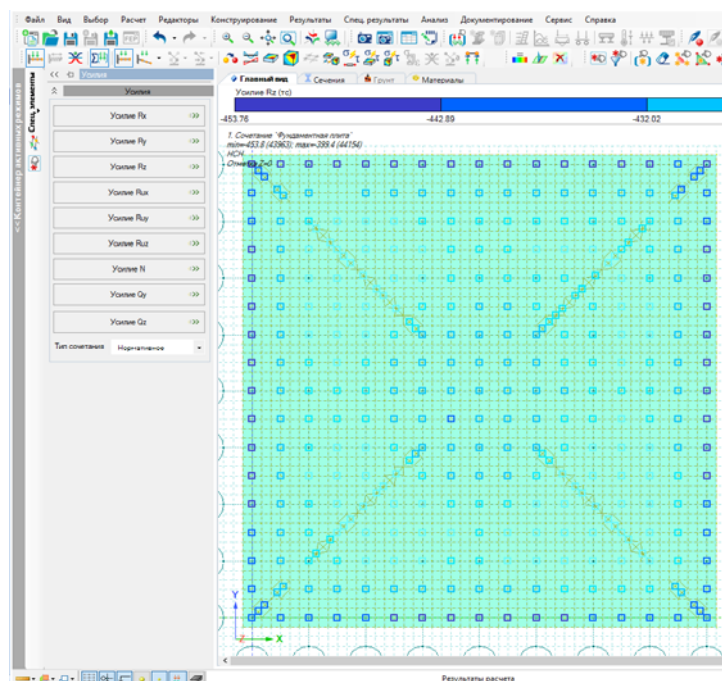


Рис. 66. Распределение усилий по сваям

Дальше необходимо преобразовать результаты расчёта в исходные данные используя вкладку → **Специальные результаты** → **Преобразовать результаты в исходные данные**. В меню выбрать → **Преобразование в Rz**, → **Тип сочетания** → **Нормативное** и нажать кнопку → **Преобразовать**. Программа покажет процент изменения нагрузки.

Количество измененных элементов: 333  
 Суммарная площадь измененных элементов: 0(м<sup>2</sup>)  
 Суммарная нагрузка до изменения: 19980(тс)  
 Суммарная нагрузка после изменения: 1.404E+05(тс)  
 Процент изменения нагрузки: 603(%)  
 Изменение центра сил: 0.05456(м)

OK

Выполнять пересчет расчетной схемы необходимо до достижения минимального значения процента изменения нагрузки (менее 0,001%).

Количество измененных элементов: 2679  
 Суммарная площадь измененных элементов: 0(м<sup>2</sup>)  
 Суммарная нагрузка до изменения: 1.3415E+05(тс)  
 Суммарная нагрузка после изменения: 1.3415E+05(тс)  
 Процент изменения нагрузки: 0(%)  
 Изменение центра сил: 0.001633(м)

OK

Используя вкладку → **Анализ исходных данных** и кнопку → **Анализ модели** и нажать кнопку → **Pz (сваи)** отобразятся нагрузки, передаваемые на сваи.

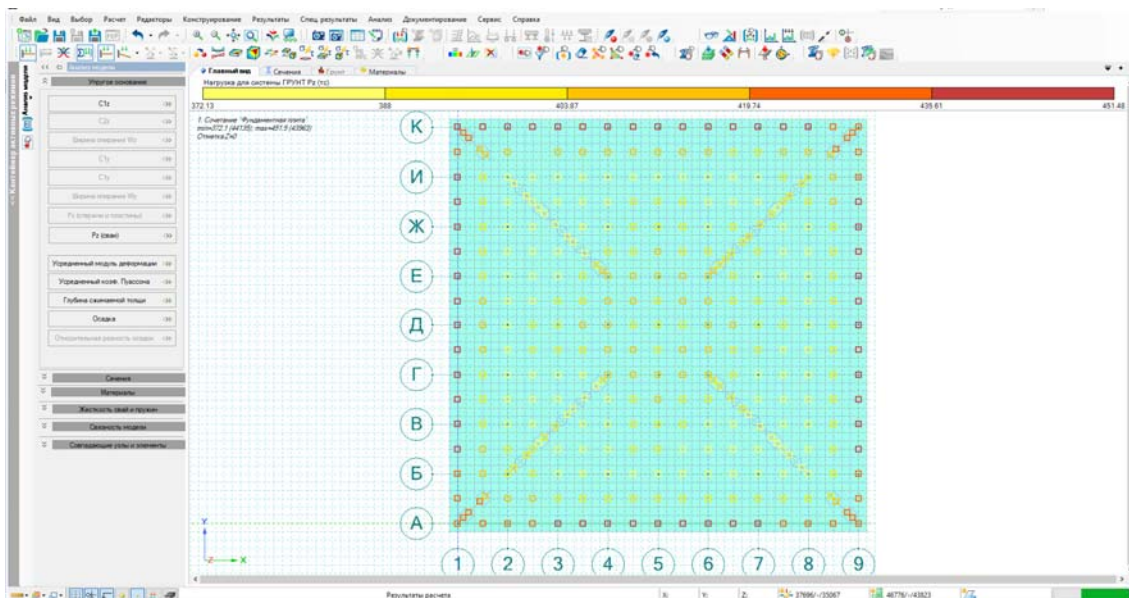


Рис. 67. Нагрузки передаваемые на сваи

Кроме этого можно проанализировать осадку фундамента нажав кнопку → **Осадка**. Если максимальное значение осадки фундаментной плиты превышающих предельное допустимое значение необходимо выполнить корректировку свайного поля путем изменения длины и схемы расположения свай.

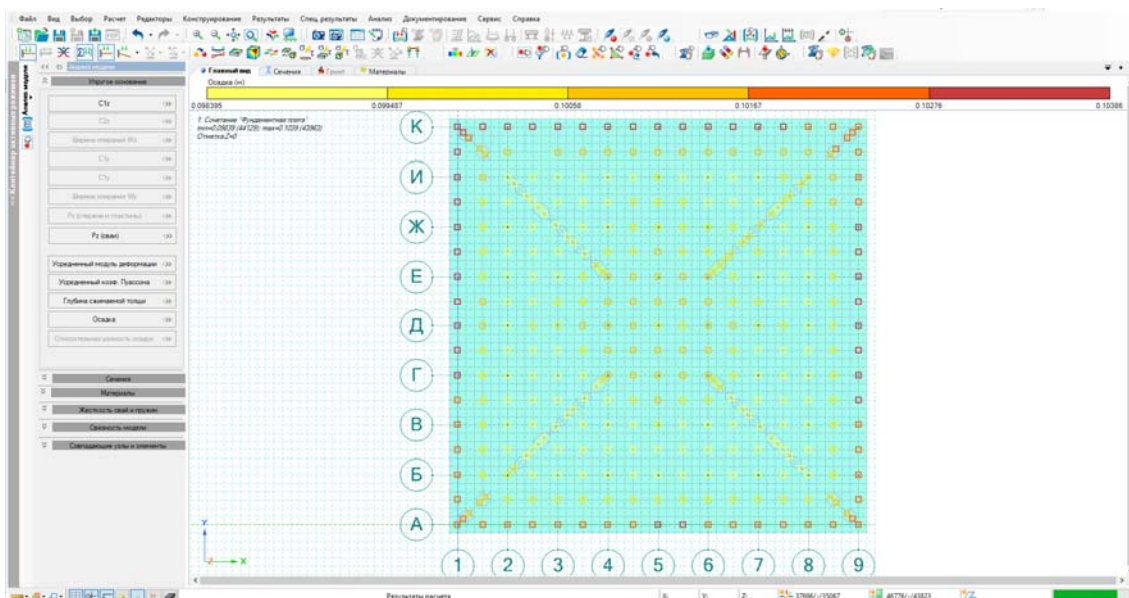


Рис. 68. Осадка свайного фундамента

Выбрав вкладку в меню → **Жесткость свай и пружин** и нажав на кнопку → **Несущая способность свай  $F_d$**  отобразится мозаика распределения несущей способности свай в фундаменте.

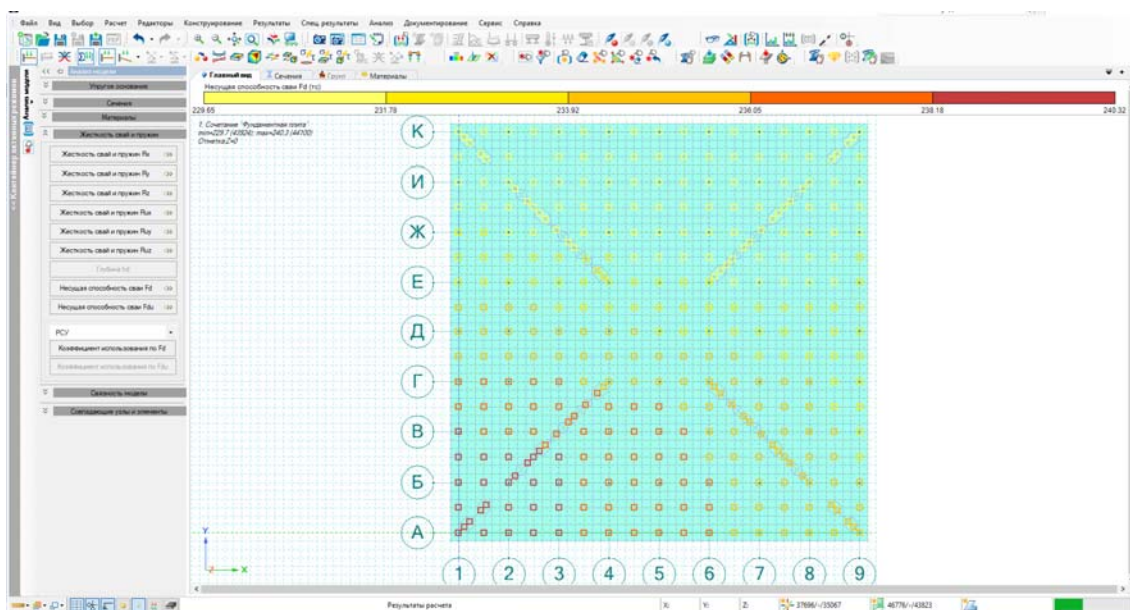


Рис. 69. Несущая способность свай

Возможно выполнить анализ использования несущей способности свай в фундаменте нажав на кнопку → **Коэффициент использования по  $F_d$** .

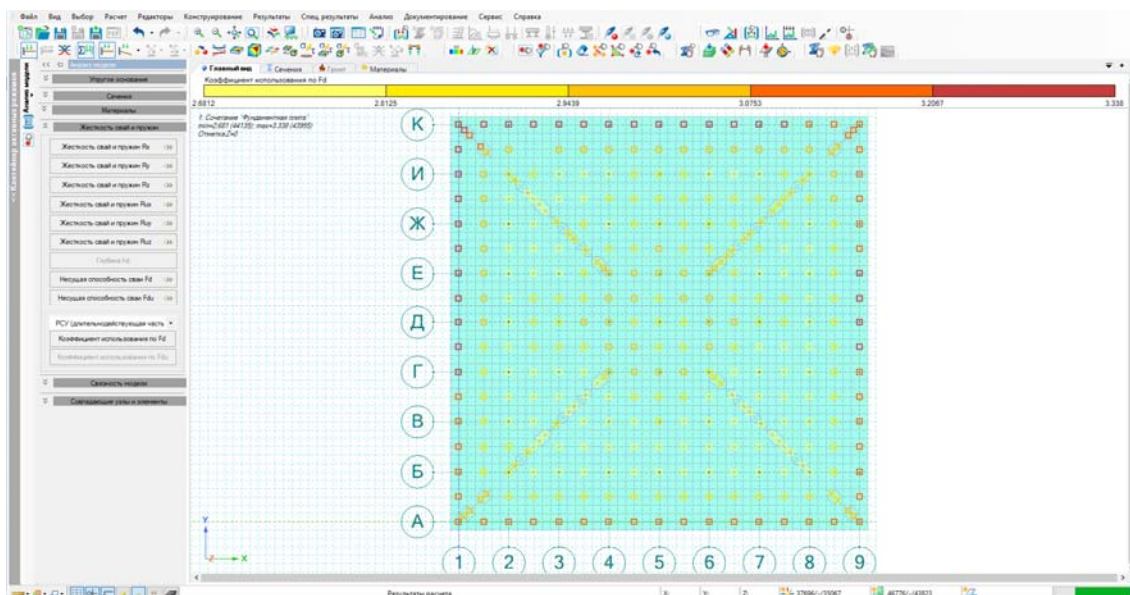


Рис. 70. Коэффициент использования по несущей способности свай

По результатам расчета видно, что сваи перегружены в 3,3 раза, кроме того необходимо учитывать, что расчетная несущая способность сваи может быть выше прочности материала сваи. В результате необходимо выполнить

корректировку свайного поля в сторону увеличения количества или длины свай.

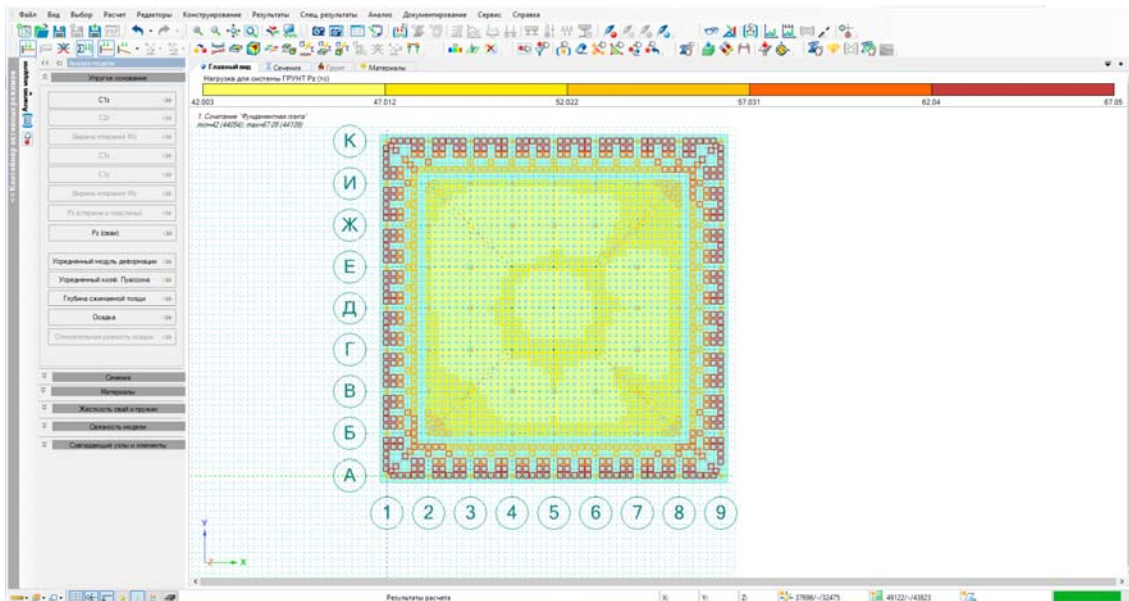


Рис. 71. Нагрузки передаваемые на сваи после корректировки свайного поля

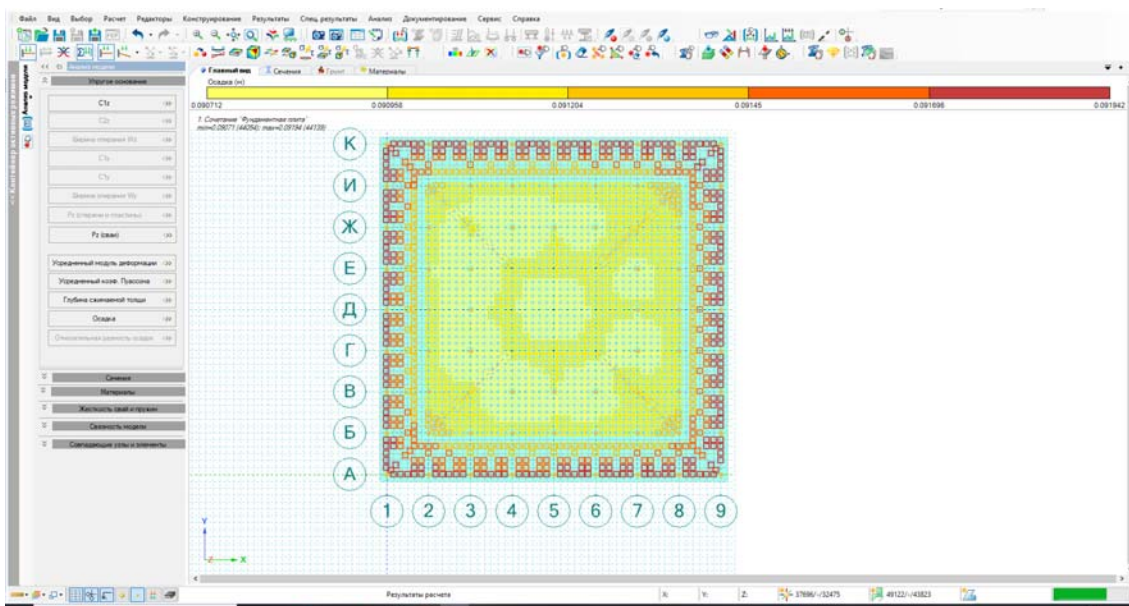


Рис. 72. Осадка свайного фундамента после корректировки свайного поля

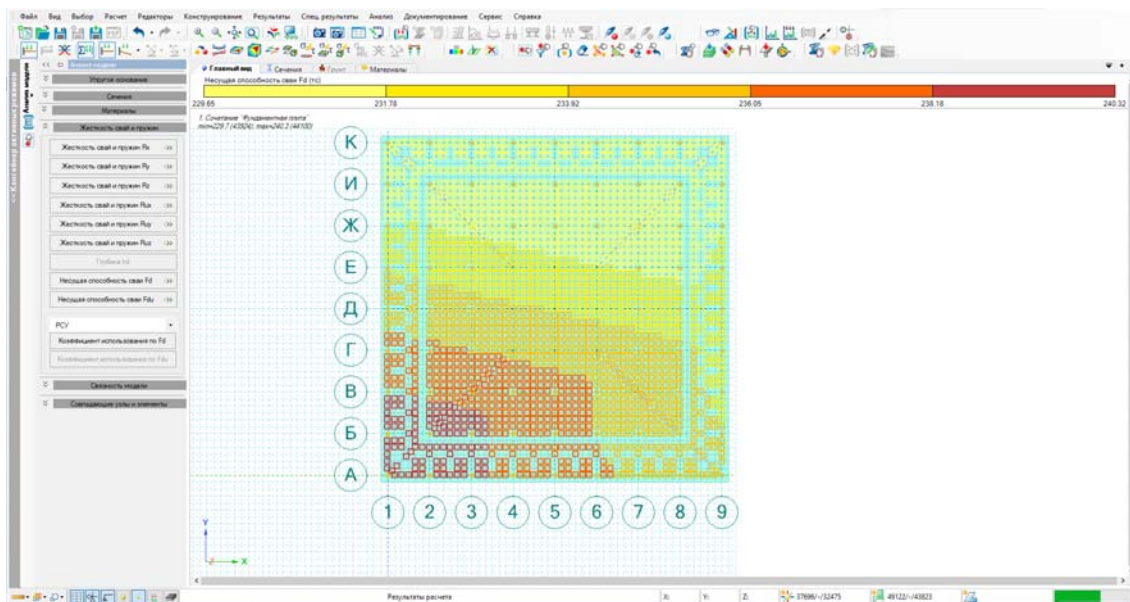


Рис. 73. Несущая способность свай после корректировки свайного поля

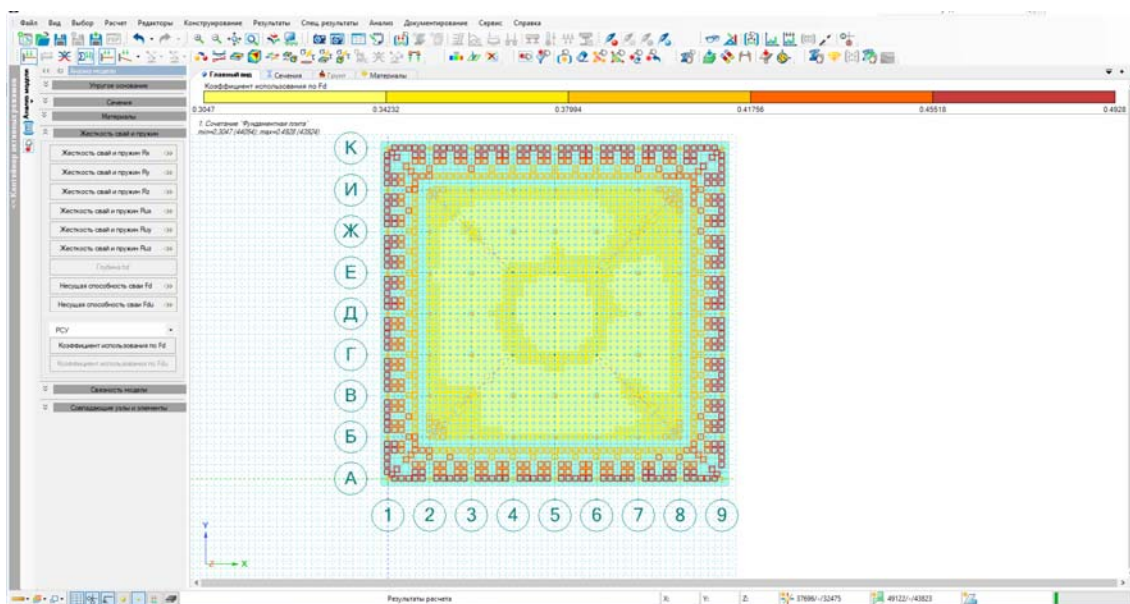


Рис. 74. Коэффициент использования по несущей способности свай после корректировки свайного поля

Далее выполняется подбор арматуры в плитном ростверке свайного фундамента.

## 5. РАСЧЁТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ

Для выполнения расчета на продавливание используется кнопка на панели инструментов во вкладке → **Редактор и конструирование** кнопка →



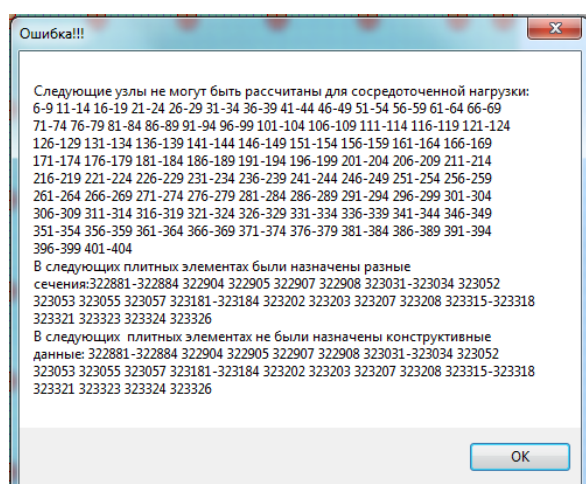
**Продавливание.**

Используя во вкладки → **Вид и выбор** кнопку →  **Фильтр выбора** выбрав вкладку → **Фильтр по узлам** поставив галочки → **Принадлежность к твердому телу** и галочку → **Выбрать только видимые объекты** нажмите кнопку → **Выбрать**. Выделяются узлы, принадлежащие к твердому телу. Для расчёта необходимы узлы с приложенной сосредоточенной нагрузкой от колонны – узел пересечения колонны с перекрытием. Для примера рассмотрим перекрытие первого этажа, предварительно выполнив расчет конструирования плиты перекрытия.

Далее переходим во вкладку → **Редактор и конструирование** кнопка →



**Продавливание** и нажимаем на кнопку → **Добавить группу продавливания**. Появится окно об ошибке, в котором будут указаны узлы без сосредоточенной нагрузки – это узлы с отсутствием пересечения колонны с железобетонной плитой.



После снятия выделения, нажав на соответствующий узел в списке групп и нажав кнопку → **Выделить на схеме**. На схеме отобразится узел, рассчитываемый на продавливание.

Далее выбираем вкладку → **Расчет и результаты** → **PCU** и нажимаем на кнопку → **Расчет**.

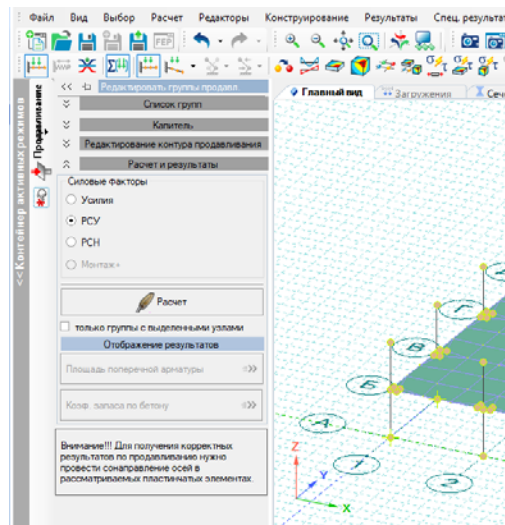


Рис. 75. Расчёт железобетонной плиты на продавливание

В результате внизу рабочего экрана появляется таблица результатов по узлам:

| № группы | № узла | № элемента             | Предупр. | Ошибки | Аж, см² | Аж<sub>пр</sub>, см² | Сж, м | д, м | Кэф. запаса по бетону | Кэф. запаса |
|----------|--------|------------------------|----------|--------|---------|----------------------|-------|------|-----------------------|-------------|
| 1        | 5940   | 6004                   |          |        |         |                      |       | 1.02 | 1.103                 | 1.103       |
| 2        | 5941   | 7148                   | 2        |        | 0.045   | 0.23144              | 0.2   | 1.02 | 0.9634                | 1           |
| 3        | 5942   | 7152                   |          |        |         |                      |       | 1.02 | 1.025                 | 1.025       |
| 4        | 5943   | 7001                   | 2        |        | 0.074   | 0.37899              | 0.2   | 1.02 | 0.9735                | 1           |
| 5        | 5947   | 7486, 7911             | 1        | 3      | 2.9     | 29.787               | 0.2   | 2.04 | 0.4792                | 0.9585      |
| 6        | 5952   | 7464, 7901             | 1        |        | 1.9     | 19.051               | 0.2   | 2.04 | 0.9311                | 1.066       |
| 7        | 5957   | 7446, 7952             | 1        |        | 1.7     | 17.643               | 0.2   | 2.04 | 0.8064                | 1.002       |
| 8        | 5962   | 7454, 7965             | 1        |        | 2.1     | 21.003               | 0.2   | 2.04 | 0.5696                | 1.002       |
| 9        | 5967   | 7471, 7991             | 1        |        | 1.6     | 16.003               | 0.2   | 2.04 | 0.636                 | 1.01        |
| 10       | 5972   | 7475, 7979             | 1        |        | 1.2     | 11.856               | 0.2   | 2.04 | 0.6876                | 1.001       |
| 11       | 5977   | 7452, 7932             |          |        |         |                      |       | 2.04 | 1.514                 | 1.514       |
| 12       | 5985   | 7474, 7909             | 1        | 3      | 2.9     | 29.787               | 0.2   | 2.04 | 0.476                 | 0.9559      |
| 13       | 5990   | 7597, 7998, 7999, 7900 |          |        |         |                      |       | 4.08 | 1.204                 | 1.204       |
| 14       | 5995   | 7650, 7959, 7965, 7993 |          |        |         |                      |       | 4.08 | 0.907                 | 0.907       |
| 15       | 6000   | 7640, 7947, 7953, 7966 |          |        |         |                      |       | 4.08 | 4.659                 | 4.659       |
| 16       | 6005   | 7669, 7939, 7940, 7954 |          |        |         |                      |       | 4.08 | 1.733                 | 1.733       |
| 17       | 6010   | 7677, 7944, 7946, 7967 |          |        |         |                      |       | 4.08 | 3.648                 | 3.648       |
| 18       | 6015   | 7669, 7971, 7972, 7973 |          |        |         |                      |       | 4.08 | 1.117                 | 1.117       |
| 19       | 6020   | 7623, 7925, 7929, 7929 | 1        |        | 1.5     | 29.04                | 0.2   | 4.08 | 0.6477                | 1           |

Рис. 76. Результаты расчёта железобетонной плиты на продавливание

Пластинчатые элементы, входящие в контур продавливания, указаны в столбце **№№ элементов**. Желтым цветом выделяются строки в столбце **Предупр.** коэффициент запаса в данных элементах равен 1. Красным цветом выделяются строки в столбце **Ошибки** коэффициент запаса в выделенных элементах более 1 - не выполняются условия прочности плиты на продавливание.



В таблице, на против расчётного узла, нажав на кнопку →

33 % Проверка плиты на продавливание без учета поперечной арматуры. Поперечная арматура не нужна!

$$\frac{R_{dI}}{F_{d,ab}} + \min \left[ \frac{R_{dI}}{M_{dI,ab}} + \frac{R_{dI}}{M_{dI,ab}} \cdot \frac{0.5 R_{dI}}{F_{d,ab}} \right] < 1$$

$$\frac{328.157}{1107.733} + \min \left[ \frac{11.077}{764.336} + \frac{11.428}{764.336} \cdot \frac{0.5 \cdot 328.157}{1107.733} \right] < 1$$

$R_{dI}$  : сосредоточенная сила вдоль оси X1 стержня, тс

$$R_{dI} = \gamma_{dI} |R_{dI}| - R'_{dI}$$

$$R_{dI} = 1 \cdot 328.157 - 0 = 328.157$$

$\gamma_{dI}$  : коэффициент надежности по ответственности для I предельного состояния, 1

$R_{dI}$  : сосредоточенная сила вдоль оси X1 стержня, тс -328.157

$R'_{dI}$  : разгружающая сила вдоль оси X1 стержня: учетом собственного веса и давления грунта в пределах контура продавливания, тс 0

$F_{d,ab}$  : предельное усилие, воспринимаемое бетоном при продавливании, тс

$$F_{d,ab} = R_{dI} \cdot h_0 \cdot u$$

$$F_{d,ab} = 91.01 \cdot 1.47 \cdot 8.28 = 1107.733$$

$u$  : периметр контура расчетного поперечного сечения (контур расположен внеузу зоны передачи усилий на расстоянии 0.5 $h_0$ ), м 8.28

$R_{dI}$  : расчетное сопротивление бетона растяжению, тс/м<sup>2</sup>

Рис. 77. Результаты аналитического расчёта железобетонной плиты на продавливание

## 6. РАСЧЁТ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ В ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Перед началом расчёта необходимо преобразовать в исходные данные результаты конструирования фундаментной плиты. Во вкладке преобразование подобранных сечений радио-кнопку установить напротив Для физически нелинейного расчёта и нажимаем на кнопку Выполнить преобразование.

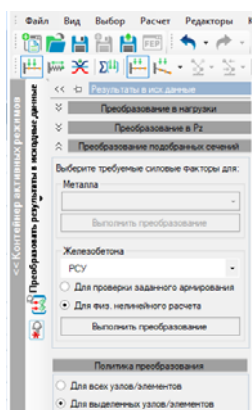
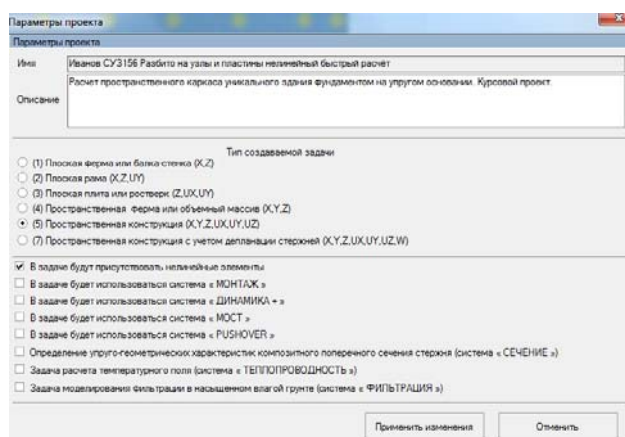


Рис. 78. Преобразование железобетонной фундаментной плиты для выполнения нелинейного расчета

Расчет плиты в физически нелинейной постановке выполняется для оценки реальных перемещений в конструкции, а также для того чтобы увидеть характер разрушения, появление трещин, пластичных шарниров. При этом РСН и РСУ не применимы к нелинейным расчетам, так как не применим принцип суперпозиции: первое нагружение плюс второе нагружение, не равно второе нагружение плюс первое нагружение. Отсюда при выборе во вкладке → **FER** → **Параметры проекта** позиции → **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы** задаваемые сочетания удалятся, а нагрузкам присвоиться порядковый номер. Для этого необходимо перед установлением галочки → **В задаче будут присутствовать нелинейные элементы** сохранить расчет под другим именем добавив к наименованию файла нелинейный расчет.



Каждое загружение будет разбито на шаги, а шаги на итерации. Количество шагов и итераций устанавливает пользователь. Большое количество шагов для нагружения увеличивает время выполнения расчета, а минимальное количество итераций равно 300.

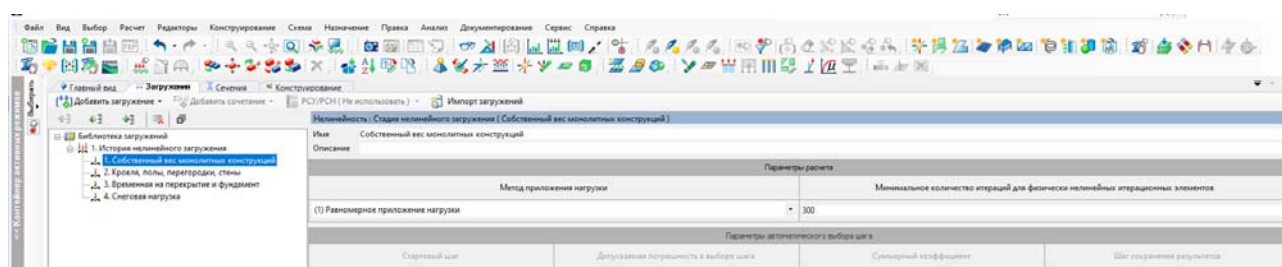


Рис. 79. Формирование шагов и итераций нагружений

В результате, загрузки будут пошагово прикладываться в том порядке,

в котором указаны они в → **Истории нелинейного нагружения**. Максимальная суммарная нагрузка сформируется на последнем нагружении.

Предварительно выделив фундаментную плиту и используя кнопку → **Изменить тип КЭ** выбираем элемент из списка → **(442, 444) Физически и геометрически нелинейный КЭ оболочки** и нажимаем кнопку → **Изменить**.

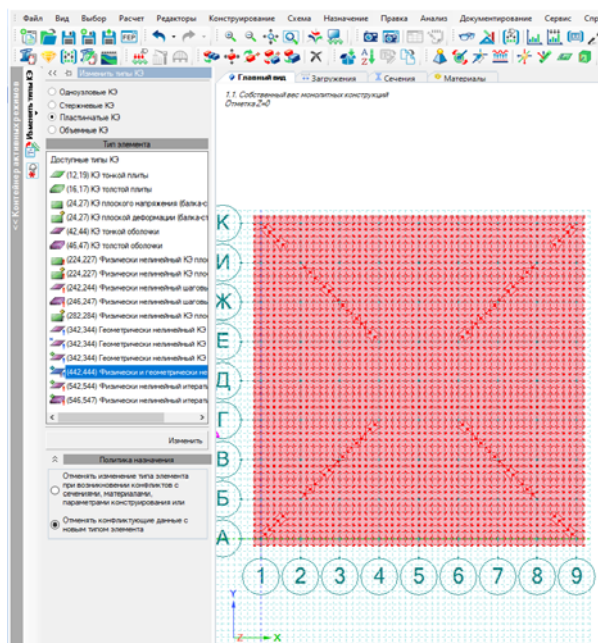
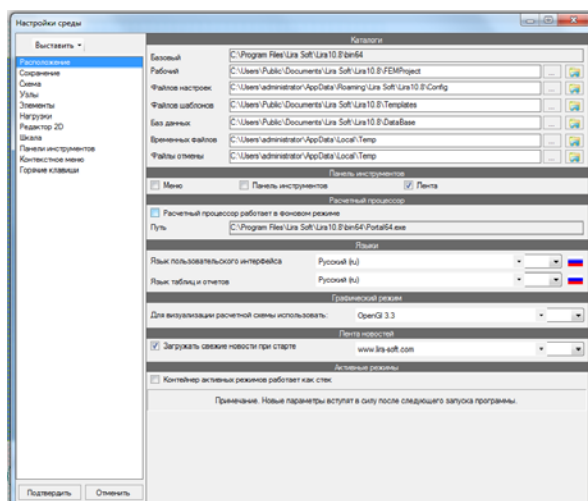


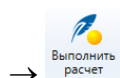
Рис. 80. Изменение типа конечного элемента фундаментной плиты

После этого необходимо назначить фундаментной плите сечение/жесткость и материал. Для этого заходим во вкладку → **Редактор материалов** в выпадающей вкладке → **Нелинейный материал** выбираем → **Армированный материал типа железобетона**. В окне → **Описание** пишем → **Нелинейный материал фундамент**. Выделив пластинчатые элементы фундаментной плиты, используя кнопку → **Назначить сечение, материал, конструирование** в доступных сечениях выбираем → **Фундаментная плита 2000 мм, новое сечение**, во вкладке → **Доступные материалы** выбираем → **Нелинейный материал фундамент**.

Для визуализации процесса расчета и формирования разрушений в процессе пошагового нагружения необходимо во вкладке → **FER** нажать кнопку →  **Настройки среды...** **Настройки среды** убрать галочку напротив → **Расчетный процессор работает в фоновом режиме**.



После этого необходимо Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке



→ **Выполнить расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Расчет**).

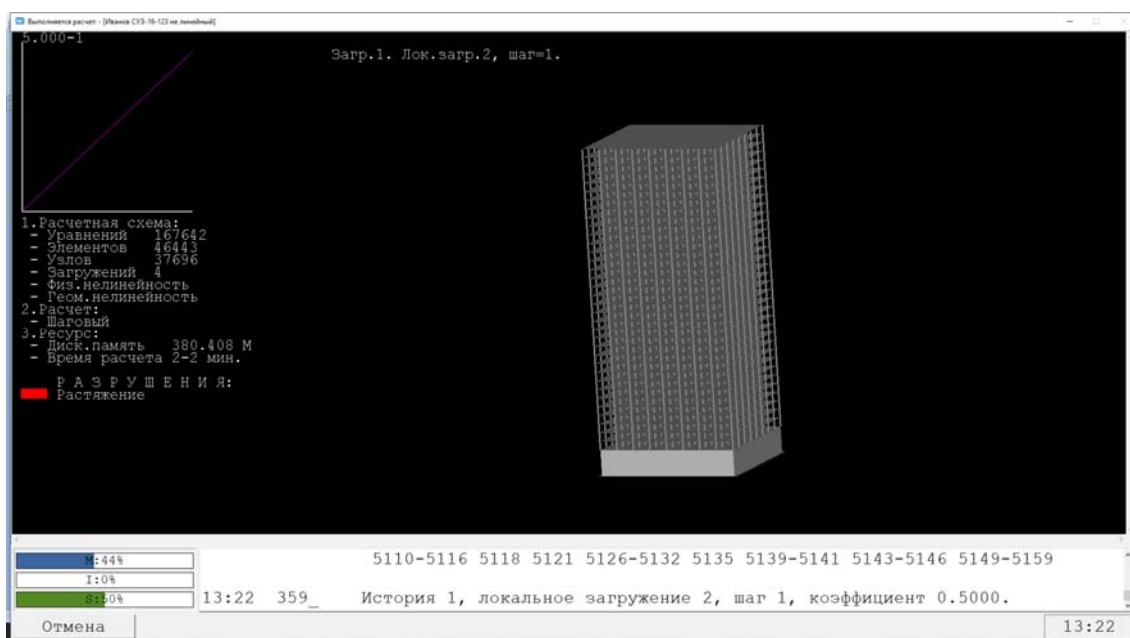


Рис. 81. Физически нелинейный расчет фундаментной плиты

Для просмотра результатов необходимо во вкладке результаты нажать



кнопку → **Разрушения**. В результате выбрав **Слой** и нажав на кнопку → **Отобразить** появиться мозаика разрушений, на которой трещин указываются черточкой, появление пластического шарнира (разрушение) кругом или прямоугольником.

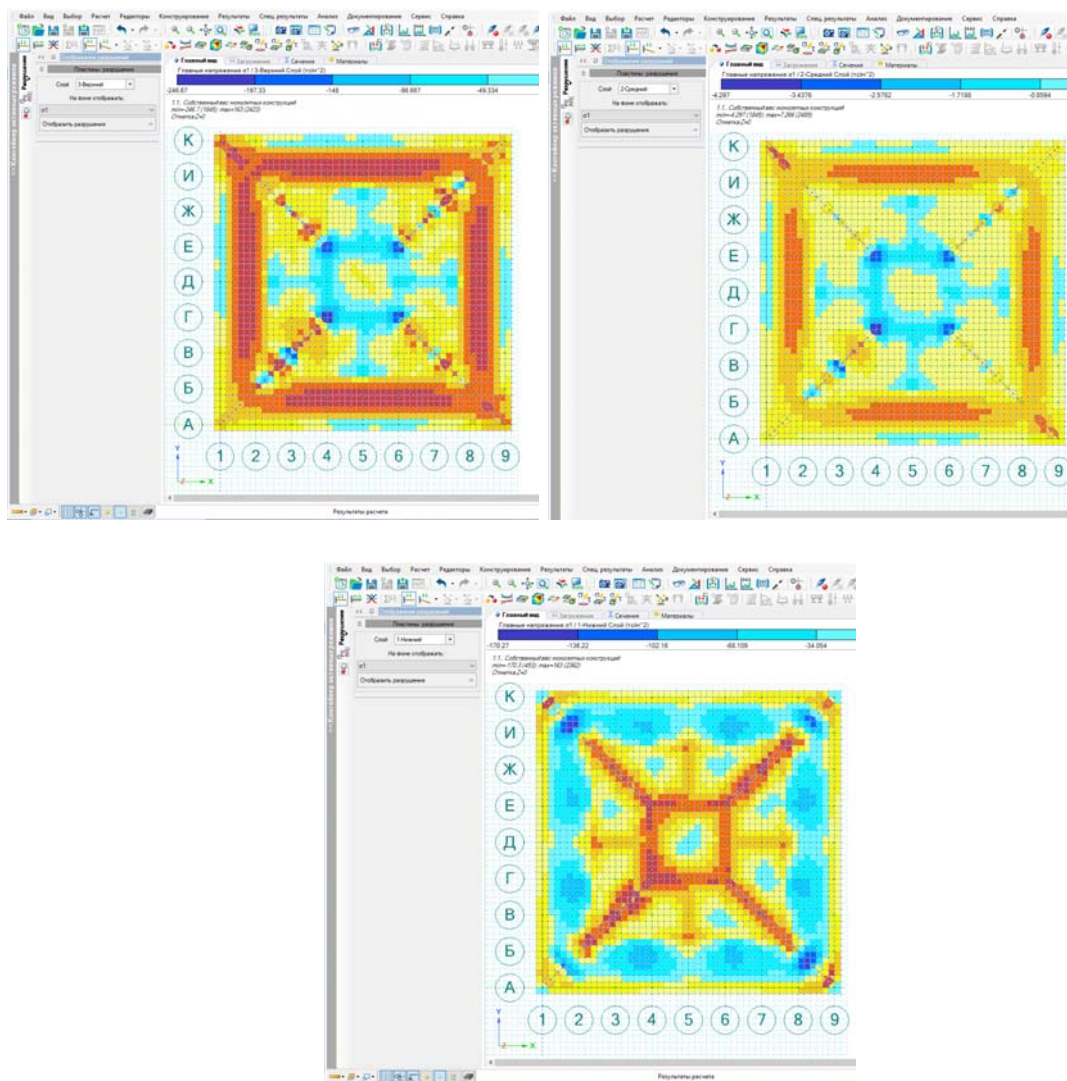


Рис. 82. Результаты физически нелинейного расчёта фундаментной плиты

По результатам расчёта видно, что участки с развитием трещин и пластических шарниров отсутствуют. Разрушение в плите не возникает.

Для оценки вертикальных деформации фундаментной плиты с учётом физически нелинейного расчета наводим курсор мышки на крайний угол плиты и нажав правую кнопку мышки необходимо выбрать в выпадающем меню вкладку → **Установить реперный узел**, тем самым, относительно этого узла отобразятся перемещения плиты, что позволит оценить величину деформации фундаментной плиты относительно оси Z;

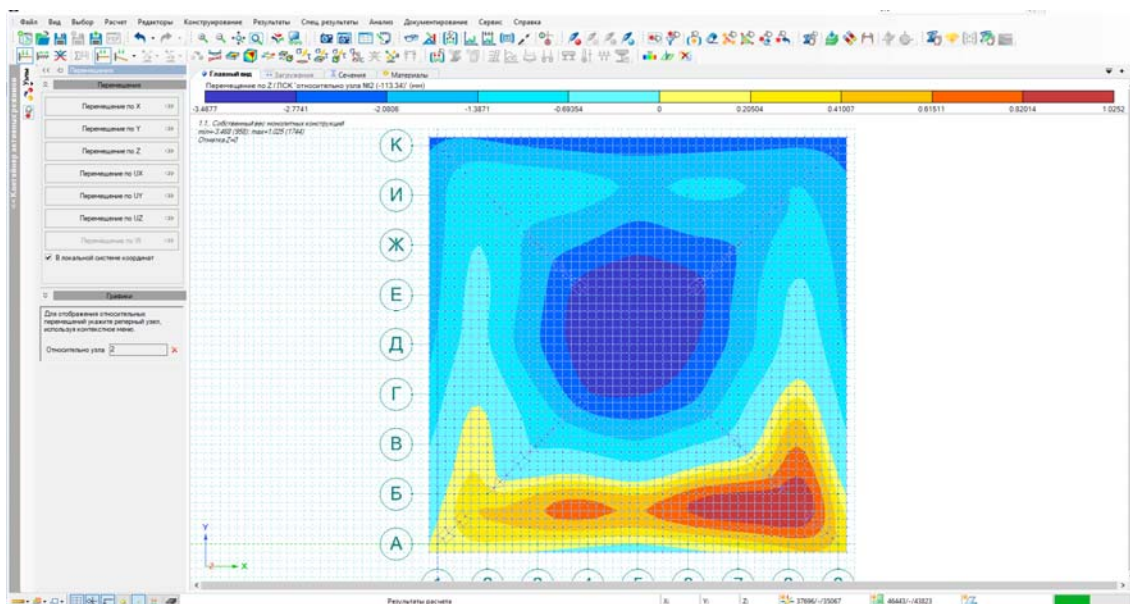


Рис. 83. Анализ результатов вертикальных деформаций фундаментной плиты

Для демонстрации разрушения железобетонной плиты и в целях экономии время на выполнение расчёта, ниже представлен пример разрушения железобетонной плиты. В расчетной схеме оставлен первый этаж, остальные этажи удалены. Нагрузка прикладываемая на плиту покрытия первого этажа составила  $90\,000\text{ тс/м}^2$ . Результаты нелинейного расчёта представлены ниже.

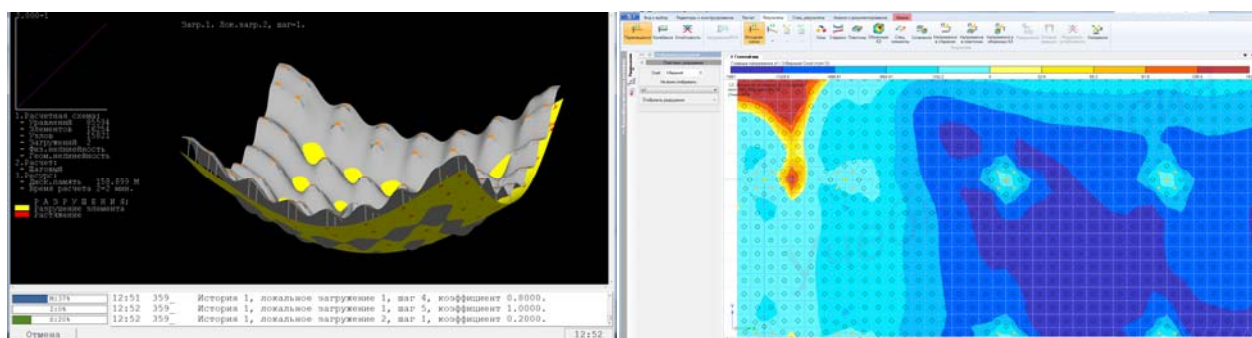


Рис. 84. Физически нелинейный расчет разрушенной железобетонной плиты

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.
3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
4. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56 с.
5. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 627 с.
6. Коренев Б.Г., Черниговская Е.И. Расчет плит на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 356 с.
7. Программный комплекс ЛИРА 10.6 2015. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Р.Ю. Водопьянов, В.П.Титок, А.Е. Артамонова; под ред. академика РААСН Городецкого А.С. – М.: Электронное издание, 2015. – 460 с.

## ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА ЗДАНИЕ

Определение нагрузок на здание осуществляется на основании свода правил СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Таблица 1 - Нагрузка на фундаментную плиту на отм. 0.000

| №                      | Наименование нагрузки                                                               | Нагрузка нормативная, кг/м <sup>2</sup> | Коэффициент надежности по нагрузке | Нагрузка расчетная, кг/м <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1                      | Фундаментная железобетонная плита толщиной 500 мм плотностью 2500 кг/м <sup>3</sup> | 1250                                    | 1,1                                | 1375                                  |
| Нагрузка от веса полов |                                                                                     |                                         |                                    |                                       |
| 2.1                    | Пол из легкого бетона плотностью до 1200 кг/м <sup>3</sup> толщиной 50 мм           | 60                                      | 1,3                                | 78                                    |
| 2.2                    | Керамогранит толщиной 10 мм на клею ВЕТОНИТ                                         | 30                                      | 1,2                                | 36                                    |
| ИТОГО                  |                                                                                     |                                         |                                    | 114                                   |
| 3                      | Временная нагрузка в местах размещения торговых помещений                           | 400                                     | 1,2                                | 480                                   |

Таблица 2 - Нагрузка на перекрытие

| №     | Наименование нагрузки                                                                         | Нагрузка нормативная, кг/м <sup>2</sup> | Коэффициент надежности по нагрузке | Нагрузка расчетная, кг/м <sup>2</sup> |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1     | Монолитная железобетонная плита толщиной 200 мм плотностью 2500 кг/м <sup>3</sup>             | 500                                     | 1,1                                | 550                                   |
| 2     | Нагрузка от веса полов и перегородок                                                          |                                         |                                    |                                       |
| 3     | Стяжка из цементно-песчаного раствора толщиной до 40 мм, плотностью до 1800 кг/м <sup>3</sup> | 72                                      | 1,3                                | 93,6                                  |
| 4     | Линолеум                                                                                      | 10                                      | 1,3                                | 13                                    |
| 5     | Вес перегородок                                                                               | 100                                     | 1,2                                | 120                                   |
| ИТОГО |                                                                                               |                                         |                                    | 226,6                                 |
| 6     | Временная нагрузка в местах размещения жилых помещений                                        | 150                                     | 1,3                                | 195                                   |

Таблица 3 -Нагрузка на покрытие

| №     | Наименование нагрузки                                                             | Нагрузка нормативная, кг/м <sup>2</sup> | Коэффициент надежности по нагрузке | Нагрузка расчетная, кг/м <sup>2</sup> |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1     | Плита из железобетона толщиной 200 мм, плотностью 2500 кг/м <sup>3</sup>          | 500                                     | 1,1                                | 550                                   |
| 2     | Вес конструкции кровли                                                            |                                         |                                    |                                       |
| 3     | Пароизоляция                                                                      | 5                                       | 1,3                                | 6,5                                   |
| 4     | Утеплитель толщиной 120 мм, плотностью 30 кг/м <sup>3</sup>                       | 3,6                                     | 1,2                                | 4,4                                   |
| 5     | Разуклонка из керамзитобетона плотностью 600 кг/м <sup>3</sup> толщиной до 200 мм | 120                                     | 1,3                                | 156                                   |
| 6     | Цементно-песчаная стяжка толщиной 40 мм, плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup>        | 72                                      | 1,3                                | 93,6                                  |
| 7     | Гидроизоляция                                                                     | 30                                      | 1,3                                | 36                                    |
| ИТОГО |                                                                                   |                                         |                                    | 296,5                                 |
| 8     | Снеговая нагрузка (IV район)                                                      | 200                                     | 1.4                                | 280                                   |

Таблица 4 - Нагрузка от веса наружного стенового ограждения

| №     | Наименование нагрузки                                                              | Нагрузка нормативная, кг/м <sup>2</sup> | Коэффициент надежности по нагрузке | Нагрузка расчетная, кг/м <sup>2</sup> |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1     | Блоки из газобетона толщиной 400 мм плотностью 400 кг/м <sup>3</sup> ;             | 160                                     | 1,2                                | 192                                   |
| 2     | Утеплитель толщиной 150 мм, плотностью до 65 кг/м <sup>3</sup>                     | 10                                      | 1,2                                | 12                                    |
| 3     | Навесной фасад из керамогранита                                                    | 60                                      | 1,2                                | 72                                    |
| 4     | Слой цементно-песчаной штукатурки толщиной 20 мм плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup> | 36                                      | 1,3                                | 46,8                                  |
| ИТОГО |                                                                                    |                                         |                                    | 322,8                                 |

Нагрузка от веса стен при высоте этажа 3,3 м с учетом коэффициента проемности 0,8 составляет:  $0,8 \cdot 322,8 \cdot (3,3 - 0,2) = 825,4$  кг/м (здесь 0,2 – толщина перекрытия).

Нагрузка от веса парапетов высотой 1000 мм из керамического кирпича с толщиной кладки 380 мм плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup>:  $0,38 \cdot 1800 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 752,4$  кг/м (здесь 1,1 – коэффициент надежности по нагрузке).

### Сбор ветровой нагрузки

Нормативное значение ветровой нагрузки определено как сумма средней  $w_m$  и пульсационной  $w_p$  составляющих:

$$w = w_m + w_p,$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки в зависимости от эквивалентной высоты  $z_e$  над поверхностью земли:

$$w_m = w_0 * k(z_e) * c,$$

где  $w_0 = 0,23$  кПа - нормативное значение ветрового давления для I района по СП 20.13330.2011;

$k$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, принимаемый в соответствии с п.11.1.5 и 11.1.6 СП 20.13330.2011;

$c$  – аэродинамический коэффициент, принимаемый в соответствии с п.11.1.7 и приложением Д.1.1 СП 20.13330.2011.

Для зданий:

в) при  $h > 2d$  :

для  $z \geq h - d \rightarrow z_e = h$ ;  $z = 114 - 48 = 66$  м;  $z_e = 114$  м;

для  $d < z < h - d \rightarrow z_e = z$ ;  $48$  м  $< z < 114 - 48 = 66$  м;  $z_e = z$ ;

для  $0 < z \leq d \rightarrow z_e = d$ ;  $0 < z < 48$  м  $\rightarrow z_e = 48$  м;

где  $z$  - высота от поверхности земли (105 м);

$d$  - размер здания (без учета его стилобатной части) в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер) (48 м);

$h$  - высота здания (114 м).

Для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий

Таблица В.2

| Боковые стены |      |      | Наветренная стена | Подветренная стена |
|---------------|------|------|-------------------|--------------------|
| Участки       |      |      |                   |                    |
| A             | B    | C    | D                 | E                  |
| -1,0          | -0.8 | -0.5 | 0.8               | -0.5               |

Для наветренных, подветренных и различных участков боковых стен (рисунок В.3) аэродинамические коэффициенты  $c$  приведены в таблице В.2. Для стен с отрицательным уклоном при  $45^\circ < \alpha < 90^\circ$  (см. рисунок В.3)

аэродинамические коэффициенты определяются так же, как и для вертикальных стен.

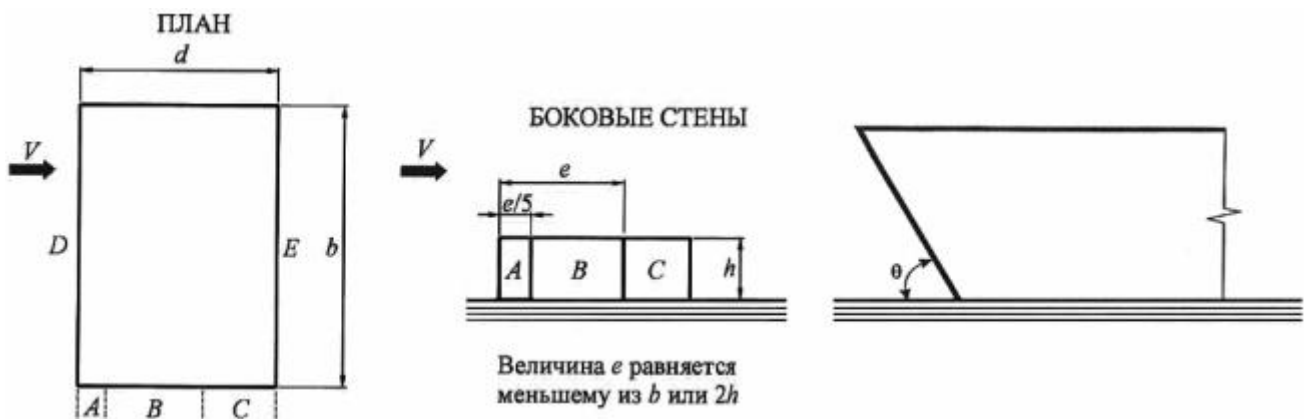


Рисунок В.3\*

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки  $w_m$  в зависимости от эквивалентной высоты  $z_e$  над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c,$$

где  $w_0$  - нормативное значение ветрового давления;

$k(z_e)$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $z_e$  (тип местности А);

$c$  - аэродинамический коэффициент.

$e = 48$  м;  $A = 9,6$  м;  $B = 38,4$  м;  $C = 0$  м.

$w_0 = 0,23$  кПа.

для участка по высоте здания  $z = 0 \div 48$  м,  $k = 1,508$  при  $z_e = d = 48$  м;

для участка по высоте здания  $z = 48 \div 66$  м:

$k = 1,508$  при  $z_e = 48$  м;

$k = 1,7$  при  $z_e = 60$  м;

$k = 1,706$  при  $z_e = 66$  м;

для участка по высоте здания  $z = 66 \div 105$  м,  $k = 2,07$  при  $z_e = d = 114$  м;

$c = -1,0$  для зоны А,

$c = -0,8$  для зоны В,

$c = -0,5$  для зоны С,

$c = 0,8$  для зоны Д,

$c = -0,5$  для зоны Е;

для участка по высоте здания  $z = 0 \div 48$  м

$w_m = 0,23 * 1,508 * (-1) = -0,347$  кПа для зоны А на высоте  $0 \div 48$  м;

$w_m = 0,23 * 1,508 * (-0,8) = -0,277$  кПа для зоны В на высоте  $0 \div 48$  м;

$w_m = 0,23 * 1,508 * 0,8 = 0,277$  кПа для зоны Д на высоте  $0 \div 48$  м;

$w_m = 0,23 * 1,508 * (-0,5) = -0,176$  кПа для зоны Е на высоте  $0 \div 48$  м;

для участка по высоте здания  $z = 48 \div 66$  м:

$w_m = 0,23 * 1,508 * (-1) = -0,347$  кПа для зоны А на высоте 48 м;

$w_m = 0,23 * 1,7 * (-1) = -0,391$  кПа для зоны А на высоте 60 м;

$w_m = 0,23 * 1,706 * (-1) = -0,392$  кПа для зоны А на высоте 66 м;

$w_m = 0,23 * 1,508 * (-0,8) = -0,277$  кПа для зоны В на высоте 48 м;

$w_m = 0,23 * 1,7 * (-0,8) = -0,313$  кПа для зоны В на высоте 60 м;

$w_m = 0,23 * 1,706 * (-0,8) = -0,314$  кПа для зоны В на высоте 66 м;

$w_m = 0,23 * 1,508 * 0,8 = 0,277$  кПа для зоны Д на высоте 48 м;

$w_m = 0,23 * 1,7 * 0,8 = 0,313$  кПа для зоны Д на высоте 60 м;

$w_m = 0,23 * 1,706 * 0,8 = 0,314$  кПа для зоны Д на высоте 66 м;

$w_m = 0,23 * 1,508 * (-0,5) = -0,173$  кПа для зоны Е на высоте 48 м;

$w_m = 0,23 * 1,7 * (-0,5) = -0,195$  кПа для зоны Е на высоте 60 м;

$w_m = 0,23 * 1,706 * (-0,5) = -0,196$  кПа для зоны Е на высоте 66 м;

для участка по высоте здания  $z = 66 \div 105$  м

$w_m = 0,23 * 2,07 * (-1) = -0,476$  кПа для зоны А на высоте  $66 \div 105$  м;

$w_m = 0,23 * 2,07 * (-0,8) = -0,381$  кПа для зоны В на высоте  $66 \div 105$  м;

$w_m = 0,23 * 2,07 * 0,8 = 0,381$  кПа для зоны Д на высоте  $66 \div 105$  м;

$w_m = 0,23 * 2,07 * (-0,5) = -0,238$  кПа для зоны Е на высоте  $66 \div 105$  м;

$W = w_m * \gamma$ , где

$W$  - расчётное значение ветровой нагрузки;

$\gamma = 1,4$  - коэффициент надёжности по нагрузке в соответствии с СП

20.13330.2011;

*для участка по высоте здания  $z=0\div 48$  м*

$W = -0,347 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,486 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте  $0\div 48$  м;

$W = -0,277 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,388 \text{ кПа}$  для Зоны В на высоте  $0\div 48$  м;

$W = 0,277 \text{ кПа} \cdot 1,4 = 0,388 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте  $0\div 48$  м;

$W = -0,345 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,483 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте  $0\div 48$  м;

$W = -0,176 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,246 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте  $0\div 48$  м;

*для участка по высоте здания  $z=48\div 66$  м:*

$W = -0,347 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,486 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте 48 м;

$W = -0,391 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,547 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте 60 м;

$W = -0,392 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,549 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте 66 м;

$W = -0,277 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,388 \text{ кПа}$  для Зоны В на высоте 48 м;

$W = -0,313 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,438 \text{ кПа}$  для Зоны В на высоте 60 м;

$W = -0,314 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,440 \text{ кПа}$  для Зоны В на высоте 66 м;

$W = 0,277 \text{ кПа} \cdot 1,4 = 0,388 \text{ кПа}$  для Зоны Д на высоте 48 м;

$W = 0,313 \text{ кПа} \cdot 1,4 = 0,438 \text{ кПа}$  для Зоны Д на высоте 60 м;

$W = 0,314 \text{ кПа} \cdot 1,4 = 0,440 \text{ кПа}$  для Зоны Д на высоте 66 м;

$W = -0,173 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,242 \text{ кПа}$  для Зоны Е на высоте 48 м;

$W = -0,195 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,273 \text{ кПа}$  для Зоны Е на высоте 60 м;

$W = -0,196 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,274 \text{ кПа}$  для Зоны Е на высоте 66 м;

*для участка по высоте здания  $z=66\div 105$  м*

$W = -0,476 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,666 \text{ кПа}$  для Зоны А на высоте  $66\div 105$  м;

$W = -0,381 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,533 \text{ кПа}$  для Зоны В на высоте  $66\div 105$  м;

$W = 0,381 \text{ кПа} \cdot 1,4 = 0,533 \text{ кПа}$  для Зоны Д на высоте  $66\div 105$  м;

$W = -0,238 \text{ кПа} \cdot 1,4 = -0,333 \text{ кПа}$  для Зоны Е на высоте  $66 \div 105$  м.

Для проверки конструкций по предельным состояниям и подбора армирования в железобетонных конструкциях сформированы расчетные сочетания усилий (РСУ) с соответствующими параметрами конструирования.

Прогибы и перемещения определялись по сочетаниям нормативных нагрузок. Коэффициенты сочетаний приняты по СП 20.13330.2011.

## Сводная таблица нагрузок

| Наименование нагрузки                                                    | Ед. изм.          | Расчетное значение | Средний коэф-т надежности по нагрузке | Длительная часть | Номер загрузки, в котором задана нагрузка |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|
| <b>Постоянные нагрузки</b>                                               |                   |                    |                                       |                  |                                           |
| Собственный вес железобетонных несущих конструкций                       | кг/м <sup>3</sup> | 2750               | 1,1                                   | 1,0              | 1                                         |
| Вес полов и перегородок<br>—на фундамент;<br>—на плиту перекрытия        | кг/м <sup>2</sup> | 114<br>226,6       | 1,2                                   | 1,0              | 2                                         |
| Вес наружных стен                                                        | кг/м              | 825,4              | 1,2                                   | 1,0              | 2                                         |
| Вес парапетов                                                            | кг/м              | 752,4              | 1,2                                   | 1,0              | 2                                         |
| Вес конструкции кровли                                                   | кг/м <sup>2</sup> | 296,5              | 1,2                                   | 1,0              | 2                                         |
| <b>Временные нагрузки</b>                                                |                   |                    |                                       |                  |                                           |
| В местах устройства торговых помещений (на фундамент)                    | кг/м <sup>2</sup> | 480                | 1,2                                   | 0,35             | 3                                         |
| В местах устройства жилых помещений (на перекрытие)                      | кг/м <sup>2</sup> | 195                | 1,3                                   | 0,35             | 3                                         |
| Снеговая нагрузка (на покрытие)                                          | кг/м <sup>2</sup> | 280                | 1,4                                   | 0,7              | 4                                         |
| Ветровая нагрузка (нормативное значение ветрового давления для I района) | кг/м <sup>2</sup> | 23                 | 1,4                                   | 0,7              | 5                                         |
| Ветровая нагрузка (пульсационная)                                        | кг/м <sup>2</sup> | -                  | 1,4                                   | 0,7              | 5                                         |

