

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

# **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

Студент Чибрикин Данила Александрович  
Институт Архитектуры, строительства и энергетики  
Направление 08.04.01 «Строительство»

## **Тема выпускной квалификационной работы**

"Исследование напряженно-деформированного состояния  
кессонных перекрытий на примере  
транспортно-пересадочного узла в г. Доброграде"

Нормоконтроль Сергеев М.С.  
(подпись) (ФИО)

Руководитель ВКР Попова М. В.  
(подпись) (ФИО)

Студент Чибрикин Д. А.  
(подпись) (ФИО)

**Допустить выпускную квалификационную работу к защите  
в государственной экзаменационной комиссии**

Заведующий кафедрой д.т.н. проф. Рощина С.И.  
(подпись) (ФИО)

«    »      20      г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой СК д.т.н. проф. Рощина С.И.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студенту Чибрикину Даниле Александровичу

1. Тема ВКР "Исследование напряженно-деформированного состояния кессонных перекрытий на примере транспортно-пересадочного узла в г. Доброграде"  
утверждена приказом по университету № 234/4 от 12.03.2020г.
2. Срок сдачи студентом законченной работы 11.06.2020 г.
3. Исходные данные к ВКР Объемно-планировочное решение транспортно-пересадочного узла
4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)
  1. Дать описание проектируемого транспортно-пересадочного узла и изучить особенности применяемого перекрытия
  2. Изучить возможности расчетного программного комплекса ЛИРА-САПР
  3. Разработать три метода моделирования кессонного перекрытия и произвести расчет в программном комплексе ЛИРА-САПР
  4. Произвести анализ полученных результатов и выбрать оптимальный метод моделирования кессонного перекрытия
  5. Сформулировать выводы и рекомендации
5. Перечень графического материала (с указанием обязательных плакатов)

1. Основные положения (2 листа) \_\_\_\_\_
2. Описание проектируемого объекта и применяемого перекрытия (1 лист) \_\_\_\_\_
3. Описание компьютерной реализации в ПК «ЛИРА-САПР» (1 лист) \_\_\_\_\_
4. Описание методов расчета плиты (3 листа) \_\_\_\_\_
5. Анализ результатов (1 лист) \_\_\_\_\_
6. Выводы и рекомендации (1 лист) \_\_\_\_\_

6. Консультанты по ВКР (с указанием относящихся к ним разделов)

Введение. \_\_\_\_\_ /к.т.н. доц. Попова М.В./

Глава 1. Описание проектируемого объекта и применяемого перекрытия. \_\_\_\_\_ /к.т.н. доц. Попова М.В./

Глава 2. Компьютерная реализация в программном комплексе ЛИРА-САПР. /к.т.н. доц. Попова М.В. /

Глава 3. Анализ методик расчета кессонных перекрытий. \_\_\_\_\_ /к.т.н. доц. Попова М.В. /

Глава 4. Выводы \_\_\_\_\_ /к.т.н. доц. Попова М.В. /

Дата выдачи задания 12.02.2020 г. \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_ /к.т.н. доц. Попова М.В. /

(подпись)

(ФИО)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

## АННОТАЦИЯ

Наименование работы: «Исследование напряженно-деформированного состояния кессонных перекрытий на примере транспортно-пересадочного узла в г. Доброграде».

Конструктивно любое кессонное перекрытие выполняется из ребер жесткости и полки, образуя единый жесткий диск. Полка представляет собой тонкую плиту, которая воспринимает все нагрузки и передает их на ребра. Ребра жесткости образуют конструкцию с взаимно перпендикулярными балками, жестко соединенными между собой.

Пространственная конструктивная схема перекрытия рассматривается как статически неопределимая. Расчет конструкций, в том числе и кессонного перекрытия, выполняется с использованием формул, выведенных аналитически, а также в программно-вычислительных комплексах, использующих метод конечных элементов (МКЭ).

В рамках выпускной классификационной работы было выполнено сравнение методик расчета пространственного каркаса части здания выше отметки нуля в программном комплексе "ЛИРА-САПР".

Работа состоит из аннотации, введения, 3 глав, вывода, списка литературы из 18 наименований, представлена на 111 страницах, содержит 190 рисунков, 2 таблиц.

## ANNOTATION

Work title: «Investigation of the stress-strain state of coffered ceilings on the example of the transport interchange hub in the city Dobrograd».

Structurally, any caisson overlap is made of stiffeners and shelves, forming a single hard disk. The shelf is a thin plate that takes all the loads and transmits them to the edges. The stiffeners form a structure with mutually perpendicular beams that are rigidly connected to each other.

The spatial structural scheme of the overlap is considered as statically indeterminate. The calculation of structures, including the caisson overlap, is

performed using formulas derived analytically, as well as in software and computing complexes using the finite element method (FEM).

As part of the final classification work, we compared methods for calculating the spatial frame of a part of a building above the zero mark in the LIRA-SAPR software package.

The work consists of an annotation, introduction, 3 chapters, conclusions, a list of literature from 18 titles, presented on 111 pages, contains 190 images, 2 tables.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Введение.....  | 7   |
| Глава 1. Описание проектируемого объекта и применяемого перекрытия ..... | 10  |
| Глава 2. Компьютерная реализация в программном комплексе ЛИРА-САПР ..    | 20  |
| Глава 3 Анализ методик расчета кессонного перекрытия .....               | 25  |
| 3.1 Исходные данные для расчета .....                                    | 25  |
| 3.2 Первый метод создания модели плиты .....                             | 27  |
| 3.2.1 Создание геометрической модели .....                               | 27  |
| 3.2.2 Создание жесткости и материалов элементов.....                     | 34  |
| 3.2.3 Создание расчетной модели .....                                    | 46  |
| 3.2.4 Расчет модели перекрытия .....                                     | 50  |
| 3.3 Второй метод создания модели плиты .....                             | 53  |
| 3.3.1 Создание геометрической модели.....                                | 54  |
| 3.3.2 Создание жесткости и материалов элементов.....                     | 61  |
| 3.3.3 Создание расчетной модели .....                                    | 73  |
| 3.3.4 Расчет модели перекрытия.....                                      | 77  |
| 3.4 Третий метод создания модели плиты.....                              | 80  |
| 3.4.1 Создание геометрической модели .....                               | 81  |
| 3.4.2 Создание жесткости и материалов элементов.....                     | 88  |
| 3.4.3 Создание расчетной модели .....                                    | 100 |
| 3.4.4 Расчет модели перекрытия .....                                     | 104 |
| 3.5 Анализ результатов.....  | 107 |
| Выводы и рекомендации .....  | 109 |
| Список используемой литературы .....                                     | 110 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Обоснование выбора темы.** В работе инженера-проектировщика главной задачей является умение грамотно разрабатывать строительные конструкции, в то числе и кессонные перекрытия. В ходе проектирования транспортно-пересадочного узла в г. Доброград, исходя из его архитектурных решений, а именно большепролетных конструкций, было выбрано направление проектирования кессонных перекрытий для обеспечения большего пространства. В связи с тем, что при расчете кессонных перекрытий в программном комплексе ЛИРА-САПР имеет различные способы создания расчетной модели, была рассмотрена тема по выбору оптимального метода моделирования кессонного перекрытия.

**Актуальность темы.** Расчетные программные комплексы являются неотъемлемым инструментом при расчете конструкций, так как они значительно сокращают время работы, чем расчет инженерным способом. Но также нужно понимать характер поведения элементов конструкций при создании модели расчетной схемы. Поэтому, на примере кессонных перекрытий, были рассмотрены несколько методик создания расчетной модели и на основании полученных результатов произведен анализ и выбор оптимального метода моделирования кессонного перекрытия.

**Цель работы.** Целью выпускной квалификационной работы является исследование напряженно-деформированного состояния кессонных перекрытий транспортно-пересадочного узла в г. Доброграде.

**Задачи.** В ходе выполнения работы будут решены следующие задачи:

- 1) Дать описание проектируемого транспортно-пересадочного узла и изучить особенности применяемого перекрытия.
- 2) Изучить возможности расчетного программного комплекса ЛИРА-САПР.

3) Разработать три метода моделирования кессонного перекрытия и произвести расчет в программном комплексе ЛИРА-САПР.

4) Произвести анализ полученных результатов и выбрать оптимальный метод моделирования кессонного перекрытия.

**Объект исследования.** Объектом исследования является транспортно-пересадочный узел в г. Доброграде.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является создание нескольких способов расчета кессонных перекрытий на статические воздействия, в результате которых определяется оптимальный способ расчета.

**Методология исследования.** В выпускной квалификационной работе проведена работа над имеющимся массивом данных, программным комплексом, конечным результатом которого является сравнение методов расчета кессонных перекрытий и на основании полученных результатов выбран оптимальный метод расчета кессонных перекрытий.

**Обеспечение достоверности полученных результатов обеспечивается:** применением научно-обоснованных методик, достаточным объемом теоретических исследований, применением методов математического моделирования и использованием принятых в механике гипотез и допущений, применением сертифицированных программных комплексов, сходимостью результатов инженерных и численных расчетов.

**Научная новизна.** В результате работы предложена подробная поэтапная методика расчета кессонных перекрытий. Выбран оптимальный метод расчета кессонных перекрытий.

**Практическая ценность.** Возможность выполнения расчета кессонных перекрытий в ПК «ЛИРА-САПР» оптимальным способом, обладающим рядом преимуществ, перед сравниваемыми методами.

**Апробация работы.** На данную тематику были написаны следующие научно-исследовательские работы и статьи:

- 1) *Чибрикин Д.А.* Сравнение методов расчета кессонного перекрытия в ПК ЛИРА-САПР // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы



и перспективы развития/ Сборник статей по материалам II - международной научно-практической конференции. - Уфа: НИЦ Вестник науки, 2020.

- 2) *Чибрикин Д.А.* Применение пространственных перекрестных систем покрытия в гражданских зданиях // Научно-исследовательская работа. – Владимир: ВлГУ, 2019.
- 3) *Чибрикин Д.А.* Исследование напряженно-деформированного состояния кессонных перекрытий на примере транспортно-пересадочного узла в г. Доброград // Научно-исследовательская работа. – Владимир: ВлГУ, 2020.
- 4) *Чибрикин Д.А.* Сравнение методов расчета кессонного перекрытия // Научно-исследовательская работа. – Владимир: ВлГУ, 2020.
- 5) *Чибрикин Д.А.* Сравнение методов расчета кессонного перекрытия в ПК ЛИРА-САПР // Научно-исследовательская работа. – Владимир: ВлГУ, 2020.

**Результаты работы.** Настоящая выпускная квалификационная работа состоит из нескольких этапов рассмотрения расчета кессонных перекрытий.

Предпосылки к расчету кессонных перекрытий:

- 1) Исследование кессонных перекрытий в ПК «ЛИРА-САПР»:
  - Сбор нагрузок;
  - Построение расчетных схем в ПК «ЛИРА-САПР»;
  - Анализ полученных в ходе расчета результатов.

2) Выводы.

В таком порядке выдерживается основная логическая цепочка всех расчетов кессонных перекрытий.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из аннотации, введения, 3 глав, вывода, списка литературы из 18 наименований, представлена на 111 страницах, содержит 190 рисунков, 2 таблиц.

## ГЛАВА 1. ОПИСАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА И ПРИМЕНЯЕМОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Транспортно-пересадочный узел – узловый элемент планировочной структуры города или района транспортно-общественного назначения, в котором осуществляется пересадка пассажиров между различными видами городского пассажирского и внешнего транспорта или между различными линиями одного вида транспорта, а также попутное обслуживание пассажиров объектами социальной инфраструктуры.

Проектируемый объект планируется разместить в восточной части Ковровского района Владимирской области, рядом с п. Пестово. Участок под объект определен существующей схемой высокоскоростной магистрали, которая будет проходить через Ковровский район, и будет иметь там остановку.

Рассматриваемый транспортно-пересадочный узел представляет собой в плане трехэтажное здание (с цокольным этажом и парковкой). Имеет сложную форму в плане. Габаритные размеры в осях 102 x 146 м. Высота проектируемого здания составляет 16,8 м. Основные функциональные зоны: приемно-вестибюльная зона, зона ожидания, общественно-досуговая зона, административная зона, хозяйственная зона, техническая зона, зона пищевого блока. Проектируемый пассажиропоток в сутки – 1800-3000. Вместимость – 900 единовременных посетителей. Площадь застройки – 6 123,2 м<sup>2</sup>, общая площадь объекта – 28 196,7 м<sup>2</sup>.

Здание выполнено из монолитного железобетона и имеет каркасную схему с широким шагом колонн. Здание рамно-связевое с диафрагмой жесткости. Жесткость здания обеспечивается колоннами, межэтажными перекрытиями, надежным соединением узлов.

Фундамент выполнен в виде сплошной плиты. Вертикальные несущие элементы: колонны, лестничные марши. Горизонтальные несущие элементы: кессонное перекрытие. Конструкция кровли состоит из кессонного покрытия. Покрытие кровли – зеленая кровля (рис.1).

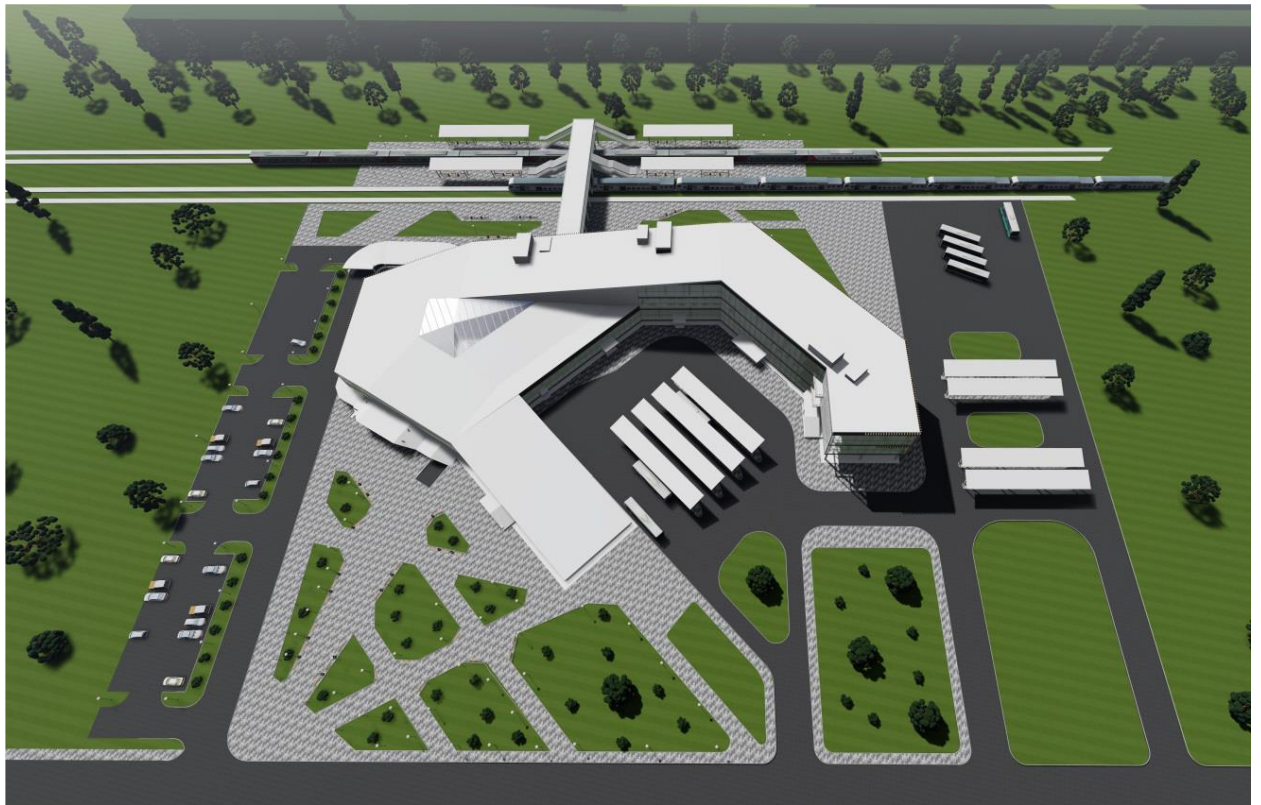


Рисунок 1 - 3D-изображение транспортно-пересадочного узла

Перекрытие - несущий элемент здания. Материалы из бетона дают больше возможностей в новом строительстве. Монолитные железобетонные перекрытия занимают прочную позицию в строительстве зданий. Также у железобетона есть недостатки - большой собственный вес, что является ограничением на область применения.

Основной вес монолитных конструкций приходится на бетон. Следовательно, чтобы облегчить перекрытие нужно удалить из него лишний бетон без потери несущей способности и жесткости при сохранении адекватного армирования.

Рассмотрев распределение нормальных напряжений фрагмента перекрытия в середине пролета можно заключить, что лишний бетон расположен в нейтральной зоне и зоне растягивающих напряжений. Однако для передачи напряжений из сжатой зоны в растянутую нужен бетон. Так же бетон нужен в растянутой зоне для обеспечения защитного слоя арматуры.

Принимая во внимание вышеизложенные выводы можно видоизменить плоское безбалочное перекрытие (рис. 2).



Рисунок 2 - Внешний вид облегченного безбалочного перекрытия

При удалении бетона из растянутой зоны сохраняют лишь ребра шириной, необходимой для размещения арматуры растянутой зоны и обеспечения прочности панелей по наклонному сечению. При этом плиты в пролете между ребрами работают на изгиб как балки таврового сечения. Верхняя полка плиты также работает на местный изгиб между ребрами. Такие плиты называются кессонными.

Кессонное перекрытие как несущая конструкция представляет собой ребристую конструкцию с взаимно – перпендикулярно расположенными ребрами одной высоты в нижней зоне и сплошной тонкой плитой по верху, монолитно соединенной с ребрами (рис. 3).

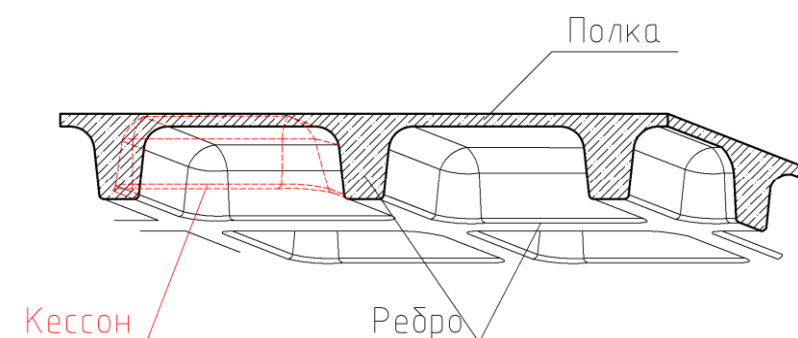


Рисунок 3 - Фрагмент кессонного перекрытия

В конструкции монолитного перекрытия кессонного типа бетон удален из растянутой зоны сечения, в которой сохранены лишь ребра, в которых расположена растянутая арматура. Т.е. кессонное перекрытие представляет собой ребристую конструкцию с взаимно – перпендикулярно расположенными ребрами одинаковой высоты в нижней зоне.

В результате этого удается получить значительную экономию в весе по сравнению с перекрытиями сплошного сечения, либо существенно увеличить перекрываемые пролеты.

Тонкая верхняя плита - полка должна быть максимально тонкой. Однако это тот элемент конструкции, который непосредственно воспринимает все нагрузки и передает их на ребра. Следовательно, помимо экономичности он должен обладать достаточной для этого прочностью. Т.е. полка выполняет две основные функции. Обеспечивает сплошность всего перекрытия и передает нагрузки на основной несущий элемент кессонного перекрытия - ребра. Конструирование кессонного перекрытия сводится к максимальному облегчению полки и взаимосвязанным с этим подбором шага, высоты, ширины и взаимного расположения ребер, обеспечивающим необходимую прочность и жесткость перекрытия при минимальной материалоемкости.

Проектирование кессонных перекрытий начинается с анализа расположения вертикальных несущих конструкций (стены, колонны, пилоны) и со сбора нагрузок.

В зависимости от нагрузок и от назначения здания толщина перекрытия с учетом толщины полки принимается в диапазоне  $1/20$ - $1/27$  минимального расстояния между вертикальными несущими конструкциями.

Определение конкретных геометрических характеристик отдельных элементов кессонных перекрытий начинают с толщины полки.

Толщина полки определяется из нескольких условий. Одно из таких условий — это обеспечение прочности самой полки при минимальных затратах.

Второе условие — это обеспечение защитных слоев бетона для арматуры полки. Одновременно с этим толщину полки следует минимизировать для максимального облегчения конструкции. Принимая во внимание оба этих утверждения можно прийти к выводу, что толщина полки должна быть такой, чтобы арматура лежала в один слой в двух направлениях, т.е. армировалась одной сеткой.

Современные нормативные документы определяют минимальную толщину защитного слоя железобетонных конструкций 20мм. Минимально возможный диаметр арматуры периодического профиля 6мм. Следовательно, минимальная толщина полки возможна 52мм (рис. 4)

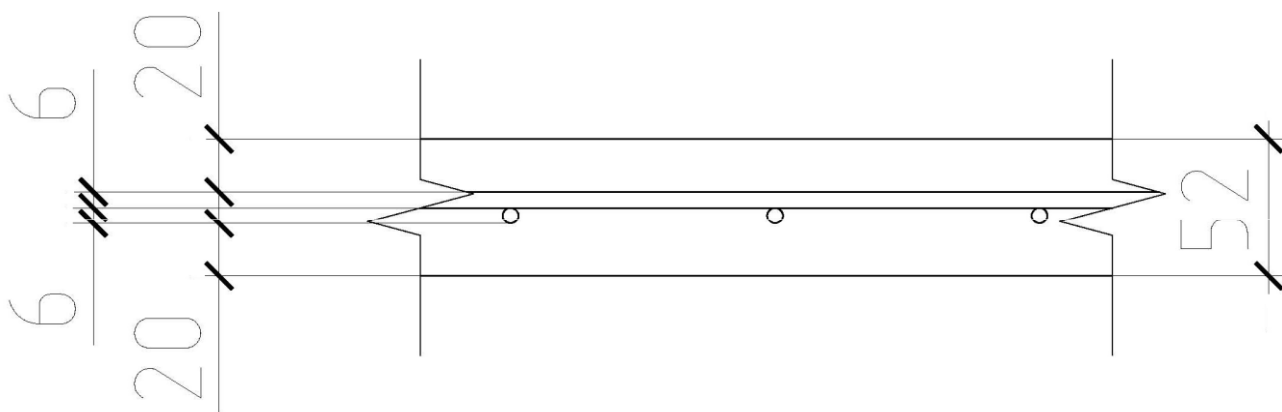


Рисунок 4 - Определение минимальной толщины полки

Дополнительным требованием к таким конструкциям может служить и обеспечение определенной степени огнестойкости. В таких ситуациях защитные слои могут быть увеличены, а также увеличен и диаметр арматуры полки.

Так же стоит отметить, что арматура, расположенная в полке в середине пролета и в районе опор на вертикальные несущие элементы, может существенно отличаться.

Т.к. в середине пролета полка находится в сжатой зоне и в этом месте арматура как правило назначается из локального расчета полки на сосредоточенную и/или распределенную нагрузку, непосредственно действующую на нее. В районе вертикальных опор полка находится уже в растянутой зоне и может быть использована в качестве объема бетона, в котором

будет расположена арматура, вычисляемая из расчета на прочность общего сечения (совместно с ребром). Это так же нужно учитывать при назначении толщины полки.

Когда не известно какая арматура будет назначена в растянутой зоне полки в районе вертикальных опор следует выполнить расчет несколько раз. В первом приближении назначить толщину полки из условия прочности на местные нагрузки в пролете с минимально возможными защитными слоями. В дальнейшем подобрать толщину в зависимости от всех вышеизложенных факторов.

Так же толщина полки может быть увеличена и по технологическим причинам, связанным с ограничением опалубочных систем для каждого конкретного случая.

Следующим шагом в определении конструктивной схемы идет определение геометрических размеров ребер.

Ширина ребер принимается в пределах  $1/2-1/5$  их высоты. Форма поперечного сечения ребер во многом определяется технологическими особенностями возведения данных перекрытий.

Рекомендуемые размеры кессонных перекрытий (рис. 5).

Одним из самых ответственных участков кессонного перекрытия является место опирания на вертикальные конструкции. Т.к. кессонные перекрытия в основной своей массе используются как плоские безбалочные никаких выступающих частей за нижнюю грань ребер типа балок и капителей нет. При новом строительстве в местах опирания на вертикальные конструкции перекрытия выполняются сплошными - без пустот. В таком случае для восприятия поперечных сил как правило достаточно поперечной арматуры ребер, которые проходят в данном месте (рис. 6-7).



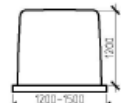
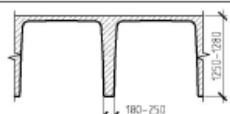
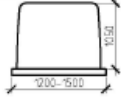
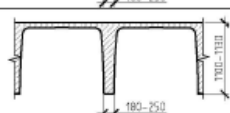
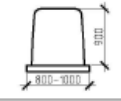


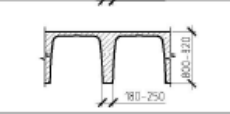
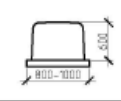
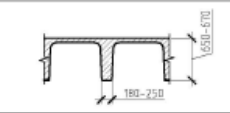
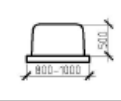
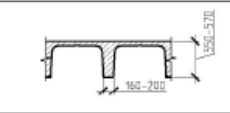
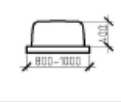
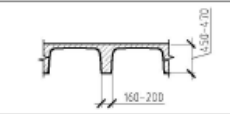
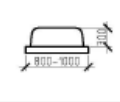
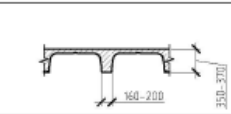
| Опалубка  | Конструкция перекрытия  | Шаг между колоннами, м | Полезная нагрузка, кг/м <sup>2</sup> |
|---|---|------------------------|--------------------------------------|
|    |    | 34x34                  | 700                                  |
|   |   | 30x30                  | 1500                                 |
|   |   | 25x25                  | 2500                                 |
|    |    | 30x30                  | 700                                  |
|   |   | 25x25                  | 1500                                 |
|   |   | 20x20                  | 2500                                 |
|    |    | 25x25                  | 700                                  |
|   |   | 20x20                  | 1500                                 |
|   |   | 15x15                  | 2500                                 |
|    |    | 21x21                  | 700                                  |
|   |   | 18x18                  | 1500                                 |
|   |   | 15x15                  | 2500                                 |
|    |    | 18x18                  | 700                                  |
|   |   | 15x15                  | 1500                                 |
|   |   | 12x12                  | 2500                                 |
|    |    | 15x15                  | 700                                  |
|   |   | 12x12                  | 1500                                 |
|   |   | 9x9                    | 2500                                 |
|   |   | 12x12                  | 700                                  |
|   |   | 9x9                    | 1500                                 |
|   |   | 6x6                    | 2500                                 |
|  |  | 9x9                    | 700                                  |
|   |   | 6x6                    | 1500                                 |

Рисунок 5 - Рекомендуемые размеры кессонных перекрытий



Рисунок 6 - Сплошной монолитный участок у стены





Рисунок 7 - Сплошной монолитный участок у колонны

Описанные выше принципы выбора геометрических размеров кессонных перекрытий и их элементов не являются безальтернативными. Возведение данных конструкций из монолитного бетона позволяет использовать все преимущества этой технологии в том числе и комбинирование различных конструктивных решений при сложных архитектурно-планировочных решениях.

Определив предварительные геометрические характеристики кессонного перекрытия можно их уточнить при помощи несложных формул.

Подбор сечения сводится к определению полезной высоты ребра  $h_0$  и процента армирования при заданных размерах поперечного сечения балки, а также усилий в ребрах и характеристик бетона и арматуры.

Высота ребер зависит от двух характерных участков. Первый участок определяется в середине пролета самого нагруженного ребра. На данном участке высота ребра определяется моментом. Второй участок определяется в месте примыкания к вертикальной опоре (стена, колонна, пилон). На данном участке высота ребра (сплошного монолитного участка) определяется поперечной силой.

Зная нагрузки и собственный вес перекрытия можно получить усилия на необходимых участках перекрытия.

Как известно при прочих равных условиях с увеличением  $h_0$  процент армирования снижается и наоборот. Исключая архитектурные и

технологические ограничения можно заключить, что оптимальная высота ребер зависит от соотношения стоимости бетона и арматуры.

Полезную высоту  $h_0$  самого нагруженного ребра в центре пролета определяют по формуле:

$$h_0 = 18 \dots 20 \times \sqrt[3]{M}, \quad (1)$$

где  $h_0$  – полезная высота, см;

$M$  – момент в середине пролета самого нагруженного ребра.

Момент в ребре для перекрытия, опертого на колонны, вычисляется по формуле:

$$M = \frac{K_a}{N-1} \times \beta \times q \times L_1 \times L_2^2, \quad (2)$$

где  $K_a$  - коэффициент, зависящий от кол-ва ребер вдоль стороны  $L_1$  (табл. 1);

$N$  – количество ребер вдоль стороны  $L_1$ ;

$\beta$  - коэффициент, зависящий от пролета;

$q$  - полная расчетная равномерно распределенная нагрузка на плиту перекрытия, включая собственный вес;

$L_1$  - меньшая сторона кессонного перекрытия;

$L_2$  – большая сторона перекрытия.

Таблица 1 – коэффициент  $K_a$

|                              |       |     |      |       |      |      |
|------------------------------|-------|-----|------|-------|------|------|
| Кол-во ребер в пролете $L_1$ | 12    | 10  | 8    | 6     | 4    | 2    |
| $K_a$                        | 1,374 | 1,3 | 1,16 | 0,976 | 0,75 | 0,57 |

Полезную высоту ребра (сплошного монолитного участка) на опоре в зависимости от конструктивного решения и положения колонны в плане определяют по формуле:

$$h_0 \geq \frac{L_1 \times L_2 \times q}{K_p \times R_{bt} \times a}, \quad (3)$$

где  $h_0$  – полезная высота, см;

$L_1$  - меньшая сторона кессонного перекрытия;

$L_2$  – большая сторона перекрытия;

$q$  - полная расчетная равномерно распределенная нагрузка на плиту перекрытия, включая собственный вес;

$K_p$  – справочный коэффициент;

$R_{bt}$  - прочность бетона на растяжение при расчете по 1-й группе предельных состояний.

$a$  - сторона квадратной колонны.

Таким образом, проведено описание транспортно-пересадочного узла в г. Доброград. Изучены особенности перекрытия проектируемого объекта. На основе полученных данных выделены основные элементы, от которых зависит несущая способность: плита, ребро жесткости.

## ГЛАВА 2. КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА-САПР

Компьютерная реализация в ПК ЛИРА-САПР представлена в виде основных расчетов:

- Статический расчет от действия сосредоточенных и распределенных усилий и моментов;
- Определение деформационных перемещений;
- Расчет на устойчивость стержневых систем с учетом физической нелинейности;
- Элементное моделирование;
- Учет кинематической связи перемещений (абсолютно жесткое тело).

Перечисленные виды расчетов применяются для следующих конструкций:

- плоские и пространственные системы (рамы, фермы, пространственные рамы и др.);
- плоские и пространственные пластинчатые системы (плиты, балки-стенки, оболочки, мембраны);
- конструкции, задача которых основана на теории упругости (грунтовые массивы, бетонные и армокаменные конструкции);
- комбинированные системы.

Помимо расчетов, в ПК ЛИРА-САПР реализовано автоматизированное проектирование: определение расчетных сочетаний нагрузок и усилий, назначение конструктивных элементов, подбор и проверка сечений стальных и железобетонных конструкций с формированием эскизов рабочих чертежей колонн и балок.

ПК ЛИРА-САПР образует информационную взаимосвязанную систему. Технологичность работы системы образует комплекс от моделирования расчетной схемы до конструирования элементов (рис. 8).

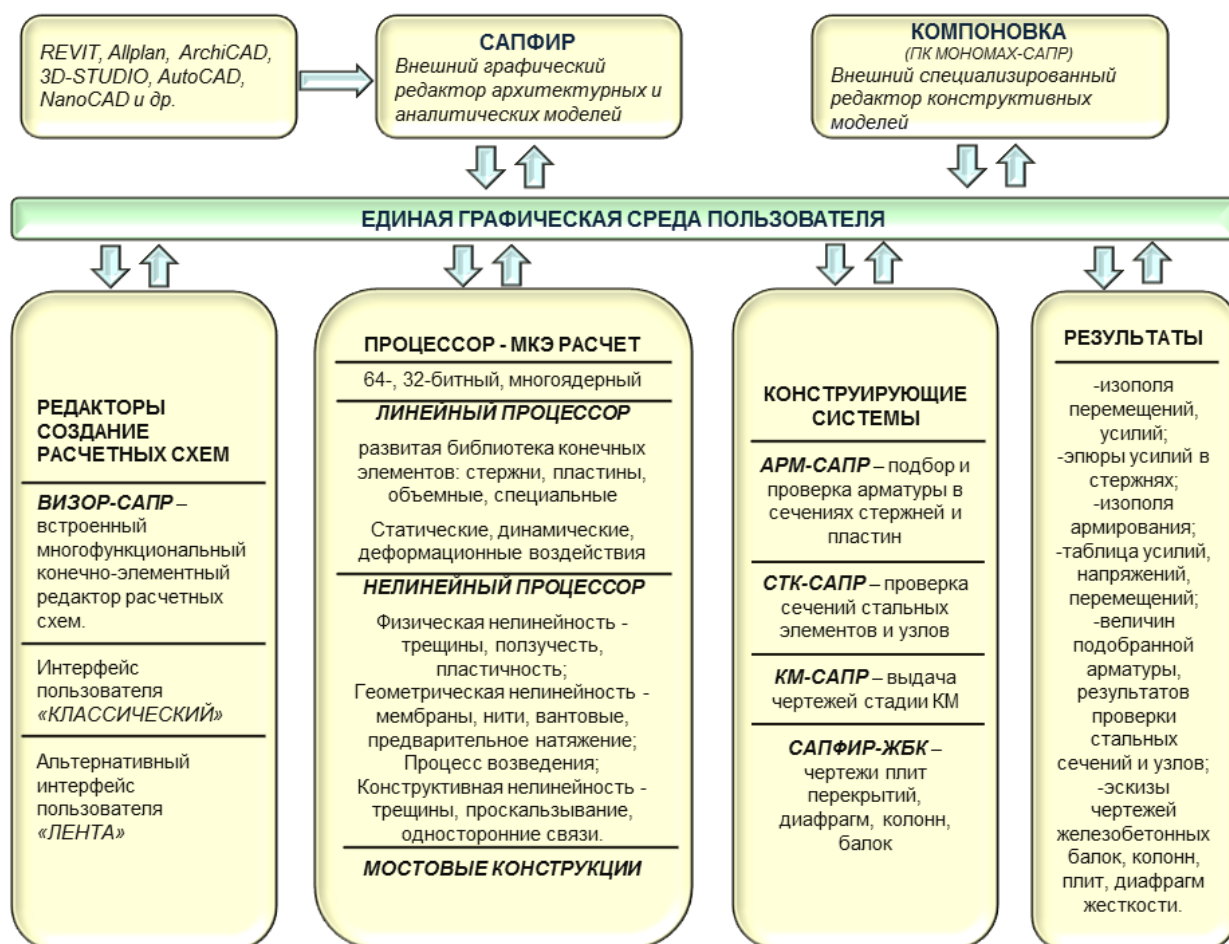


Рисунок 8 - Общая схема функционирования ПК ЛИРА-САПР

ВИЗОР-САПР является основной графической системы. В данной системе реализованы возможности формирования конечных-элементов рассчитываемых объектов. Позволяет визуализировать, корректировать расчетную модель, дать описание физико-механических свойство материалов. В данной среде задаются связи, нагрузки, определяются наиболее опасные сочетаний нагрузок.

В комплекс ПК ЛИРА-САПР входит архитектурный препроцессор САПФИР, в которой реализуется цепочка создания модели от архитектурной модели до расчетной схемы.

Для расчета созданной модели может быть выбран соответствующий расчетный процессор. В состав ПК ЛИРА-САПР входит линейный процессор, нелинейный процессор. Все они предназначены для определения напряженно-деформированного состояния конструкции на основе метода конечных элементов в перемещениях. Расчетные процессоры реализуют современные

усовершенствованные методы решения систем уравнений, обладающие высоким быстродействием и позволяющие решать системы с большим числом неизвестных.

*Линейный процессор* предназначен для решения задач, описывающих работу материала конструкций в линейно-упругой постановке.

*Нелинейный* процессор позволяет решать задачи, связанные с физической нелинейностью материала в рамках нелинейной теории упругости и в упруго-пластической постановке (бетон, железобетон, сталебетон, металл, грунт). Решение таких задач производится шаговым и шагово-итерационным методом. *Нелинейный* процессор позволяет решать задачи, связанные с геометрической нелинейностью (ванты, большепролетные покрытия, мембраны), а также и с конструктивной нелинейностью (контактные задачи, односторонние связи, трение).

В состав расчетных процессов входит библиотека конечных элементов, которая дает возможность реализовывать расчетные модели без ограничений на описание реальных свойств рассчитываемых объектов. Допускается наличие абсолютно жестких вставок, как в стержневых, так и в плоскостных конечных элементах. Реализованы законы деформирования различных классов железобетона.

Система РСУ позволяет произвести выбор наиболее опасных сочетаний усилий по критерию экстремальных напряжений и в соответствии с нормативными документами многих стран.

Система РСН позволяет определить перемещения, усилия и напряжения от стандартных и произвольных линейных комбинаций загрузений.

Система *устойчивость* дает возможность произвести проверку общей устойчивости рассчитываемого сооружения с определением коэффициента запаса и формы потери устойчивости.

Система *литера* реализует вычисление главных и эквивалентных напряжений по различным теориям прочности.

Система *фрагмент* позволяет определить силы воздействия одного фрагмента рассчитываемого сооружения на другой как нагрузку.

Системы КС-САПР и КТС-САПР (Конструкторы стандартных и тонкостенных сечений) представляют собою специализированные графические среды для формирования сечений произвольной конфигурации. Эти системы снабжены процессорами для вычисления осевых, изгибных, крутильных и сдвиговых характеристик. Вычисляются также секториальные характеристики сечений, координаты центров изгиба и кручения, моменты сопротивления и определяется форма ядра сечения. При наличии усилий в заданном сечении производится отображение картины распределения текущих, главных и эквивалентных напряжений, соответствующих различным теориям прочности, отображаются эпюры секториальных характеристик.

После проведения основных и вспомогательных расчетов ПК ЛИРА-САПР предоставляет возможность произвести конструирование стальных и железобетонных элементов рассчитываемого объекта.

Конструирующая система АРМ-САПР реализует подбор площадей сечения арматуры колонн, балок, плит и оболочек по первому и второму предельным состояниям.

Система позволяет объединять несколько однотипных элементов в конструктивный элемент, что позволяет производить увязку арматуры по длине всего конструктивного элемента. Система может функционировать в локальном режиме (ЛАРМ-САПР), осуществляя как подбор арматуры, так и проверку заданного армирования для одного элемента.

Конструирующая система СТК-САПР работает в двух режимах – подбора сечений элементов стальных конструкций, таких как фермы, колонны и балки, и проверки заданных сечений. Допускается объединение нескольких однотипных элементов в конструктивный элемент. Система может функционировать в локальном режиме, позволяя проверить несколько вариантов при конструировании требуемого элемента.

Система РС-САПР, которая информационно связана с системой СТК-САПР, позволяет производить редактирование используемой сортаментной базы прокатных и сварных профилей.

Формирование отчетов по результатам работы с комплексом производится с помощью системы *документатор*. Эта система позволяет представить всю полученную информацию, как в табличном, так и в графическом виде. Табличный и графический разделы необходимой для отчета информации могут быть размещены совместно на специально организуемых для этой цели листах и снабжены комментариями и надписями.

ПК ЛИРА-САПР поддерживает информационную связь со всеми современными системами, такими как REVIT, AutoCAD, ArchiCAD, Advance Steel, STARK ES и др.

Таким образом, изучены возможности ПК ЛИРА-САПР. Рассмотрены основные команды расчетов и общая схема функционирования для дальнейшего формирования и исследования методов моделирования перекрытия транспортно-пересадочного узла в г. Доброград.



## ГЛАВА 3 АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА КЕССОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

### 3.1 Исходные данные для расчета

Конструктивно любое кессонное перекрытие выполняется из ребер жесткости и полки, образуя единый жесткий диск. Полка представляет собой тонкую плиту, которая воспринимает все нагрузки и передает их на ребра. Ребра жесткости образуют конструкцию с взаимно перпендикулярными балками, жестко соединенными между собой.

Пространственная конструктивная схема перекрытия рассматривается как статически неопределимая. Расчет конструкций, в том числе и кессонного перекрытия, выполняется с использованием формул, выведенных аналитически, а также в программно-вычислительных комплексах, использующих метод конечных элементов (МКЭ).

В рамках выпускной квалификационной работы было выполнено сравнение методик расчета пространственного каркаса части здания выше отметки нуля в программном комплексе "ЛИРА-САПР".

Исходные данные:

а) Колонна монолитная, железобетонная сечением 0,4x0,4 м, класс бетона В25, класс арматуры А500;

а) Монолитное, железобетонное кессонное перекрытие с сечением ребер 0,2x0,5 м, толщиной плиты 0,1 м, класс бетона В25, класс арматуры А500 (рис. 9).

Сбор нагрузок на 1 м<sup>2</sup> покрытия представлен в таблице 1.

Таблица 1 – сбор нагрузок на 1 м<sup>2</sup> покрытия

| № п/п | Вид нагрузки                      | Нормативные,<br>кг/м <sup>2</sup> | $\gamma_f$ | Расчетные,<br>кг/м <sup>2</sup> |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------|
|       | Постоянная                        |                                   |            |                                 |
| 1     | Грунт с зелеными насаждениями     | 315                               | 1,2        | 378                             |
| 2     | Праймер битумный ТЕХНОНИКОЛЬ № 01 | 0,35                              | 1,2        | 0,42                            |

|    |  |               |     |               |
|----|--|---------------|-----|---------------|
| 3  | Техноэласт ЭПП   | 5             | 1,2 | 6             |
| 4  | Техноэласт ГРИН  | 5,28          | 1,2 | 6,34          |
| 5  | Иглопробивной<br>геотекстиль<br>ТехноНИКОЛЬ  | 0,3           | 1,2 | 0,6           |
| 6  | Техноэласт ГРИН  | 5             | 1,2 | 6             |
| 7  | Иглопробивной<br>геотекстиль<br>ТехноНИКОЛЬ  | 0,3           | 1,2 | 0,36          |
| 8  | Экструзионный<br>пенополистирол<br>ТЕХНОНИКОЛЬ<br>CARBON PROF<br>$\delta=0,10$ м; $\rho=100$ кг/м <sup>3</sup> | 10            | 1,2 | 12            |
| 9  | Геотекстиль<br>термообработанный   | 0,3           | 1,2 | 3,6           |
| 10 | Профилированная<br>мембрана PLANTER geo  | 0,8           | 1,2 | 0,96          |
| 11 | Уклонообразующий слой<br>из керамзитового гравия   | 144           | 1,2 | 173           |
| 12 | Армированная ц.п.<br>стяжка<br>$\delta=0,05$ м; $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>                                  | 90            | 1,3 | 117           |
|    | Итого:   | <b>576,33</b> |     | <b>704,28</b> |
|    | Временная  |               |     |               |
| 13 | Снеговая нагрузка  | 200           | 1,4 | 280           |
|    | Итого:   | 200           |     | 280           |
|    | Всего:   | <b>776,33</b> |     | <b>987,28</b> |

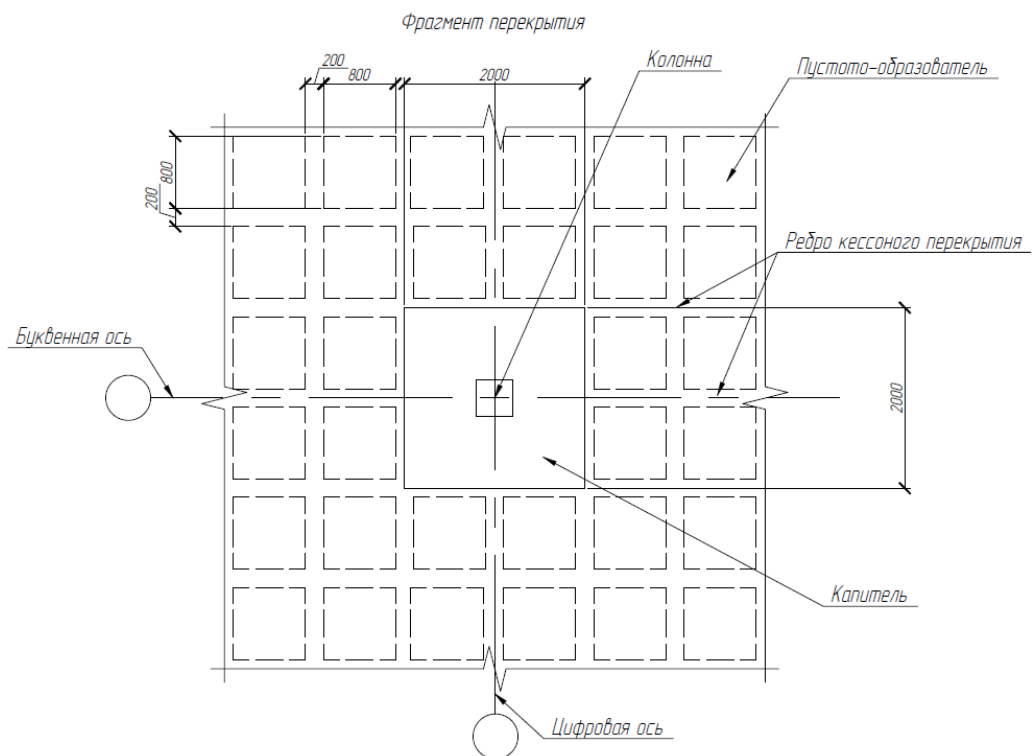


Рисунок 9 – фрагмент перекрытия

Моделирование кессонного перекрытия в компьютерных системах может выполняться различными методами. Давайте рассмотрим некоторые из них.

### 3.2 Первый метод создания модели плиты

Плита задается оболочечным элементом, а жесткость ребер задается сечением в виде бруса. Центры тяжести плиты и ребер должны быть совмещены и высота бруса должна совпадать с высотой ребра (рис. 10).

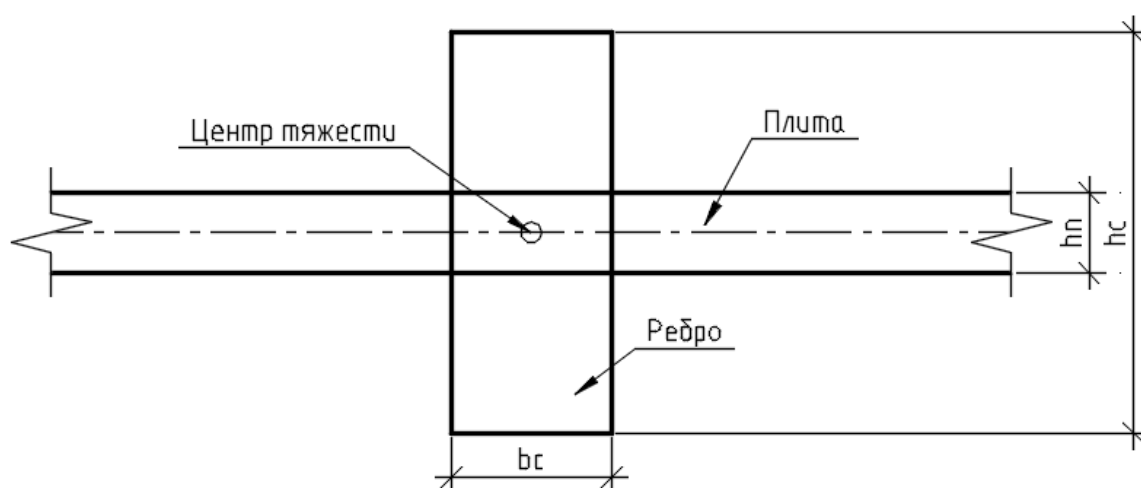


Рисунок 10 – Первый метод создания модели плиты

#### 3.2.1 Создание геометрической модели

Создадим новый проект. Открыть меню приложения (рис. 11). Выбрать пункты «Новый» - «Создать новый проект» (рис. 12). В открытом окне «Описание схемы» в разделе «Признак схемы» выбрать «5 – Шесть степеней свободы в узле (X, Y, Z, Ux, Uy, Uz)». Пятый признак схемы обозначает то, что имеется 6 степеней свободы для полноценной задачи трехмерной геометрической схемы.

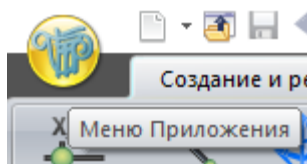


Рисунок 11 – Меню Приложения

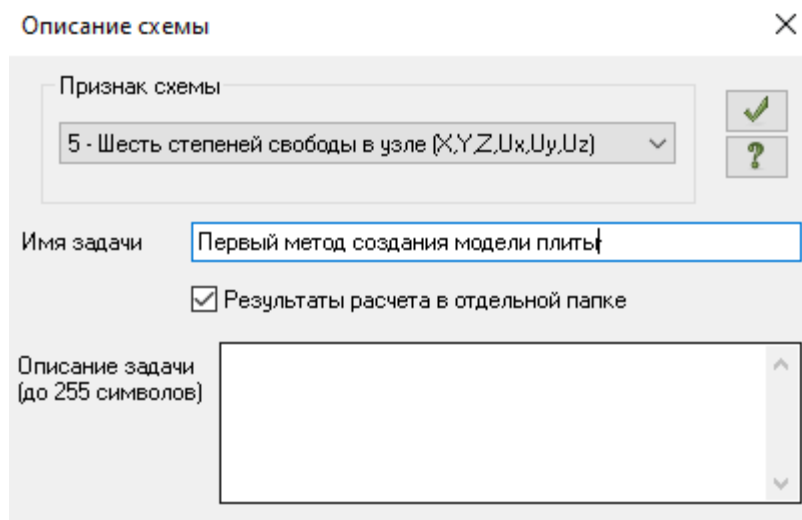


Рисунок 12 – Описание схемы

Проектирование начинается с создания плиты. Чтобы создать плиту, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Генерация плиты» (рис. 13).

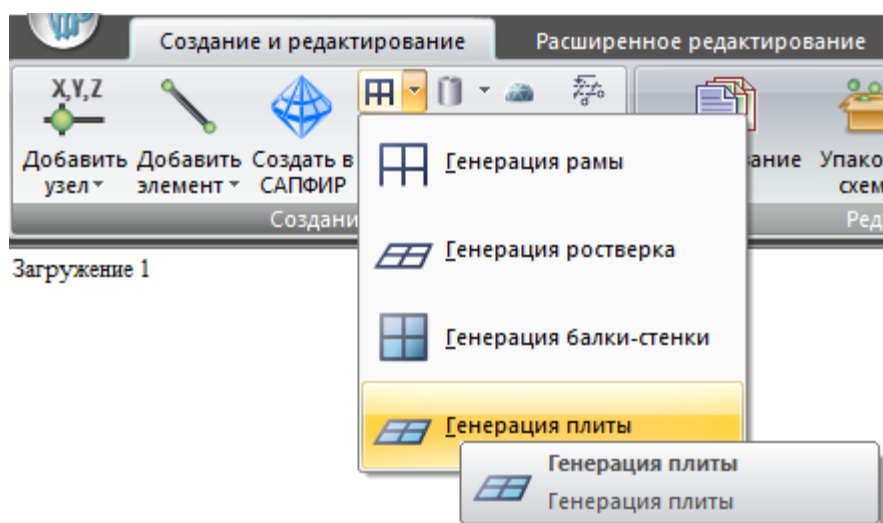


Рисунок 13 – создание плиты

В открывшемся окне необходимо указать координаты первого узла. Для этого в строках указываем следующие координаты ( $X=0\text{м}$ ,  $Y=0\text{м}$ ,  $Z=0\text{м}$ ) (рис. 14).

Координаты первого узла

Указать курсором

X 0 м

Y 0 м

Z 0 м

Рисунок 14 – координаты первого узла

В таблице «Шаг вдоль первой оси» в первом столбце «Значение  $L(\text{м})$ » ставим 0,5, во втором столбце «Шаг вдоль первой оси» ставим 18 (рис. 15).

В таблице «Шаг вдоль второй оси» в первом столбце «Значение  $L(\text{м})$ » ставим 0,5, во втором столбце «Шаг вдоль первой оси» ставим 18 (рис. 15).

| Шаг вдоль первой оси |            | Шаг вдоль второй оси |            |
|----------------------|------------|----------------------|------------|
| Значение             | Количество | Значение             | Количество |
| 0.50                 | 18         | 0.50                 | 18         |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |

Рисунок 15 – создание шага плоских фрагментов

Создадим монолитные участки в плите. Чтобы создать монолитный участок, нужно показать проекцию плиты на плоскость  $XOY$ , после этого выделить плоские фрагменты в плите перекрытия как указано на рисунке (рис. 16). На вкладке «Пластины» выбрать «Жесткие вставки пластин» (рис. 17). В открывшемся окне в строке «Жесткие вставки пластин» выставить значение «0.2м» (рис. 18).

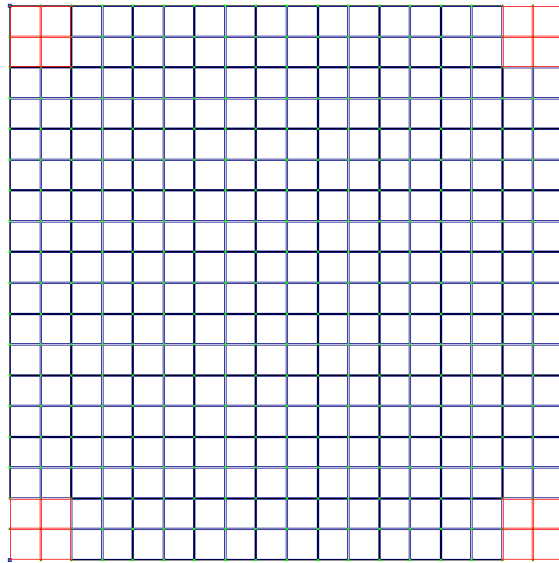


Рисунок 16 – выделенные плоские фрагменты для создания монолитных участков

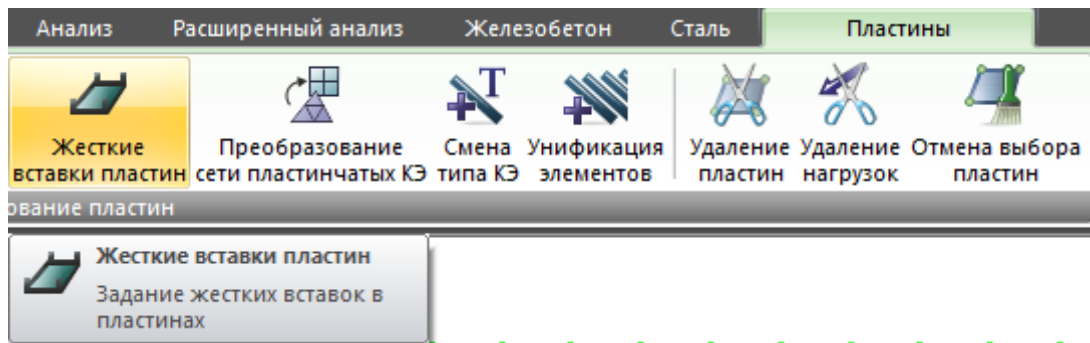


Рисунок 17 – Жесткие вставки пластин

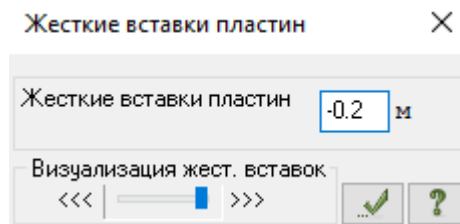


Рисунок 18 – Значение жесткой вставки пластин

Создадим ребра жесткости. Чтобы создать ребра жесткости, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Добавить стержень» (рис. 19).

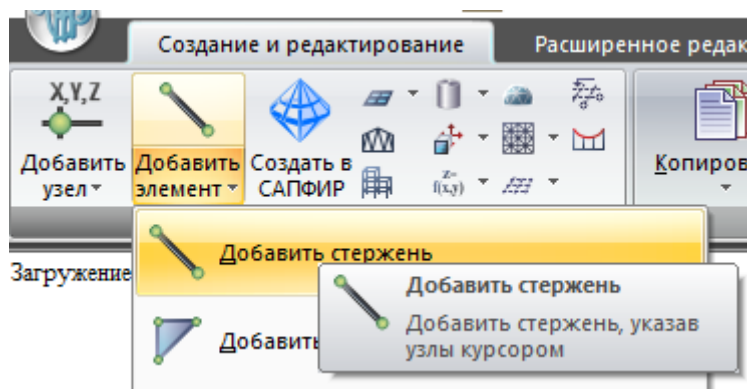
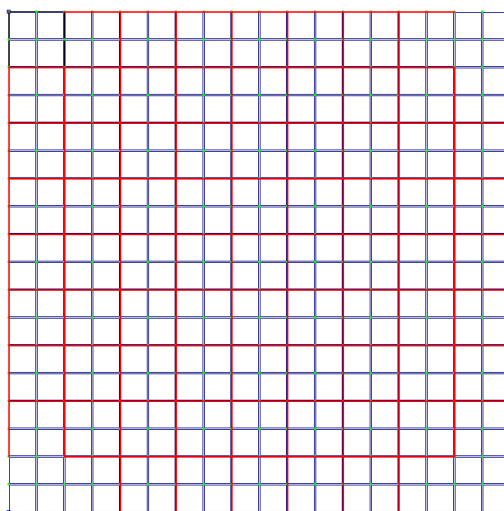


Рисунок 19 – Создание ребер жесткости

В открывшемся окне необходимо указать координаты узлов с помощью курсора. Стержни не должны попадать в монолитные участки (рис. 20).

Загружение 1



Y  
x

Рисунок 20 – Расположение ребер жесткости в плите

Создадим колонны. Чтобы создать колонны, нужно в «Панели выбора» выбрать «Отметка узлов» (рис. 21). Выделяем узлы как показано на рисунке (рис. 22). На вкладке «Создание и редактирование» в панели «Редактирование» выбрать «Копирование по параметрам» (рис. 23). В открывшемся окне в строке «dZ» указать значение «-4» (рис. 24). На вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Добавить стержень» (рис. 25). В открывшемся окне выбрать «Указать узлы курсором» (рис.26).

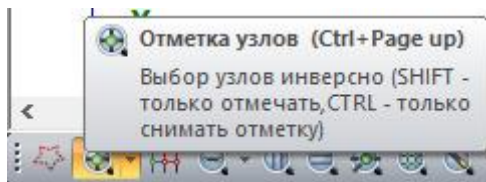


Рисунок 21 – Отметка узлов

Изображение 1

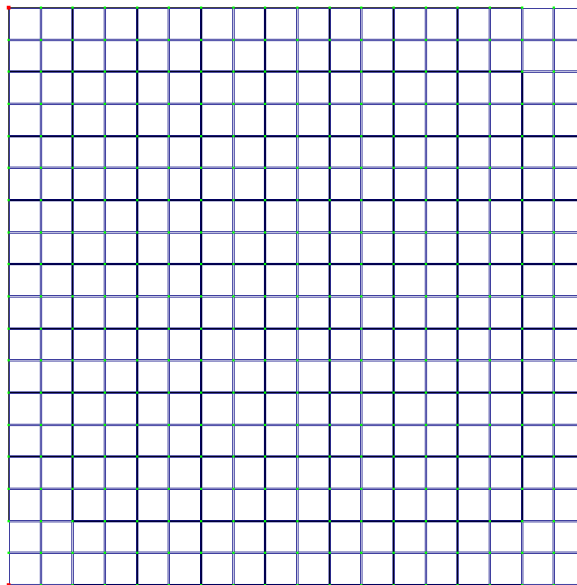
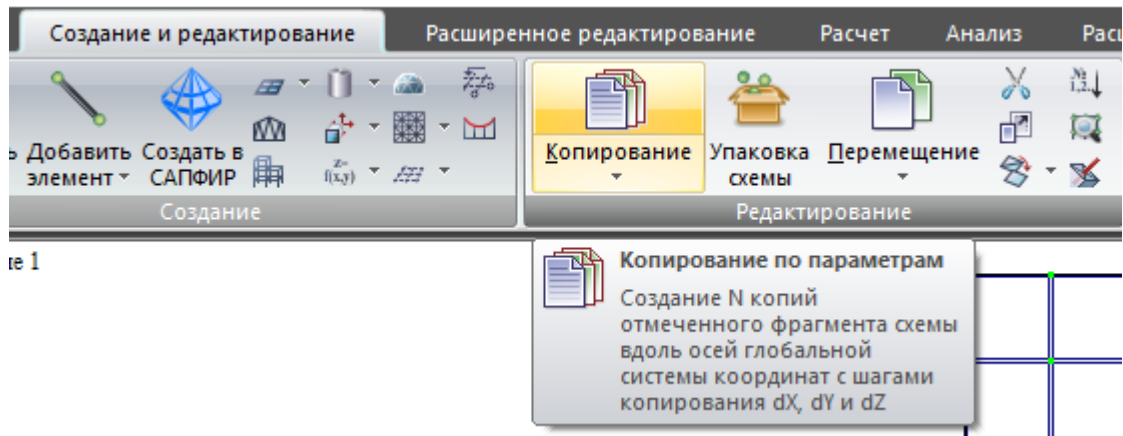


Рисунок 22 – Выделенные узлы



Изображение 1

Рисунок 23 – Копирование узлов



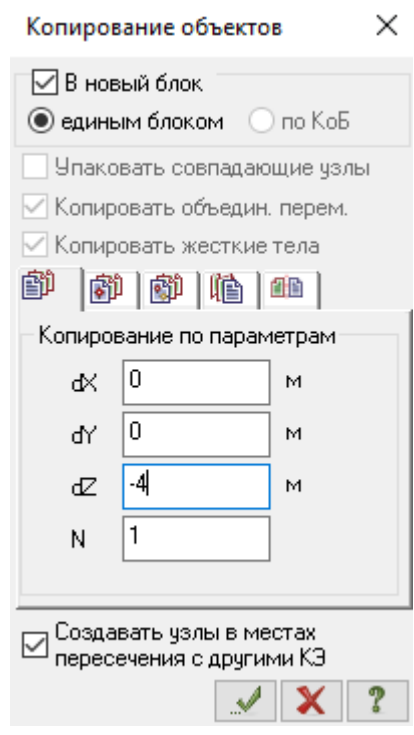


Рисунок 24 – Копирование по параметрам

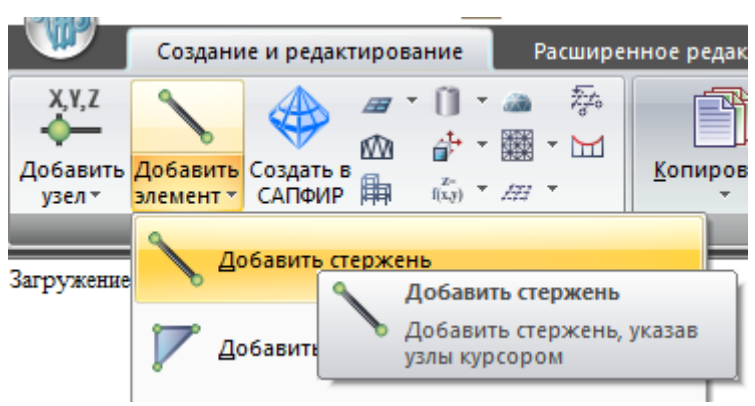


Рисунок 25 – Создание колонны

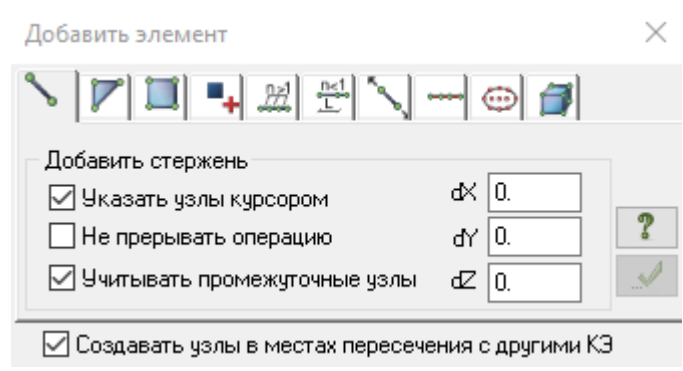


Рисунок 26 – Добавить стержень

В результате получаем следующую геометрическую модель (рис. 27).

Загрузка 1

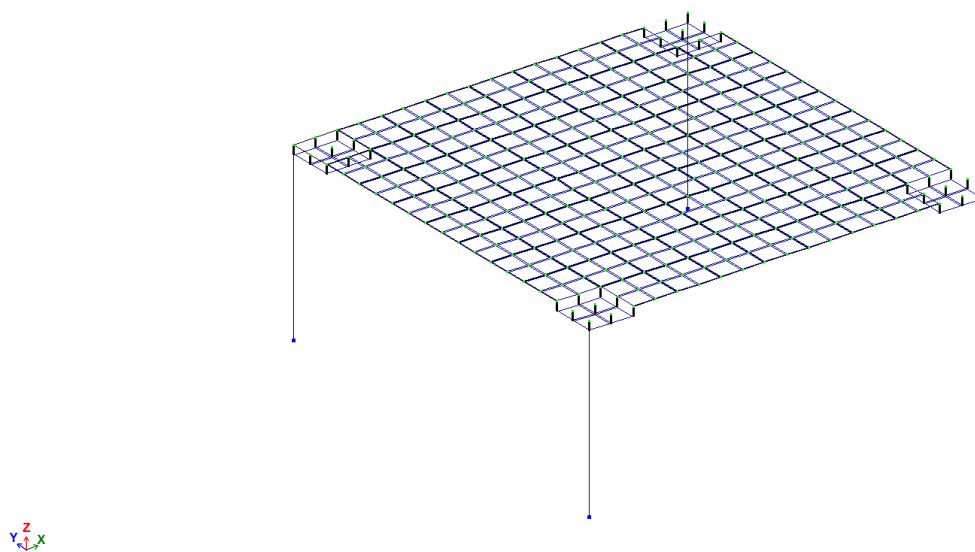


Рисунок 27 – геометрическая модель

### 3.2.2 Создание жесткости и материалов элементов

Создадим жесткость для плиты. Чтобы создать жесткость для плиты, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 28). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 29). Далее открываем вкладку «Пластинчатые, объемные, численные» и выбираем «Пластины» (рис. 30). В окне «Задание жесткости для пластин» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $V=0.2$ , высота пластины  $H=10$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 31).

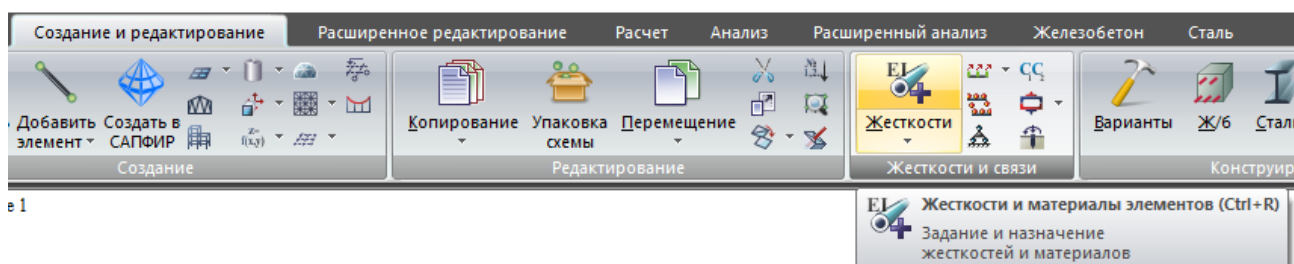


Рисунок 28 – Создание жесткости плиты

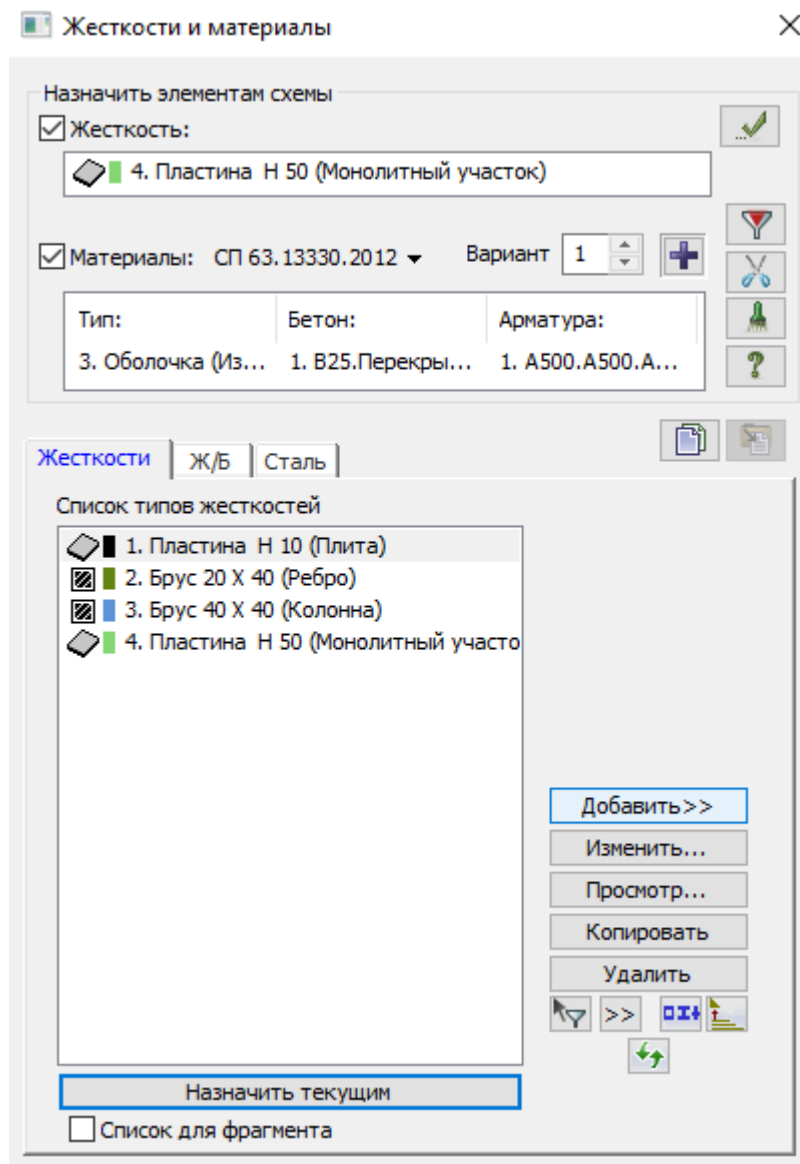


Рисунок 29 – Добавление жесткости плиты

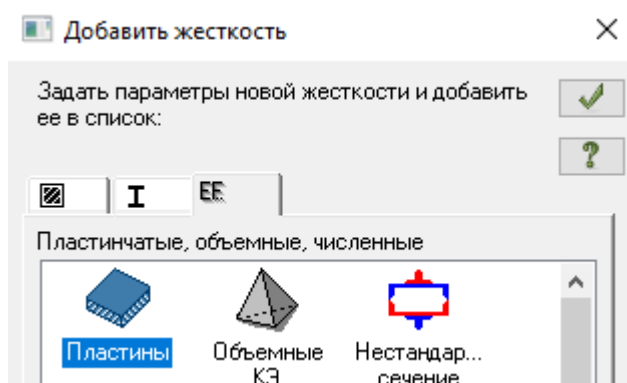


Рисунок 30 – Задание типа жесткости плиты

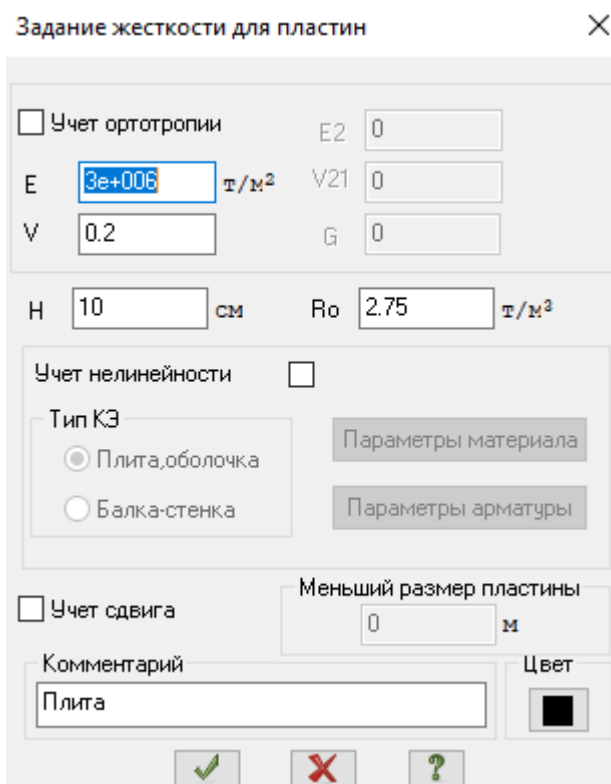


Рисунок 31 – Задание характеристик жесткости для плиты

Создадим жесткость для монолитного участка. Чтобы создать жесткость для монолитного участка, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 32). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 33). Далее открываем вкладку «Пластинчатые, объемные, численные» и выбираем «Пластины» (рис. 34). В окне «Задание жесткости для пластин» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $V=0.2$ , высота пластины  $H=40$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 35).

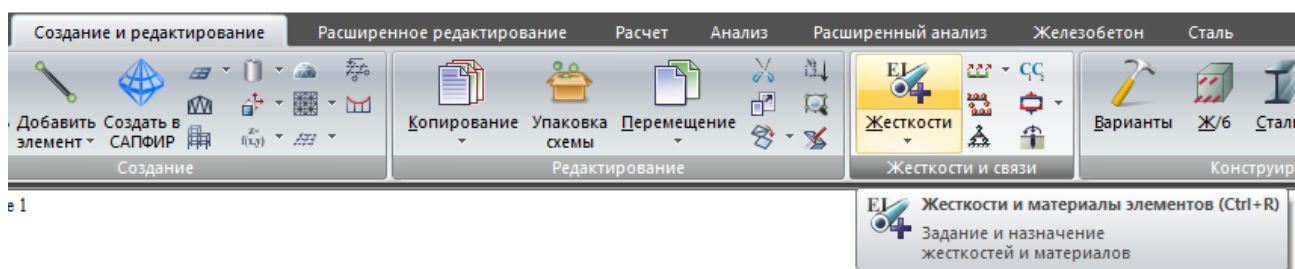


Рисунок 32 – Создание жесткости монолитного участка

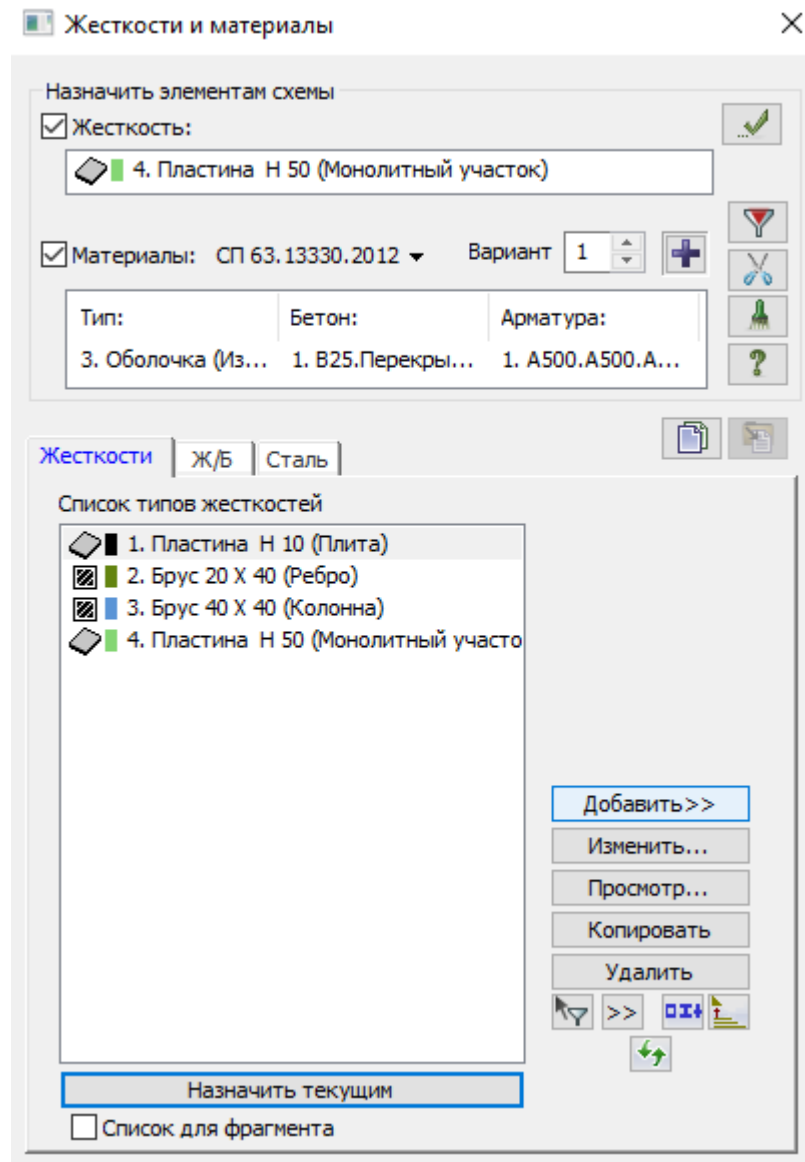


Рисунок 33 – Добавление жесткости монолитного участка

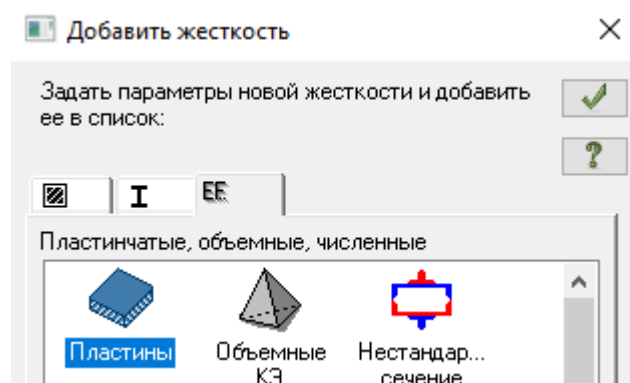


Рисунок 34 – Задание типа жесткости монолитного участка

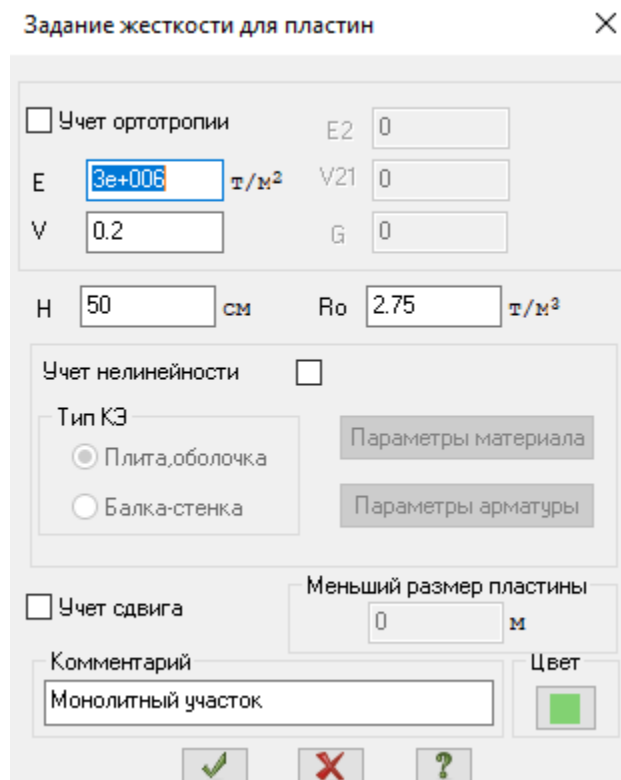


Рисунок 35 – Задание характеристик жесткости монолитного участка

Создадим жесткость для ребра перекрытия. Чтобы создать жесткость для ребра перекрытия, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 36). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 37). Далее открываем вкладку «Стандартные типы сечений» и выбираем «Брус» (рис. 38). В окне «Задание стандартного сечения» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, ширина бруса  $B=20$  см, высота бруса  $H=50$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 39).

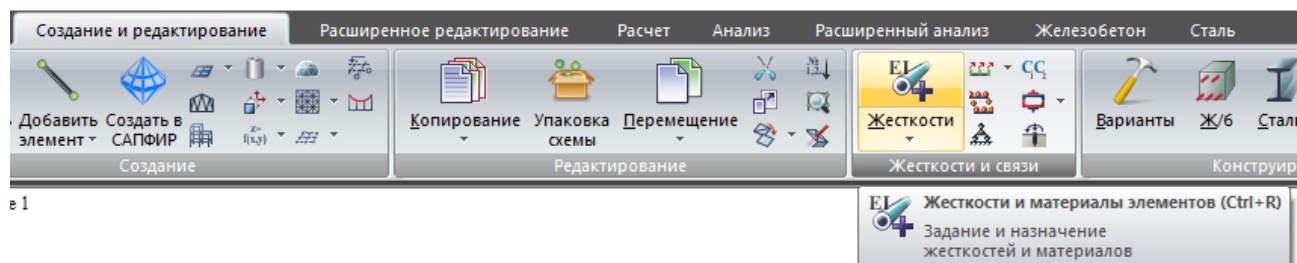


Рисунок 36 – Создание жесткости ребра перекрытия

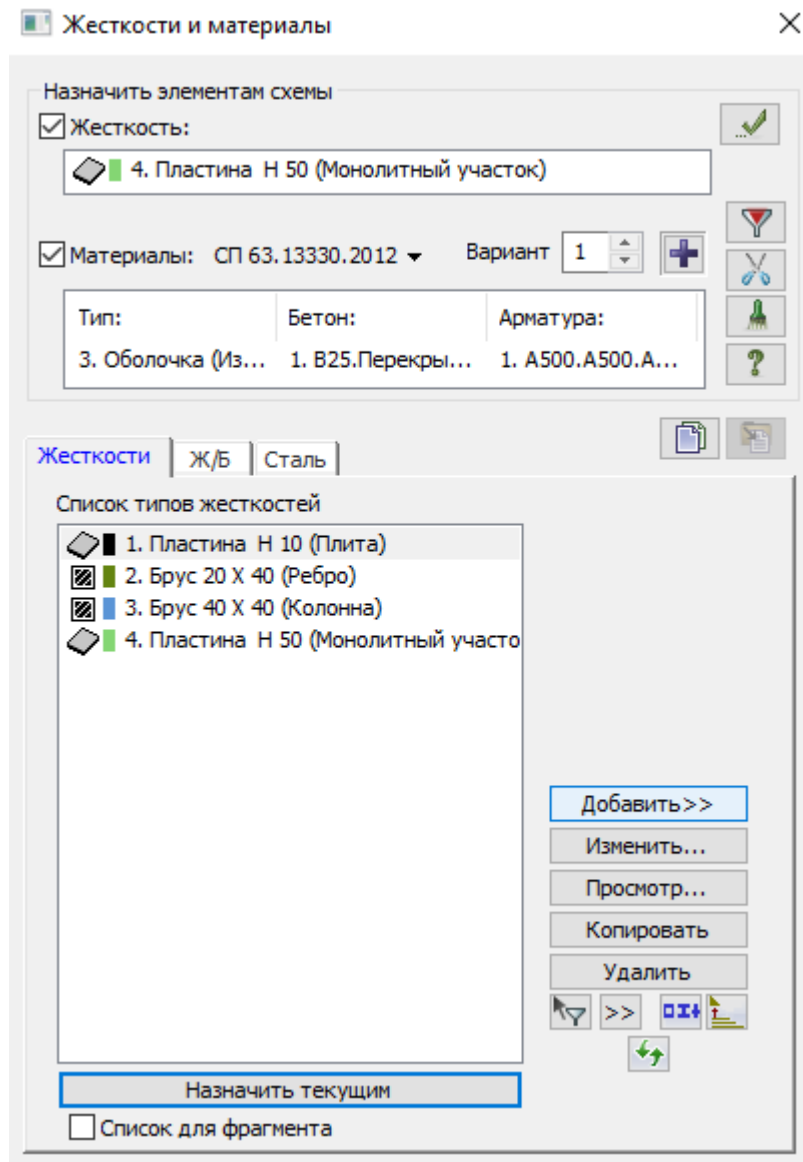


Рисунок 37 – Добавление жесткости ребра перекрытия

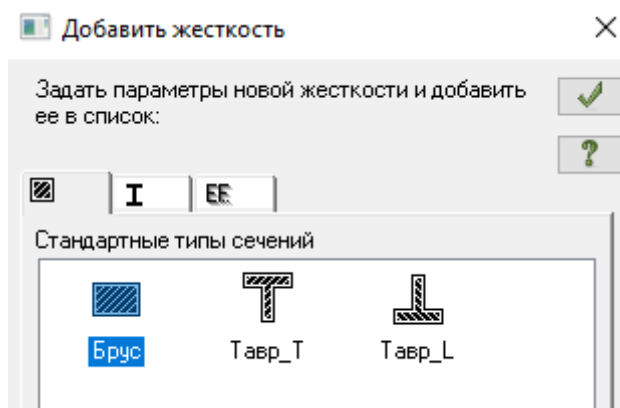


Рисунок 38 – Задание типа жесткости ребра перекрытия

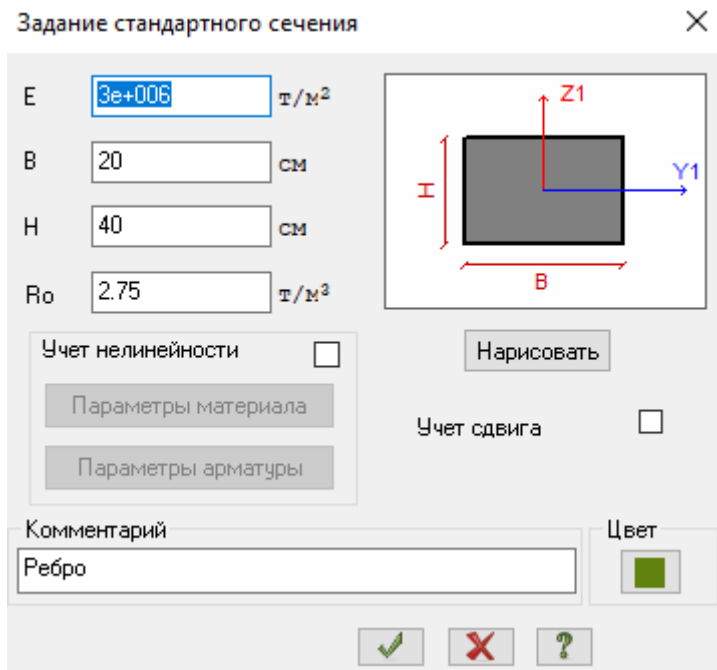


Рисунок 39 – Задание характеристик жесткости ребра перекрытия

Создадим жесткость колонн. Чтобы создать жесткость колонн, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 40). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 41). Далее открываем вкладку «Стандартные типы сечений» и выбираем «Брус» (рис. 42). В окне «Задание стандартного сечения» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, ширина бруса  $B=40$  см, высота бруса  $H=40$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 43).

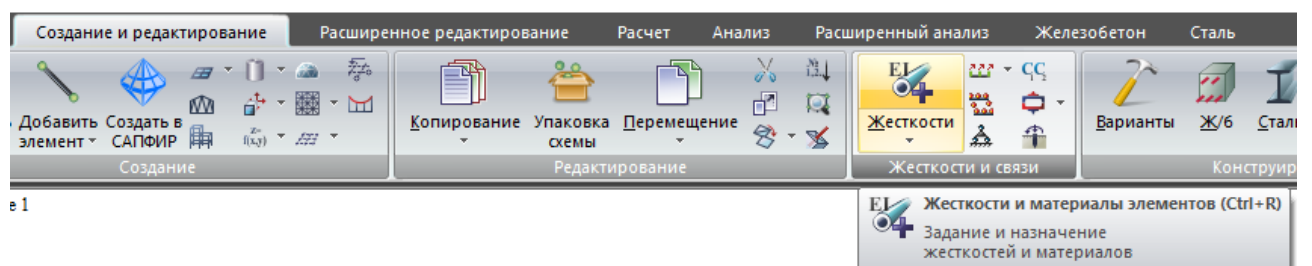


Рисунок 40 – Создание жесткости ребра перекрытия



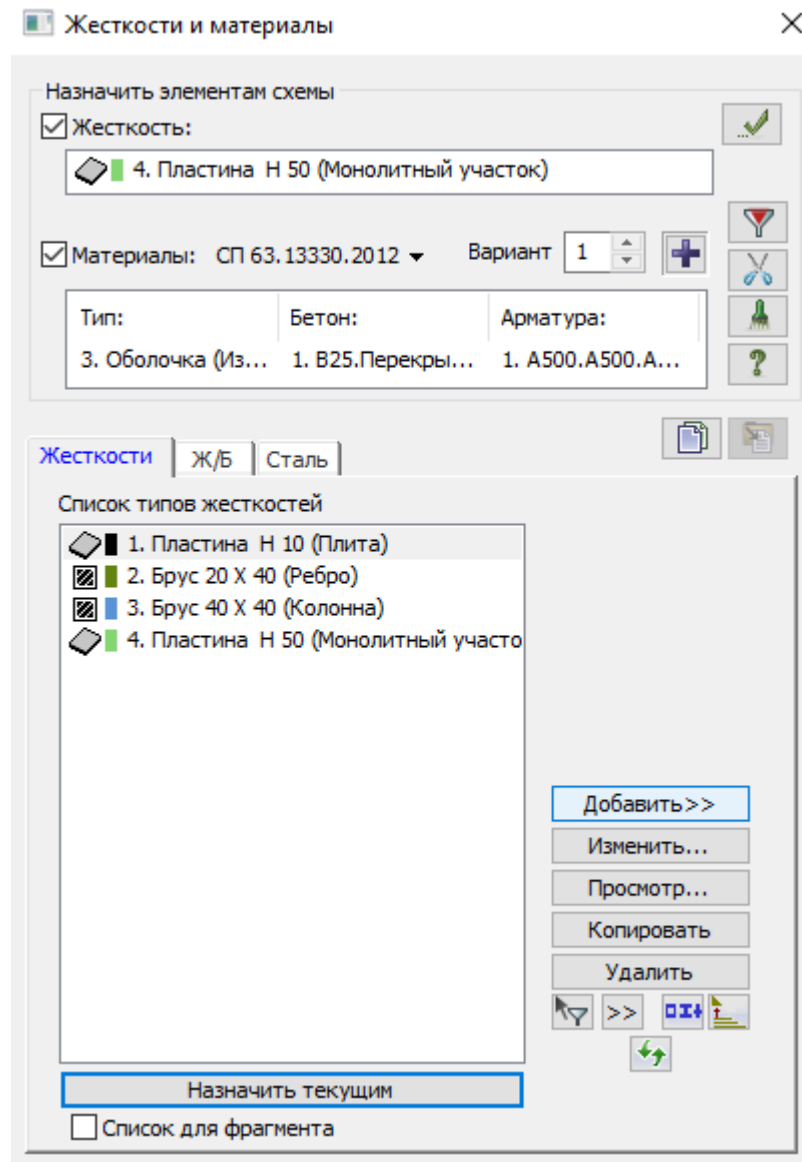


Рисунок 41 – Добавление жесткости ребра перекрытия

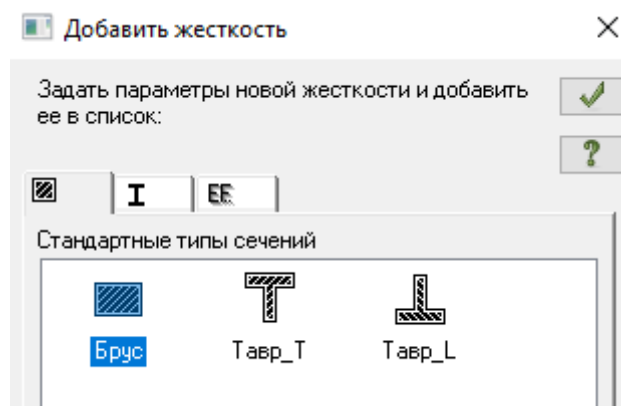


Рисунок 42 – Задание типа жесткости ребра перекрытия

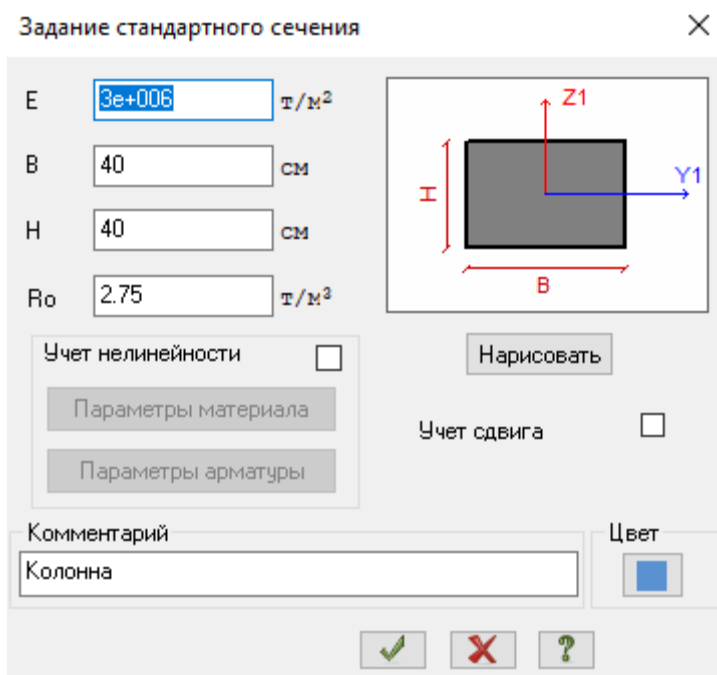


Рисунок 43 – Задание характеристик жесткости ребра перекрытия

Зададим параметры железобетонных конструкций. Чтобы задать параметры железобетонных конструкций, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 44). В открывшемся окне в разделе «Ж/Б» нажать «Редактировать» (рис. 45). Зададим расчетные характеристики ребра перекрытия (рис. 46), колонны (рис. 47), пластины (рис. 48), бетона (рис. 49), арматуры (рис. 50).

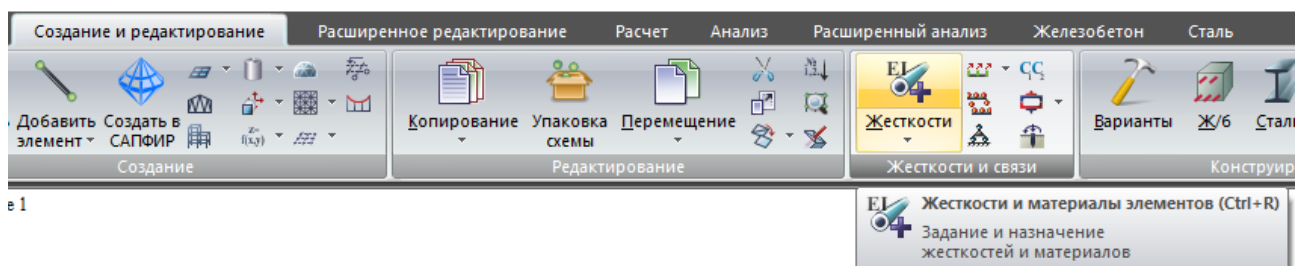


Рисунок 44 – Задание параметров ж/б конструкций

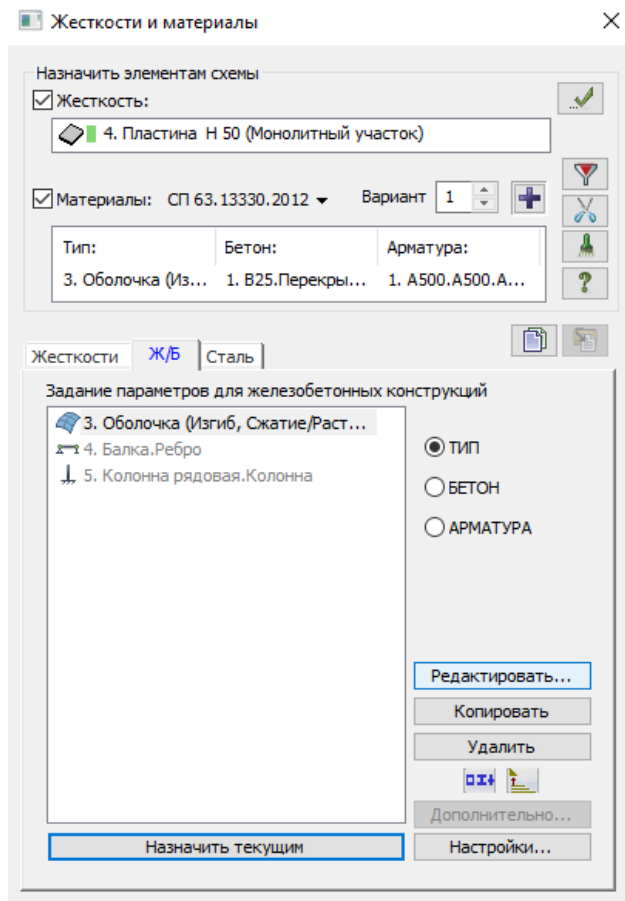


Рисунок 45 – Редактирование параметров ж/б конструкций

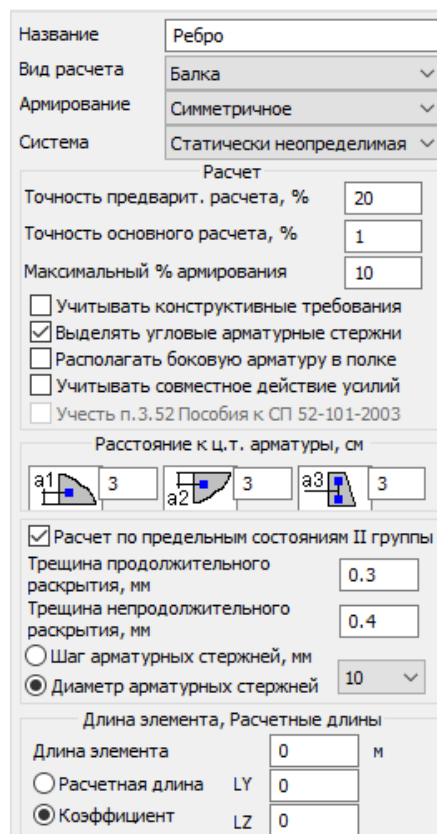


Рисунок 46 – Расчетные характеристики ребра перекрытия

|   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| Название  | Колонна                  |   |
| Вид расчета   | Колонна рядовая          |   |
| Армирование   | Симметричное             |   |
| Система   | Статически неопределимая |   |
| Расчет  |                          |   |
| Точность предварит. расчета, %  | 20                       |   |
| Точность основного расчета, %   | 1                        |   |
| Максимальный % армирования  | 10                       |   |
| <input type="checkbox"/> Учитывать конструктивные требования<br><input checked="" type="checkbox"/> Выделять угловые арматурные стержни<br><input type="checkbox"/> Располагать боковую арматуру в полке<br><input type="checkbox"/> Учитывать совместное действие уюлий<br><input type="checkbox"/> Учесть п.3.52 Пособия к СП 52-101-2003 |                          |   |
| Расстояние к ц.т. арматуры, см  |                          |   |
|   | a1 3                     |   |
|   | a2 3                     |   |
|   | a3 3                     |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расчет по предельным состояниям II группы<br>Трещина продолжительного раскрытия, мм: 0.3<br>Трещина непродолжительного раскрытия, мм: 0.4<br><input checked="" type="radio"/> Шаг арматурных стержней, мм<br><input type="radio"/> Диаметр арматурных стержней: 200                                     |                          |   |
| Длина элемента, Расчетные длины   |                          |   |
| Длина элемента  | 0                        | м |
| <input type="radio"/> Расчетная длина LY  | 1                        |   |
| <input checked="" type="radio"/> Коэффициент LZ   | 1                        |   |

Рисунок 47 – Расчетные характеристики колонны

|   |                              |          |
|---|------------------------------|----------|
| Название  | Плита                        |          |
| Вид расчета   | Оболочка (Изгиб, Сжатие/Рак) |          |
| Система   | Статически неопределимая     |          |
| Расчет  |                              |          |
| <input type="checkbox"/> Подбирать арматуру по теории Вуда<br>Минимальный % армирования: 0.05<br>Максимальный % армирования: 10<br>Точность предварит. расчета, %: 20<br>Точность основного расчета, %: 1<br><input type="checkbox"/> Подбирать поперечную арматуру на 1 кв.м.                          |                              |          |
| Расстояние к ц.т. арматуры  |                              |          |
|   | A1X 3 см                     | A1Y 3 см |
|   | A2X 3 см                     | A2Y 3 см |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расчет по предельным состояниям II группы<br>Трещина продолжительного раскрытия, мм: 0.3<br>Трещина непродолжительного раскрытия, мм: 0.4<br><input checked="" type="radio"/> Шаг арматурных стержней, мм<br><input type="radio"/> Диаметр арматурных стержней: 200 |                              |          |
| <input type="checkbox"/> Учитывать расчетную высоту стены<br>Высота стены: 0 м      Значение: 1<br><input checked="" type="radio"/> Коэффициент <input type="radio"/> Расчетная высота  |                              |          |

Рисунок 48 – Расчетные характеристики колонны

СП 63.13330.2012

Название  
Перекрытие

Класс бетона B25 + -

Вид бетона тяжелый

Марка легкого бетона по средней плотности 2000

Кoeffициенты условий работы

$\gamma_{b2}$  0.9  $\gamma_{b3}$  0.85  $\gamma_{b5}$  1

Относительная влажность воздуха, % 80

Диаграмма напряжение-деформация  
2-х линейная диаграмма состояния сжат

Случайные эксцентриситеты

По высоте сечения EY 0 см  
По ширине сечения EZ 0 см

|                | B25 (МПа) |
|----------------|-----------|
| Eb             | 30000.00  |
| Rbn            | 18.50     |
| Rbtn           | 1.55      |
| Rb             | 14.50     |
| Rbt            | 1.05      |
| Eps_b0 (*1000) | 3.00      |

Рисунок 49 – Расчетные характеристики бетона

СП 63.13330.2012

Название  
Перекрытие

Классы арматуры

ПРОДОЛЬНАЯ ВДОЛЬ X A500 d=10...40

Продольная вдоль Y A500 d=10...40

Поперечная арматура A240 d=6...40

+ -

$\sigma_{max}$  40  $\sigma_{min}$  1  $\sigma_{avg}$

Учет сейсмического воздействия

Кoeffициент из т.6 СП 14.13330.2014 1

Кoeff. условий работы при расчете наклонных сечений, т.6 СП 1

| Продольная X | A500 d=10...40 (МПа) |
|--------------|----------------------|
| Es           | 200000.00            |
| Rsn          | 500.00               |
| Rs           | 435.00               |
| Rsw          | 300.00               |
| Rsc          | 435.00               |

Рисунок 50 – Расчетные характеристики арматуры

В результате получаем следующую 3D-модель (рис. 51).

ребристое перекрытие способ 1 - 3d

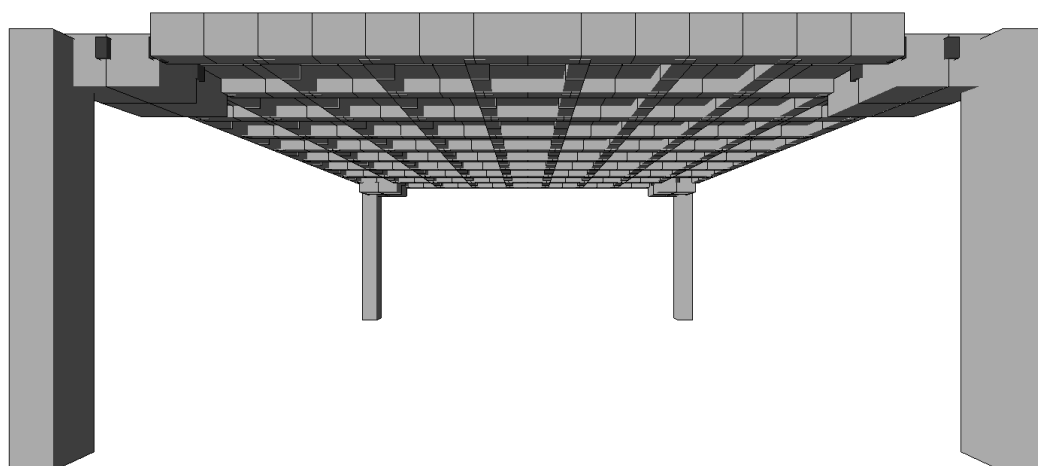


Рисунок 51 – 3D-модель перекрытия метод 1

### 3.2.3 Создание расчетной модели

Зададим закрепления узлов. Чтобы задать закрепление, нужно выделить узлы, как показано рисунке (рис. 52). Далее на вкладке «Узлы» в панели «Редактирование узлов» выбрать «Связи» (рис. 53). В открывшемся окне в разделе «Параметры связей» выбрать все (рис. 54).

Згружено 1

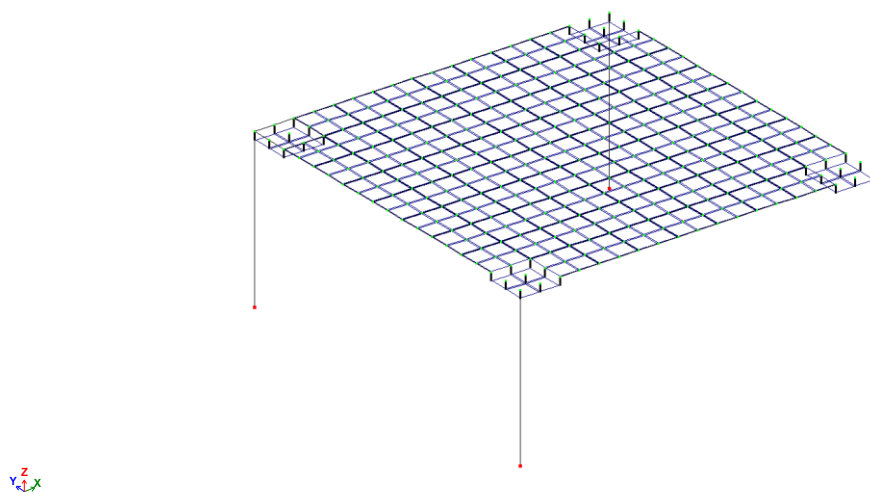


Рисунок 52 – Выделенные узлы для создания связи

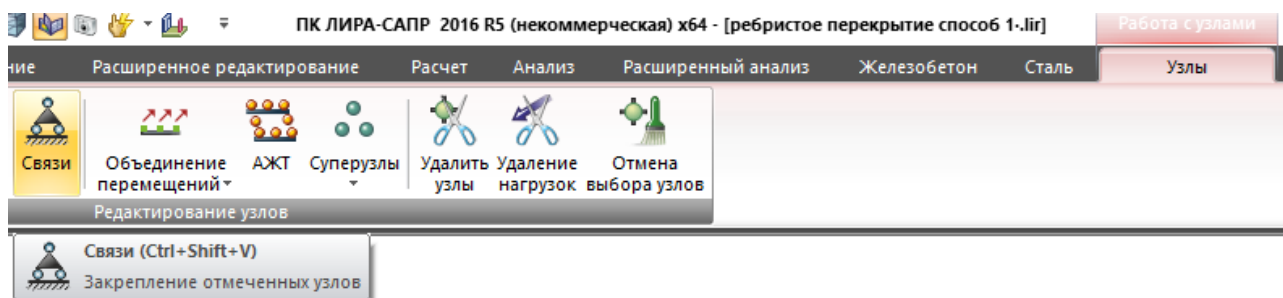


Рисунок 53 – Задание связей в узлах

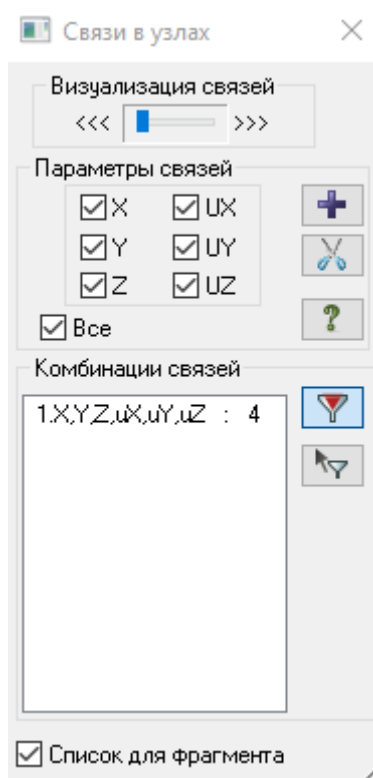


Рисунок 54 – Параметры связей в узлах

Зададим нагружения на геометрическую модель. Согласно п. 3.1 табл. 1 настоящей работы, в котором были собраны нагрузки, действующие на проектируемое перекрытие, необходимо их перенести на построенную геометрическую модель перекрытия.

Выделим плиту перекрытия как показано на рисунке (рис. 55). Далее на вкладке «Пластины» в панели «Редактирование пластин» выбираем «Нагрузка на пластины» (рис.56). В открывшемся окне в разделе «Тип нагрузки» выбираем

равномерно-распределенную нагрузку и задаем нагружение  $P=0.914 \text{ т/м}^2$  (рис. 57).

Загружение 1

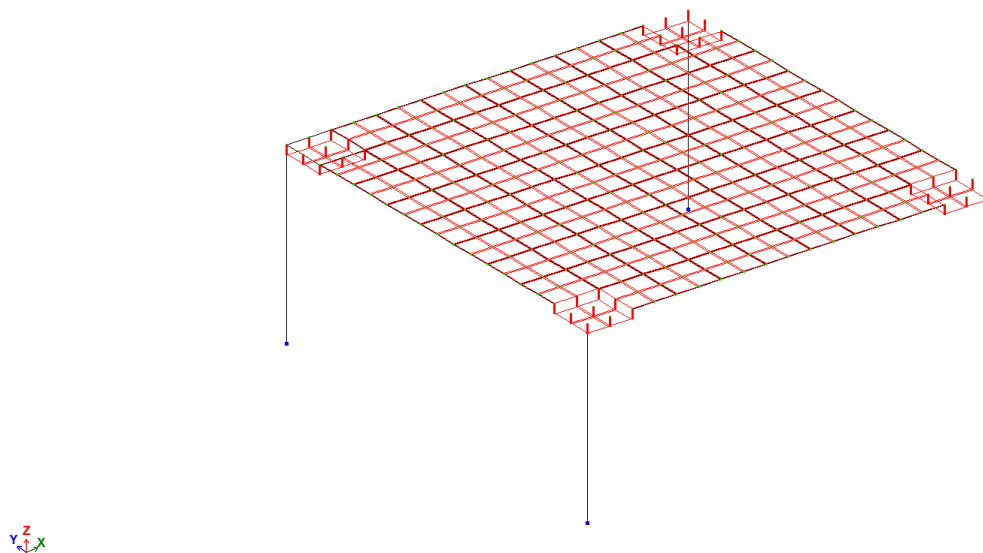


Рисунок 55 – Выделенная плита перекрытия

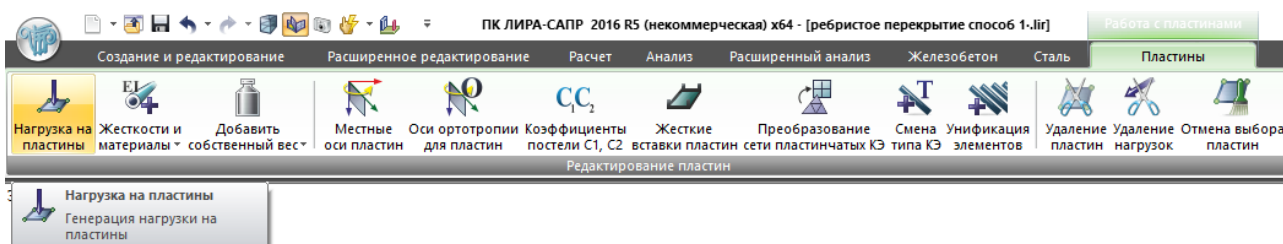


Рисунок 56 – Создание нагрузки на перекрытие

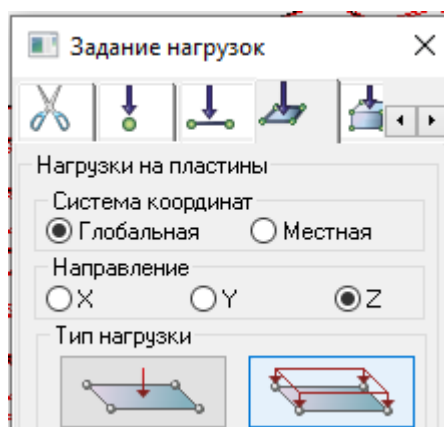


Рисунок 56 – Тип нагрузки на перекрытие



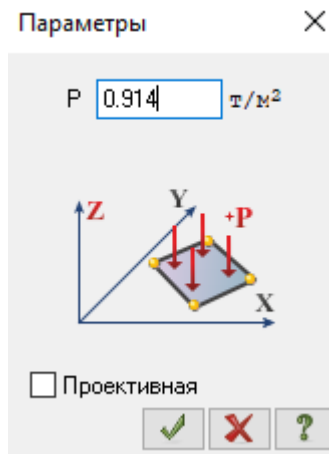


Рисунок 57 – Параметры нагрузки на перекрытие

Зададим нагружение от собственного веса. Чтобы задать нагружение от собственного веса, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Нагрузки» выбрать «Добавить собственный вес» (рис. 58).

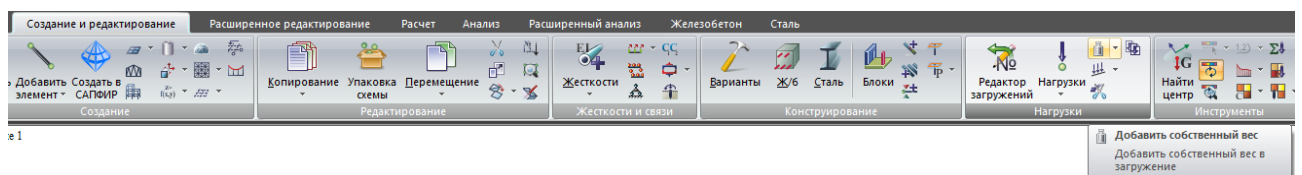


Рисунок 58 – Добавление собственного веса

После создания расчетной схемы необходимо ее упаковать. Чтобы упаковать схему, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Редактирование» выбрать «Упаковка схемы» (рис. 59).

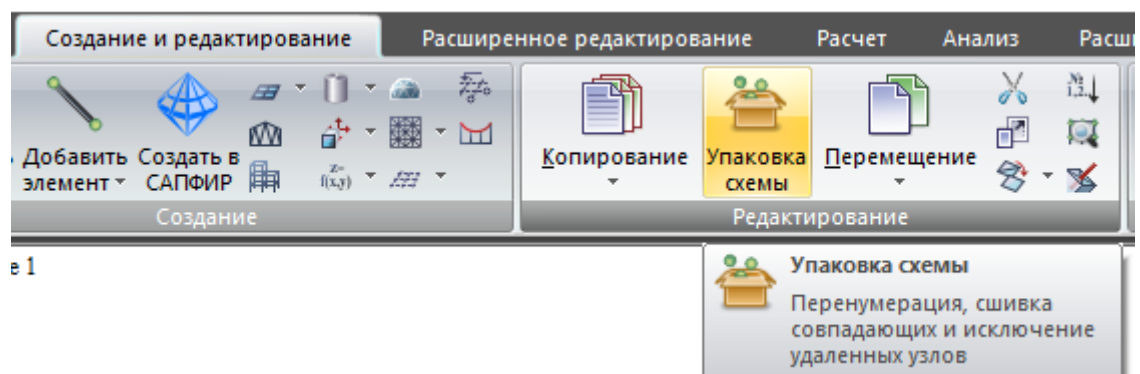


Рисунок 59 – упаковка схемы

В результате получаем следующую расчетную модель (рис. 60).

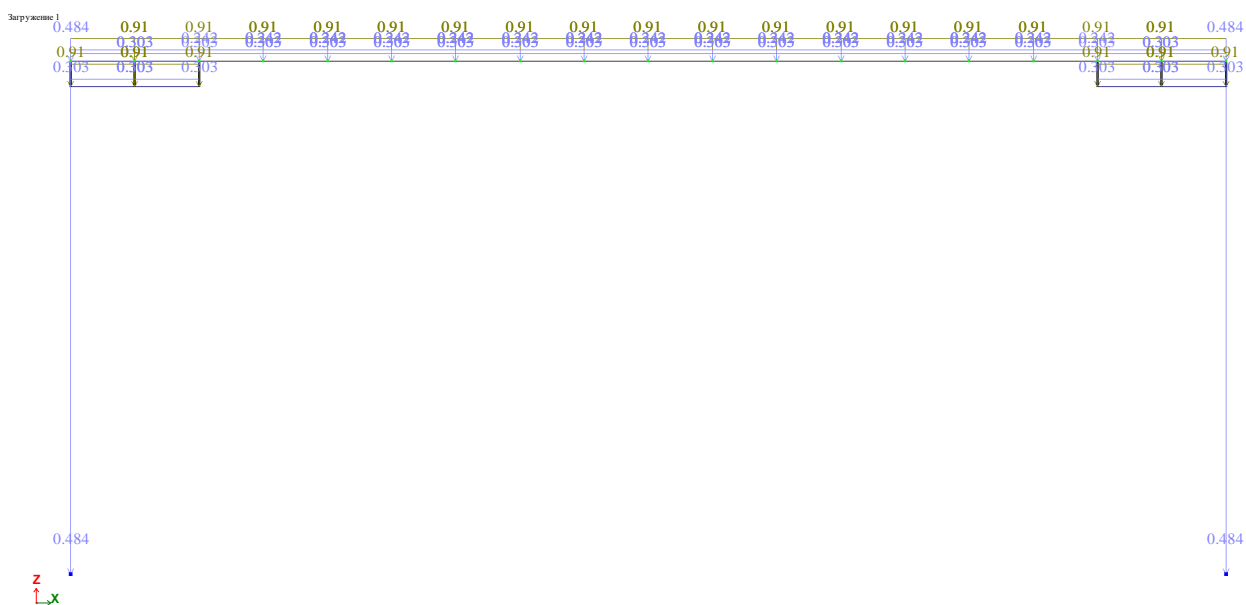


Рисунок 60 – Схема нагружения на перекрытие в проекции XOZ

### 3.2.4 Расчет модели перекрытия

Выполним расчет модели перекрытия. Чтобы выполнить расчет, на вкладке «Расчет» в панели «Расчет» выбрать «Выполнить полный расчет» (рис. 61).

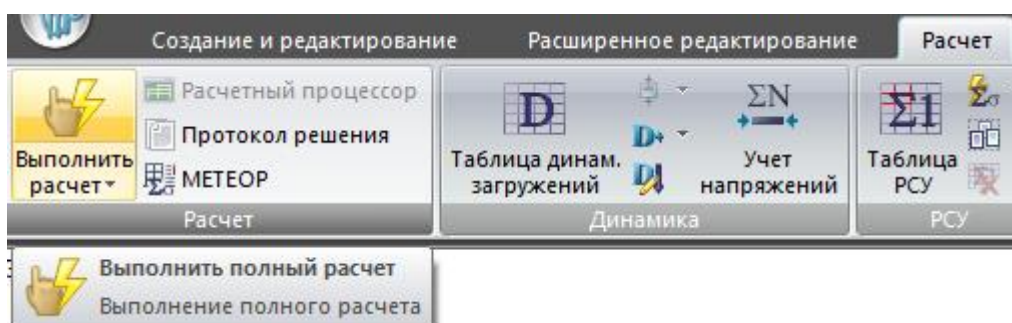


Рисунок 61 – Расчет модели перекрытия

Результаты расчета по деформации представлен на рисунке (рис. 62)

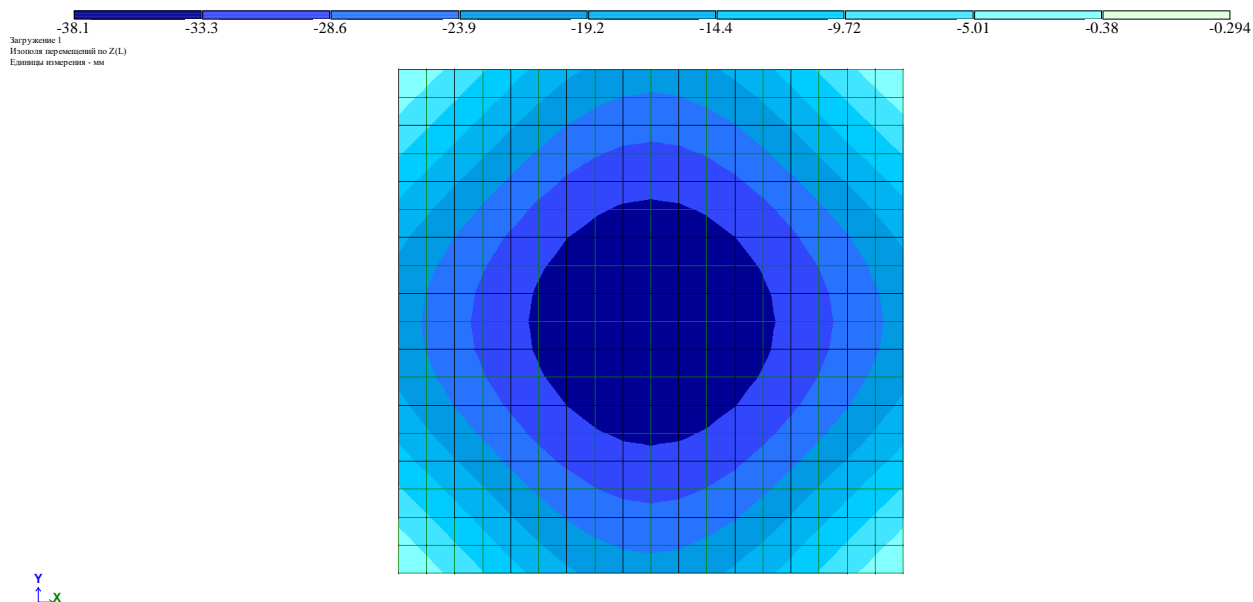


Рисунок 62 – деформация модели плиты перекрытия

Изгибающий момент в стержнях представлен на рисунке (рис. 63).

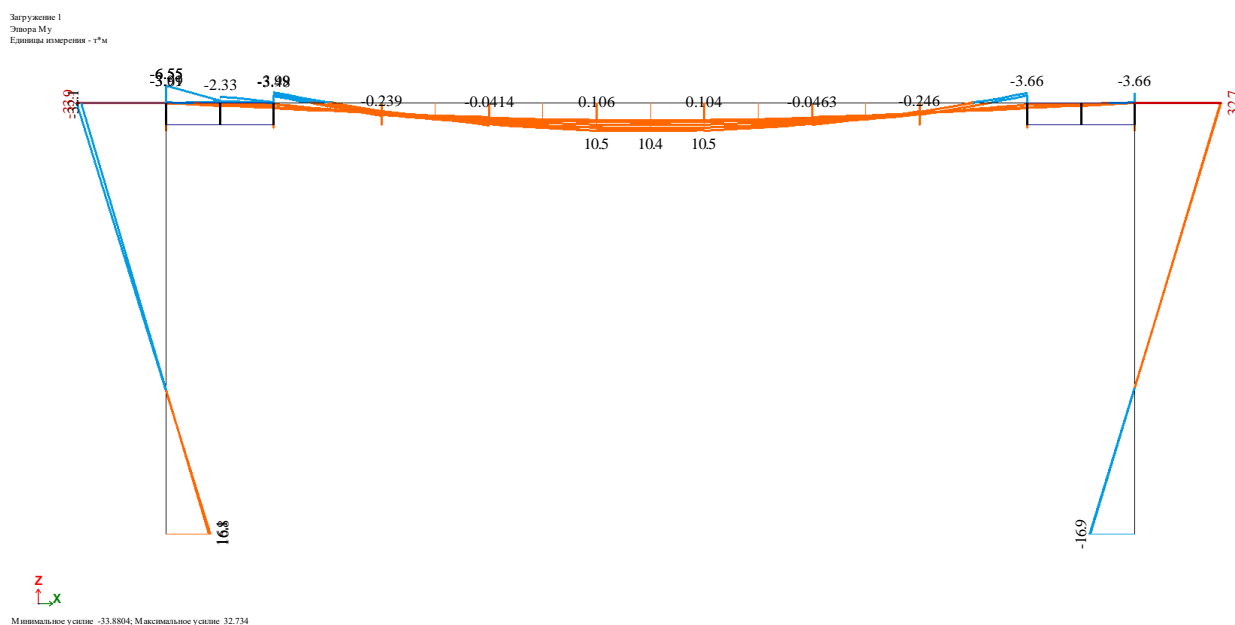


Рисунок 63 – изгибающий момент в ребрах перекрытия

Выполним расчет арматуры модели перекрытия. Чтобы выполнить расчет, на вкладке «Железобетон» в панели «Расчет» выбрать «Расчет арматуры» (рис. 64).

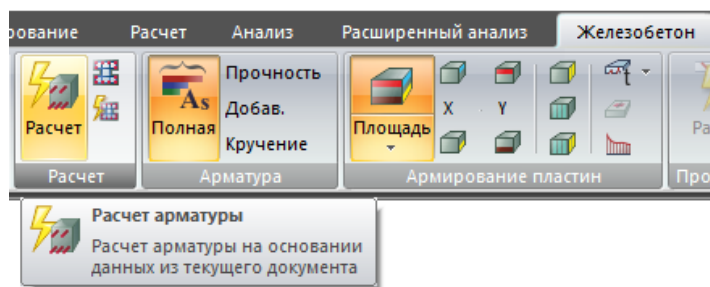


Рисунок 64 – Расчет арматуры

Результаты армирования плиты представлены на рисунках (рис. 65-66)

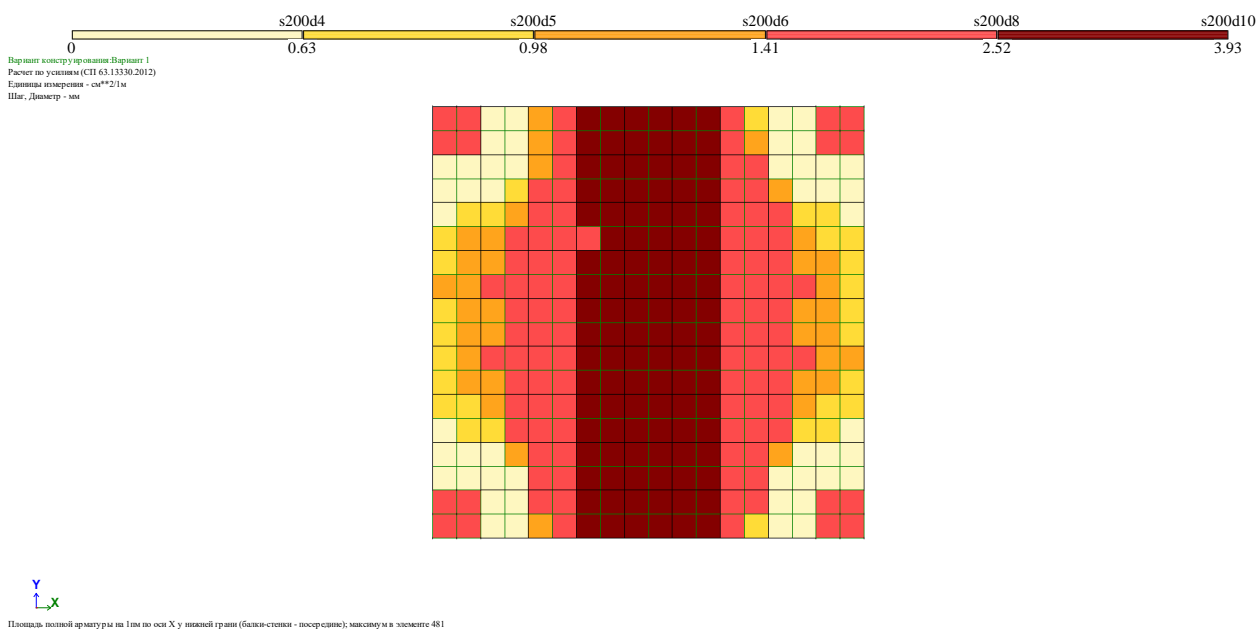


Рисунок 65 – Нижняя арматура в пластинах по оси X1

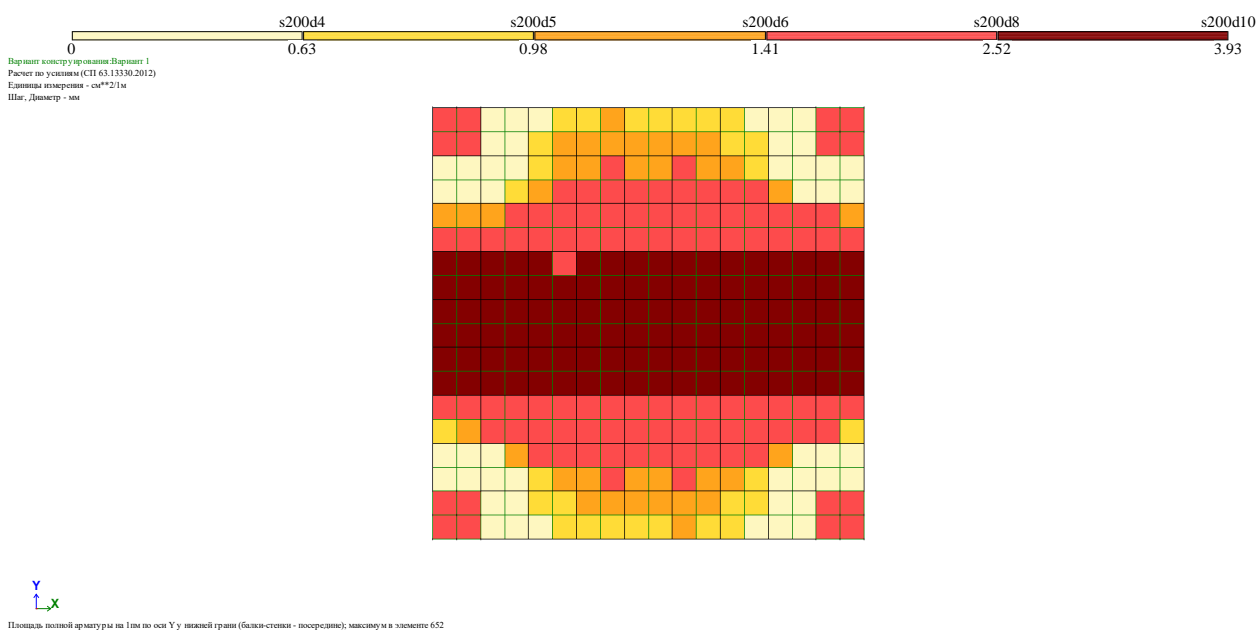


Рисунок 66 – Нижняя арматура в пластинах по оси Y1

Результаты армирования ребер перекрытия представлены на рисунке (рис.

67)

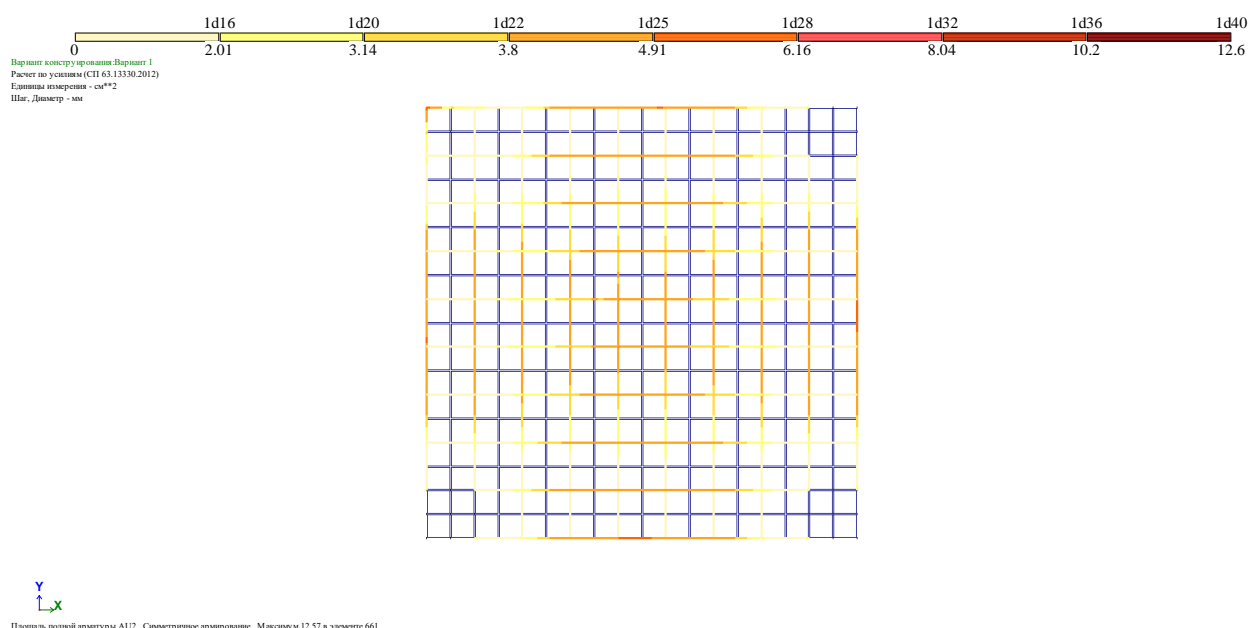


Рисунок 67 – Результаты армирования ребер перекрытия

### 3.3 Второй метод создания модели плиты

Плита задается оболочечным элементом, а жесткость ребер задается сечением в виде бруса. Ребро жесткости задается жесткой вставкой таким образом, чтобы верхняя граница ребра совпадала с верхней границей плиты (рис. 68).

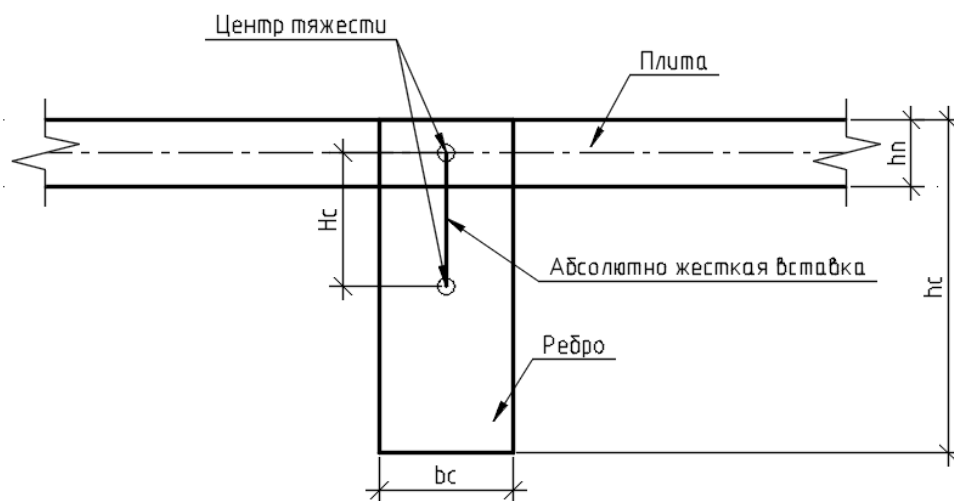


Рисунок 68 – Второй метод создания модели плиты

### 3.3.1 Создание геометрической модели

Создадим новый проект. Открыть меню приложения (рис. 69). Выбрать пункты «Новый» - «Создать новый проект» (рис. 70). В открытом окне «Описание схемы» в разделе «Признак схемы» выбрать «5 – Шесть степеней свободы в узле (X, Y, Z, U<sub>x</sub>, U<sub>y</sub>, U<sub>z</sub>)». Пятый признак схемы обозначает то, что имеется 6 степеней свободы для полноценной задачи трехмерной геометрической схемы.

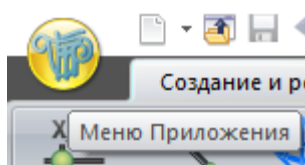


Рисунок 69 – Меню Приложения

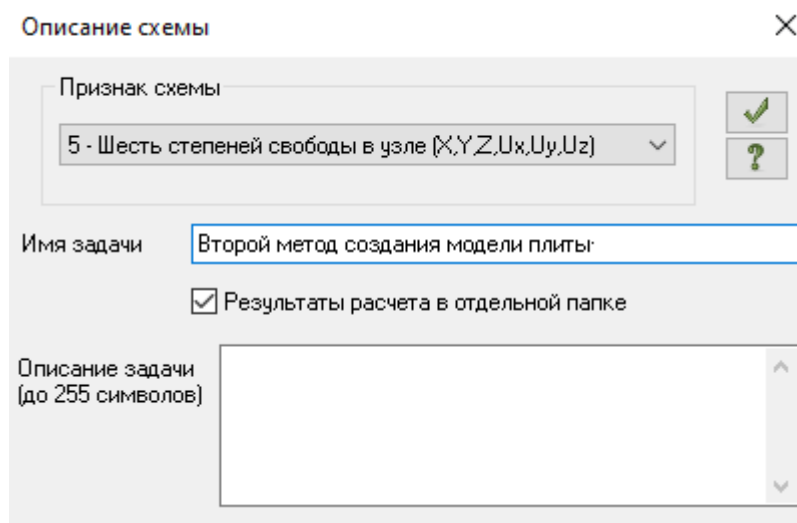


Рисунок 70 – Описание схемы

Проектирование начинается с создания плиты. Чтобы создать плиту, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Генерация плиты» (рис. 71).

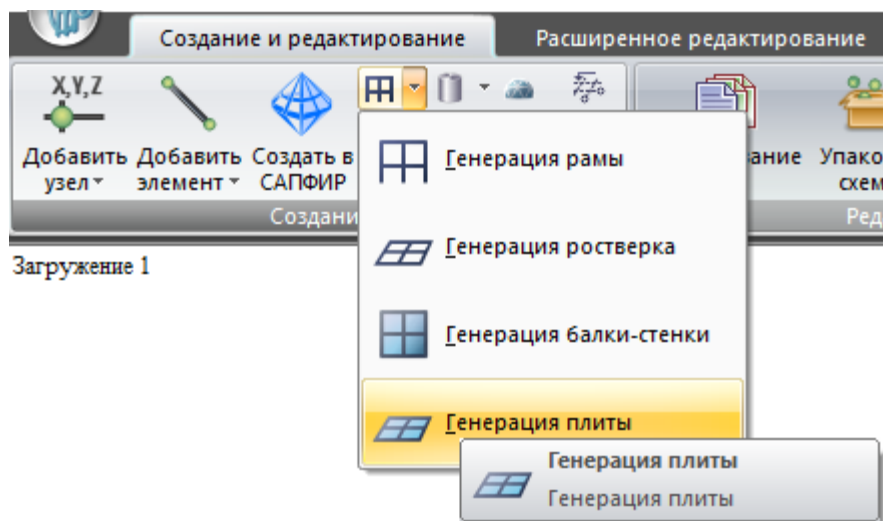


Рисунок 71 – создание плиты

В открывшемся окне необходимо указать координаты первого узла. Для этого в строках указываем следующие координаты ( $X=0\text{м}$ ,  $Y=0\text{м}$ ,  $Z=0\text{м}$ ) (рис. 72).

Координаты первого узла

Указать курсором

X 0 м

Y 0 м

Z 0 м

Рисунок 72 – координаты первого узла

В таблице «Шаг вдоль первой оси» в первом столбце «Значение L(м)» ставим 0,5, во втором столбце «Шаг вдоль первой оси» ставим 18 (рис. 73).

В таблице «Шаг вдоль второй оси» в первом столбце «Значение L(м)» ставим 0,5, во втором столбце «Шаг вдоль первой оси» ставим 18 (рис. 73).

| Шаг вдоль первой оси |            | Шаг вдоль второй оси |            |
|----------------------|------------|----------------------|------------|
| Значение             | Количество | Значение             | Количество |
| L(м)                 | N          | L(м)                 | N          |
| 0.50                 | 18         | 0.50                 | 18         |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |

Рисунок 73 – создание шага плоских фрагментов

Создадим монолитные участки в плите. Чтобы создать монолитный участок, нужно показать проекцию плиты на плоскость XOY, после этого выделить плоские фрагменты в плите перекрытия как указано на рисунке (рис. 74). На вкладке «Пластины» выбрать «Жесткие вставки пластин» (рис. 75). В открывшемся окне в строке «Жесткие вставки пластин» выставить значение «-0.2м» (рис. 76).

Зарушение 1

Y  
x

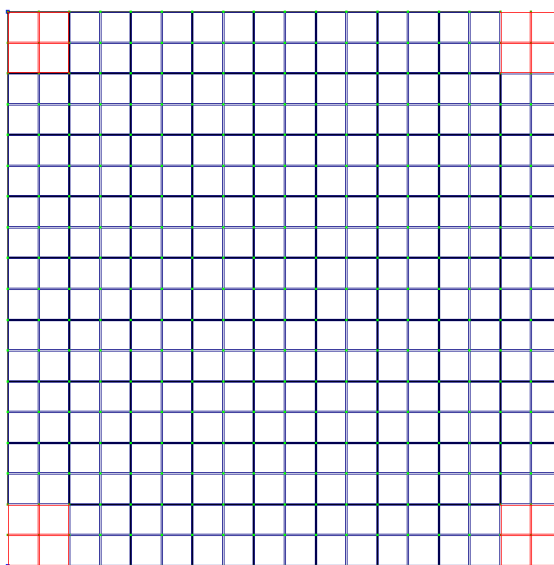


Рисунок 74 – выделенные плоские фрагменты для создания монолитных участков

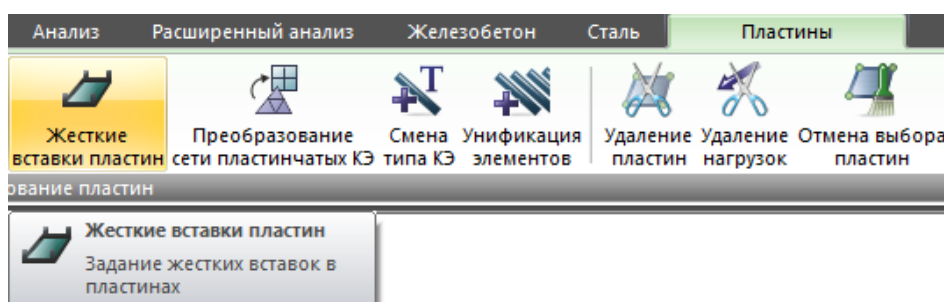


Рисунок 75 – Жесткие вставки пластин

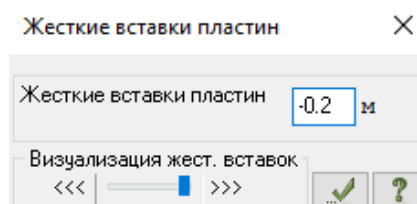


Рисунок 76 – Значение жесткой вставки пластин



Создадим ребра жесткости. Чтобы создать ребра жесткости, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Добавить стержень» (рис. 77).

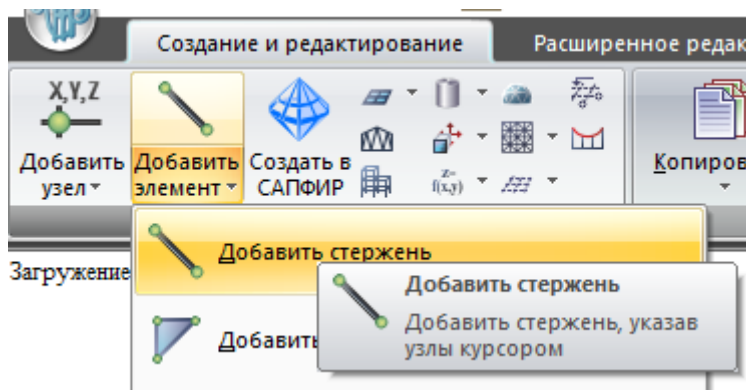
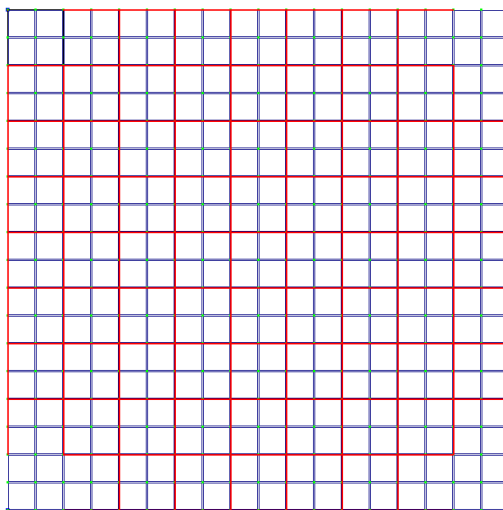


Рисунок 77 – Создание ребер жесткости

В открывшемся окне необходимо указать координаты узлов с помощью курсора. Стержни не должны попадать в монолитные участки (рис. 78).

Загрузка 1



Y  
x

Рисунок 78 – Расположение ребер жесткости в плите

Зададим жесткие вставки ребрам жесткости. Чтобы задать жесткие вставки, нужно показать проекцию плиты на плоскость  $XOY$ , после этого

выделить ребра плиты перекрытия как указано на рисунке (рис. 78). На вкладке «Стержни» выбрать «Жесткие вставки стержней» (рис. 79). В открывшемся окне в 1-ом и 2-ом узлах в координате Z1 выставить значение «-0.2м» (рис. 80).

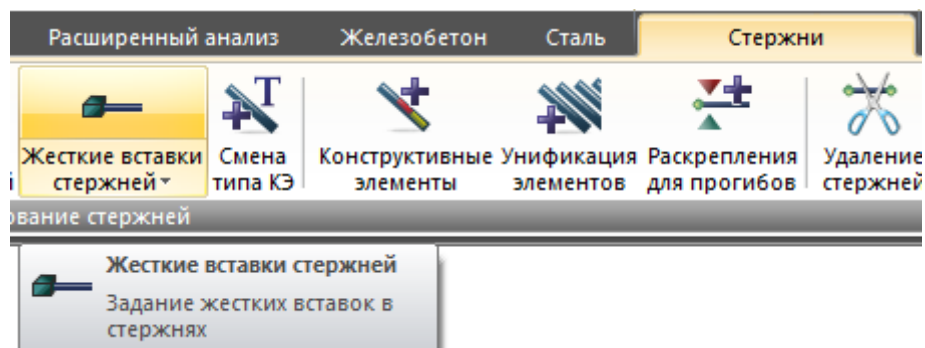


Рисунок 79 – Жесткие вставки ребер плиты перекрытия

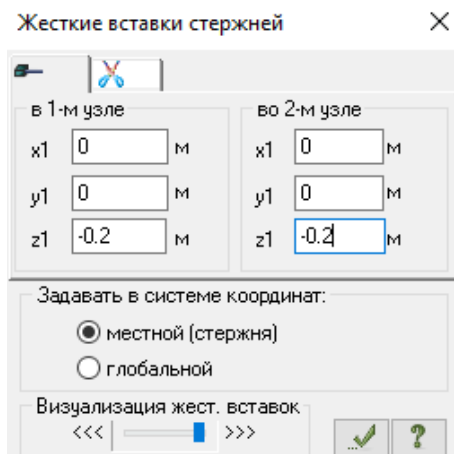


Рисунок 80 – Значение жесткой вставки стержней

Создадим колонны. Чтобы создать колонны, нужно в «Панели выбора» выбрать «Отметка узлов» (рис. 81). Выделяем узлы как показано на рисунке (рис. 82). На вкладке «Создание и редактирование» в панели «Редактирование» выбрать «Копирование по параметрам» (рис. 83). В открывшемся окне в строке

«dZ» указать значение «-4» (рис. 84). На вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Добавить стержень» (рис. 85). В открывшемся окне выбрать «Указать узлы курсором» (рис.86).

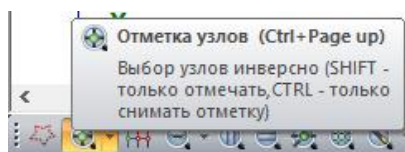


Рисунок 81 – Отметка узлов

Зеруание 1

Y  
Lx

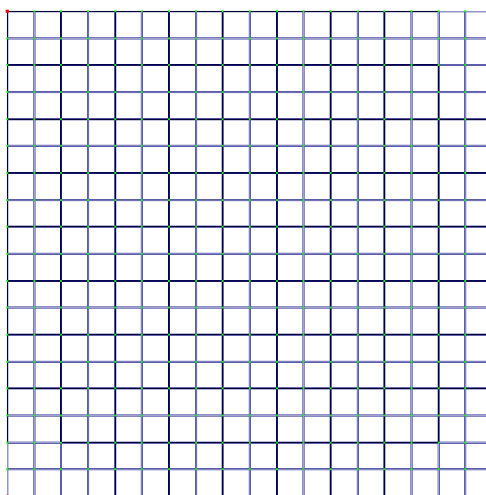
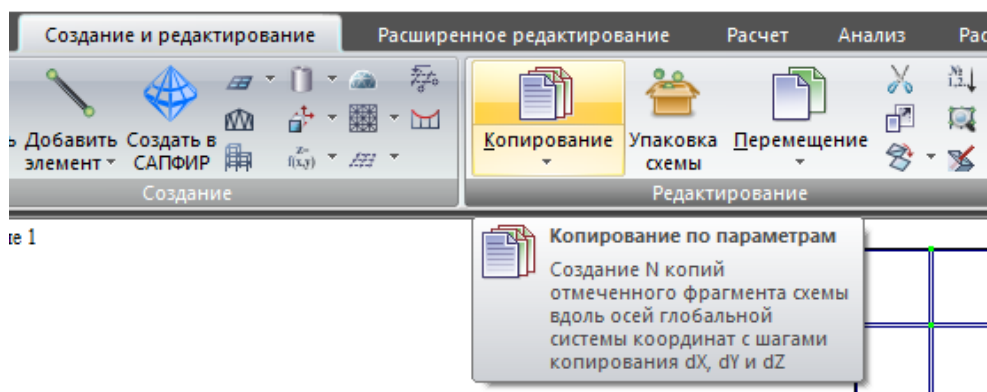


Рисунок 82 – Выделенные узлы



те 1

Рисунок 83 – Копирование узлов

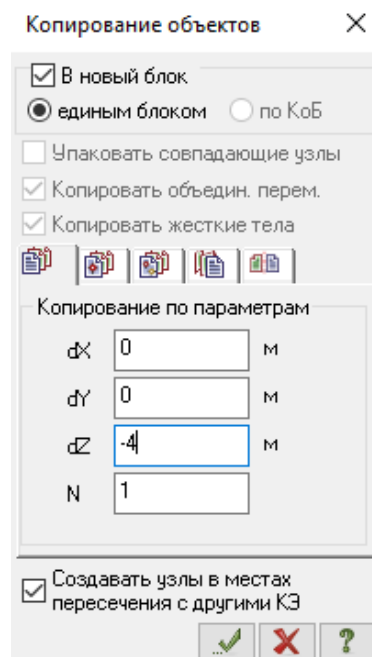


Рисунок 84 – Копирование по параметрам

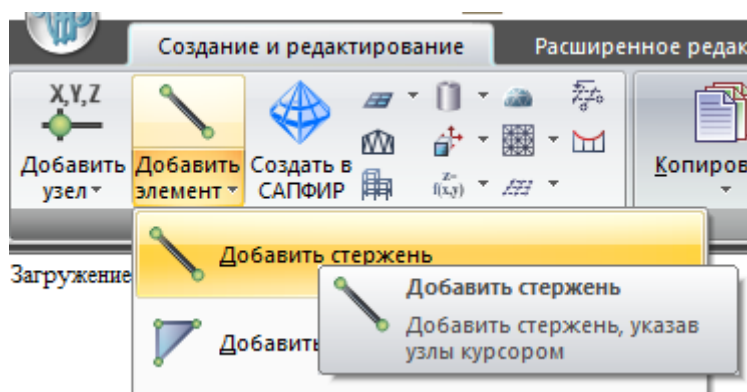


Рисунок 85 – Создание колонны

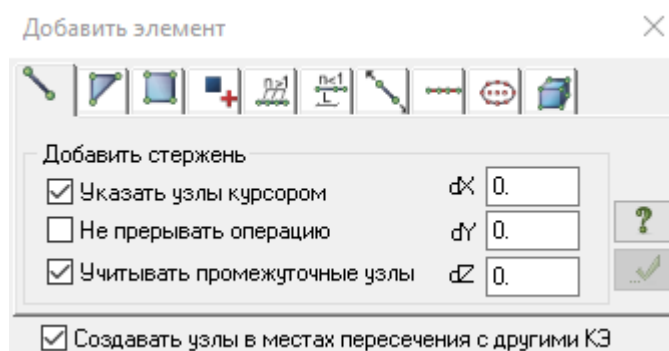


Рисунок 86 – Добавить стержень

В результате получаем следующую геометрическую модель (рис. 87).

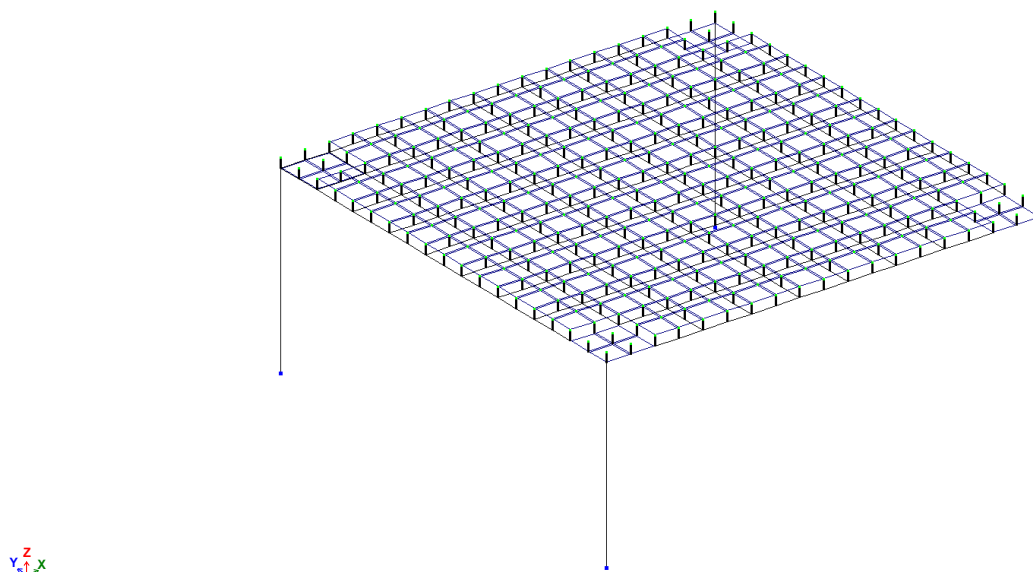


Рисунок 87 – геометрическая модель

### 3.3.2 Создание жесткости и материалов элементов

Создадим жесткость для плиты. Чтобы создать жесткость для плиты, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 88). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 89). Далее открываем вкладку «Пластинчатые, объемные, численные» и выбираем «Пластины» (рис. 90). В окне «Задание жесткости для пластин» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $V=0.2$ , высота пластины  $H=10$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 91).

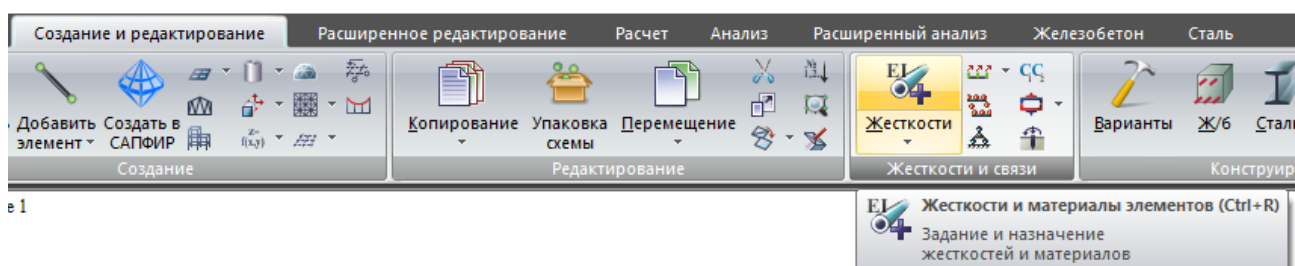


Рисунок 88 – Создание жесткости плиты

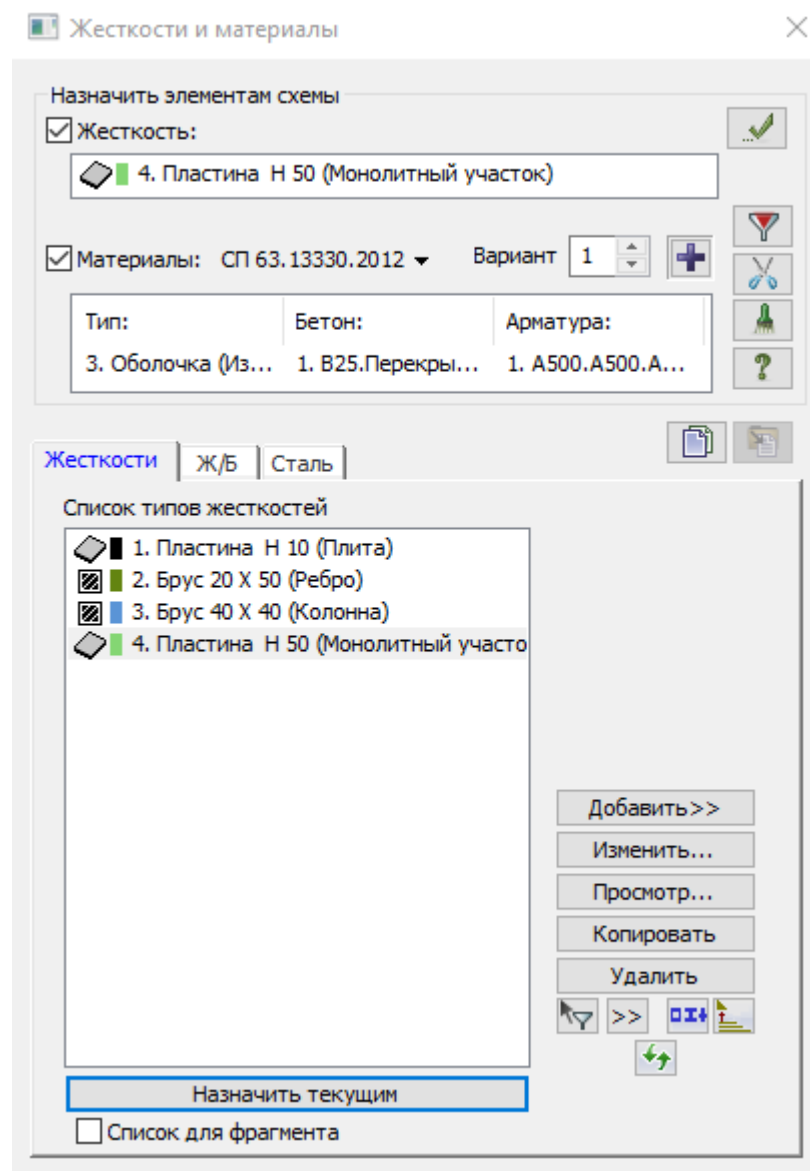


Рисунок 89 – Добавление жесткости плиты

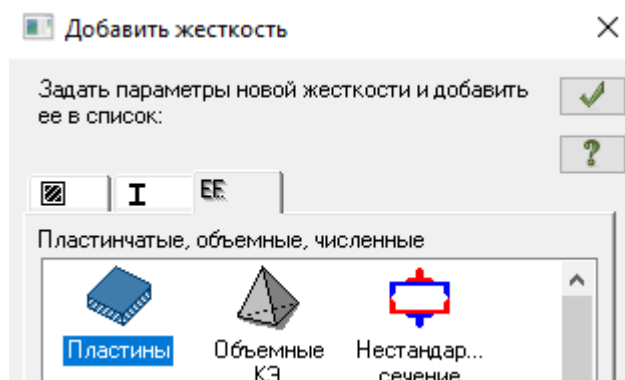


Рисунок 90 – Задание типа жесткости плиты

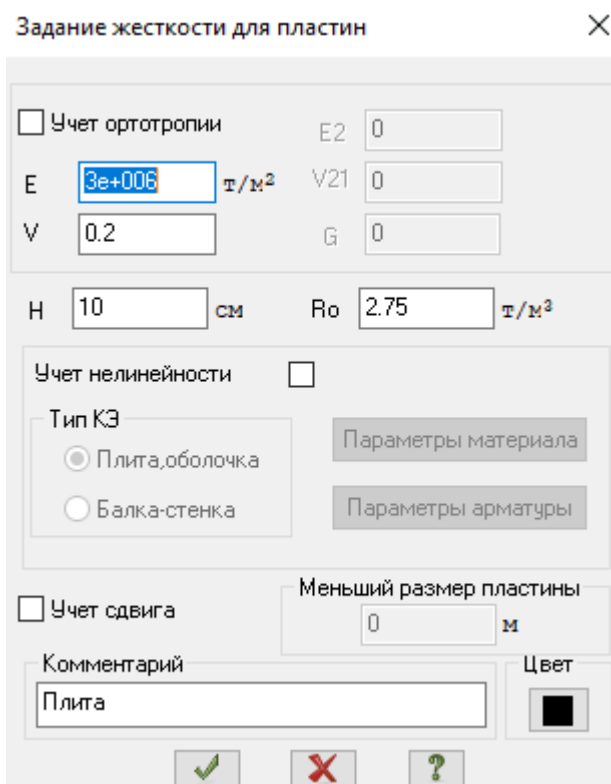


Рисунок 91 – Задание характеристик жесткости для плиты

Создадим жесткость для монолитного участка. Чтобы создать жесткость для монолитного участка, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 92). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 93). Далее открываем вкладку «Пластинчатые, объемные, численные» и выбираем «Пластины» (рис. 94). В окне «Задание жесткости для пластин» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $V=0.2$ , высота пластины  $H=50$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 95).

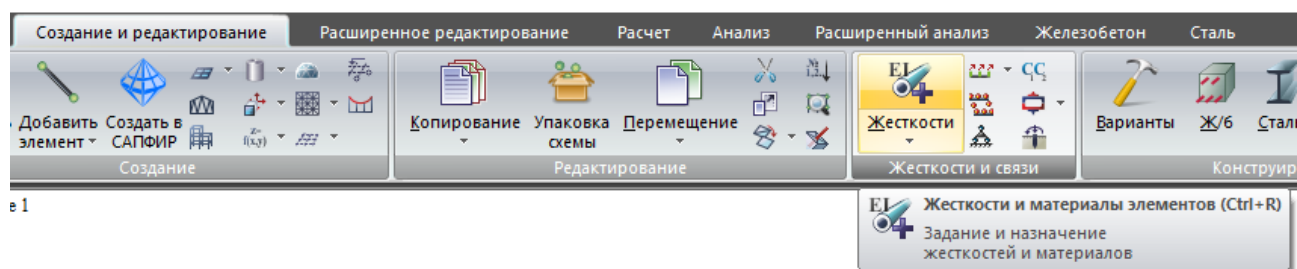


Рисунок 92 – Создание жесткости монолитного участка

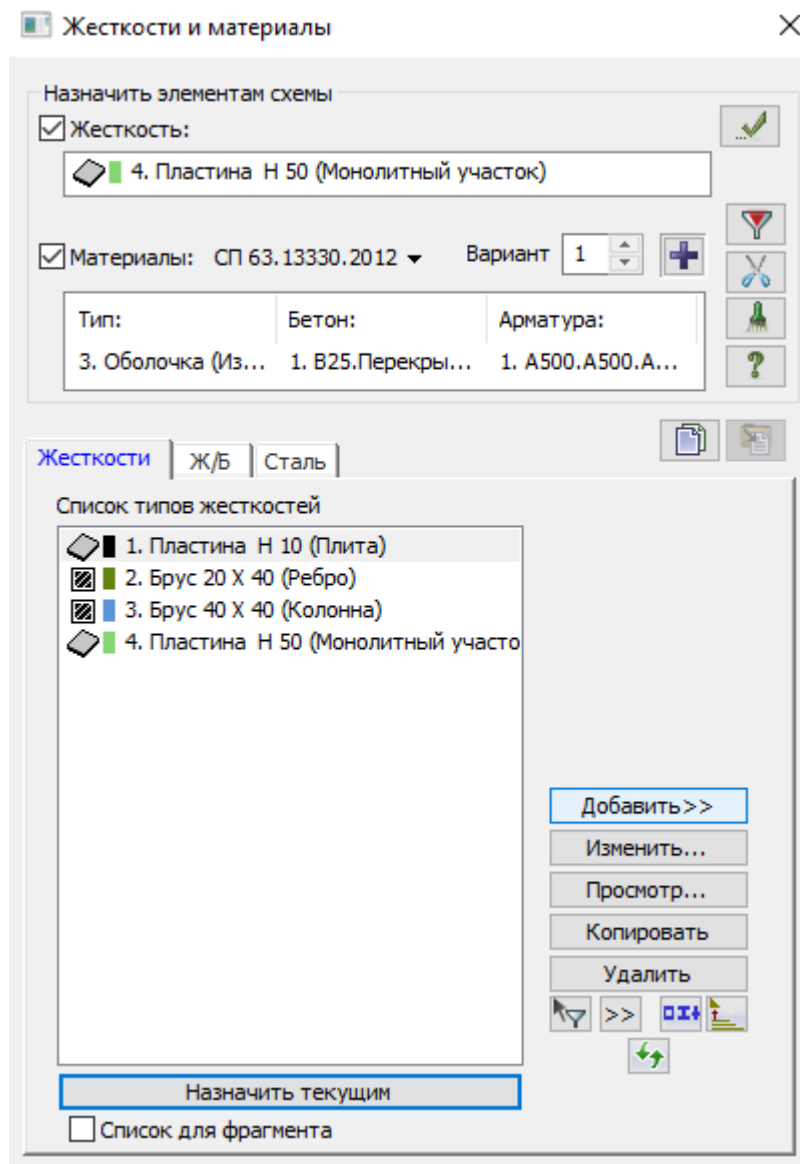


Рисунок 93 – Добавление жесткости монолитного участка

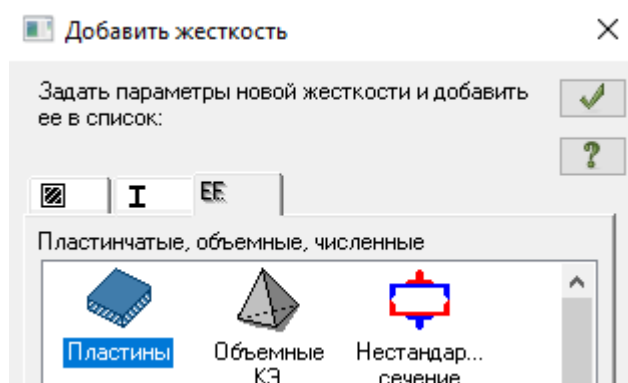


Рисунок 94 – Задание типа жесткости монолитного участка



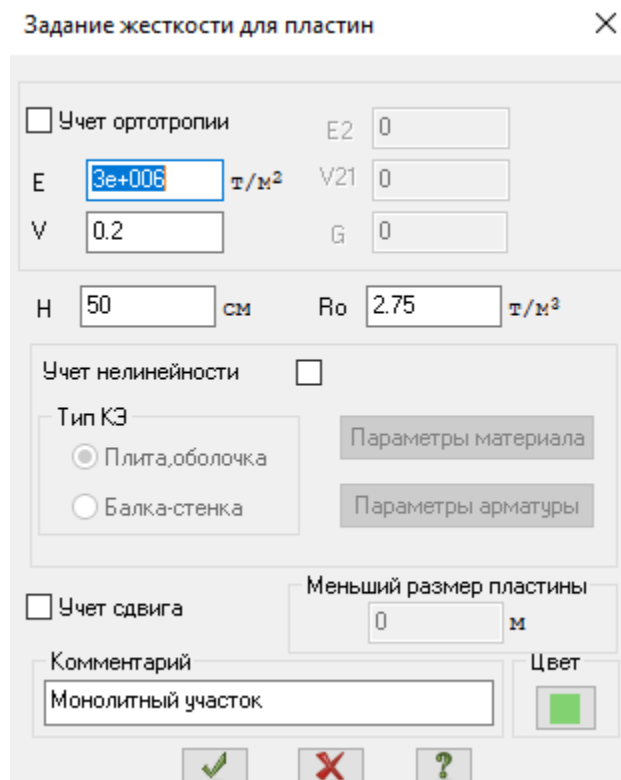


Рисунок 95 – Задание характеристик жесткости монолитного участка

Создадим жесткость для ребра перекрытия. Чтобы создать жесткость для ребра перекрытия, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 96). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 97). Далее открываем вкладку «Стандартные типы сечений» и выбираем «Брус» (рис. 98). В окне «Задание стандартного сечения» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, ширина бруса  $B=20$  см, высота бруса  $H=50$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 99).

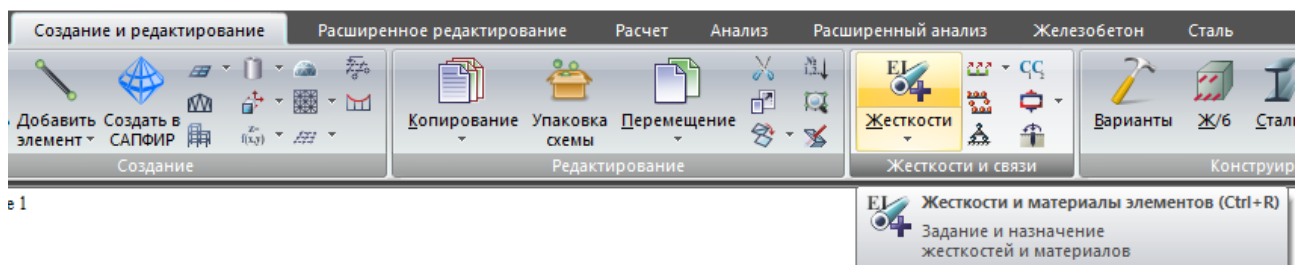


Рисунок 96 – Создание жесткости ребра перекрытия

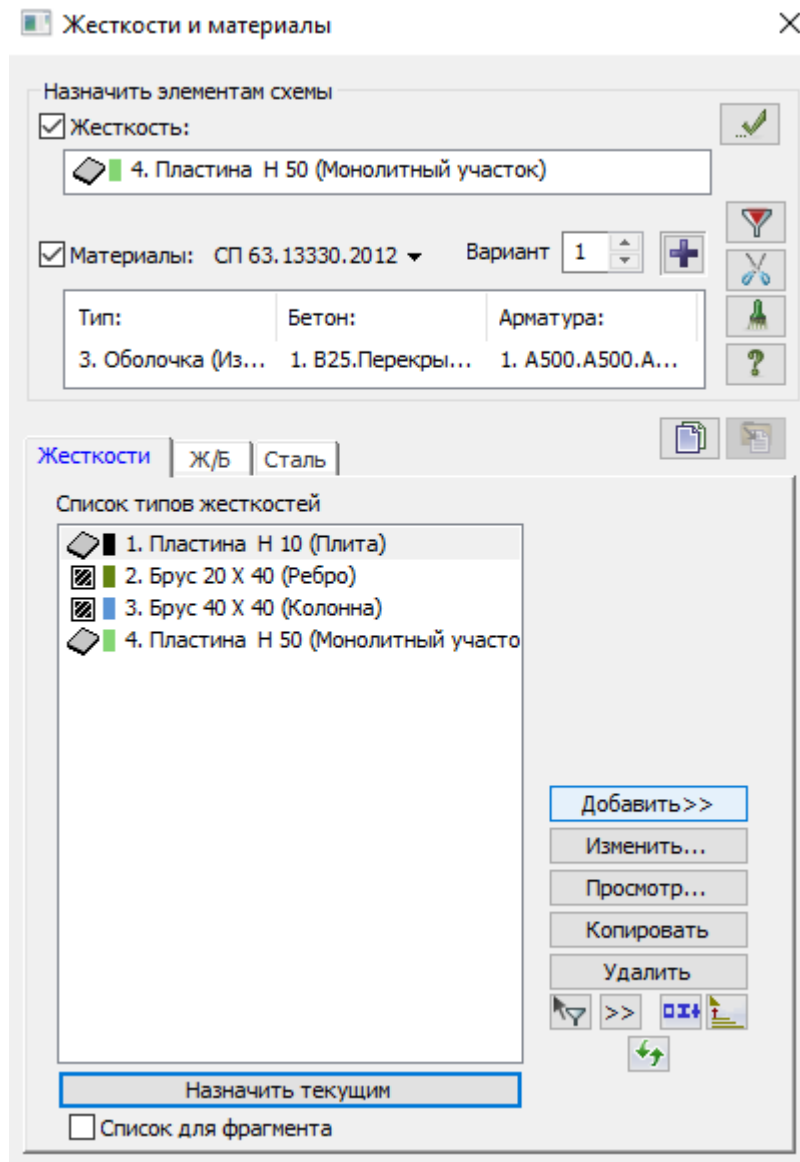


Рисунок 97 – Добавление жесткости ребра перекрытия

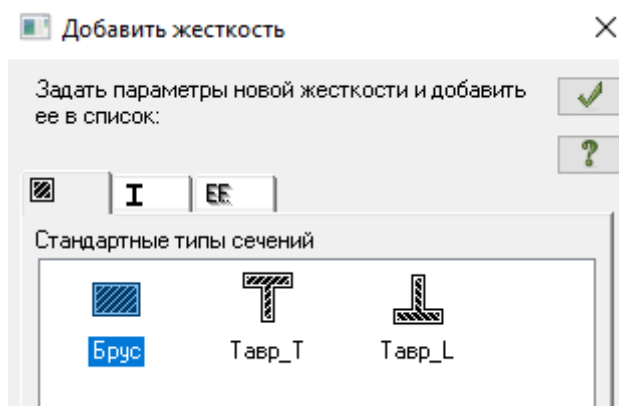


Рисунок 98 – Задание типа жесткости ребра перекрытия

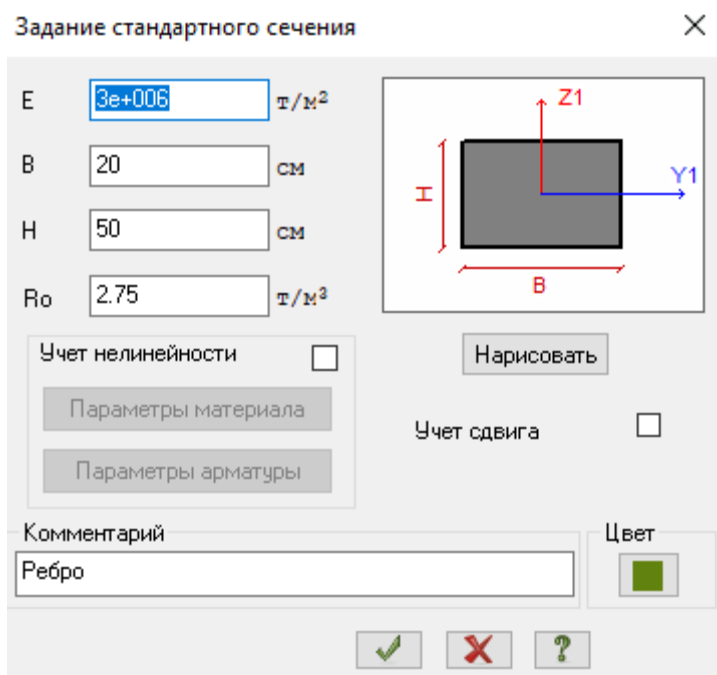


Рисунок 99 – Задание характеристик жесткости ребра перекрытия

Создадим жесткость колонн. Чтобы создать жесткость колонн, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 100). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 101). Далее открываем вкладку «Стандартные типы сечений» и выбираем «Брус» (рис. 102). В окне «Задание стандартного сечения» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, ширина бруса  $B=40$  см, высота бруса  $H=40$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 103).

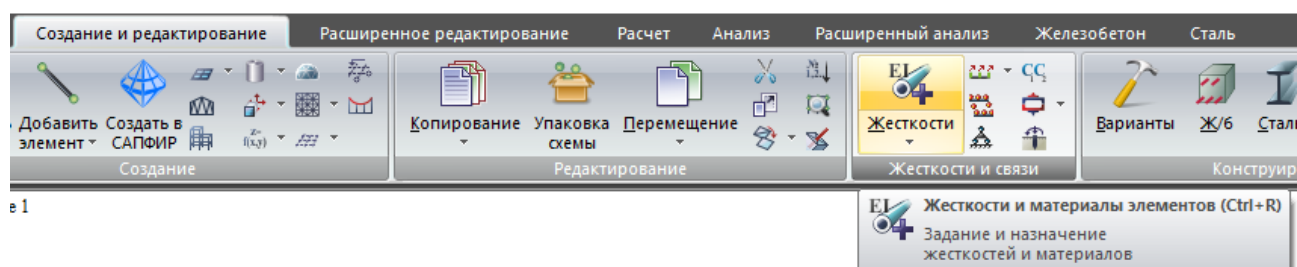


Рисунок 100 – Создание жесткости ребра перекрытия

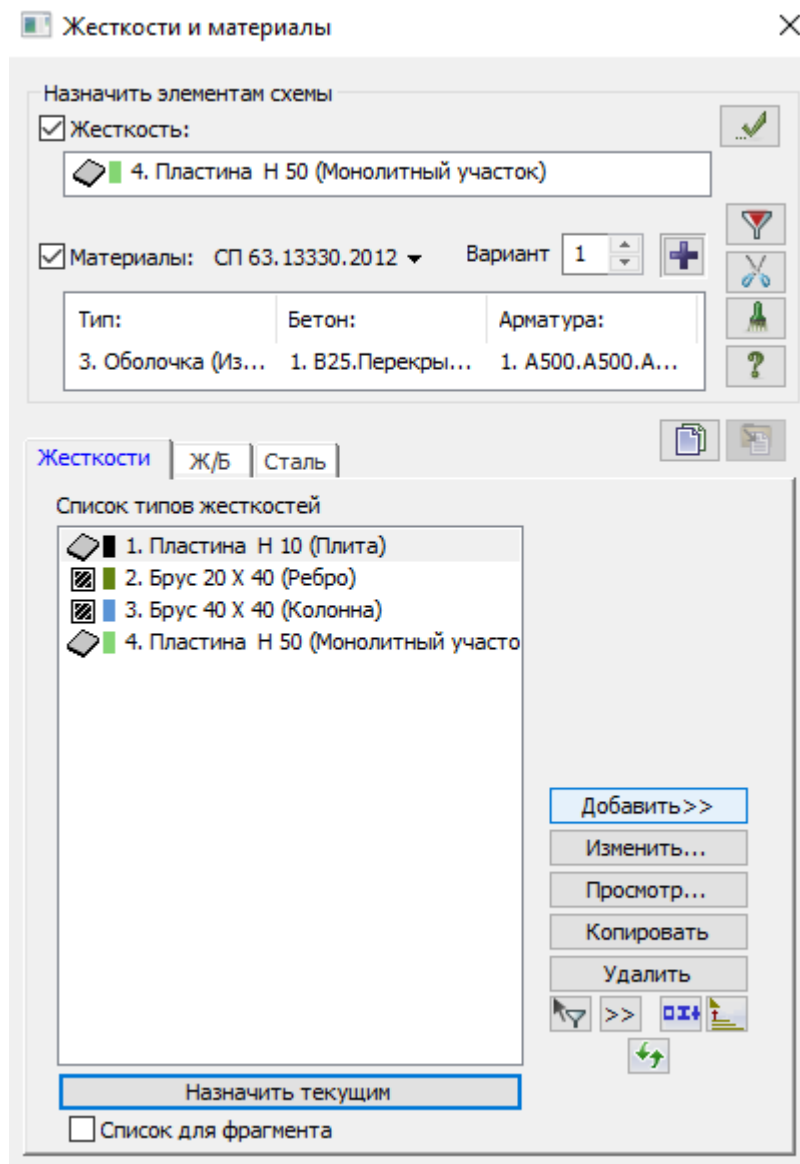


Рисунок 101 – Добавление жесткости ребра перекрытия

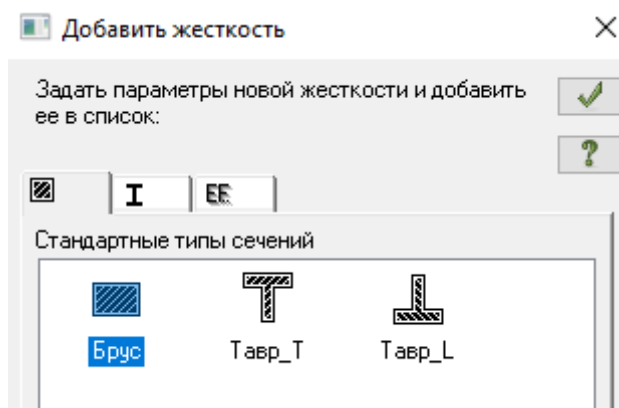


Рисунок 102 – Задание типа жесткости ребра перекрытия

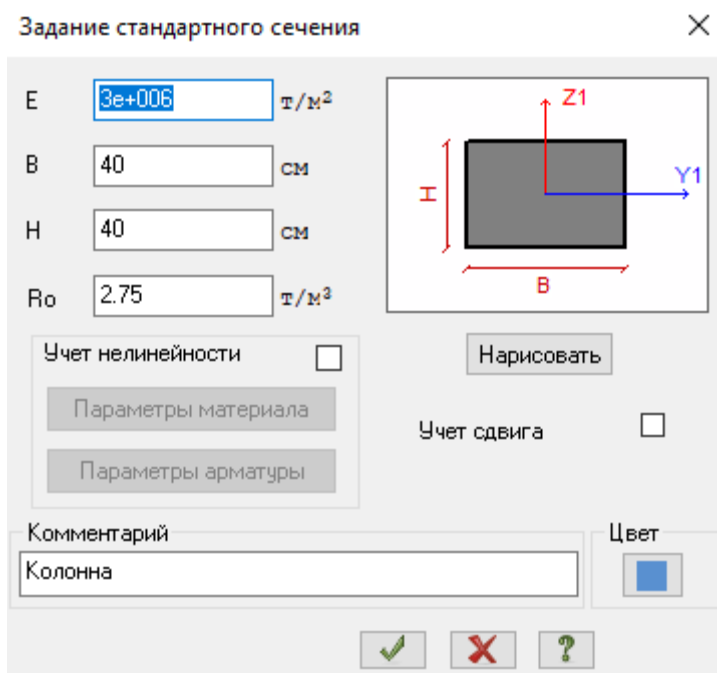


Рисунок 103 – Задание характеристик жесткости ребра перекрытия

Зададим параметры железобетонных конструкций. Чтобы задать параметры железобетонных конструкций, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 104). В открывшемся окне в разделе «Ж/Б» нажать «Редактировать» (рис. 105). Зададим расчетные характеристики ребра перекрытия (рис. 106), колонны (рис. 107), пластины (рис. 108), бетона (рис. 109), арматуры (рис. 110).

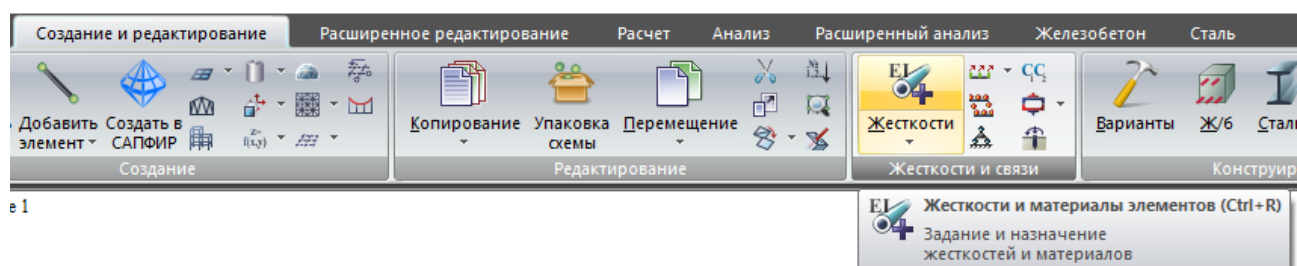


Рисунок 104 – Задание параметров ж/б конструкций

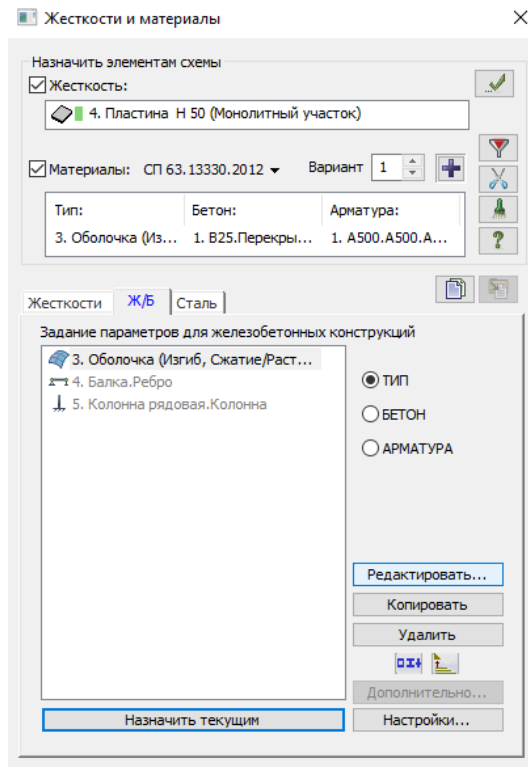


Рисунок 105 – Редактирование параметров ж/б конструкций

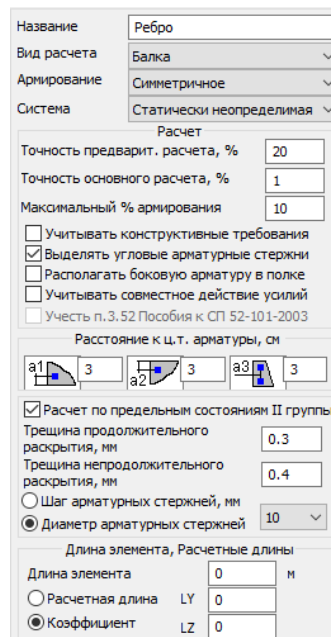


Рисунок 106 – Расчетные характеристики ребра перекрытия




|   |                          |
|---|--------------------------|
| Название  | Колонна                  |
| Вид расчета   | Колонна рядовая          |
| Армирование   | Симметричное             |
| Система   | Статически неопределимая |
| Расчет  |                          |
| Точность предварит. расчета, %  | 20                       |
| Точность основного расчета, %   | 1                        |
| Максимальный % армирования  | 10                       |
| <input type="checkbox"/> Учитывать конструктивные требования<br><input checked="" type="checkbox"/> Выделять угловые арматурные стержни<br><input type="checkbox"/> Располагать боковую арматуру в полке<br><input type="checkbox"/> Учитывать совместное действие уюлий<br><input type="checkbox"/> Учесть п.3.52 Пособия к СП 52-101-2003 |                          |
| Расстояние к ц.т. арматуры, см  |                          |
|  a1  | 3                        |
|  a2  | 3                        |
|  a3   | 3                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расчет по предельным состояниям II группы<br>Трещина продолжительного раскрытия, мм: 0.3<br>Трещина непродолжительного раскрытия, мм: 0.4<br><input checked="" type="radio"/> Шаг арматурных стержней, мм: 200<br><input type="radio"/> Диаметр арматурных стержней: 200                                |                          |
| Длина элемента, Расчетные длины   |                          |
| Длина элемента  | 0 м                      |
| <input type="radio"/> Расчетная длина LY  | 1                        |
| <input checked="" type="radio"/> Коэффициент LZ   | 1                        |

Рисунок 107 – Расчетные характеристики колонны





|  |                              |
|--|------------------------------|
| Название   | Плита                        |
| Вид расчета  | Оболочка (Изгиб, Сжатие/Рак) |
| Система  | Статически неопределимая     |
| Расчет   |                              |
| <input type="checkbox"/> Подбирать арматуру по теории Вуда<br>Минимальный % армирования: 0.05<br>Максимальный % армирования: 10<br>Точность предварит. расчета, %: 20<br>Точность основного расчета, %: 1<br><input type="checkbox"/> Подбирать поперечную арматуру на 1 кв.м.                               |                              |
| Расстояние к ц.т. арматуры   |                              |
|  a1X  | 3 см                         |
|  a1Y  | 3 см                         |
|  a2X  | 3 см                         |
|  a2Y  | 3 см                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расчет по предельным состояниям II группы<br>Трещина продолжительного раскрытия, мм: 0.3<br>Трещина непродолжительного раскрытия, мм: 0.4<br><input checked="" type="radio"/> Шаг арматурных стержней, мм: 200<br><input type="radio"/> Диаметр арматурных стержней: 200 |                              |
| <input type="checkbox"/> Учитывать расчетную высоту стены<br>Высота стены: 0 м<br>Значение: 1<br><input checked="" type="radio"/> Коэффициент <input type="radio"/> Расчетная высота   |                              |

Рисунок 108 – Расчетные характеристики колонны

СП 63.13330.2012

Название

Класс бетона  + -

Вид бетона

Марка легкого бетона по средней плотности

Кoeffициенты условий работы

$\gamma_{b2}$    $\gamma_{b3}$    $\gamma_{b5}$

Относительная влажность воздуха, %

Диаграмма напряжение-деформация

Случайные эксцентриситеты

По высоте сечения EY  см

По ширине сечения EZ  см

|                | B25 (МПа) |
|----------------|-----------|
| Eb             | 30000.00  |
| Rbn            | 18.50     |
| Rbtn           | 1.55      |
| Rb             | 14.50     |
| Rbt            | 1.05      |
| Eps_b0 (*1000) | 3.00      |

Рисунок 109 – Расчетные характеристики бетона

СП 63.13330.2012

Название

Классы арматуры

ПРОДОЛЬНАЯ ВДОЛЬ X

Продольная вдоль Y

Поперечная арматура

+ -

Учет сейсмического воздействия

Кoeffициент из т.6 СП 14.13330.2014

Кoeff. условий работы при расчете наклонных сечений, т.6 СП

| Продольная X | A500 d=10...40 (МПа) |
|--------------|----------------------|
| Es           | 200000.00            |
| Rsn          | 500.00               |
| Rs           | 435.00               |
| Rsw          | 300.00               |
| Rsc          | 435.00               |

Рис. 110 – Расчетные характеристики арматуры



В результате получаем следующую 3D-модель (рис. 111).

ребристое перекрытие способ 2 .3d

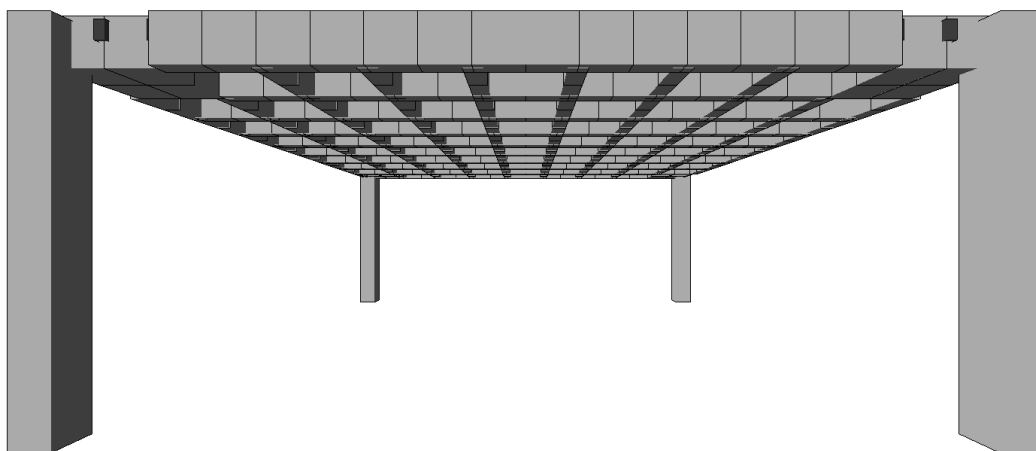


Рисунок 111 – 3D-модель перекрытия метод 2

### 3.3.3 Создание расчетной модели

Зададим закрепления узлов. Чтобы задать закрепление, нужно выделить узлы, как показано рисунке (рис. 112). Далее на вкладке «Узлы» в панели «Редактирование узлов» выбрать «Связи» (рис. 113). В открывшемся окне в разделе «Параметры связей» выбрать все (рис. 114).

Загрузка 1

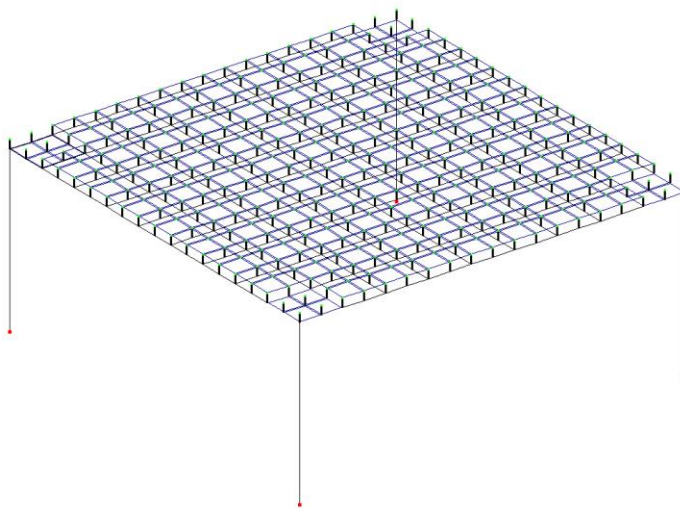


Рисунок 112 – Выделенные узлы для создания связи

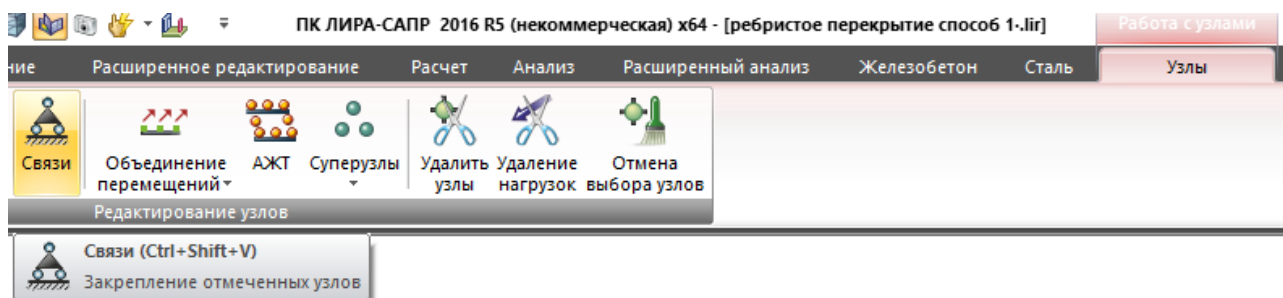


Рисунок 113 – Задание связей в узлах

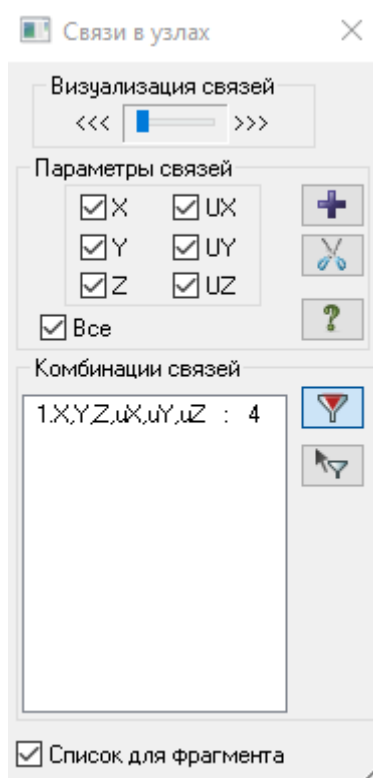


Рисунок 114 – Параметры связей в узлах

Зададим нагружения на геометрическую модель. Согласно п. 3.1 табл. 1 настоящей работы, в котором были собраны нагрузки, действующие на проектируемое перекрытие, необходимо их перенести на построенную геометрическую модель перекрытия.

Выделим плиту перекрытия как показано на рисунке (рис. 115). Далее на вкладке «Пластины» в панели «Редактирование пластин» выбираем «Нагрузка на пластины» (рис.116). В открывшемся окне в разделе «Тип нагрузки»

выбираем равномерно-распределенную нагрузку и задаем нагружение  $P=0.914$  т/м<sup>2</sup> (рис. 117-118).

Заружение 1

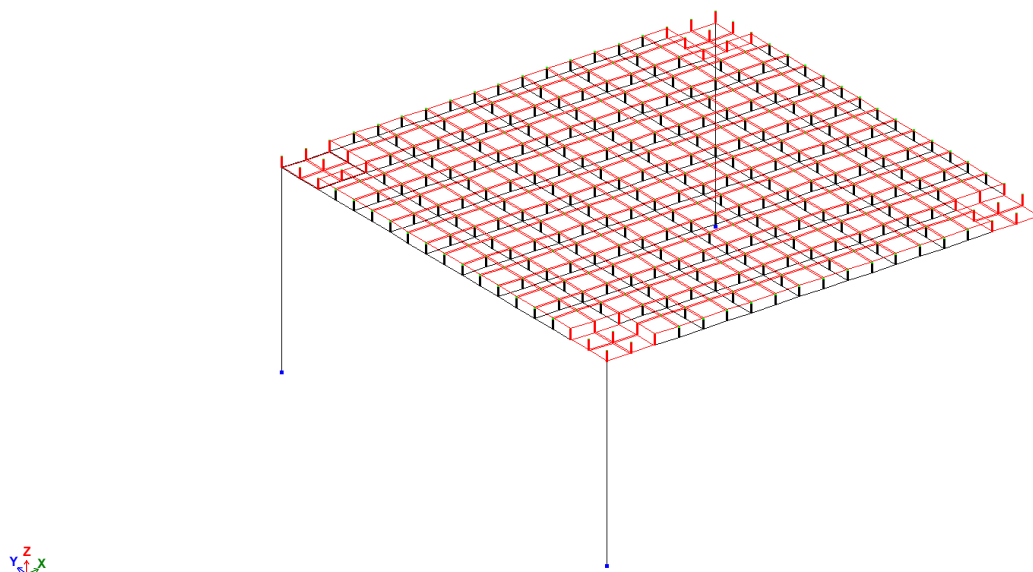


Рисунок 115 – Выделенная плита перекрытия

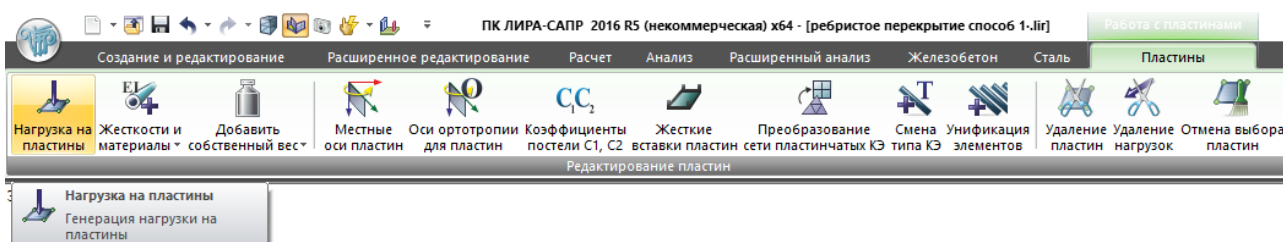


Рисунок 116 – Создание нагрузки на перекрытие

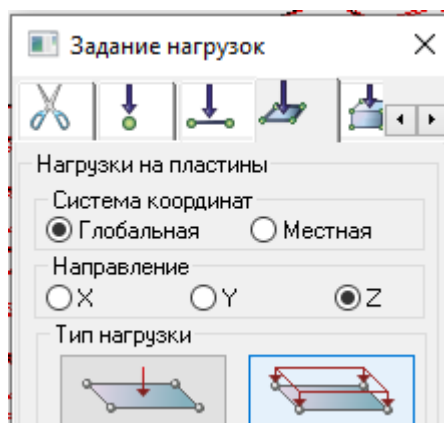


Рисунок 117 – Тип нагрузки на перекрытие

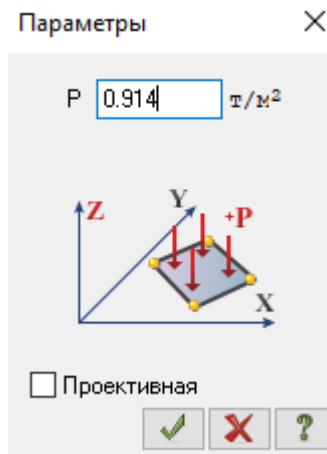


Рисунок 118 – Параметры нагрузки на перекрытие

Зададим нагружение от собственного веса. Чтобы задать нагружение от собственного веса, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Нагрузки» выбрать «Добавить собственный вес» (рис. 119).

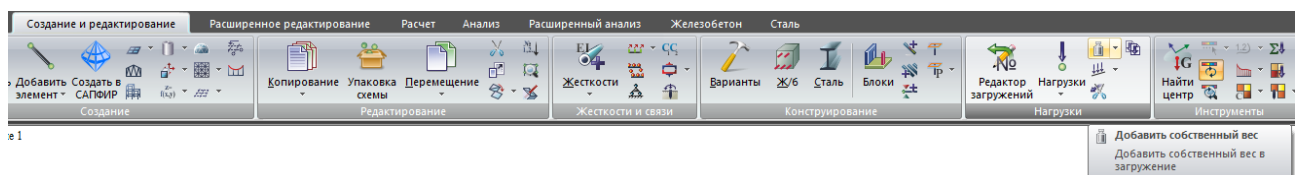


Рисунок 119 – Добавление собственного веса

После создания расчетной схемы необходимо ее упаковать. Чтобы упаковать схему, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Редактирование» выбрать «Упаковка схемы» (рис. 120).

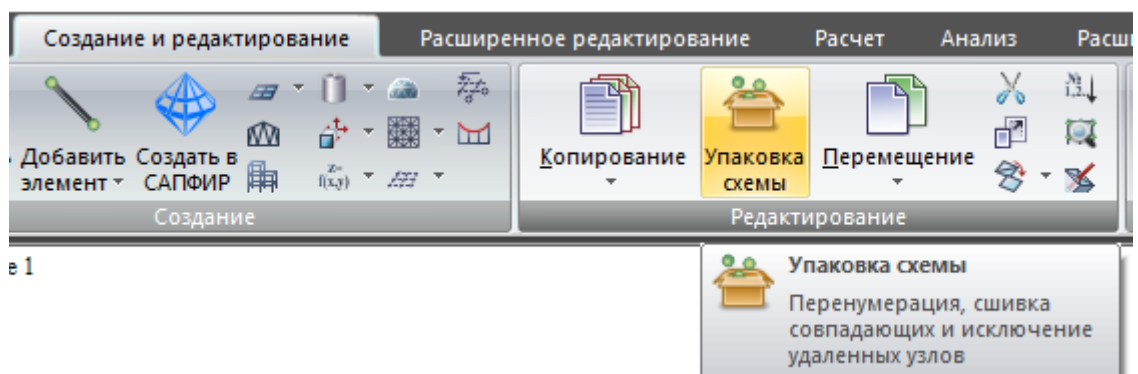


Рисунок 120 – упаковка схемы

В результате получаем следующую расчетную модель (рис. 60).

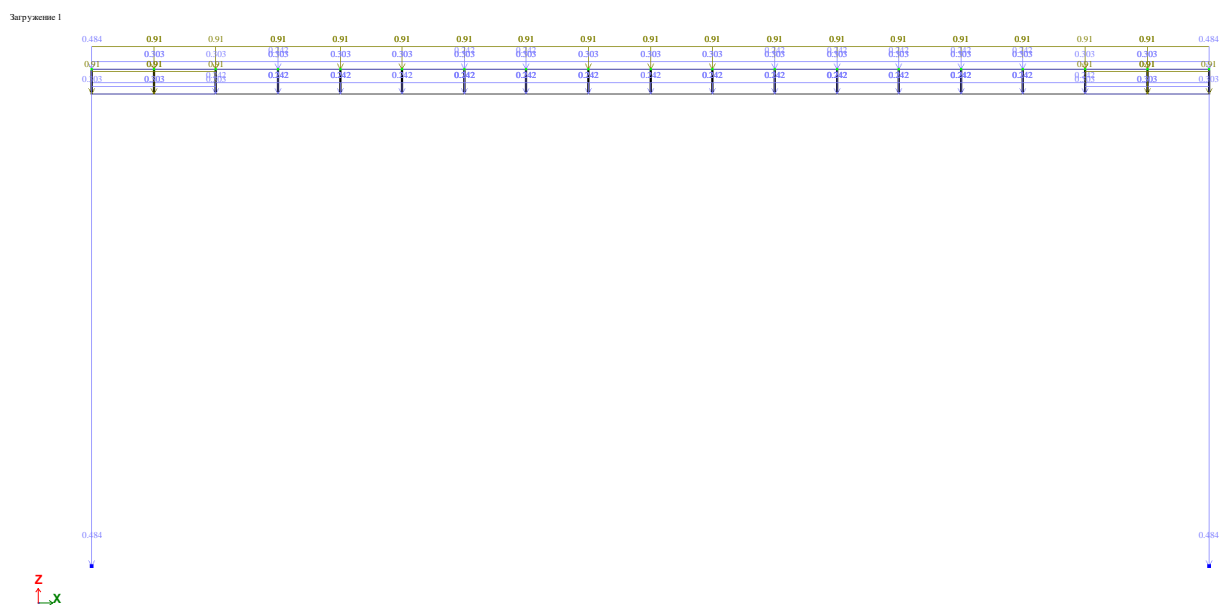


Рисунок 121 – Схема нагружения на перекрытие в проекции XOZ

### 3.3.4 Расчет модели перекрытия

Выполним расчет модели перекрытия. Чтобы выполнить расчет, на вкладке «Расчет» в панели «Расчет» выбрать «Выполнить полный расчет» (рис. 122).

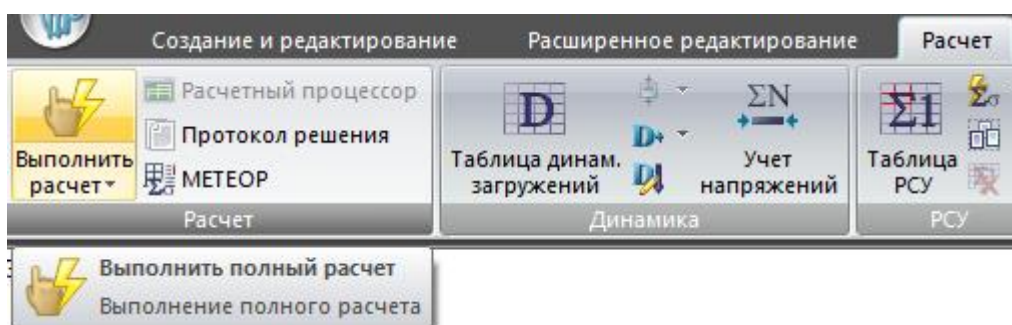


Рисунок 122 – Расчет модели перекрытия

Результаты расчета по деформации представлен на рисунке (рис. 123)

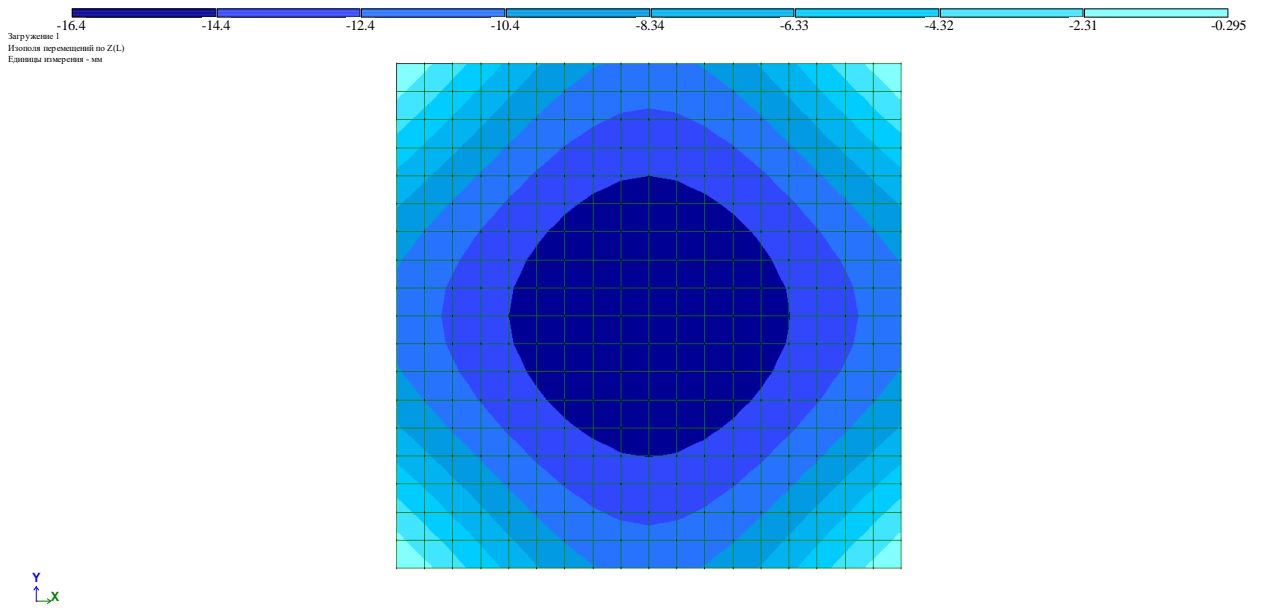


Рисунок 123 – деформация модели плиты перекрытия

Изгибающий момент в стержнях представлен на рисунке (рис. 124).

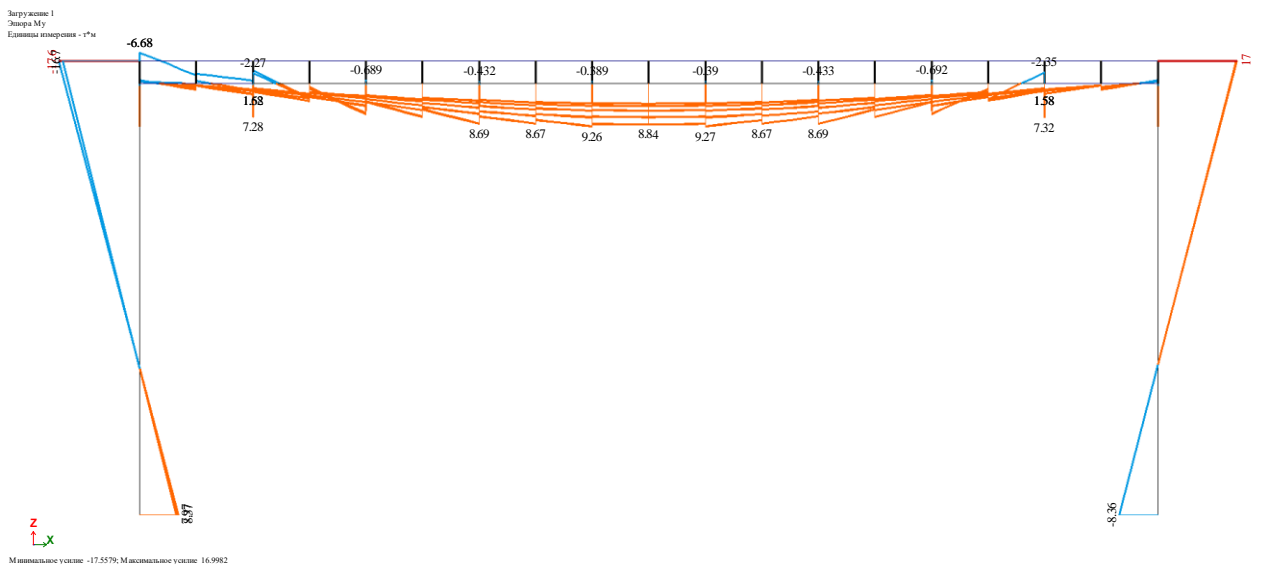


Рисунок 124 – изгибающий момент в ребрах перекрытия

Выполним расчет арматуры модели перекрытия. Чтобы выполнить расчет, на вкладке «Железобетон» в панели «Расчет» выбрать «Расчет арматуры» (рис. 125).

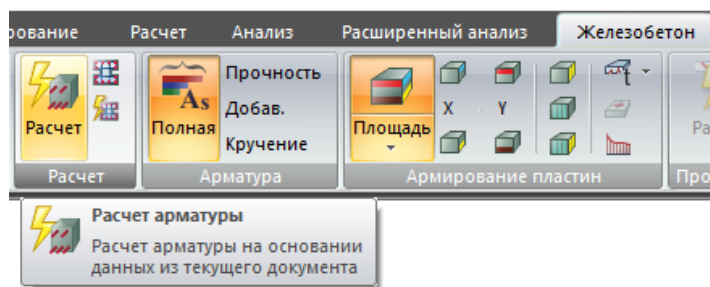


Рисунок 125 – Расчет арматуры

Результаты армирования плиты представлены на рисунках (рис. 126-127)

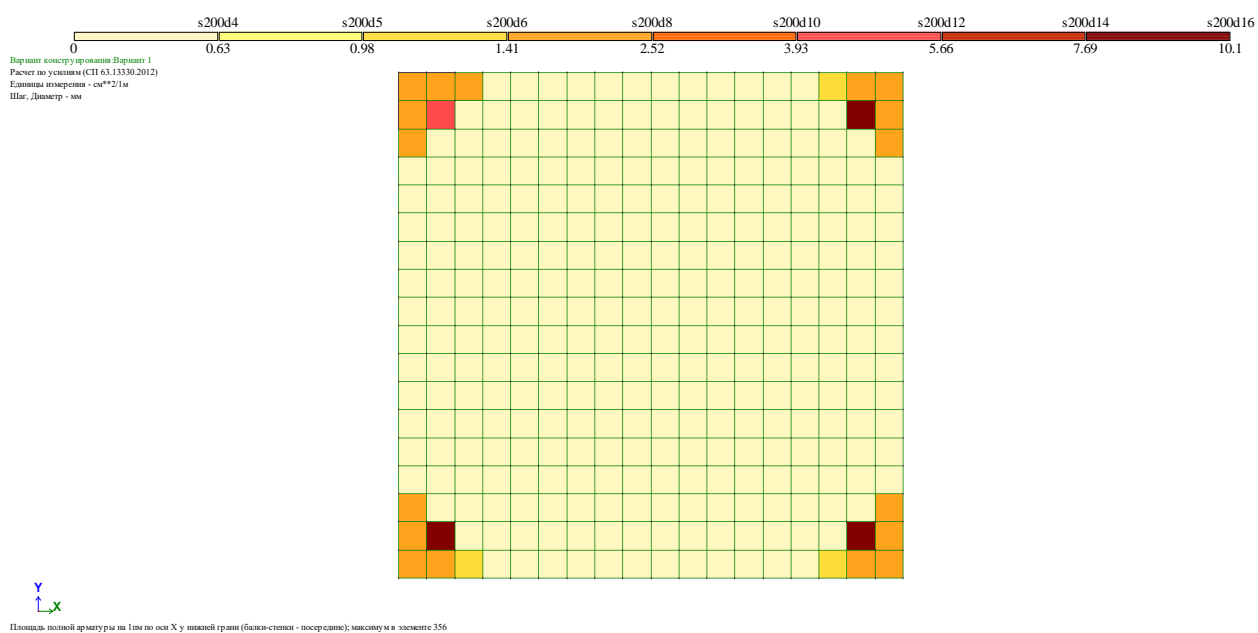


Рисунок 126 – Нижняя арматура в пластинах по оси X1

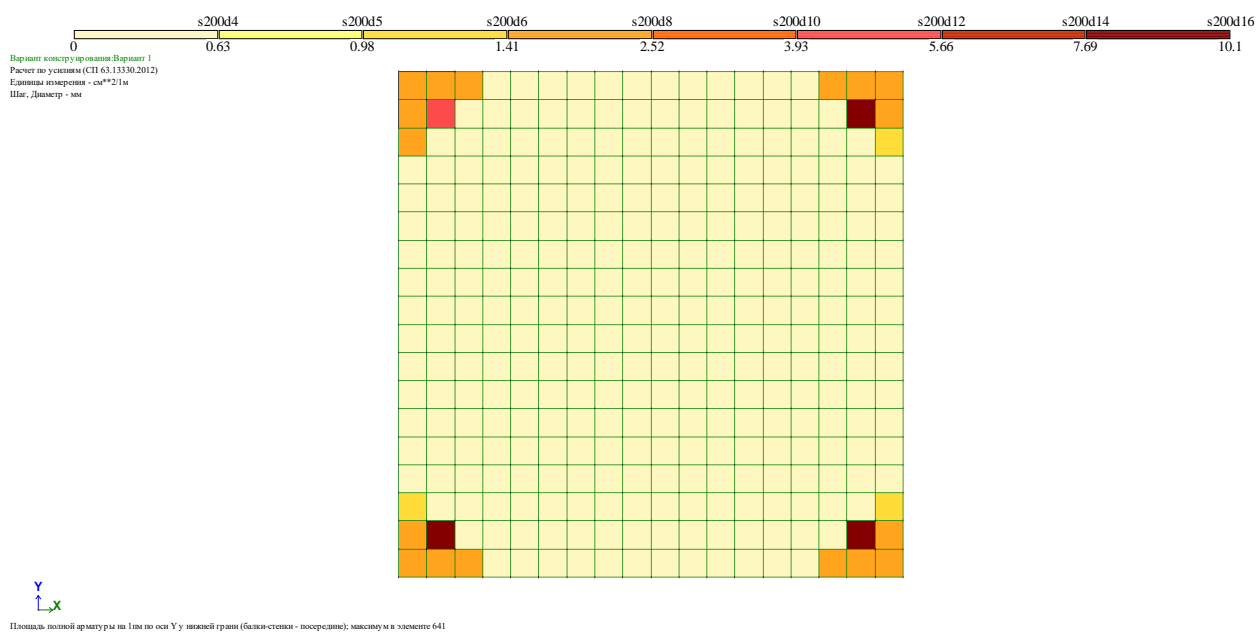


Рисунок 127 – Нижняя арматура в пластинах по оси Y1

Результаты армирования ребер перекрытия представлены на рисунке (рис. 128)

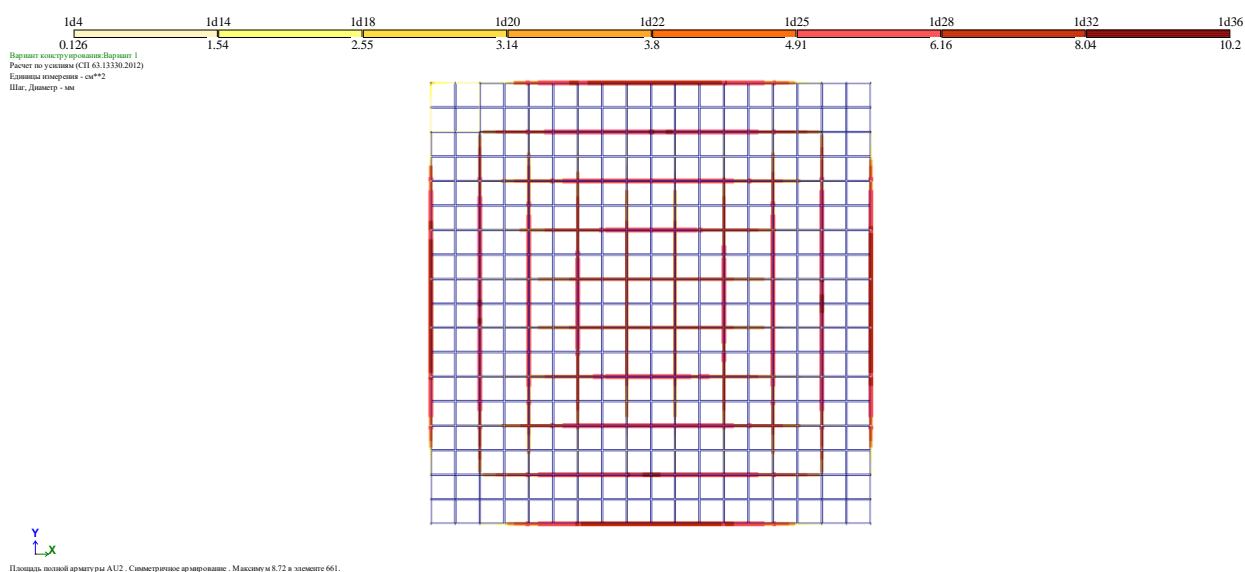


Рисунок 128 – Результаты армирования ребер перекрытия

### 3.4 Третий метод создания модели плиты

Плита задается оболочечным элементом, а жесткость ребер задается сечением в виде бруса. Ребро жесткости задается жесткой вставкой таким образом, чтобы верхняя граница ребра совпадала с нижней границей плиты (рис. 129).

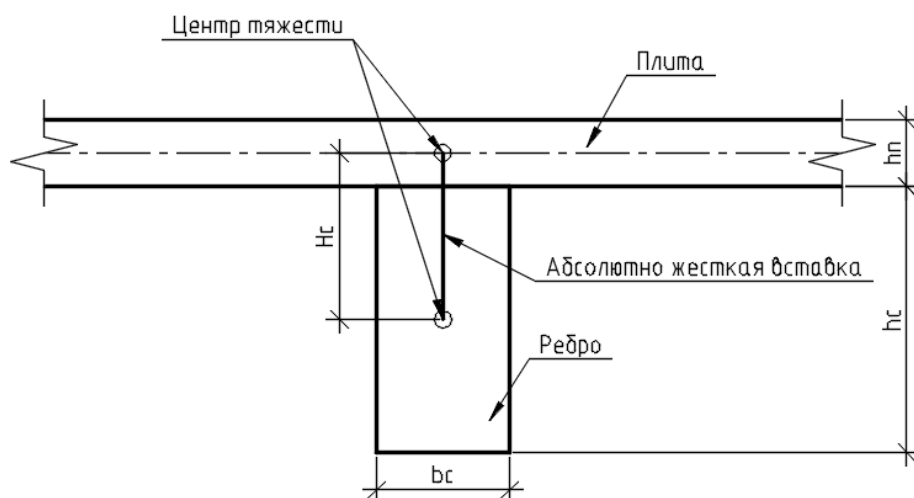


Рисунок 129 – Второй метод создания модели плиты



### 3.4.1 Создание геометрической модели

Создадим новый проект. Открыть меню приложения (рис. 130). Выбрать пункты «Новый» - «Создать новый проект» (рис. 131). В открытом окне «Описание схемы» в разделе «Признак схемы» выбрать «5 – Шесть степеней свободы в узле (X, Y, Z, U<sub>x</sub>, U<sub>y</sub>, U<sub>z</sub>)». Пятый признак схемы обозначает то, что имеется 6 степеней свободы для полноценной задачи трехмерной геометрической схемы.

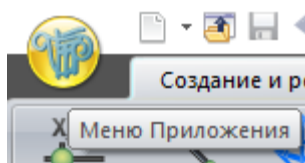


Рисунок 130 – Меню Приложения

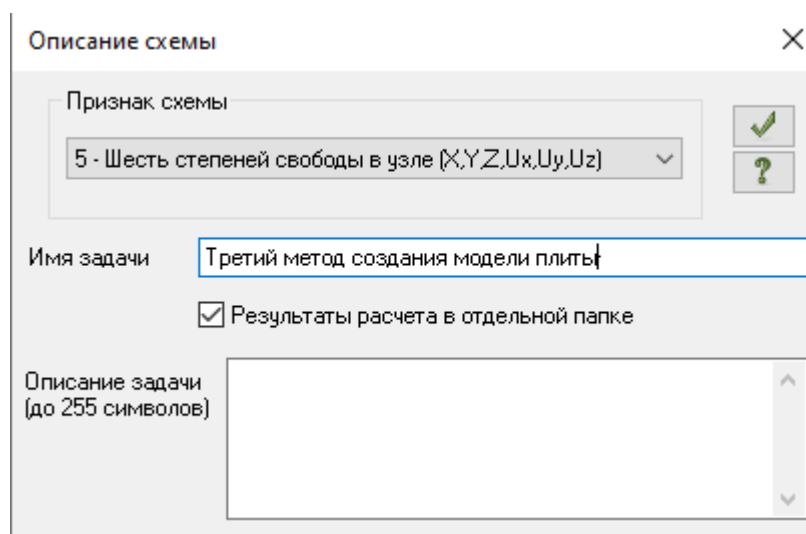


Рисунок 131 – Описание схемы

Проектирование начинается с создания плиты. Чтобы создать плиту, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Генерация плиты» (рис. 132).

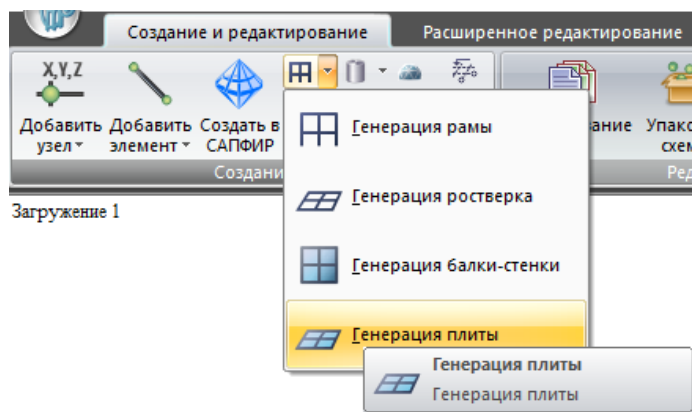


Рисунок 132 – создание плиты

В открывшемся окне необходимо указать координаты первого узла. Для этого в строках указываем следующие координаты ( $X=0\text{м}$ ,  $Y=0\text{м}$ ,  $Z=0\text{м}$ ) (рис. 133).

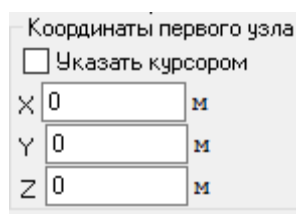


Рисунок 133 – координаты первого узла

В таблице «Шаг вдоль первой оси» в первом столбце «Значение  $L(\text{м})$ » ставим 0,5, во втором столбце «Шаг вдоль первой оси» ставим 18 (рис. 134).

В таблице «Шаг вдоль второй оси» в первом столбце «Значение  $L(\text{м})$ » ставим 0,5, во втором столбце «Шаг вдоль первой оси» ставим 18 (рис. 134).

| Шаг вдоль первой оси |            | Шаг вдоль второй оси |            |
|----------------------|------------|----------------------|------------|
| Значение             | Количество | Значение             | Количество |
| L(м)                 | N          | L(м)                 | N          |
| 0.50                 | 18         | 0.50                 | 18         |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |
|                      |            |                      |            |

Рисунок 134 – создание шага плоских фрагментов

Создадим монолитные участки в плите. Чтобы создать монолитный участок, нужно показать проекцию плиты на плоскость XOY, после этого выделить плоские фрагменты в плите перекрытия как указано на рисунке (рис. 135). На вкладке «Пластины» выбрать «Жесткие вставки пластин» (рис. 136). В открывшемся окне в строке «Жесткие вставки пластин» выставить значение «0.2м» (рис. 137).

Заружение 1

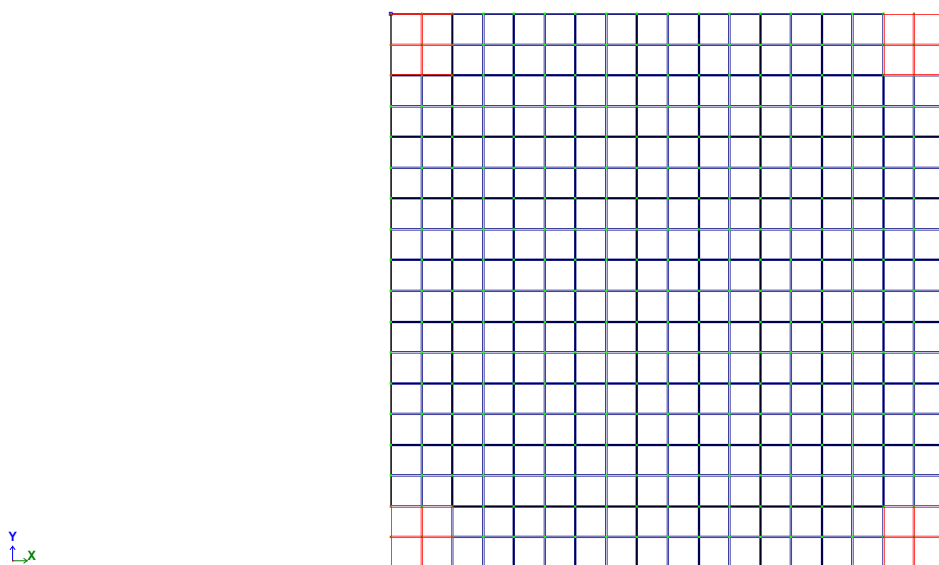


Рисунок 135 – выделенные плоские фрагменты для создания монолитных участков

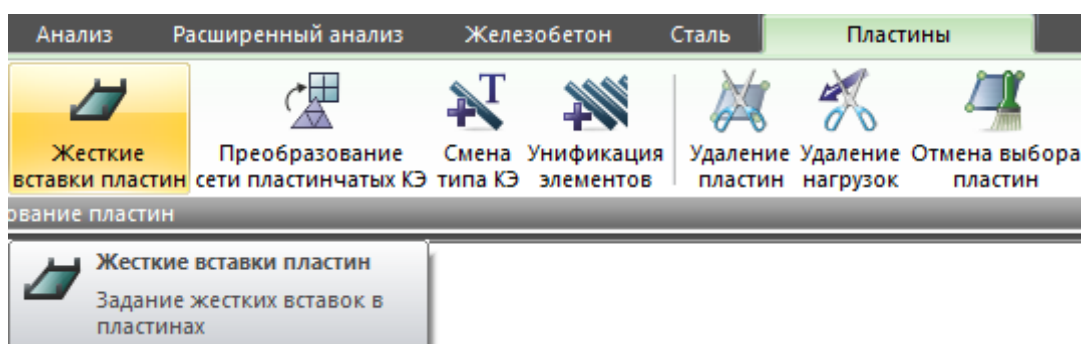


Рисунок 136 – Жесткие вставки пластин

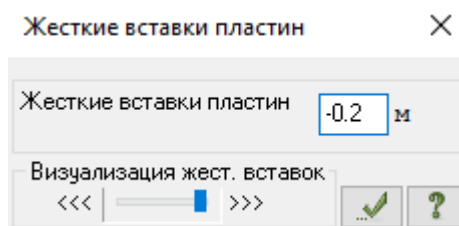


Рисунок 137 – Значение жесткой вставки пластин

Создадим ребра жесткости. Чтобы создать ребра жесткости, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Добавить стержень» (рис. 138).

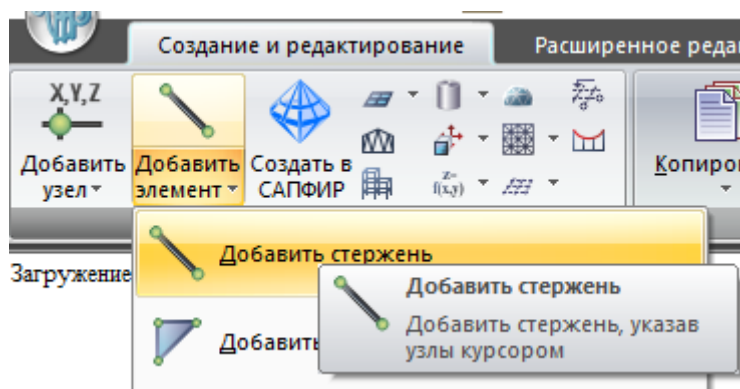
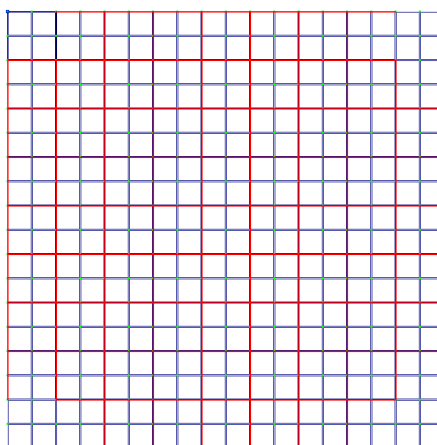


Рисунок 138 – Создание ребер жесткости

В открывшемся окне необходимо указать координаты узлов с помощью курсора. Стержни не должны попадать в монолитные участки (рис. 139).

Загрузка 1



Y  
Lx

Рисунок 139 – Расположение ребер жесткости в плите

Зададим жесткие вставки ребрам жесткости. Чтобы задать жесткие вставки, нужно показать проекцию плиты на плоскость XOY, после этого выделить ребра плиты перекрытия как указано на рисунке (рис. 139). На вкладке «Стержни» выбрать «Жесткие вставки стержней» (рис. 140). В открывшемся окне в 1-ом и 2-ом узлах в координате Z1 выставить значение «-0.25м» (рис. 141).

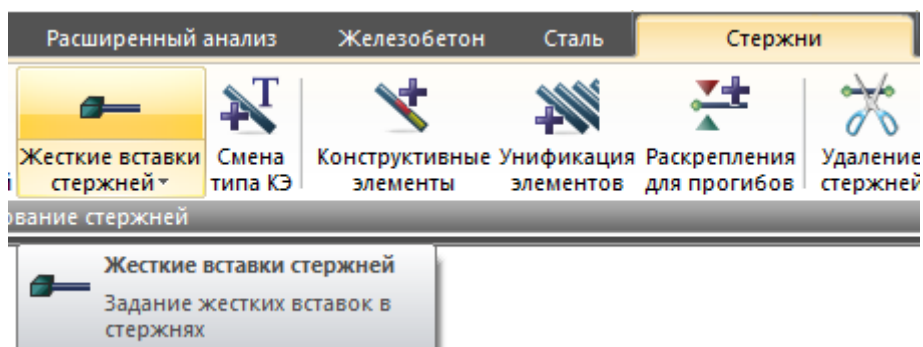


Рисунок 140 – Жесткие вставки ребер плиты перекрытия

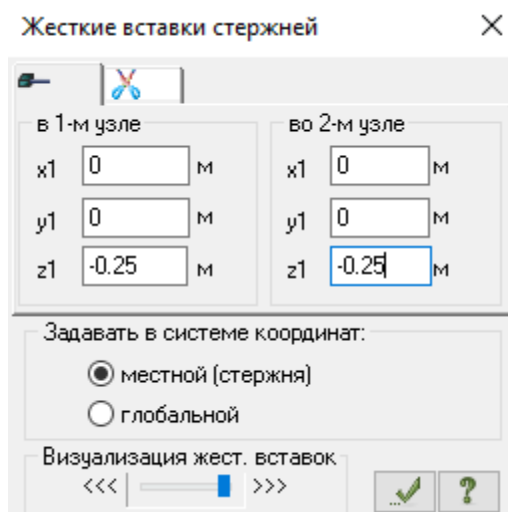


Рисунок 141 – Значение жесткой вставки стержней

Создадим колонны. Чтобы создать колонны, нужно в «Панели выбора» выбрать «Отметка узлов» (рис. 142). Выделяем узлы как показано на рисунке (рис. 143). На вкладке «Создание и редактирование» в панели «Редактирование» выбрать «Копирование по параметрам» (рис. 144). В открывшемся окне в строке «dZ» указать значение «-4» (рис. 145). На вкладке «Создание и редактирование» в панели «Создание» выбрать «Добавить стержень» (рис. 146). В открывшемся окне выбрать «Указать узлы курсором» (рис. 147).

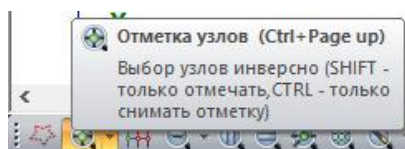


Рисунок 142 – Отметка узлов

Загрузка 1

Y  
Lx

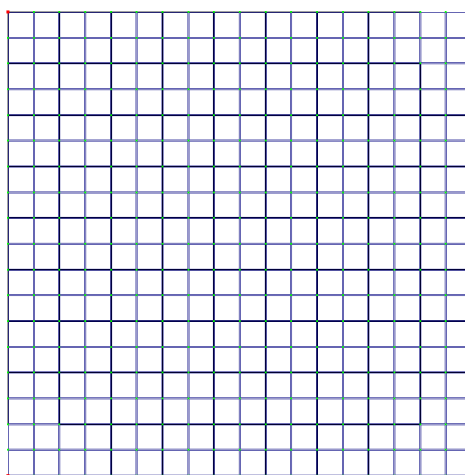
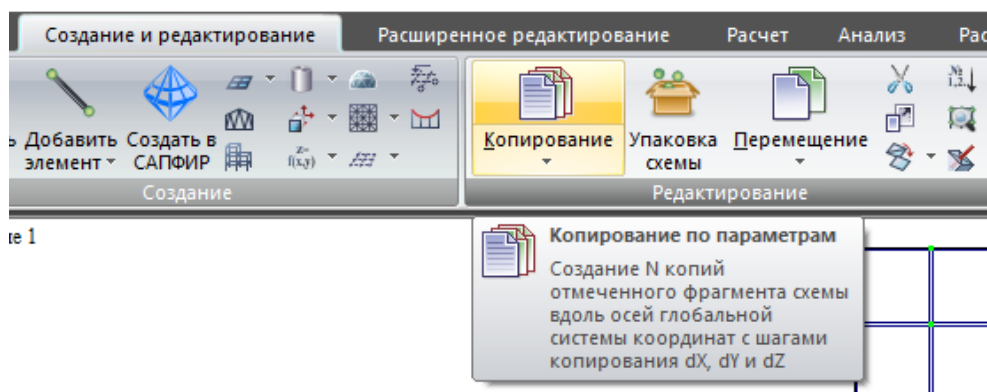


Рисунок 143 – Выделенные узлы



те 1

Рисунок 144 – Копирование узлов

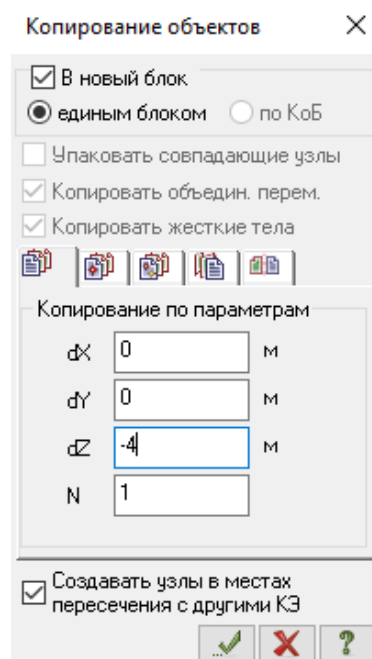


Рисунок 145 – Копирование по параметрам

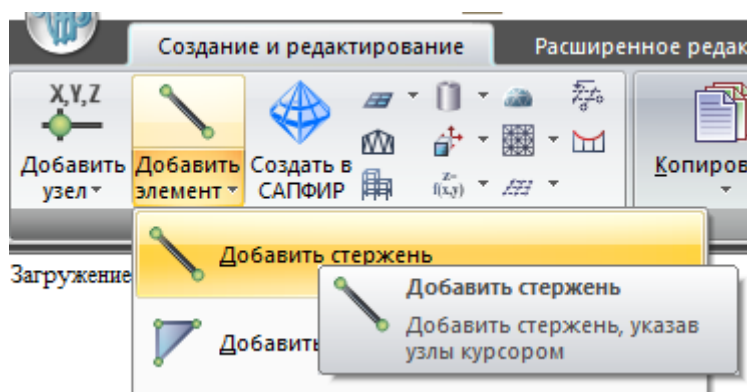


Рисунок 146 – Создание колонны

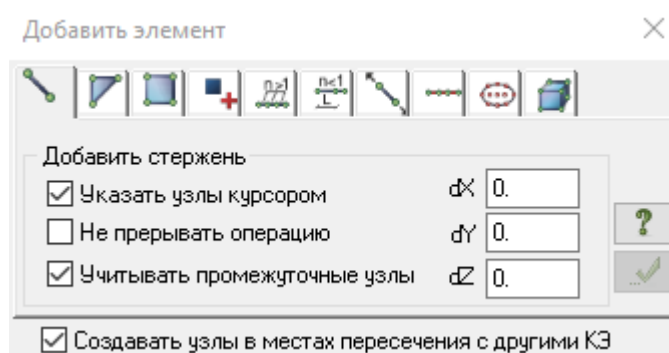


Рисунок 147 – Добавить стержень

В результате получаем следующую геометрическую модель (рис. 148).

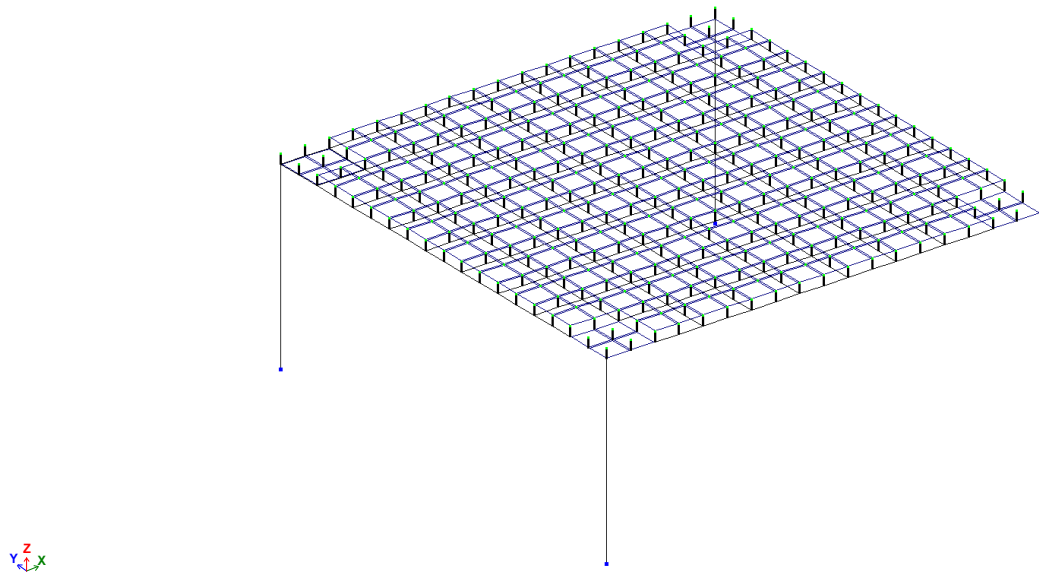


Рисунок 148 – геометрическая модель

### 3.4.2 Создание жесткости и материалов элементов

Создадим жесткость для плиты. Чтобы создать жесткость для плиты, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 149). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 150). Далее открываем вкладку «Пластинчатые, объемные, численные» и выбираем «Пластины» (рис. 151). В окне «Задание жесткости для пластин» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $V=0.2$ , высота пластины  $H=10$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 152).

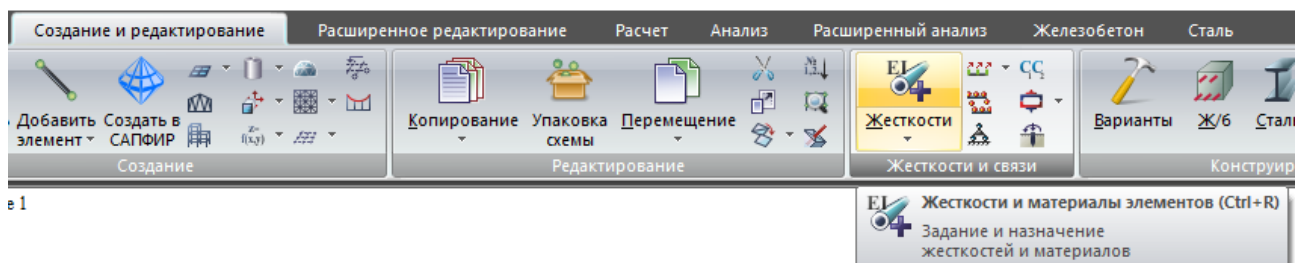


Рисунок 149 – Создание жесткости плиты



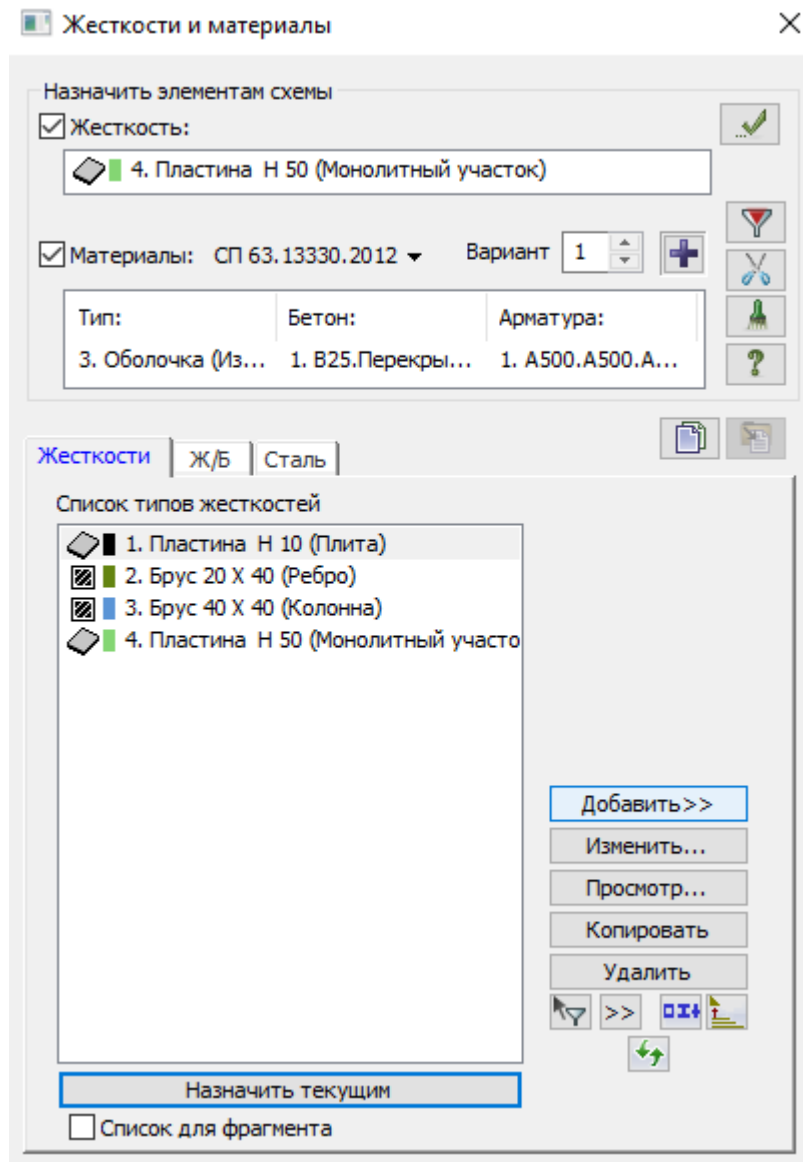


Рисунок 150 – Добавление жесткости плиты

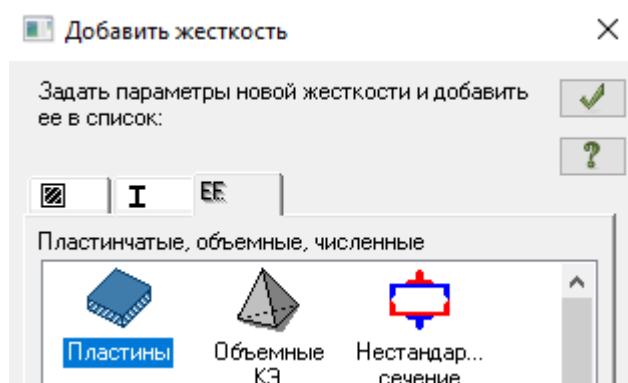


Рисунок 151 – Задание типа жесткости плиты

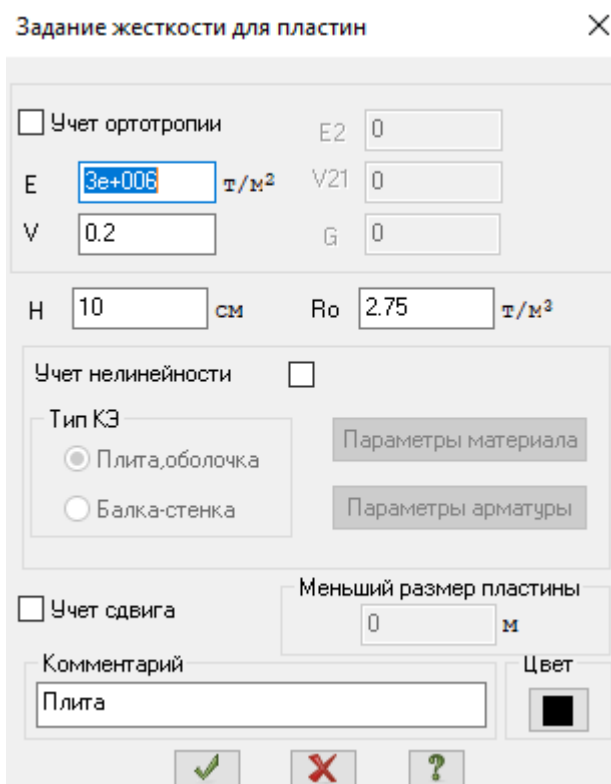


Рисунок 152 – Задание характеристик жесткости для плиты

Создадим жесткость для монолитного участка. Чтобы создать жесткость для монолитного участка, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 153). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 154). Далее открываем вкладку «Пластинчатые, объемные, численные» и выбираем «Пластины» (рис. 155). В окне «Задание жесткости для пластин» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $V=0.2$ , высота пластины  $H=50$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 156).

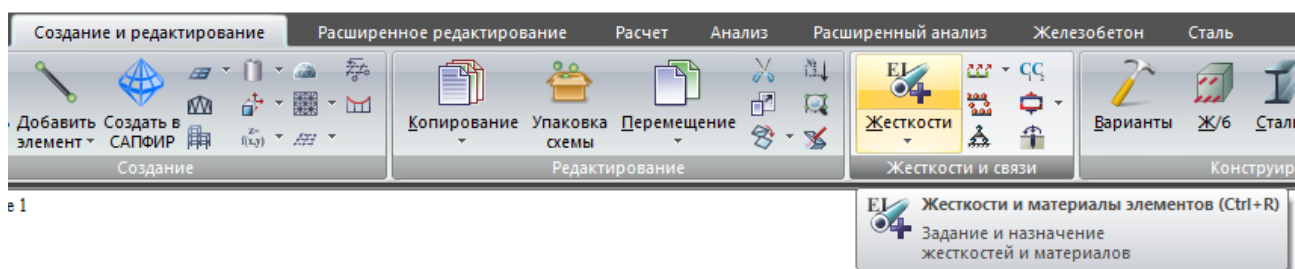


Рисунок 153 – Создание жесткости монолитного участка

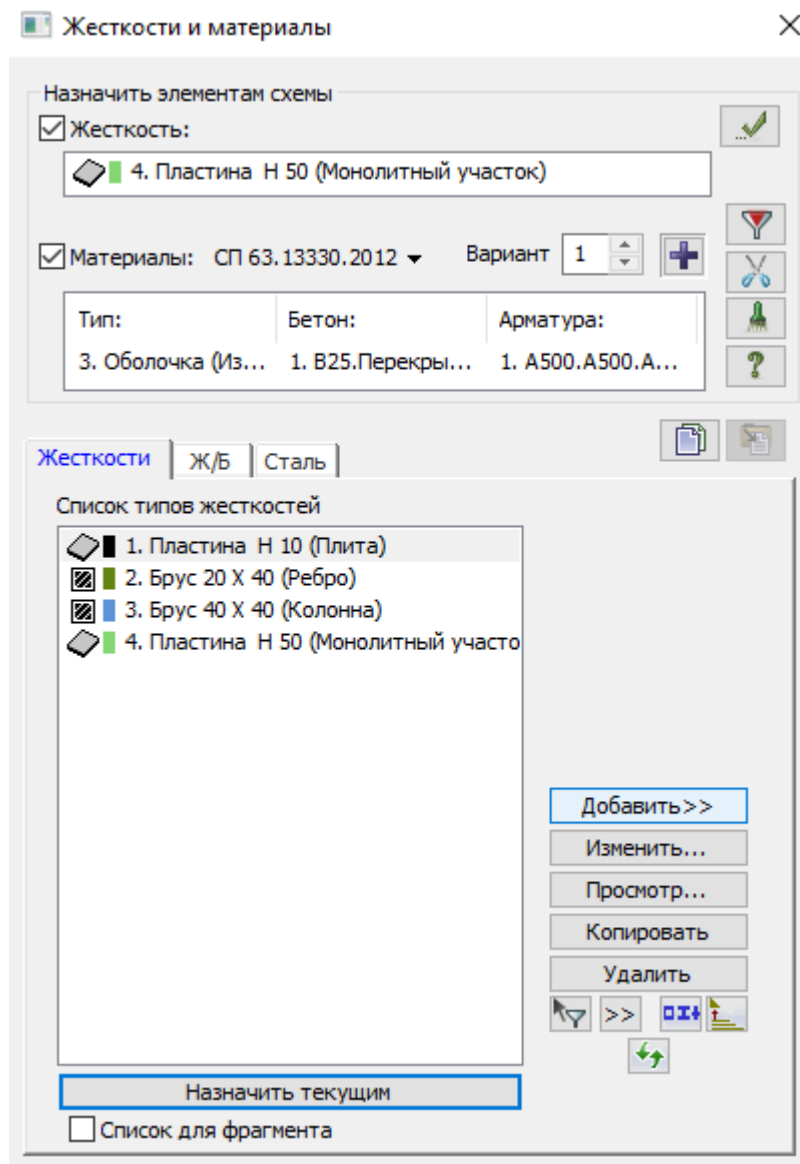


Рисунок 154 – Добавление жесткости монолитного участка

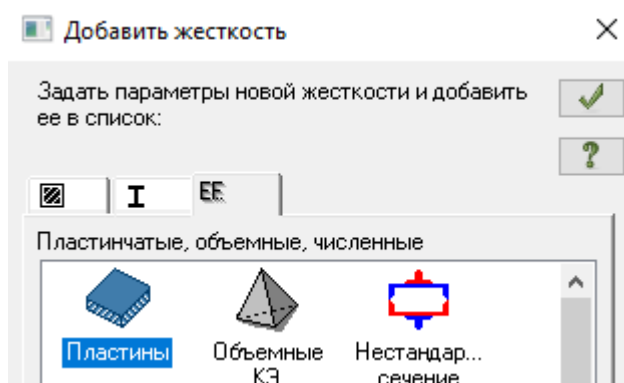


Рисунок 155 – Задание типа жесткости монолитного участка

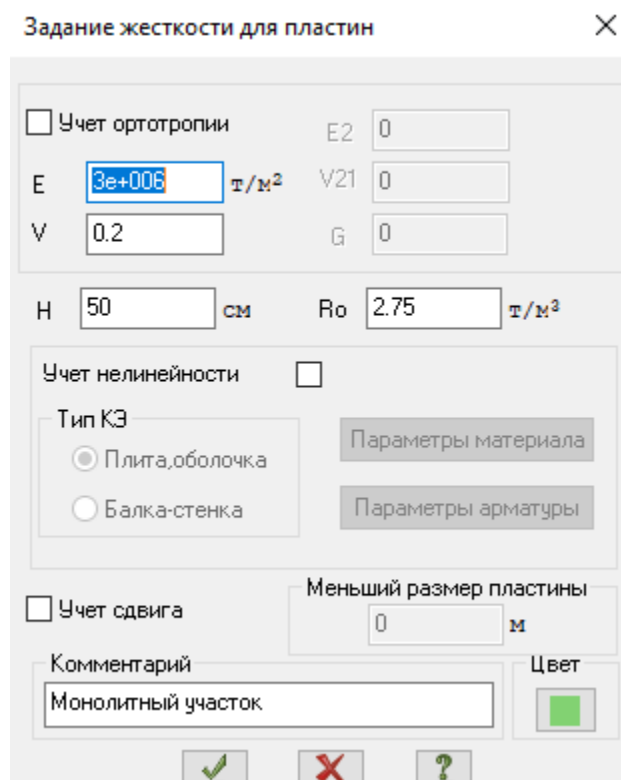


Рисунок 156 – Задание характеристик жесткости монолитного участка

Создадим жесткость для ребра перекрытия. Чтобы создать жесткость для ребра перекрытия, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 157). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 158). Далее открываем вкладку «Стандартные типы сечений» и выбираем «Брус» (рис. 159). В окне «Задание стандартного сечения» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, ширина бруса  $B=20$  см, высота бруса  $H=40$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 160).

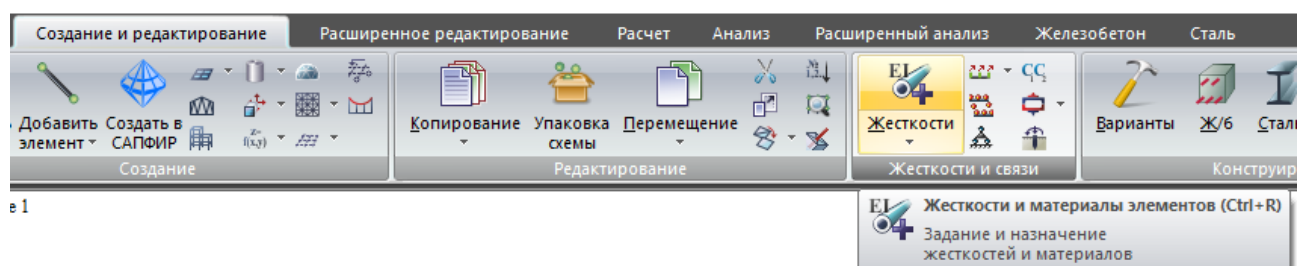


Рисунок 157 – Создание жесткости ребра перекрытия

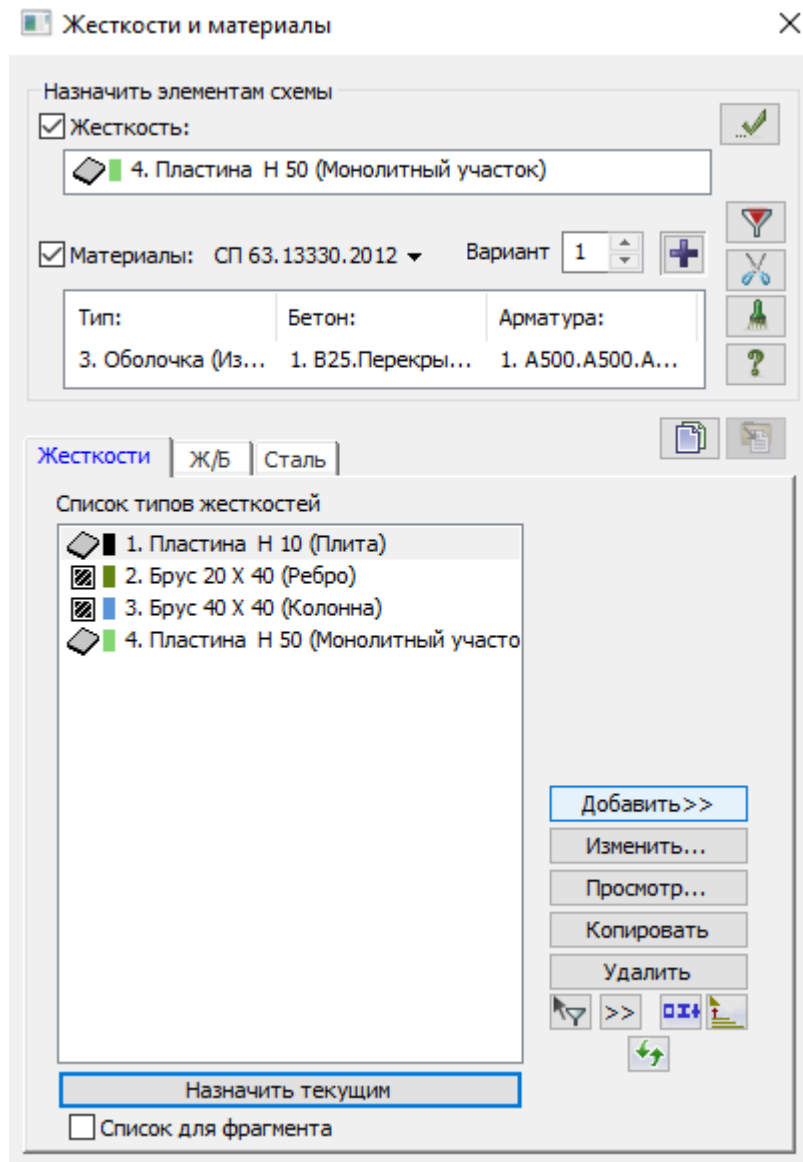


Рисунок 158 – Добавление жесткости ребра перекрытия

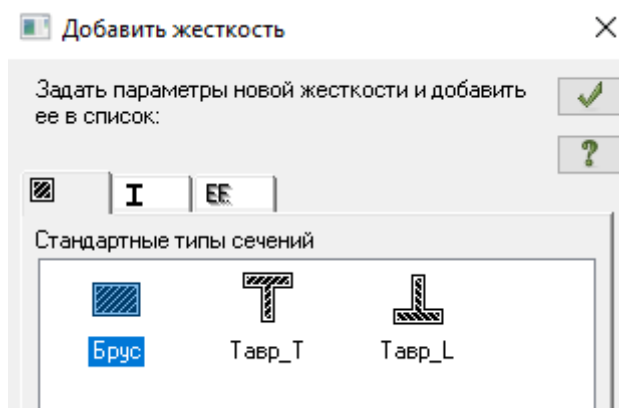


Рисунок 159 – Задание типа жесткости ребра перекрытия

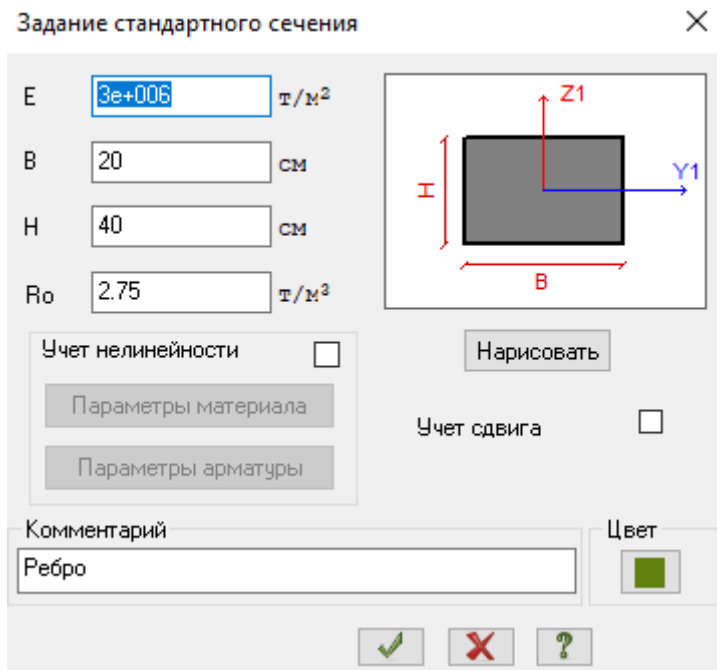


Рисунок 160 – Задание характеристик жесткости ребра перекрытия

Создадим жесткость колонн. Чтобы создать жесткость колонн, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 161). В открывшемся окне в разделе «Жесткости» нажать «Добавить» (рис. 162). Далее открываем вкладку «Стандартные типы сечений» и выбираем «Брус» (рис. 163). В окне «Задание стандартного сечения» модуль упругости  $E=3e+006$  т/м<sup>2</sup>, ширина бруса  $B=40$  см, высота бруса  $H=40$  см, плотность  $R_0=2.75$  т/м<sup>2</sup> (рис. 164).

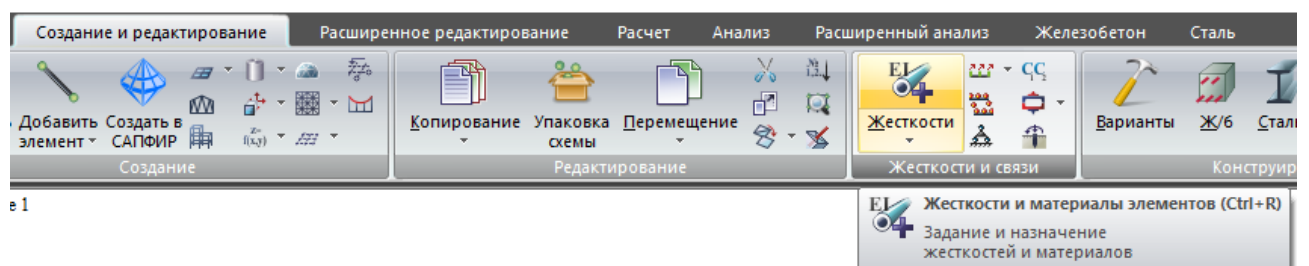


Рисунок 161 – Создание жесткости ребра перекрытия

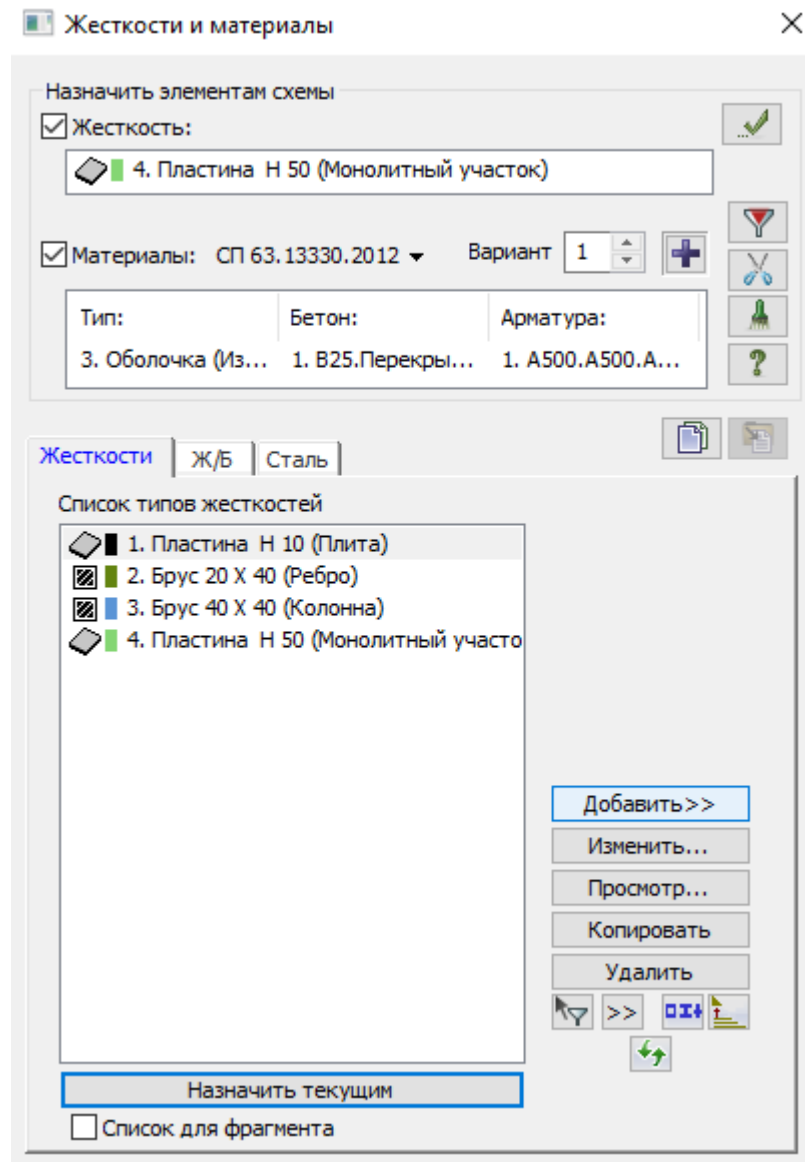


Рисунок 162 – Добавление жесткости ребра перекрытия

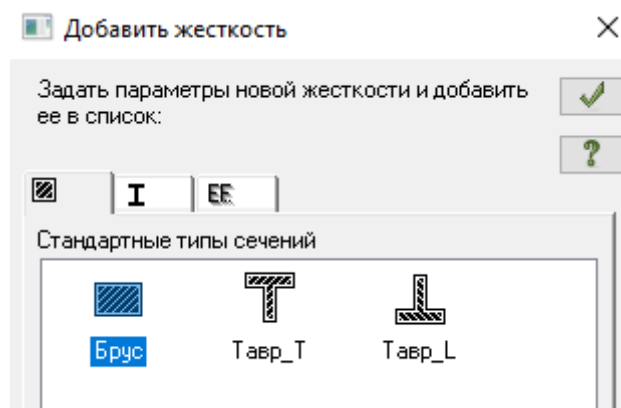


Рисунок 163 – Задание типа жесткости ребра перекрытия

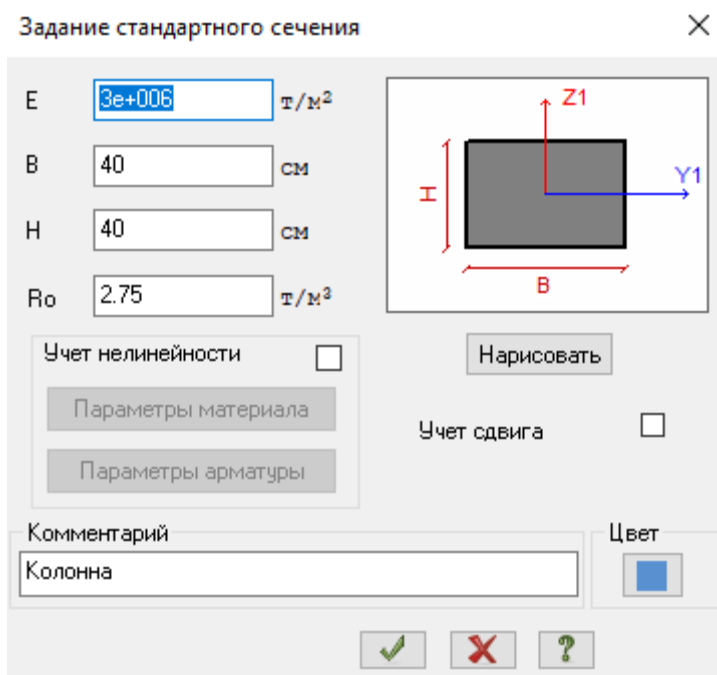


Рисунок 164 – Задание характеристик жесткости ребра перекрытия

Зададим параметры железобетонных конструкций. Чтобы задать параметры железобетонных конструкций, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Жесткости и связи» выбрать «Жесткости» (рис. 165). В открывшемся окне в разделе «Ж/Б» нажать «Редактировать» (рис. 166). Зададим расчетные характеристики ребра перекрытия (рис. 167), колонны (рис. 168), пластины (рис. 169), бетона (рис. 170), арматуры (рис. 171).

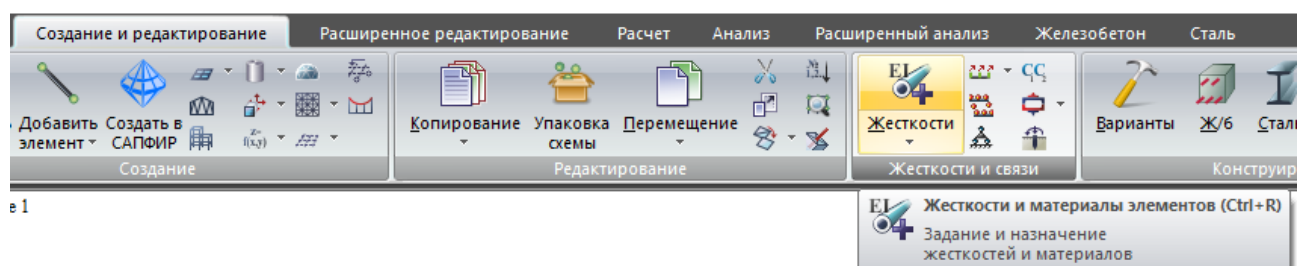


Рисунок 165 – Задание параметров ж/б конструкций



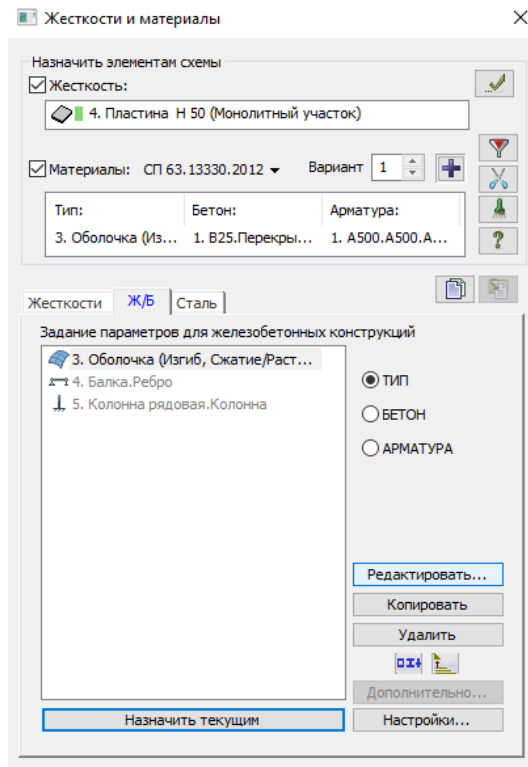


Рисунок 166 – Редактирование параметров ж/б конструкций

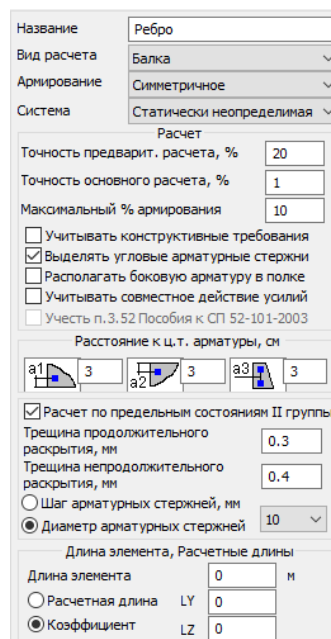


Рисунок 167 – Расчетные характеристики ребра перекрытия




|   |                          |
|---|--------------------------|
| Название  | Колонна                  |
| Вид расчета   | Колонна рядовая          |
| Армирование   | Симметричное             |
| Система   | Статически неопределимая |
| Расчет  |                          |
| Точность предварит. расчета, %  | 20                       |
| Точность основного расчета, %   | 1                        |
| Максимальный % армирования  | 10                       |
| <input type="checkbox"/> Учитывать конструктивные требования<br><input checked="" type="checkbox"/> Выделять угловые арматурные стержни<br><input type="checkbox"/> Располагать боковую арматуру в полке<br><input type="checkbox"/> Учитывать совместное действие уюлий<br><input type="checkbox"/> Учесть п.3.52 Пособия к СП 52-101-2003 |                          |
| Расстояние к ц.т. арматуры, см  |                          |
|  a1  | 3                        |
|  a2  | 3                        |
|  a3   | 3                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расчет по предельным состояниям II группы<br>Трещина продолжительного раскрытия, мм: 0.3<br>Трещина непродолжительного раскрытия, мм: 0.4<br><input checked="" type="radio"/> Шаг арматурных стержней, мм<br><input type="radio"/> Диаметр арматурных стержней: 200                                     |                          |
| Длина элемента, Расчетные длины   |                          |
| Длина элемента  | 0 м                      |
| <input type="radio"/> Расчетная длина LY  | 1                        |
| <input checked="" type="radio"/> Коэффициент LZ   | 1                        |

Рисунок 168 – Расчетные характеристики колонны





|   |                              |
|---|------------------------------|
| Название  | Плита                        |
| Вид расчета   | Оболочка (Изгиб, Сжатие/Рак) |
| Система   | Статически неопределимая     |
| Расчет  |                              |
| <input type="checkbox"/> Подбирать арматуру по теории Вуда<br>Минимальный % армирования: 0.05<br>Максимальный % армирования: 10<br>Точность предварит. расчета, %: 20<br>Точность основного расчета, %: 1<br><input type="checkbox"/> Подбирать поперечную арматуру на 1 кв.м.                          |                              |
| Расстояние к ц.т. арматуры  |                              |
|  a1  | A1X 3 см                     |
|  a2  | A1Y 3 см                     |
|  a2  | A2X 3 см                     |
|  a1  | A2Y 3 см                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расчет по предельным состояниям II группы<br>Трещина продолжительного раскрытия, мм: 0.3<br>Трещина непродолжительного раскрытия, мм: 0.4<br><input checked="" type="radio"/> Шаг арматурных стержней, мм<br><input type="radio"/> Диаметр арматурных стержней: 200 |                              |
| <input type="checkbox"/> Учитывать расчетную высоту стены<br>Высота стены: 0 м<br>Значение: 1<br><input checked="" type="radio"/> Коэффициент <input type="radio"/> Расчетная высота  |                              |

Рисунок 169 – Расчетные характеристики колонны

СП 63.13330.2012

Название  
Перекрытие

Класс бетона B25 + -

Вид бетона тяжелый

Марка легкого бетона по средней плотности 2000

Кoeffициенты условий работы

$\gamma_{b2}$  0.9  $\gamma_{b3}$  0.85  $\gamma_{b5}$  1

Относительная влажность воздуха, % 80

Диаграмма напряжение-деформация  
2-х линейная диаграмма состояния сжат

Случайные эксцентриситеты

По высоте сечения EY 0 см  
По ширине сечения EZ 0 см

|                | B25 (МПа) |
|----------------|-----------|
| Eb             | 30000.00  |
| Rbn            | 18.50     |
| Rbtn           | 1.55      |
| Rb             | 14.50     |
| Rbt            | 1.05      |
| Eps_b0 (*1000) | 3.00      |

Рисунок 170 – Расчетные характеристики бетона

СП 63.13330.2012

Название  
Перекрытие

Классы арматуры

ПРОДОЛЬНАЯ ВДОЛЬ X A500 d=10...40

Продольная вдоль Y A500 d=10...40

Поперечная арматура A240 d=6...40 + -

$\phi_{max}$  40  $\phi$  1  $\phi$

Учет сейсмического воздействия

Кoeffициент из т.6 СП 14.13330.2014 1

Кoeff. условий работы при расчете наклонных сечений, т.6 СП 1

| Продольная X | A500 d=10...40 (МПа) |
|--------------|----------------------|
| Es           | 200000.00            |
| Rsn          | 500.00               |
| Rs           | 435.00               |
| Rsw          | 300.00               |
| Rsc          | 435.00               |

Рисунок 171 – Расчетные характеристики арматуры

В результате получаем следующую 3D-модель (рис. 172).

ребристое перекрытие способ 2.3d

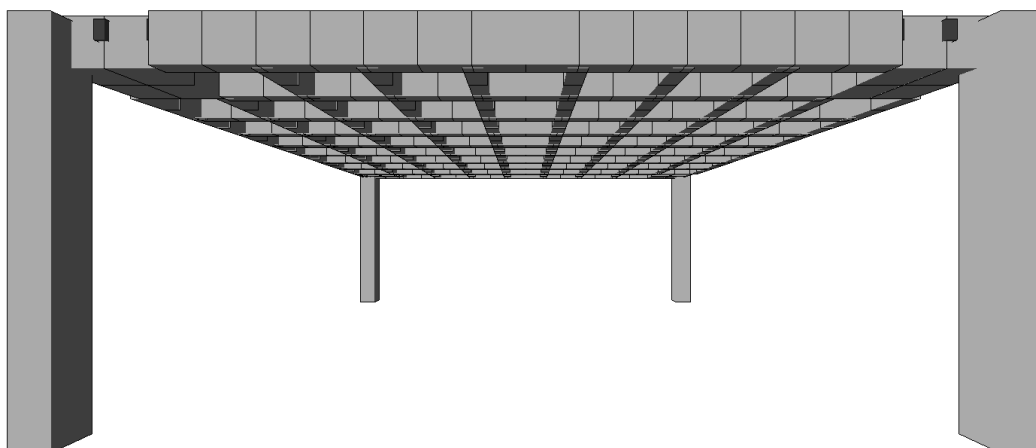


Рисунок 172 – 3D-модель перекрытия метод 3

### 3.4.3 Создание расчетной модели

Зададим закрепления узлов. Чтобы задать закрепление, нужно выделить узлы, как показано рисунке (рис. 173). Далее на вкладке «Узлы» в панели «Редактирование узлов» выбрать «Связи» (рис. 174). В открывшемся окне в разделе «Параметры связей» выбрать все (рис. 175).

Загрузка 1

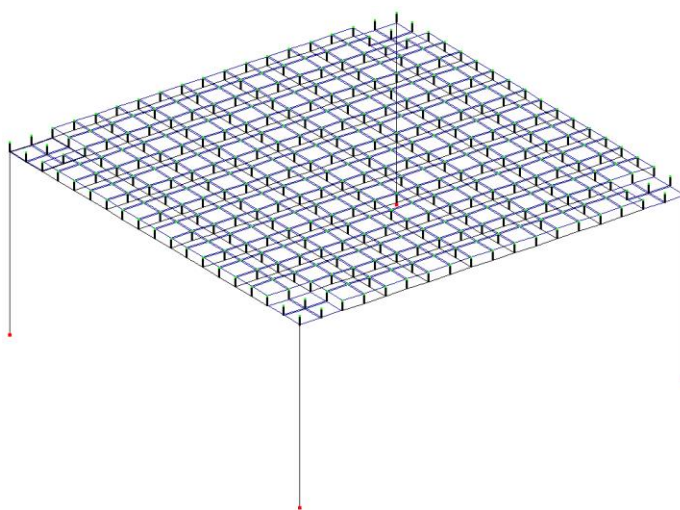


Рисунок 173 – Выделенные узлы для создания связи

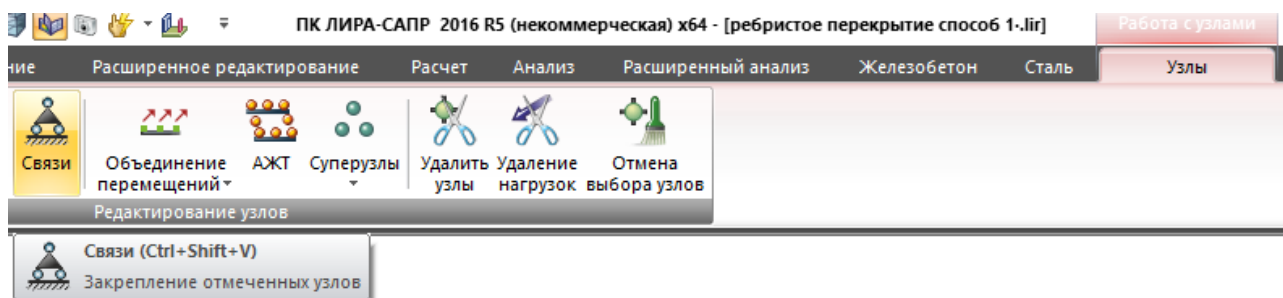


Рисунок 174 – Задание связей в узлах

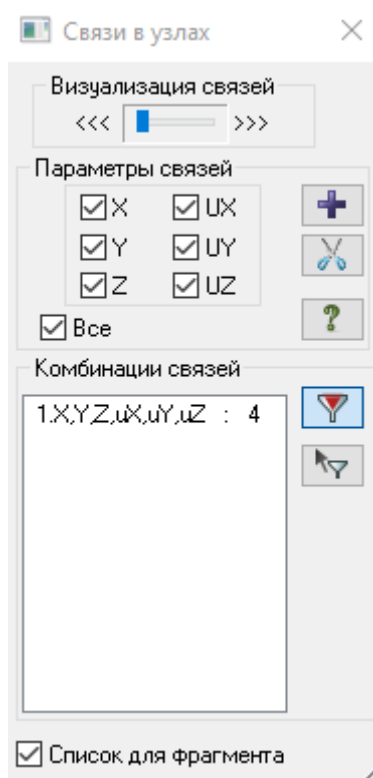


Рисунок 175 – Параметры связей в узлах

Зададим нагружения на геометрическую модель. Согласно п. 3.1 табл. 1 настоящей работы, в котором были собраны нагрузки, действующие на проектируемое перекрытие, необходимо их перенести на построенную геометрическую модель перекрытия.

Выделим плиту перекрытия как показано на рисунке (рис. 176). Далее на вкладке «Пластины» в панели «Редактирование пластин» выбираем «Нагрузка на пластины» (рис.177). В открывшемся окне в разделе «Тип нагрузки»

выбираем равномерно-распределенную нагрузку и задаем нагружение  $P=0.914$  т/м<sup>2</sup> (рис. 178-179).

Заружение 1

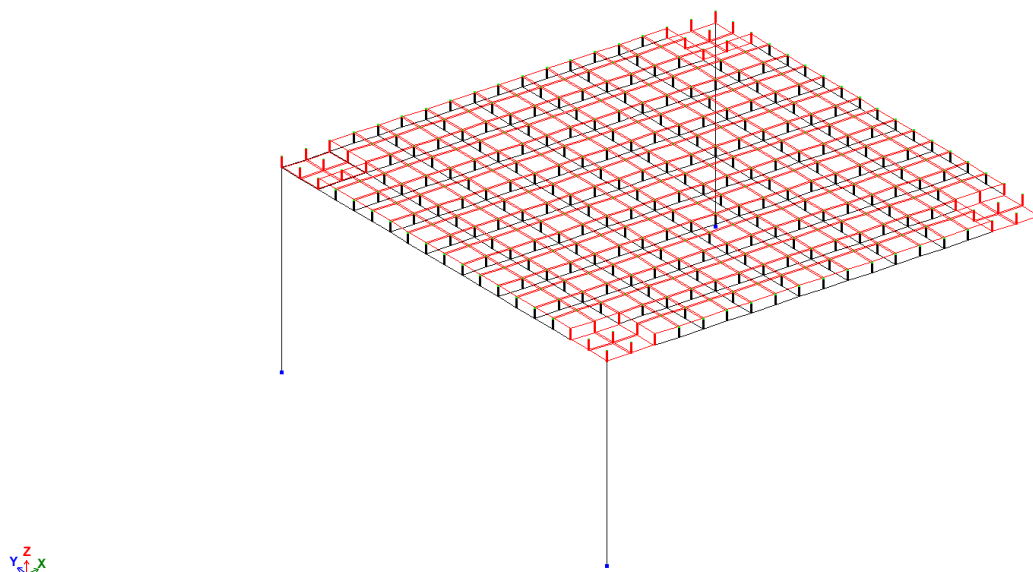


Рисунок 176 – Выделенная плита перекрытия

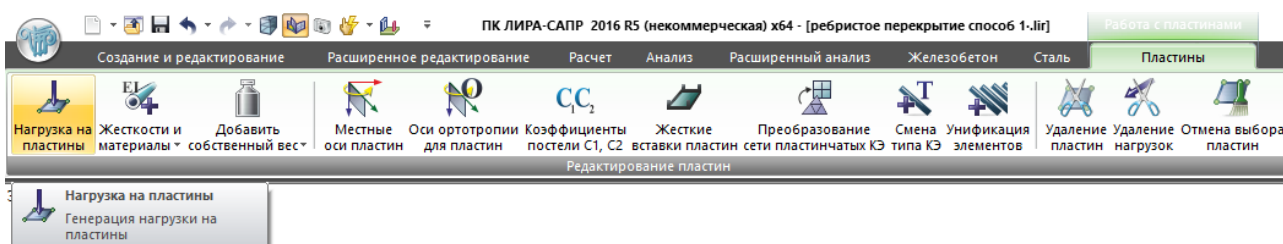


Рисунок 177 – Создание нагрузки на перекрытие

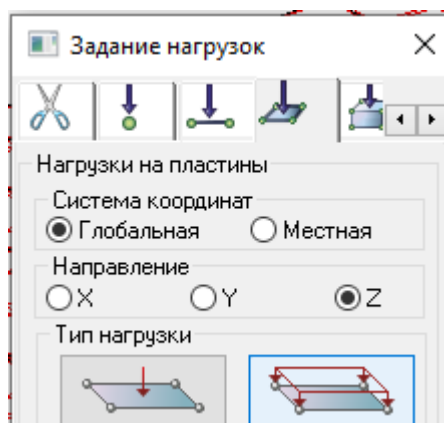


Рисунок 178 – Тип нагрузки на перекрытие

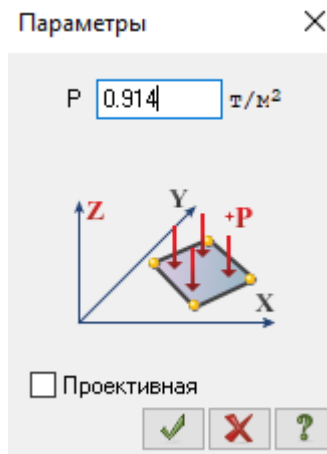


Рисунок 179 – Параметры нагрузки на перекрытие

Зададим нагружение от собственного веса. Чтобы задать нагружение от собственного веса, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Нагрузки» выбрать «Добавить собственный вес» (рис. 180).

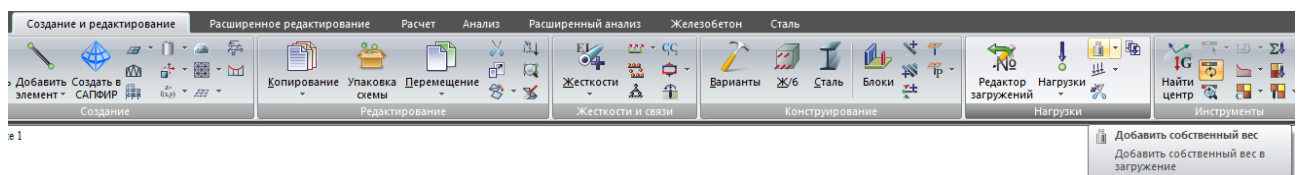


Рисунок 180 – Добавление собственного веса

После создания расчетной схемы необходимо ее упаковать. Чтобы упаковать схему, нужно на вкладке «Создание и редактирование» в панели «Редактирование» выбрать «Упаковка схемы» (рис. 181).

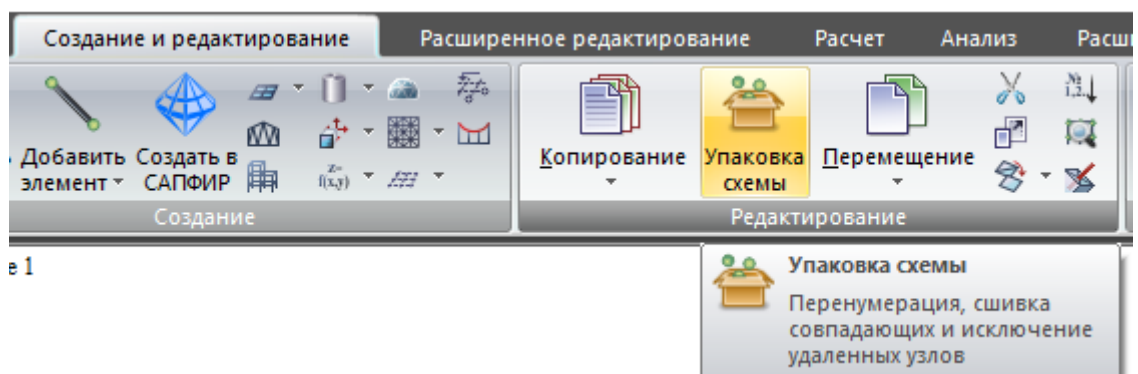


Рисунок 181 – упаковка схемы

В результате получаем следующую расчетную модель (рис. 182).

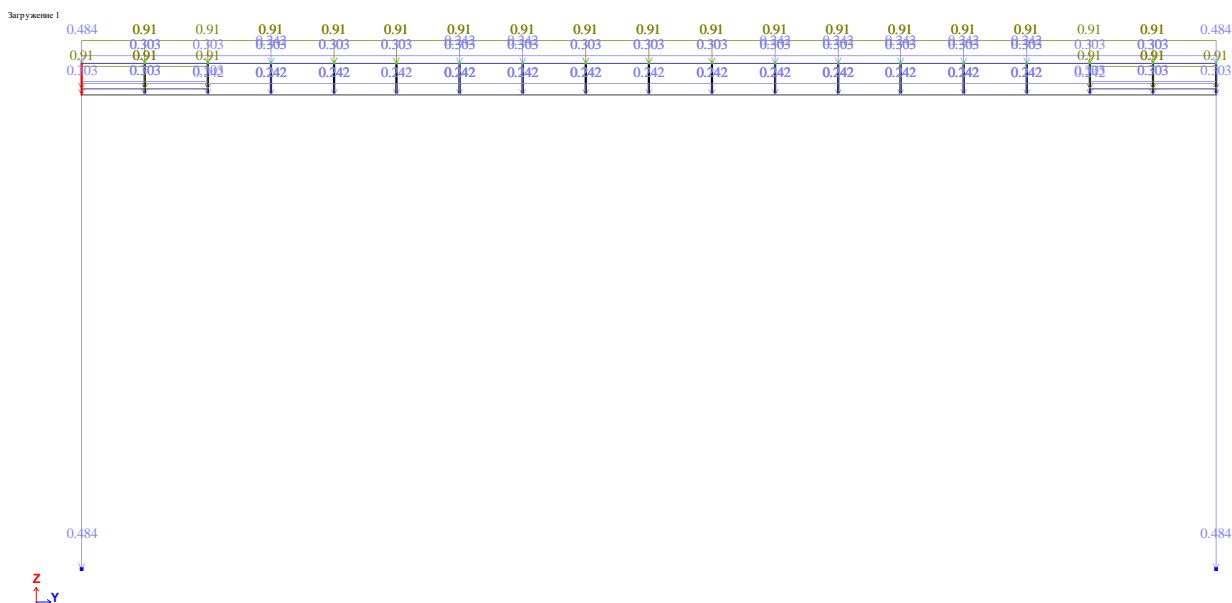


Рисунок 182 – Схема нагружения на перекрытие в проекции XOZ

### 3.4.4 Расчет модели перекрытия

Выполним расчет модели перекрытия. Чтобы выполнить расчет, на вкладке «Расчет» в панели «Расчет» выбрать «Выполнить полный расчет» (рис. 183).

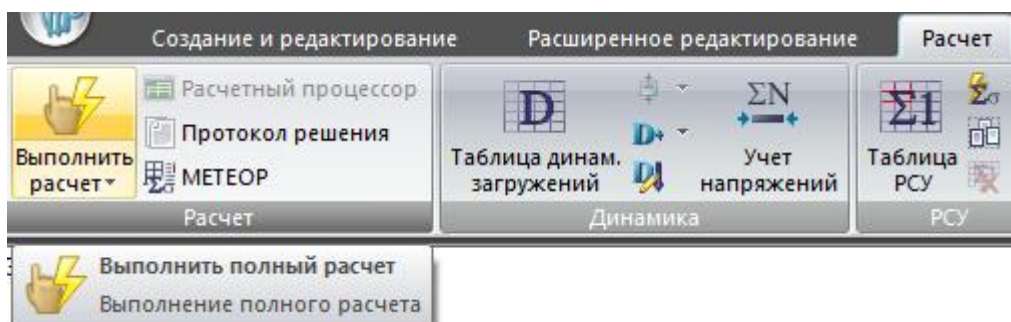


Рисунок 183 – Расчет модели перекрытия

Результаты расчета по деформации представлен на рисунке (рис. 184)



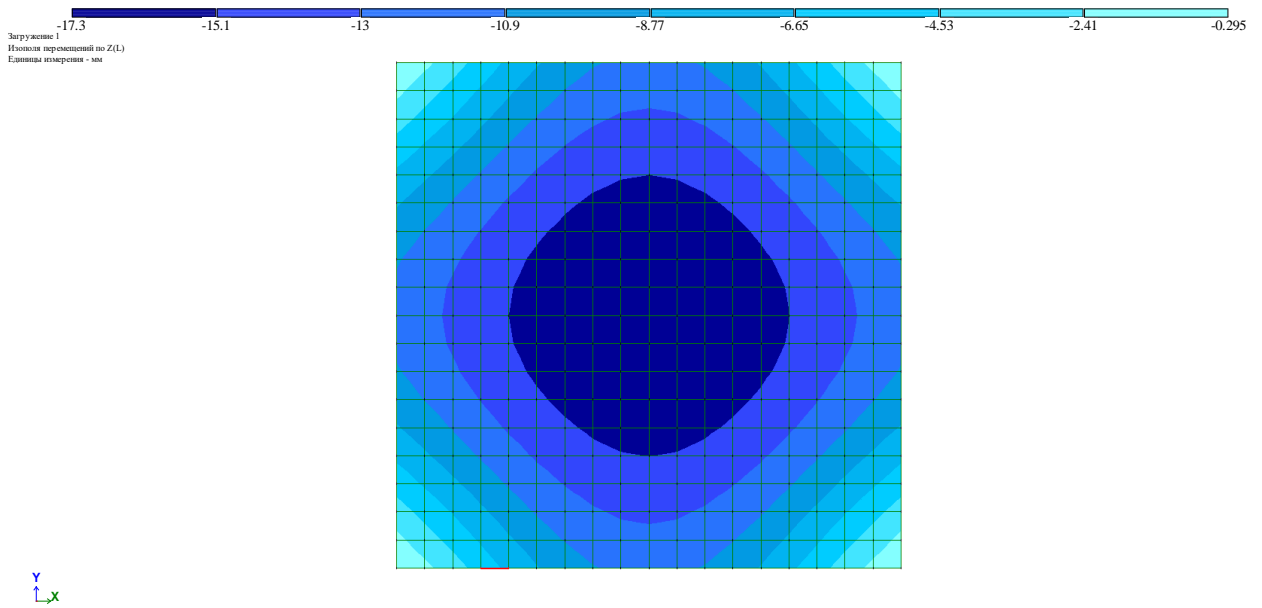


Рисунок 184 – деформация модели плиты перекрытия

Изгибающий момент в стержнях представлен на рисунке (рис. 185).

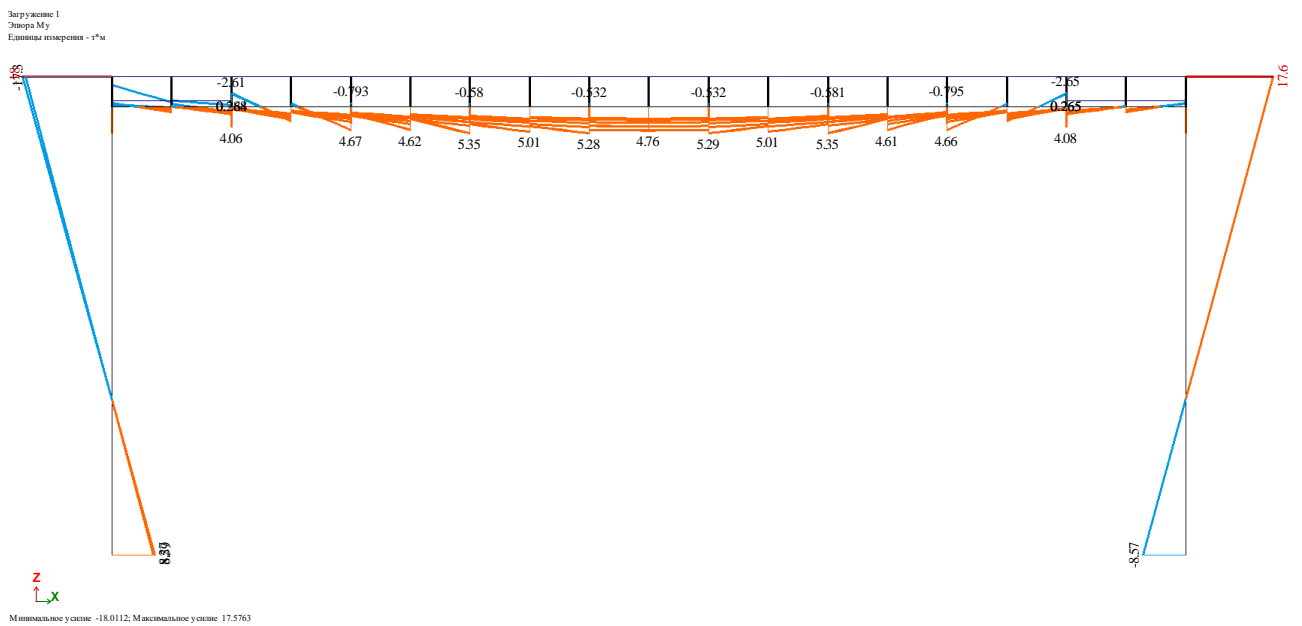


Рисунок 185 – изгибающий момент в ребрах перекрытия

Выполним расчет арматуры модели перекрытия. Чтобы выполнить расчет, на вкладке «Железобетон» в панели «Расчет» выбрать «Расчет арматуры» (рис. 186).

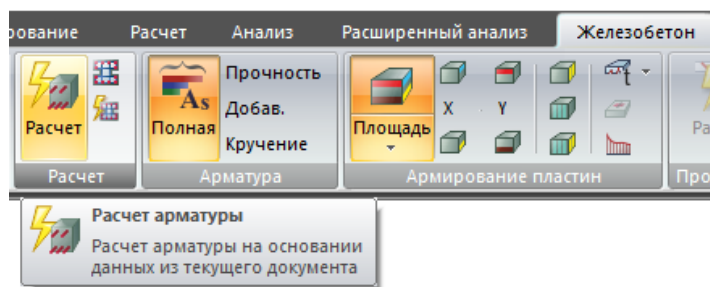


Рисунок 186 – Расчет арматуры

Результаты армирования плиты представлены на рисунках (рис. 187-188)

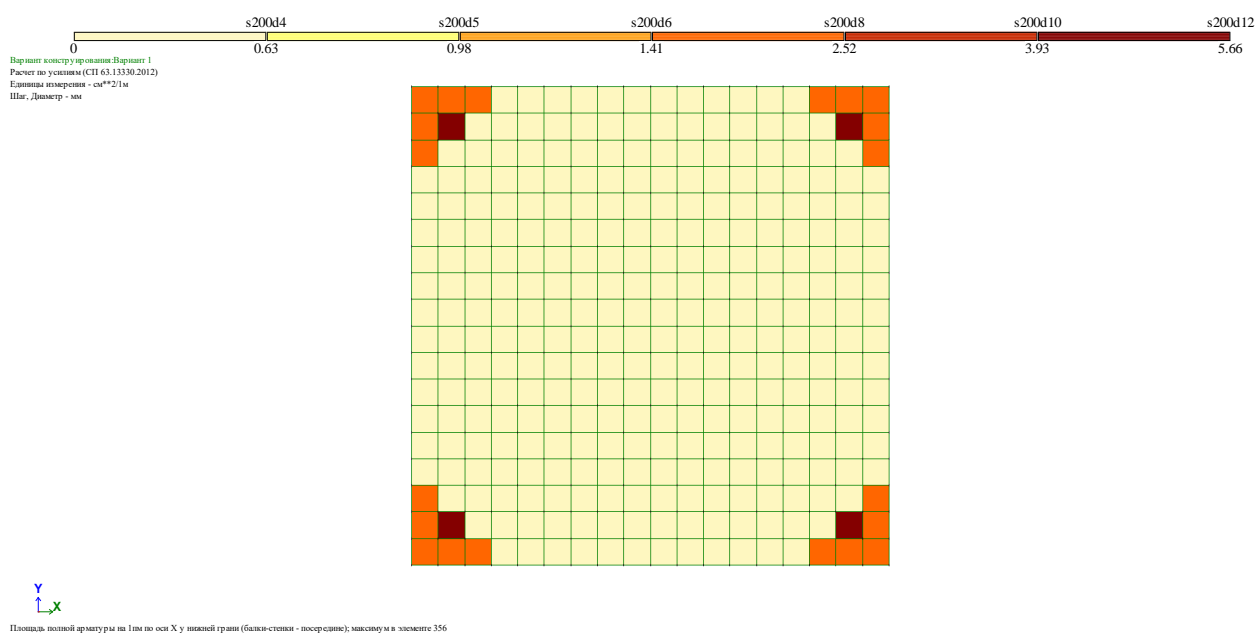


Рисунок 187 – Нижняя арматура в пластинах по оси X1

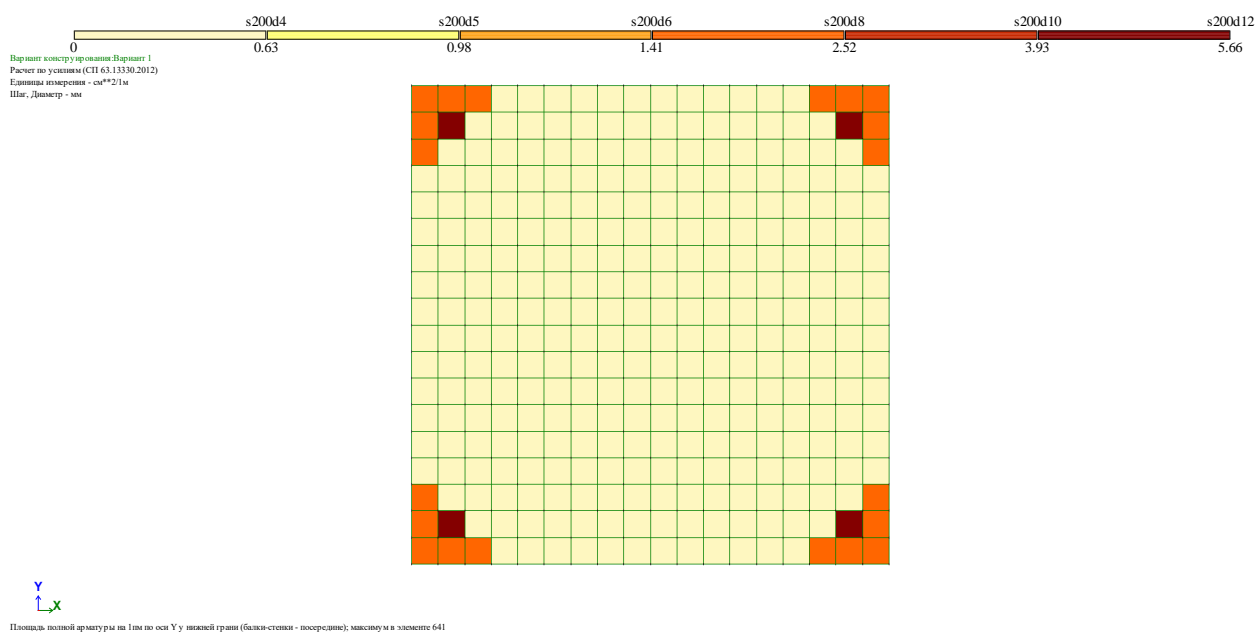


Рисунок 188 – Нижняя арматура в пластинах по оси Y1

Результаты армирования ребер перекрытия представлены на рисунке (рис. 189)

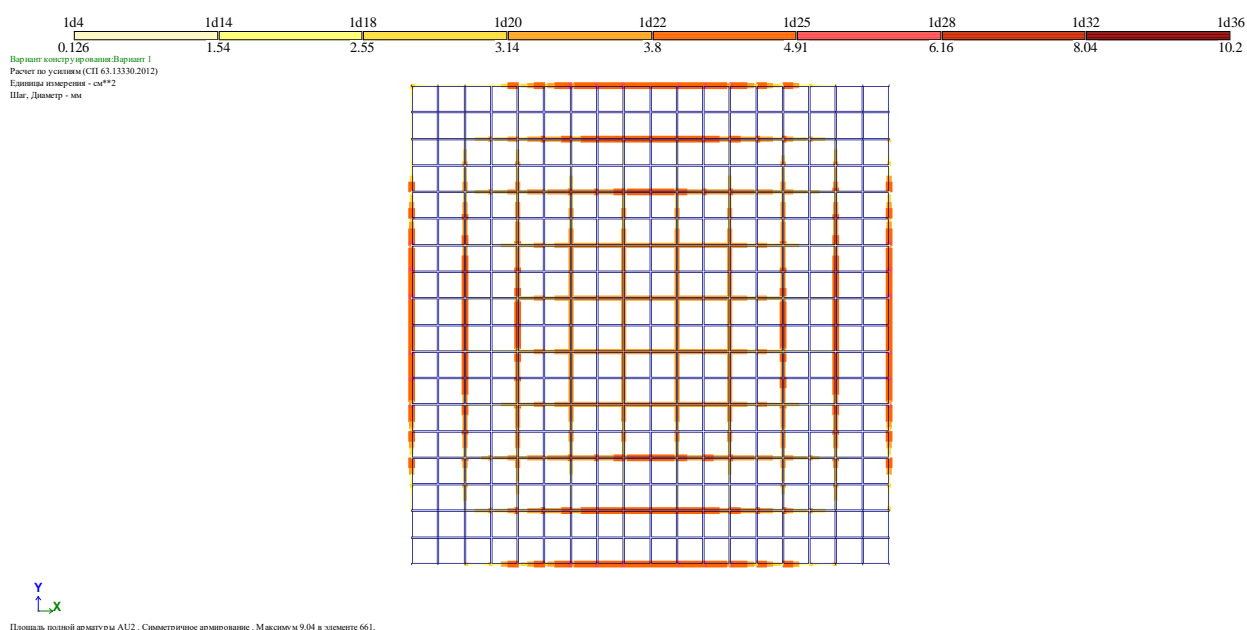


Рисунок 189 – Результаты армирования ребер перекрытия

### 3.5 Анализ результатов

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – результаты расчета

| № Метода | Максимальное значение перемещения плиты по оси Z, мм | Максимальное значение эпюры изгибающего момента $M_y$ ребра, т*м | Максимальная нижняя арматура плиты по оси Y1, d мм | Максимальная угловая арматура AU2 в ребре, d мм |
|----------|--|--|--|---|
| 1        | 38,1   | 10,5   | 10   | 22  |
| 2        | 16,4   | 9,22   | 5  | 28  |
| 3        | 17,3   | 5,28   | 5  | 25  |

Полученные в результате расчета данные наглядно иллюстрируют, что максимальное значение перемещения в методе 1 больше на 55...57% по сравнению с методами 2 и 3. Максимальное значение момента в методе 1 больше на 12...50% по сравнению с методами 2 и 3. Максимальный диаметр арматуры в плите в методе 1 больше на 50% по сравнению с методами 2 и 3. Максимальный диаметр арматуры в ребрах перекрытия в методе 2 больше на 11...21% по сравнению с методами 1 и 3. В итоге принимаем метод 2 оптимальным, так как

в нем закладывается минимальная диаметр арматуры в плите и максимальный диаметр арматуры в ребре плиты (рис. 190).

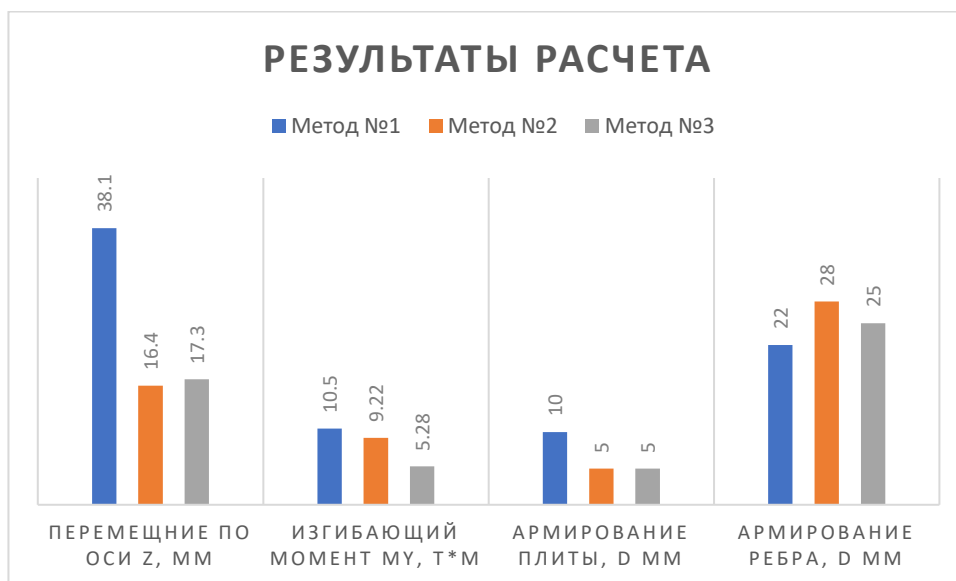


Рисунок 190 – Диаграмма результатов расчета

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Рассматриваемый транспортно-пересадочный узел представляет собой в плане трехэтажное здание (с цокольным этажом и парковкой). Имеет сложную форму в плане. Габаритные размеры в осях 102 x 146 м. Высота проектируемого здания составляет 16,8 м от уровня чистого пола первого этажа до парапета кровли. Площадь застройки – 6 123,2 м<sup>2</sup>, общая площадь объекта – 28 196,7 м<sup>2</sup>. Здание выполнено из монолитного железобетона и имеет каркасную схему с сеткой колонн 9x9 м. Здание рамно-связевое с диафрагмой жесткости. Жесткость здания обеспечивается колоннами, межэтажными перекрытиями, надежным соединением узлов.

2. Изучены возможности ПК ЛИРА-САПР. Рассмотрены основные команды расчетов и общая схема функционирования для дальнейшего формирования и исследования методов моделирования перекрытия транспортно-пересадочного узла в г. Доброград.

3. В ПК ЛИРА-САПР разработаны три варианта расчетных моделей перекрытий.

4. Полученные в результате расчета данные наглядно иллюстрируют, что максимальное значение перемещения в методе 1 больше на 55...57% по сравнению с методами 2 и 3. Максимальное значение момента в методе 1 больше на 12...50% по сравнению с методами 2 и 3. Максимальный диаметр арматуры в плите в методе 1 больше на 50% по сравнению с методами 2 и 3. Максимальный диаметр арматуры в ребрах перекрытия в методе 2 больше на 11...21% по сравнению с методами 1 и 3. В итоге принимаем метод 2 оптимальным, так как в нем закладывается минимальная диаметр арматуры в плите и максимальный диаметр арматуры в ребре плиты.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
2. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003\*.
3. Вэйбинь Ч., Проектирование многоэтажных и высотных железобетонных сооружений / Главный редактор Чжан Вэйбинь - М.: Издательство АСВ, 2017. - 600 с.
4. Габрусенко В.В., Основы расчета железобетона в вопросах и ответах: учеб. пособие / Габрусенко В.В. - М.: Издательство АСВ, 2019. - 160 с.
5. Городецкий Д.А. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие, 2013г.
6. А.С.Городецкий, М.С.Барабаш, В.Н.Сидоров Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. - М.: Издательство АСВ, 2016.
7. Добромыслов А.Н., Железобетонные конструкции. Примеры расчета: Справочное издание / Добромыслов А.Н. - М.: Издательство АСВ, 2012. - 464 с.
8. Добромыслов А.Н., Расчёт железобетонных сооружений с использованием программы "Ли́ра" / Добромыслов А.Н. - М.: Издательство АСВ, 2015. - 200 с.
9. Ермакова А.В., Метод дополнительных конечных элементов для нелинейного расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям / Ермакова А.В. - М. : Издательство АСВ, 2017. - 64 с.
10. Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Журавлев А.В., Водопьянов Р.Ю. ЛИРА-САПР. Книга 1. Основы. - М.: LIRALAND, 2019.
11. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Никитин И.К., Соседов К.Е. Практические методы и примеры расчета железобетонных конструкций из тяжелого бетона по СП 63.13330. - М.: Научное издание, 2017.

12. Краснощёкое Ю.В., Проектирование конструктивных систем перекрытий и покрытий / Краснощёкое Ю.В. - М.: Инфра-Инженерия, 2018. - 188 с.
13. Кузнецов В.С., Прочность монолитных железобетонных перекрытий: Учебное пособие. / Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. - М.: Издательство АСВ, 2018. - 120 с.
14. Малахова А.Н. Армирование железобетонных конструкций, 2014 г.
15. Нанасова С.М., Монолитные жилые здания : Научное издание / С.М. Нанасова, В.М. Михайлин. - Издание второе, стереотипное. - М.: Издательство АСВ, 2016. - 136 с.
16. Никонов Н.Н., Большепролётные покрытия. Рациональность и безопасность : Учебное пособие / Никонов Н.Н. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательство АСВ, 2015. - 640 с.
17. Рощина С. И. Учебное пособие к выполнению выпускной квалификационной работы магистра на примере исследования напряженно-деформированного состояния деревоклееных балочных конструкций, усиленных стеклотканью / С. И. Рощина, М. В. Попова, М. С. Лисятников; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ) - Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), 2018 - 102 с.
18. Теличенко В.И., Технология возведения высотных, большепролетных, специальных зданий: Учебник./ Теличенко В.И., Гныря А.И., Бояринцев А.П. - М. : Издательство АСВ, 2018. - 744 с.
19. Туманов А. В. Железобетонные и металлические конструкции: курс лекций, А. В. Туманов - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013 - 142 с.
20. Цай Т. Н. Строительные конструкции. Железобетонные конструкции учебник, Т. Н. Цай - Санкт-Петербург: Лань, 2012 - 462 с.