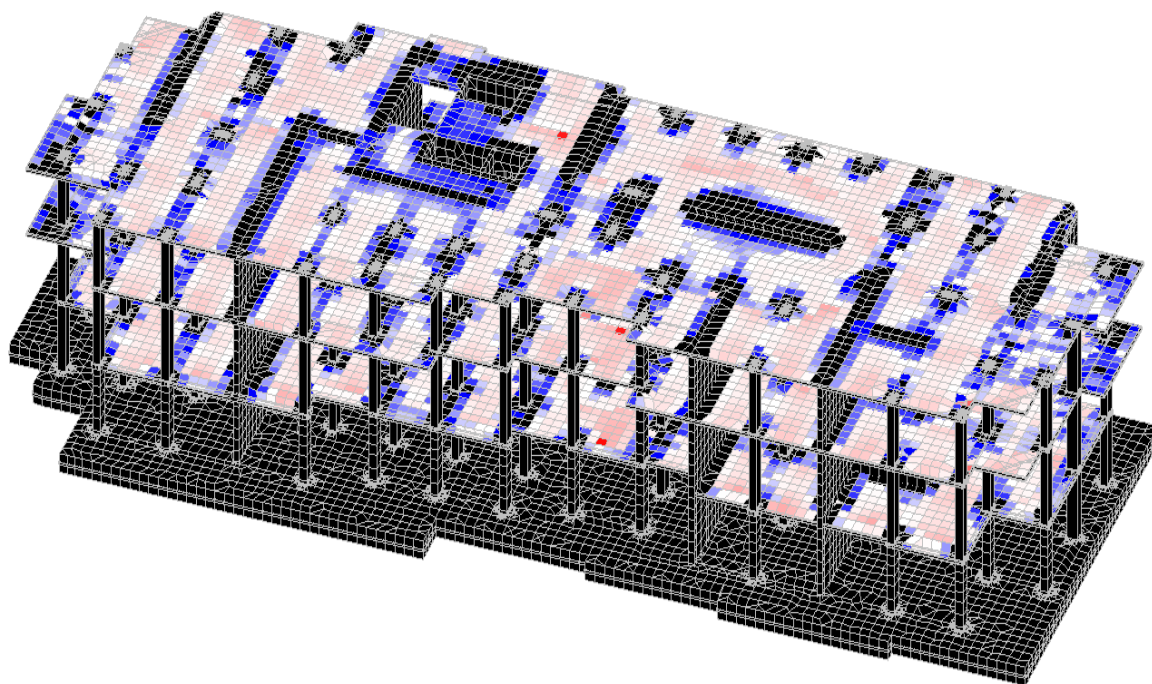


Ю. Д. Маркина, Б. Б. Лампси, П. А. Хазов

**РАСЧЕТ И АРМИРОВАНИЕ  
МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ  
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE**



*Учебное пособие*

Нижний Новгород  
2020

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

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

РАСЧЕТ И АРМИРОВАНИЕ  
МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ  
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

Нижегород  
ННГАСУ  
2020

ББК 38  
Р 24  
УДК 624.04(075)

Рецензенты:

*В. М. Родюшкин* – д-р техн. наук, зав. лабораторией волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты машин института проблем машиностроения РАН  
*Е. В. Алексеева* – директор ООО «ПроектСтрой»

Маркина Ю. Д. Расчет и армирование монолитной железобетонной плиты перекрытия в программном комплексе SCAD Office [Текст]: учеб. пособие/ Ю. Д. Маркина, Б. Б. Лампси, П. А. Хазов; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2020.–70 с. ISBN 978-5-528-00380-1

Пособие позволяет выполнить сбор нагрузок, создание конечно-элементной модели, расчет и подбор арматуры для плоской монолитной железобетонной плиты перекрытия методом конечных элементов, реализованным в программно-вычислительном комплексе SCAD Office. В качестве расчетной схемы предлагается обособленная монолитная плита перекрытия, шарнирно опертая на нижележащие конструкции и воспринимающая только вертикальные нагрузки.

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

ББК 38

ISBN 978-5-528-00380-1

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

## Содержание

Введение.....	5
1. Основы метода конечных элементов.....	7
1.1 Основные идеи и задачи метода конечных элементов.....	7
1.2 Дискретизация.....	8
1.3 Аппроксимация.....	9
1.4 Задание граничных условий и материалов.....	12
1.5 Формирование системы уравнений.....	13
1.6 Получение результата.....	13
1.7 Наиболее распространенные ошибки, возникающие при использовании метода конечных элементов.....	14
1.8 Преимущества и недостатки метода конечных элементов.....	16
2. Задание расчетной схемы.....	18
2.1. Создание нового проекта.....	18
2.2. Задание сетки разбивочных осей.....	19
2.3. Задание геометрии расчетной схемы.....	22
2.3.1. Ввод узлов.....	22
2.3.2. Назначение связей в узлах.....	24
2.3.3. Формирование сетки конечных элементов и назначение жесткостных характеристик.....	26
2.3.4. Оценка и повышение качества триангуляции.....	30
2.3.5. Назначение типа конечных элементов.....	32
2.3.6. Установка дополнительных связей.....	35
3. Сбор и назначение нагрузок.....	38
3.1. Собственный вес плиты.....	38
3.2. Вес покрытия.....	40
3.3. Полезная нагрузка.....	43
4. Расчет и подбор арматуры плиты перекрытия.....	50

4.1.	Контроль правильности создания схемы .....	50
4.2.	Расчетные сочетания усилий и перемещений .....	51
4.3.	Линейный расчет .....	52
4.4.	Графический анализ результатов расчета.....	54
4.5.	Подбор арматуры плиты перекрытия.....	54
4.5.1.	Общие сведения о подборе арматуры.....	54
4.5.2.	Ввод данных для подбора арматуры.....	55
4.5.3.	Подбор арматуры в плите перекрытия.....	57
4.5.4.	Вывод результатов подбора арматуры.....	58
5.	Сравнительный анализ армирования плиты перекрытия в зависимости от выбранной расчетной схемы.....	61
	Приложение 1 .....	64
	Список литературы .....	73

## Введение

Железобетонные плоские перекрытия – наиболее распространенные конструкции в промышленных и гражданских зданиях и сооружениях. Их широкому применению в строительстве способствуют:

- простота изготовления и расход материалов на опалубку (плоская форма и минимальная площадь поверхности из-за отсутствия балок);
- площадь, подвергающаяся последующей отделке;
- возможность применения более жестких бетонов (экономит расход цемента и уменьшает усадку бетона);
- гладкий потолок;
- сравнительно малые габариты перекрытия, что дает экономию кубатуры здания и уменьшает расход на эксплуатацию здания и ограждающие конструкции.

Некоторое время монолитные безбалочные, бескапитальные перекрытия не имели должного распространения из-за неясности в оценке действительной работы конструкции. Это особенно актуально для плит перекрытия многоэтажных зданий, имеющих ряд особенностей: сложную конфигурацию в плане; хаотично расположенные отверстия, балки, опоры различного сечения (диафрагмы, пилоны, колонны); неравномерные осадки опор плиты, обусловленные в большей степени не нагрузкой на плиту рассматриваемого перекрытия, а неравномерным укорочением вертикальных элементов в общей схеме здания.

Одним из решений приведенных выше проблем является расчет методом конечных элементов (МКЭ) с применением вычислительных комплексов SCAD, ЛИРА, МОНОМАХ, Stark-ES и т.п.

Сущность метода конечных элементов состоит в том, что заданная система расчленяется на отдельные элементы конечных размеров очень простой формы, при этом каждый элемент сохраняет все физические и геометрические свойства заданной расчетной схемы. Получая решения для отдельного конечного элемента и объединяя их для всех конечных элементов в единую заданную систему в соответствии с условиями их сопряжения, будем иметь возможность характеризовать напряженно-деформированное состояние расчетной схемы.<sup>1</sup>

В данном пособии предлагается выполнить сбор нагрузок, создание конечно-элементной модели, расчет и подбор арматуры для плоской плиты перекрытия монолитного желе-

---

<sup>1</sup> См.: [13] – с. 72

зобетонного здания методом конечных элементов, реализованным в программно-вычислительном комплексе SCAD Office. В качестве расчетной схемы предлагается обособленная монолитная плита перекрытия, шарнирно опертая на нижележащие конструкции и воспринимающая только вертикальные нагрузки.

Данный тип схемы является наиболее распространенным среди начинающих специалистов за счет своей простоты. Но область ее применения сильно ограничена, так как не учитываются особенности действительной работы конструкции в целом. Применение такой расчетной схемы допустимо лишь в случае, когда горизонтальные нагрузки на здание и деформации основания не оказывают заметного влияния на напряженное состояние конструкций перекрытия. Это имеет место, если несущая система здания (сооружения) включает достаточно мощные ядра и диафрагмы жесткости, а осадки фундаментов удовлетворяют требованиям современных строительных норм и правил. Но даже при этих условиях расчет с использованием такой расчетной схемы дает большую погрешность в сравнении с другими менее распространенными методами расчета, что более подробно описано в главе 5.

# 1. Основы метода конечных элементов

## 1.1. Основные идеи и задачи метода конечных элементов

МКЭ представляет собой эффективный метод решения инженерных задач. В реальных конструкциях почти всегда присутствуют сложные формы, состоящие к тому же из различных материалов. Метод конечных элементов является наиболее популярным численным методом расчета конструкций сложных форм.

Основное отличие МКЭ от классических алгоритмов вариационных принципов и методов невязок заключается в выборе базисных функций. Они берутся в виде кусочно-непрерывных функций, которые обращаются в нуль всюду, кроме ограниченных подобластей, являющихся конечными элементами. Это ведёт к ленточной разреженной структуре матрицы коэффициентов разрешающей системы уравнений. Историческими предшественниками МКЭ были различные методы строительной механики и механики деформируемого твёрдого тела, использующие дискретизацию.

Главные достоинства МКЭ:

- 1) исследуемые объекты могут иметь любую форму и различную физическую природу – твёрдые деформируемые тела, жидкости, газы, электромагнитные среды;
- 2) конечные элементы могут иметь различную форму, в частности криволинейную, и различные размеры;
- 3) реализовано исследование однородных и неоднородных, изотропных и анизотропных объектов с линейными и нелинейными свойствами;
- 4) можно решать как стационарные, так и нестационарные задачи;
- 5) возможность решать контактные задачи;
- 6) возможно моделирование любых граничных условий;
- 7) вычислительный алгоритм, представленный в матричной форме, формально единообразен для различных физических задач и для задач различной размерности, что удобно для компьютерного программирования;
- 8) на одной и той же сетке конечных элементов можно решать различные физические задачи, что облегчает анализ связанных задач;
- 9) разрешающая система уравнений имеет экономичную разреженную симметричную ленточную матрицу «жёсткости», что ускоряет вычислительный процесс на ЭВМ;
- 10) удобно осуществляется иерархическая дискретизация исследуемой области на подобласти с образованием суперэлементов, что позволяет эффективно использовать параллельное решение задачи.



Сегодня МКЭ является мощным инструментом инженерного анализа и физических исследований благодаря созданию пакетов компьютерных программ, которые не только реализуют вычислительный процесс МКЭ, но и имеют удобный интерфейс для ввода исходных данных, контроля процесса вычислений и обработки результатов расчёта.

## 1.2. Дискретизация

Анализ методом конечных элементов начинается с дискретизации исследуемой области (области задачи) и делении ее на ячейки сетки. Такие ячейки называют *конечными элементами* (рис.1.1.).

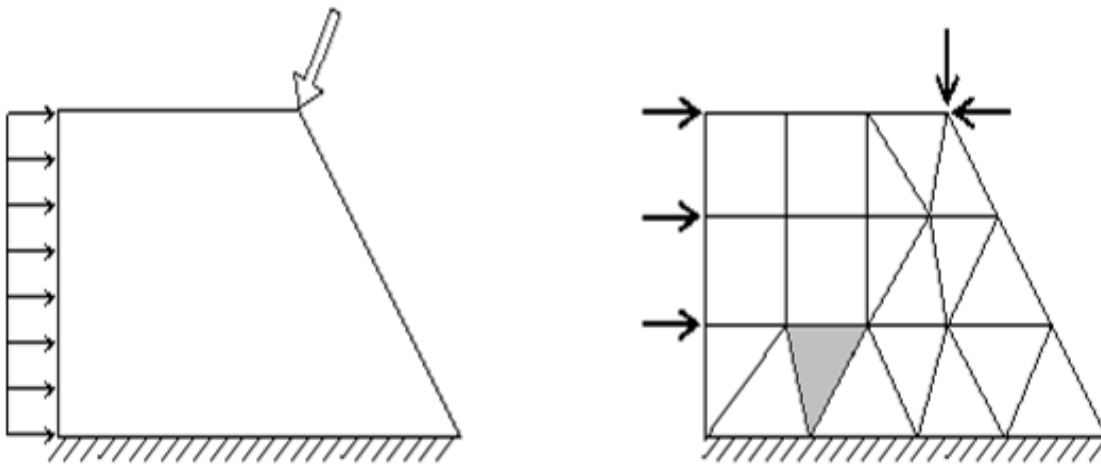


Рис.1.1. Создание сетки конечных элементов

Конечные элементы могут иметь различную форму. В отличие от реального сооружения в дискретной модели конечные элементы связываются между собой только в отдельных точках (*узлах*) определенным конечным числом *узловых параметров*.

Выбор подходящих элементов с нужным количеством узлов из библиотеки доступных элементов является одним из наиболее важных решений, которые приходится принимать пользователю пакета конечно-элементного анализа. Конструктору также приходится задавать полное количество элементов (другими словами, их размер).

Основная **проблема МКЭ** – построение сетки, особенно для объекта сложной геометрии. Создание трехмерных сеток конечных элементов обычно представляет собой трудоемкий и кропотливый процесс.

Классическая форма метода конечных элементов называется *h-версия*. В качестве функции формы в данном методе применяются кусочные полиномы фиксированных степе-

ней, а повышение точности достигается уменьшением размера ячейки. В  $p$ -версии используется фиксированная сетка, а точность повышается благодаря увеличению степени функции формы. Общее правило состоит в том, что чем больше количество узлов и элементов (в  $h$ -версии) или чем выше степень функции формы ( $p$ -версия), тем точнее оказывается решение, но тем дороже оно стоит с вычислительной точки зрения. Одной из САПР, в которой реализована  $p$ -версия МКЭ, является Pro/Engineer(CREO).

### **Ансамблирование:**

Ансамблирование или сборка представляет собой объединение отдельных элементов в конечно-элементную сетку. С математической точки зрения ансамблирование состоит в объединении матриц жесткости отдельных элементов в одну глобальную матрицу жесткости всей конструкции. При этом существенно используются две системы нумерации узлов элементов: локальная и глобальная. Локальная нумерация представляет собой фиксированную нумерацию узлов для каждого типа конечных элементов в соответствии с введенной локальной системой координат на элементе. Глобальная нумерация узлов всей конструкции может быть совершенно произвольной, как и глобальная нумерация конечных элементов. Однако между локальными номерами и глобальными номерами узлов существует взаимно однозначное соответствие, на основе которого и формируется глобальная система конечно-элементных уравнений.

## **1.3. Аппроксимация**

МКЭ относится к методам дискретного анализа. Однако в отличие от численных методов, основывающихся на математической дискретизации дифференциальных уравнений, МКЭ базируется на физической дискретизации рассматриваемого объекта. Реальная конструкция как сплошная среда с бесконечно многим числом степеней свободы заменяется дискретной моделью связанных между собой элементов с конечным числом степеней свободы. Так как число возможных дискретных моделей для континуальной области неограниченно велико, то основная задача заключается в том, чтобы выбрать такую модель, которая лучше всего аппроксимирует данную область.

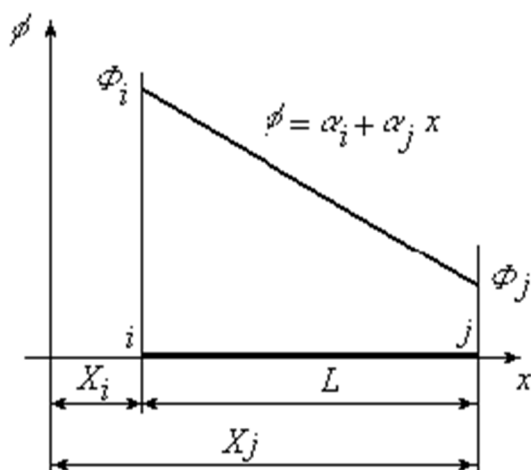
Сущность аппроксимации сплошной среды по МКЭ состоит в следующем:

1. Рассматриваемая область разбивается на определенное число КЭ, семейство элементов во всей области называется *системой* или *сеткой конечных элементов*;
2. Предполагается, что КЭ соединяются между собой в конечном числе точек – *узлов*, расположенных по контуру каждого из элементов;
3. Для каждого КЭ задается аппроксимирующий полином.

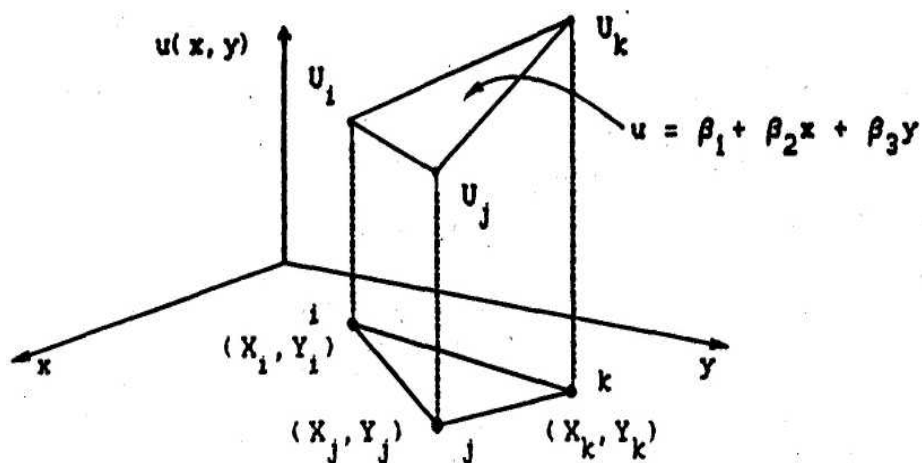
### Аппроксимирующие функции:

Аппроксимирующий полином для одномерного КЭ:  $u(x) = \sum_{i=0}^r \alpha_i x^i$

Пример для одномерного КЭ:



Пример для двумерного КЭ:



Аппроксимирующий полином второго порядка:

$$u^e(x, y) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 x^2 + \beta_5 xy + \beta_6 y^2$$

Степень аппроксимирующего полинома определяет число узлов, которым должен обладать элемент, – оно должно равняться числу неизвестных коэффициентов  $\alpha_i$ , входящих в полином.

Искомые функции в пределах каждого КЭ (например, распределение перемещений, деформаций, напряжений и т. д.) с помощью *аппроксимирующих функций* выражаются через узловые значения, представляющие собой *основные неизвестные МКЭ*.

Искомая аппроксимирующая функция:

$$u(\bar{x}) = \sum_{i=0}^r h_i(\bar{x}) q^i$$

$h(x)$  - координатные/базисные функции, т.н. функция формы;

$q$  - неизвестные коэффициенты (значения в узлах).

В матричном виде:

$$\bar{U}(\bar{x}) = \bar{H}\bar{U}$$

Аппроксимация, как правило, дает приближенное, а не точное, описание действительного распределения искомых величин в элементе. Поэтому результаты расчета конструкции в общем случае также являются приближенными. Закономерно может быть поставлен вопрос о точности, устойчивости и сходимости решений, полученных МКЭ.

Под **точностью** понимается отклонение приближенного решения от *точного* или *истинного решения*. **Устойчивость**, прежде всего, определяется ростом *ошибок* при выполнении отдельных вычислительных операций. Неустойчивое решение является результатом неудачного выбора аппроксимирующих функций, «плохой» разбивки области на КЭ, некорректного представления граничных условий и т. п.

Под **сходимостью** подразумевается постепенное приближение последовательных решений к *предельному*, по мере того, как уточняются параметры дискретной модели, такие как размеры элементов, степень аппроксимирующих функций и т. п. В этом смысле понятие сходимости аналогично тому значению, которое оно имеет в обычных итерационных процессах. Таким образом, в сходящейся процедуре различие между последующими решениями уменьшается, стремясь в пределе к нулю.

Перечисленные выше понятия иллюстрируются рис. 1.2. Здесь абсцисса обозначает степень уточнения параметров дискретной модели, а ордината определяет полученное при этом уточнении приближенное решение. На графике показан монотонный тип сходимости, при котором точность решения повышается плавно.

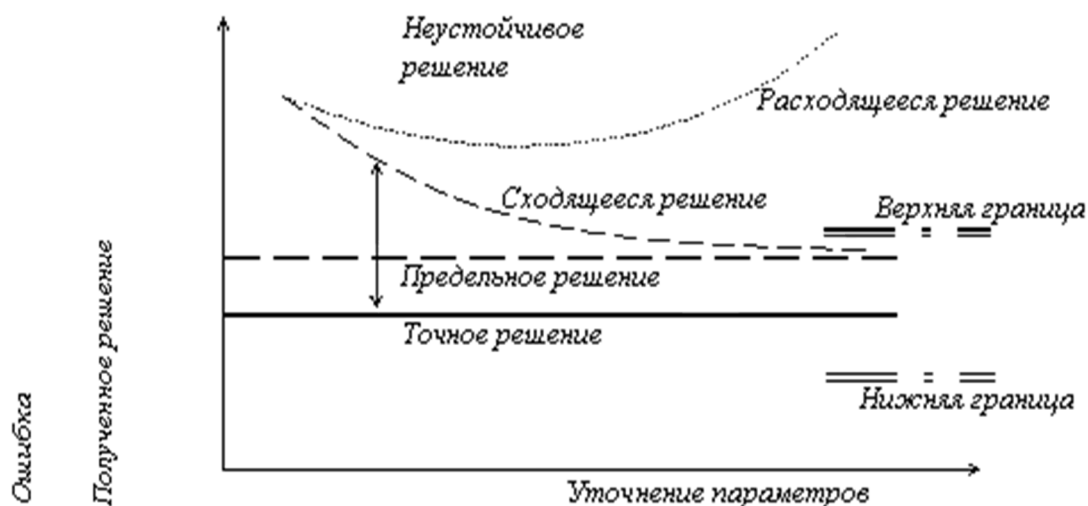


Рис. 1.2. Зависимость решения от параметров

#### 1.4. Задание граничных условий и материалов

Аппроксимировав область задачи набором дискретных конечных элементов, мы должны задать характеристики материала и граничные условия для каждого элемента. Указав различные характеристики для различных элементов, мы можем анализировать поведение объекта, состоящего из различных материалов.

Согласно терминологии математической физики, рассматривающей различные дифференциальные уравнения, описывающие физические поля, с единой математической точки зрения, граничные или краевые условия для данных дифференциальных уравнений делятся на два основных типа: *существенные* и *естественные*. Обычно, существенные условия накладываются на искомую функцию, а естественные – на ее производные по пространственным координатам.

С позиции метода конечных элементов существенные граничные условия – это такие, которые непосредственно влияют на степени свободы модели и накладываются на компоненты глобального вектора неизвестных  $U$  (перемещения). Наоборот, естественные граничные условия – это такие, которые опосредованно влияют на степени свободы через глобальную систему конечно-элементных уравнений и накладываются на правую часть системы – вектор  $F$  (действующие силы).

В задачах механики, как правило, к существенным граничным условиям относят те, которые включают в себя *перемещения* (но не деформации, представляющие собой производные перемещений по пространственным координатам). Согласно терминологии теории упругости, такие граничные условия называются *кинематическими*. Например, заделка

и шарнирное опирание в стержневых задачах представляют собой существенные, или кинематические, граничные условия, наложенные на прогиб или продольные перемещения точек стержня. Заметим, что в задаче изгиба стержня к существенным условиям относится также условия, наложенные на первую производную по продольной координате от прогиба стержня, которая имеет механический смысл угла поворота сечения стержня. Тоже можно сказать об углах поворота сечений в теории изгиба пластин.

К естественным граничным условиям в механических приложениях МКЭ относят условия, наложенные на различные внешние силовые факторы, действующие на точки поверхности тела – сосредоточенные силы и моменты в стержневых задачах; распределенные силы в двумерных и трехмерных задачах. Такие ограничения носят название *силовых* граничных условий.

В постановках задач механики сплошной среды, и в частности теории упругости, широко используются *смешанные* граничные условия. Это означает, что в данной точке поверхности тела одновременно заданы некоторые компоненты перемещений и поверхностных сил.

Перечисленные три варианта граничных условий наиболее распространены в чисто механических приложениях МКЭ.

Кроме граничных условий, для разрешения уравнений необходимо задать **характеристики материала** для каждого КЭ, из которого изготавливается объект исследования. К примеру, в исследовании напряженно деформированного состояния параметры определяют связь напряжения и деформации.

## 1.5. Формирование системы уравнений

После задания граничных условий и материала программа конечно-элементного анализа формирует систему уравнений, связывающую граничные условия с неизвестными, после чего решает эту систему относительно неизвестных.

## 1.6. Получение результата

После нахождения значений неизвестных пользователь получает возможность рассчитать значение любого параметра в любой точке любого конечного элемента по той же искомой функции, которая использовалась при построении системы уравнений. Выходные данные программы анализа методом конечных элементов обычно представляются в числовой форме. В задачах механики твердых тел выходными данными являются смещения и напряжения. В задачах на теплоперенос выходными данными является температура и тепловые

потоки через конкретные элементы. Однако по числовым данным пользователю бывает затруднительно получить общее представление о поведении соответствующих параметров. Графические изображения обычно более информативны, поскольку дают возможность изучить поведение параметров на всей области задачи.

### **1.7. Наиболее распространенные ошибки, возникающие при использовании метода конечных элементов**

Критерии устойчивости, сходимости и точности в основном определяются погрешностями различного рода операций, проводимых в МКЭ. Наряду с обычными ошибками округления и погрешностью приближенных методов линейной алгебры, применяемых в МКЭ, есть и ошибки, имеющие непосредственное отношение к методу конечных элементов. Разбиение области на КЭ не является единственным. Зависимость расчета от выполняемого пользователем выбора (построения) сетки КЭ и трудность оценки точности получаемых результатов является основными недостатками метода.

Погрешности метода конечных элементов связаны с:

- *ошибками дискретизации*, являющиеся результатом различий между действительной геометрией рассчитываемой области и ее аппроксимацией системой конечных элементов;
- *ошибками аппроксимации*, обусловленные разностью между действительным распределением искоемых функций в пределах КЭ и их представлением с помощью аппроксимирующих функций.

Ошибки дискретизации уменьшаются с увеличением числа конечных элементов и соответственно с уменьшением их размеров, причем они стремятся к нулю, когда размер элемента стремится к нулю. Эти ошибки уменьшаются и с применением криволинейных элементов на соответствующих границах области. Ошибки аппроксимации не обязательно уменьшаются по мере уменьшения размеров элементов или повышения степени аппроксимации, поэтому могут ухудшать сходимость к точному решению или даже приводить к расходимости.

Однако общий метод оценки (универсальный и теоретически обоснованный) погрешности МКЭ на сегодня отсутствует, а точное решение в реальных задачах обычно неизвестно. Поэтому наиболее часто для оценки погрешности используют следующий прием: выполняют несколько расчетов при различных разбиениях области КЭ, по результатам этих расчетов строится зависимость рассчитанных напряжений (перемещений, деформаций) от размера элемента, затем выполняется экстраполяция на случай размера элемента, стремящегося к нулю.

Однако эти ошибки аппроксимации можно свести к минимуму, если при построении аппроксимирующих функций обеспечить:

1) *непрерывность* искомой функции и ее производных при переходе через границу КЭ до степени  $m-1$  включительно ( $m$  – наибольший порядок производных искомой функции содержащихся в функционале);

2) выполнение условий *полноты*, т. е. при уменьшении размеров КЭ аппроксимирующие функции должны обеспечить стремление значений искомой функции, а также ее производных к постоянным значениям;

3) выполнение условий *совместности* искомой функции и частично ее производных на границе между смежными элементами;

4) приближенное удовлетворение условий совместности неосновных переменных (например, напряжений, если основные неизвестные – перемещения) на границах КЭ, а также *граничных условий* в рассматриваемой области;

5) исключение *концентрации напряжений* в КЭ, если в рассматриваемой области такие концентрации заведомо отсутствуют;

6) при перемещениях КЭ как *жесткого целого* в нем не должны возникать деформации.

Требование полноты аппроксимирующих функций необходимо для учета смещения КЭ как жесткого целого и обеспечения состояния постоянных деформаций в элементе. Механический смысл совместности заключается в непрерывности основных неизвестных на смежных границах соседних КЭ. В сложных эрмитовых элементах выполнение условий совместности достигается сложнее. Между тем имеются случаи, когда несовместные элементы дают очень хорошие результаты при быстрой сходимости решения к точному.

Отметим еще одну важную с точки зрения практики расчетов особенность метода. МКЭ (в рассмотренной постановке) подбирает поле перемещений так, чтобы минимизировать некоторый функционал, имеющий энергетический смысл. Поэтому точность определения упругой энергии, запасенной в конструкции при заданных нагрузках, оказывается выше, чем точность определения перемещений. Точность определения напряжений оказывается ниже, чем точность определения перемещений, поскольку напряжения определяются по деформациям, получаемым дифференцированием перемещений, и ошибки численного дифференцирования могут играть заметную роль.

С учетом ошибок округления ситуация оказывается более сложной: при большом числе элементов  $N$  решение может расходиться из-за накапливающихся ошибок округления, даже если условия сходимости выполняются.



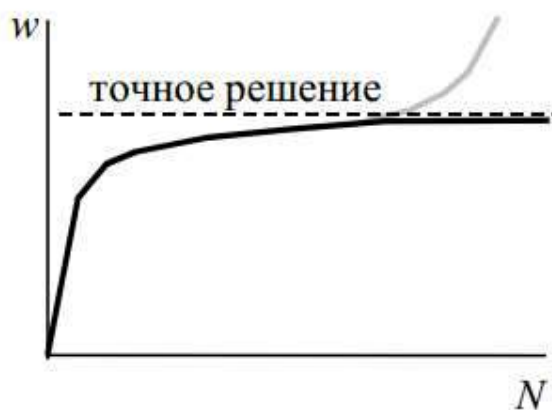


Рис.1.3. Влияние частоты разбиения на точность

Эти ошибки наиболее существенны, если конечные элементы сильно вытянуты или имеют углы, величина которых близка к  $0^\circ$  или  $180^\circ$ . В этом случае расчет напряженно-деформированного состояния элемента становится плохо обусловленным (часть вблизи очень острого угла "не чувствует", что происходит в остальном элементе). С целью не допустить здесь больших ошибок разработчики пакетов КЭ обычно ограничивают отношение сторон элемента и величины углов; в пакеты вводятся специальные средства проверки элементов, рекомендуемые пользователю - если необходимо - перестроить сетку или делающие это автоматически. Наилучшим в этом смысле являются КЭ в виде правильных многоугольников (квадрат, равносторонний треугольник, куб, правильный тетраэдр); приемлемыми являются элементы с отношением сторон до - примерно 1:4 и углами от  $25^\circ$  до  $155^\circ$ .

В настоящее время, при отсутствии общей теории оценки погрешности МКЭ, в реальных задачах практически единственным методом оценки точности является построение зависимостей типа показанной на рис 1.3. (зависимость результатов - напряжений, перемещений - от разбиения) и их экстраполяция с учетом опыта.

## 1.8. Преимущества и недостатки метода конечных элементов

В настоящее время область применения метода конечных элементов очень обширна и охватывает все физические задачи, которые могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Наиболее важными преимуществами метода конечных элементов, благодаря которым он широко используется, являются следующие:

1. Свойства материалов смежных элементов не должны быть обязательно одинаковыми. Это позволяет применять метод к телам, составленным из нескольких материалов.

2. Криволинейная область аппроксимирована с помощью прямолинейных элементов или описана точно с помощью криволинейных элементов. Таким образом, метод можно использовать не только для областей с "хорошей" формой границы.

3. Размеры элементов могут быть переменными. Это позволяет укрупнить или измельчить сеть разбиения области на элементы, если в этом есть необходимость.

4. Указанные выше преимущества метода могут быть использованы при составлении достаточно общей программы для решения частных задач определенного класса.

Главный недостаток метода конечных элементов заключается в необходимости составления вычислительных программ и применения вычислительной техники. Вычисления, которые требуется проводить при использовании метода конечных элементов, слишком громоздки для ручного счета даже в случае решения очень простых задач. МКЭ является очень ресурсоемким методом с точки зрения затрат вычислительных ресурсов.

Метод конечных элементов является одним из наиболее распространенных методов проведения инженерных анализов разрабатываемых деталей. С помощью данного метода можно исследовать детали любой сложности и неоднородными материалами. В большинстве современных САПР есть возможность проведение инженерного анализа с применением МКЭ. Популярность МКЭ обусловлена его результативностью и возможностью решения широкого спектра задач.

## 2. Задание расчетной схемы

### 2.1. Создание нового проекта

Для начала работы необходимо загрузить вычислительный комплекс и создать новый проект.

После нажатия кнопки **Новый проект**, на экране появляется одноименное диалоговое окно (рис. 2.1.), в котором указываются параметры расчетной схемы и информация о проекте.

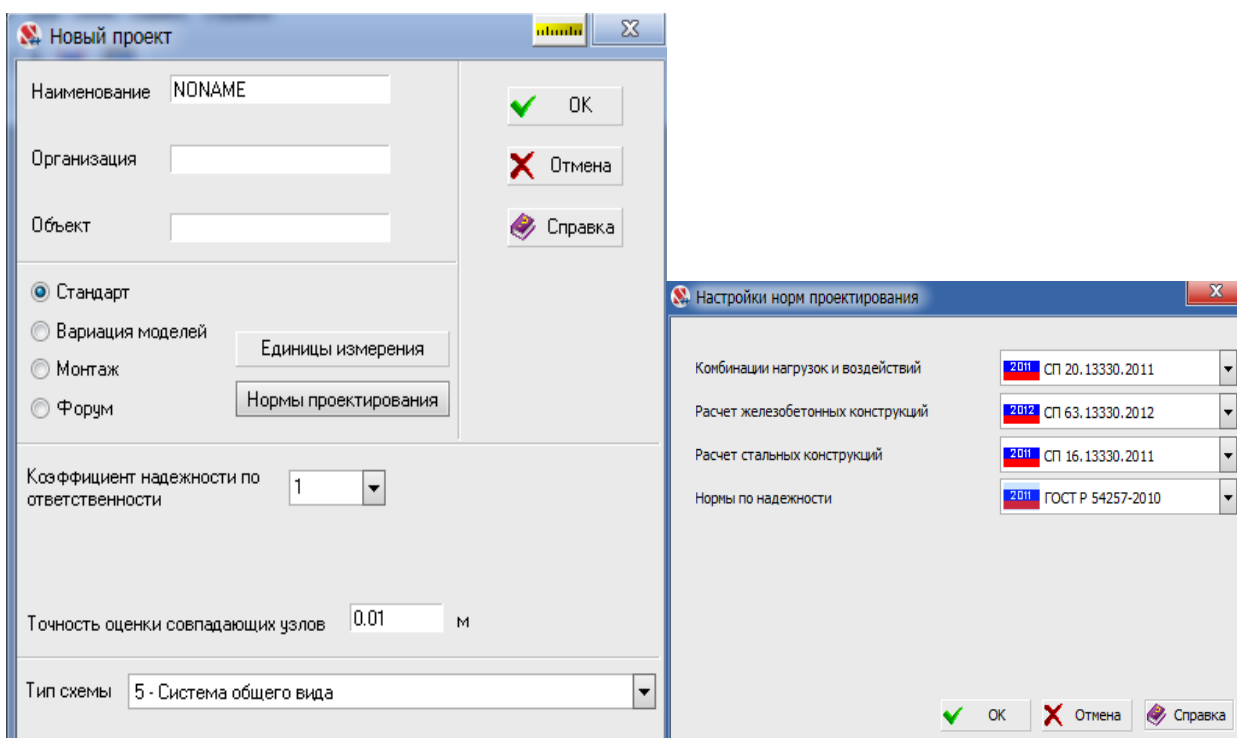


Рис. 2.1. Диалоговое окно **Новый проект**

Кнопками **Единицы измерения** и **Нормы проектирования** вызываются диалоговые окна, в которых производятся настройки соответствующих параметров. По умолчанию силы задаются в тоннах, размеры расчетной схемы в метрах, размеры сечений в сантиметрах. Из списков норм проектирования необходимо выбрать актуализированные редакции сводов правил (СП) действующих на территории Российской Федерации.

Коэффициент надежности по ответственности принимаем равным 1,0 в соответствии с табл.2. для сооружений класса КС-2 нормального уровня ответственности.

Тип расчетной схемы определяет состав и максимальное количество степеней свободы в узлах схемы, характеризует особенности ее напряженно-деформированного состояния.

Выбранный тип схемы должен включать все необходимые степени свободы для используемых конечных элементов. По умолчанию установлен тип 5 — система общего вида, в которой каждый узел имеет шесть степеней свободы: линейные перемещения  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и углы поворота  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$  (для данной задачи также подходит тип 3 – балочный ростверк, плита).

После нажатия кнопки **ОК** диалоговое окно закрывается с автоматическим сохранением введенной информации, на экране появляется окно **Сохранить как**, в котором задаются имя и путь файла нового проекта.

После создания файла проекта управление передается **Дереву проекта**, а после открытия раздела **Расчетная схема** - графическому препроцессору, в котором формируется расчетная схема.

## 2.2. Задание сетки разбивочных осей

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

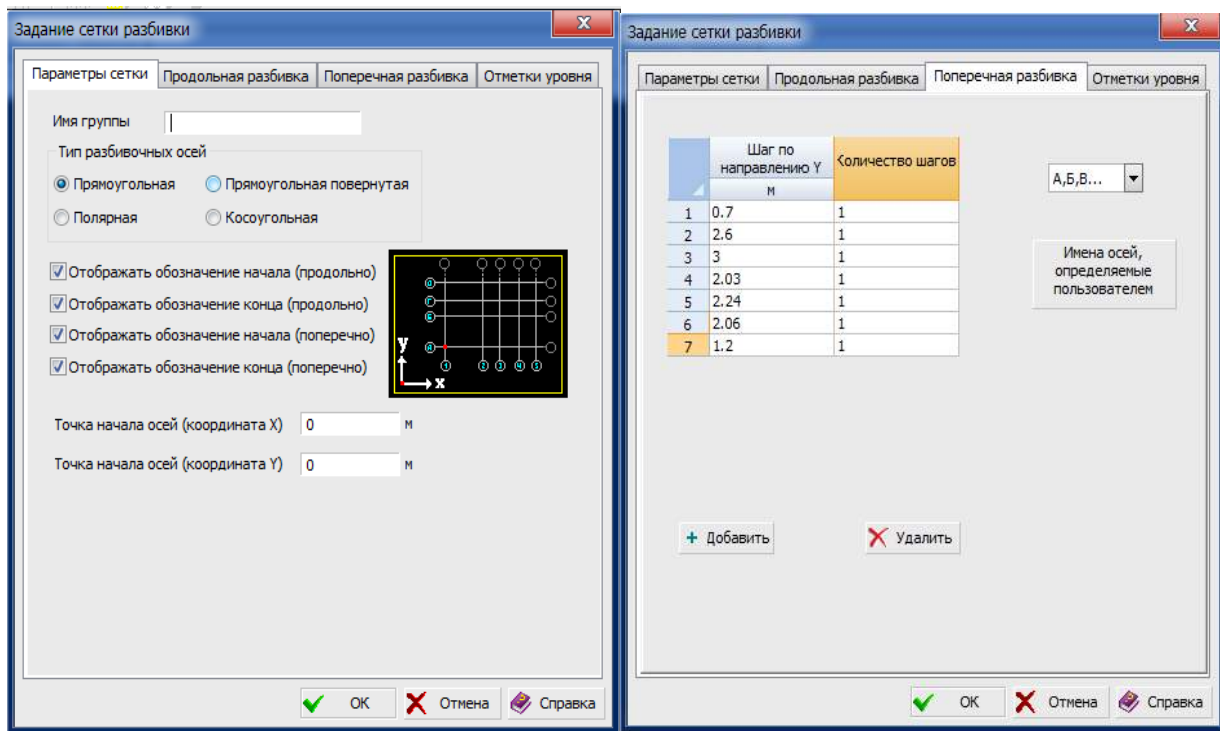


Рис. 2.2. Диалоговое окно **Задание сетки разбивки**

На странице **Параметры сетки** (рис. 2.2.) назначаются вид осей и имя участка, задаются координаты точки привязки участка осей в общей системе координат модели. Правила

отображения марок осей определяются активными маркерами. В зависимости от типа осей на этой странице задаются дополнительные данные.

Выбираем тип разбивочных осей – прямоугольная сетка.

На страницах **Продольная разбивка** и **Поперечная разбивка** задаем данные, с использованием плана перекрытия (рис. 2.4.), необходимые для формирования осей, соответственно, по направлению оси "Y" и по направлению оси "X".

Имена разбивочных осей могут формироваться автоматически или задаваться пользователем. По умолчанию продольные оси имеют цифровые марки в порядке возрастания от "1", а поперечные — буквенные в алфавитном порядке.

Для активации отображения осей используется кнопка **Отображение разбивочных осей** (рис.2.3.) на панели фильтров. В программе предусмотрены различные варианты вывода осей: все участки одновременно или в любой их комбинации, целиком или с выбором фрагмента любого из участков, также можно активировать отображение сетки и размеров.

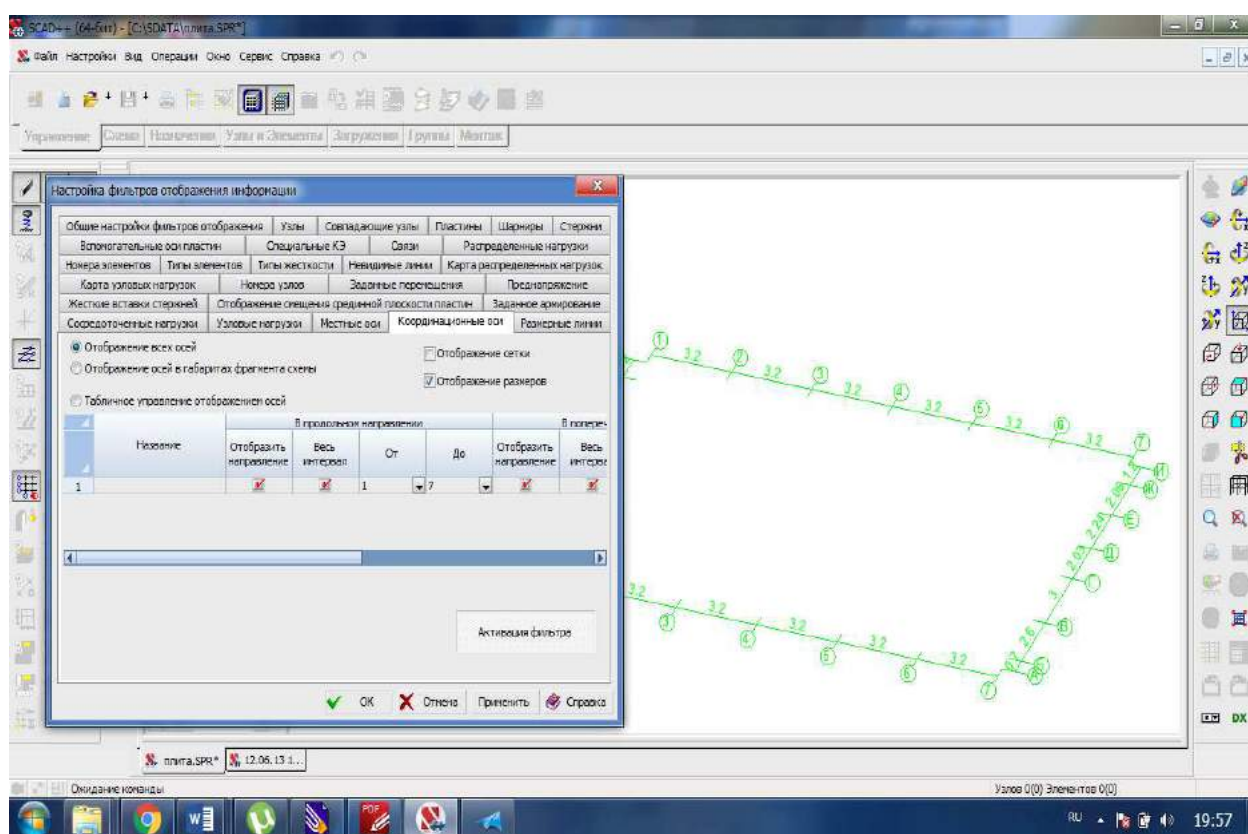


Рис. 2.3. Настройка фильтра отображения осей

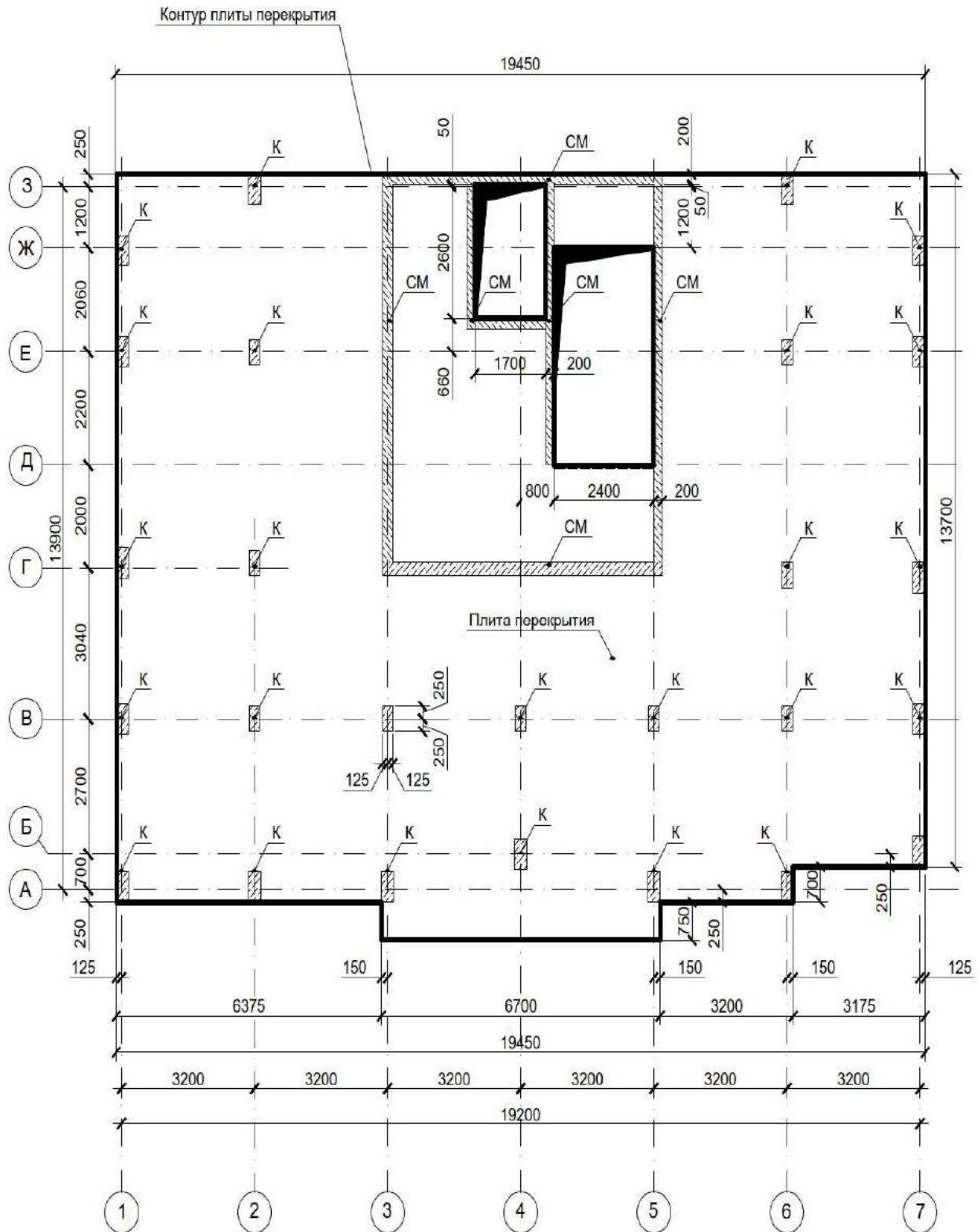


Рис. 2.4. Монолитная плита перекрытия

## 2.3. Задание геометрии расчетной схемы

### 2.3.1. Ввод узлов

Сетку разбивочных осей удобно использовать при задании геометрии расчетной схемы, для этого необходимо привязать к сетке узлы. Кнопка вызова операции генерации узлов **Генерация узлов на пересечении разбивочных осей** расположена в группе **Узлы** раздела **Узлы и Элементы** инструментальной панели. Операция позволяет ввести узлы на пересечении осей в заданной области сетки.

Предварительно вводим узлы на пересечении всех разбивочных осей (участвуют в пересечении → весь интервал), как показано на рис. 2.5.

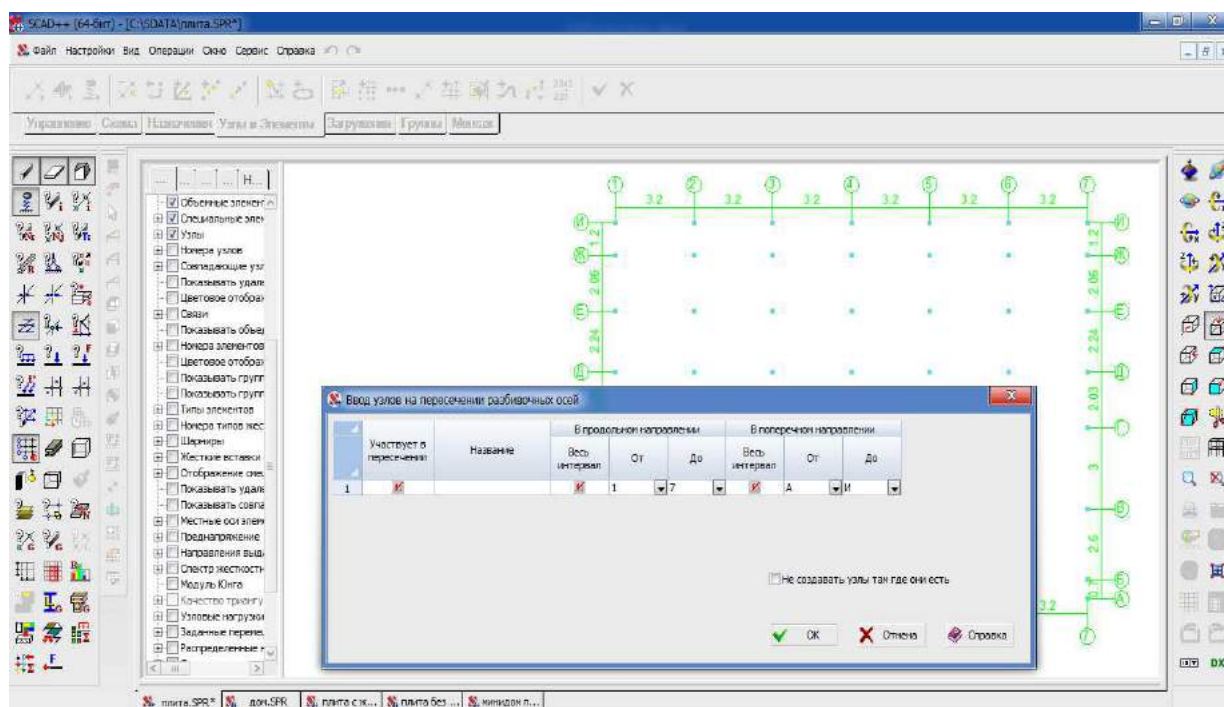


Рис. 2.5. Ввод узлов на пересечении разбивочных осей

*После этого можно удалить лишние узлы, в которых не подразумевается установка колонн, стен, диафрагм и устройство отверстий под лифты.*

Как правило, контур плиты без консолей выходит за оси на половину сечения колонны. Опираясь на данные рис. 2.4., строим узлы контура плиты. Для этого можно использовать команду **Узлы и Элементы** → **Узлы** → **Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных**, которая позволяет ввести новые узлы, располагающиеся на заданном расстоянии от выбранных на схеме узлов-прототипов. После нажатия кнопки появляется диалоговое окно

**Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных** (рис. 2.6.), в таблице которого задаются приращения к координатам выбранных узлов и их количество. Значения, заданные в каждой последующей строке, рассматриваются как приращения к координатам узлов, введенных по значениям предыдущей строки.

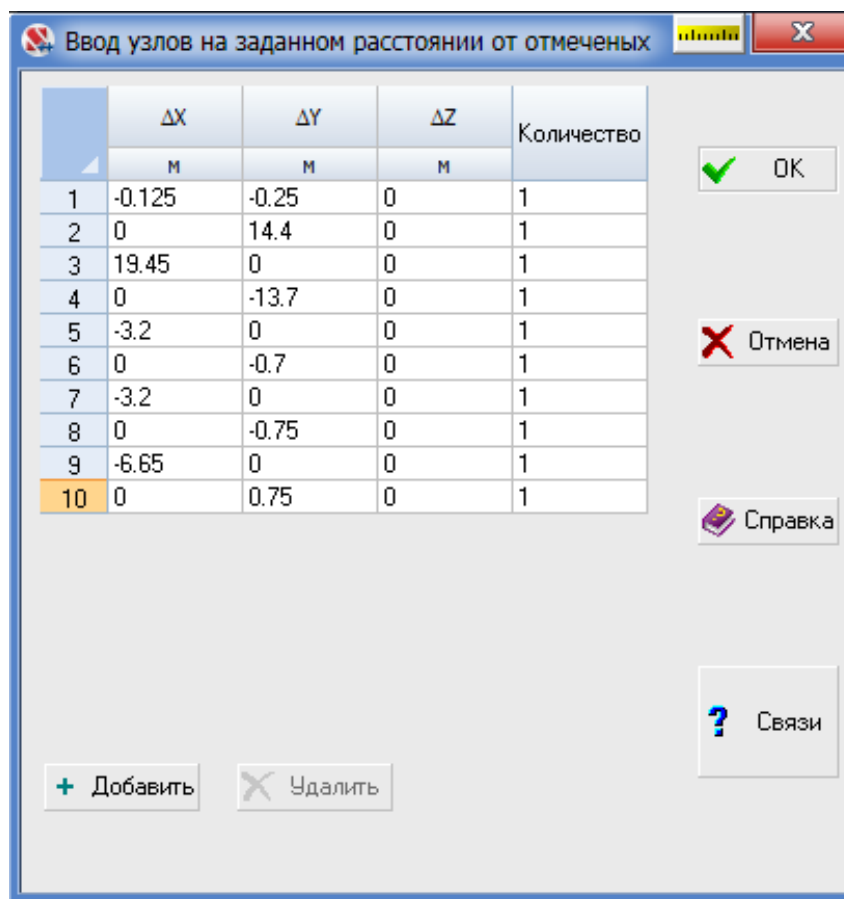


Рис. 2.6. Диалоговое окно **Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных**

*Первой строкой вводим в окне расстояние от узла 1, расположенного на пересечении осей 1 и А, до нижнего левого узла контура плиты ( $\Delta X = -0,125$ ;  $\Delta Y = -0,25$ ). Второй строкой вводим расстояние от нижнего левого узла контура плиты до верхнего левого узла контура плиты ( $\Delta X = 0$ ;  $\Delta Y = 14,4$ ). Третьей строкой записываем расстояние от верхнего левого узла контура плиты до верхнего правого узла контура плиты ( $\Delta X = 19,45$ ;  $\Delta Y = 0$ ) и т.д.*

После задания всех необходимых узлов выходим из окна, нажав кнопку **ОК**. Выбираем на схеме узел-прототип (нижний левый узел 1 на пересечении осей 1 и А) и нажимаем кнопку **ОК** инструментальной панели.

*Теперь введем узлы, определяющие положение шахт грузового и пассажирского лифтов.*



Для этого воспользуемся командой **Узлы и Элементы** → **Узлы** → **ввод дополнительных узлов между узлами**.

Эта операция позволяет добавить новые узлы на прямой, проходящей через два выбранных узла. После активации операции появляется диалоговое окно **Ввод дополнительных узлов между узлами**, в котором следует выбрать операцию **Ввод одного узла на заданном расстоянии от первого выбранного узла**. Для выбора операции необходимо активировать соответствующий маркер в окне, а затем ввести расстояние от первого отмеченного узла в метрах (2.5м). После выхода из окна по нажатию кнопки **ОК** нужно:

- выбрать первый узел (*оси 5/Ж*);
- выбрать второй узел (*оси 4/Ж*);
- нажать кнопку **ОК** в разделе инструментальной панели **Узлы** или клавишу **Enter**.
- выбрать первый узел (*оси 5/Д*);
- выбрать второй узел (*оси 4/Д*);
- нажать кнопку **ОК** в разделе инструментальной панели **Узлы** или клавишу **Enter**.

Предложенный способ формирования расчетной схемы является одним из множества возможных вариантов.

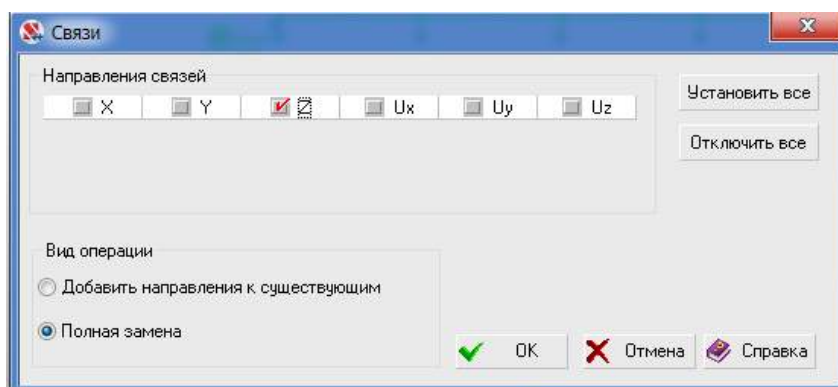
Остальные узлы можно построить с использованием любых инструментов режима **Узлы**.

### 2.3.2. Назначение связей в узлах

При расчете с использованием триангуляции назначение связей целесообразно выполнить перед генерацией сетки конечных элементов, которая повлечёт за собой появление большого количества дополнительных узлов, что, в свою очередь, затруднит поиск узлов для закрепления.

Связи в узлах назначаются в разделе **Назначения** инструментальной панели. После нажатия кнопки **Установка связей** в узлах появляется диалоговое окно **Связи** (рис. 2.7.).

Для назначения связей отмечаем направления степеней свободы, по которым накладываются связи (*вдоль оси Z*). Затем нажимаем кнопку **ОК** в диалоговом окне, выбираем на схеме необходимые узлы (*узлы опирания плиты на колонны, монолитные стены и диафрагмы жесткости*) и выполняем операцию нажатием кнопки **ОК** в разделе **Назначения**.

Рис. 2.7. Диалоговое окно **Связи**

Для того чтобы система была геометрически неизменяемой, необходимо также ввести как минимум в 2 узлах опирания плиты связи в направлениях X, Y, Z и Uz.

Для отображения связей на схеме достаточно нажать левой кнопкой мыши на кнопку **Связи** панели фильтров. Для настройки параметров отображения необходимо нажать правой кнопкой мыши на кнопку **Связи** панели фильтров. В появившемся диалоговом окне **Настройка фильтров отображения информации** (рис. 2.8.) выбрать **Цветовое отображение связей** и установить маркер **Маркировка по направлениям** или **Маркировка по комбинациям направлений**. После этого активировать фильтры и выйти из диалогового окна нажатием кнопки **ОК**.

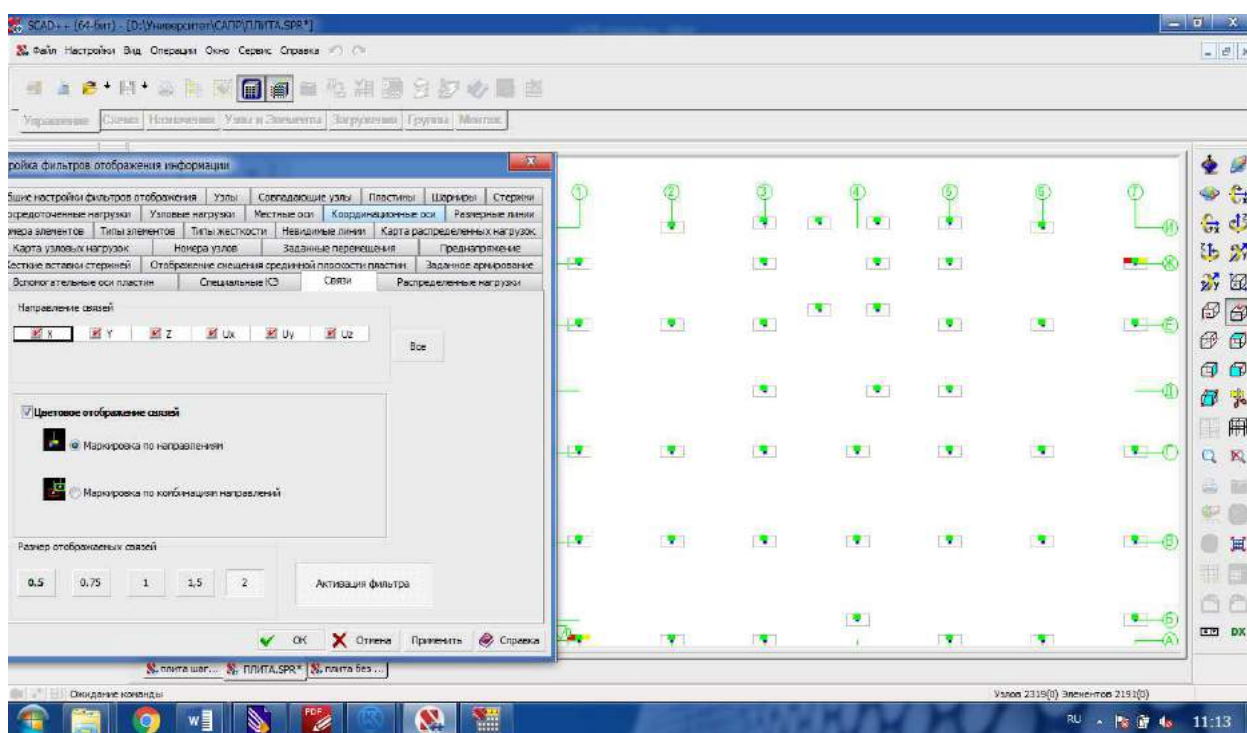


Рис. 2.8. Настройка фильтра отображения связей

### 2.3.3. Формирование сетки конечных элементов и назначение жесткостных характеристик

Одним из наиболее универсальных средств формирования сеток конечных элементов является автоматическая триангуляция замкнутой области произвольной формы на плоскости. В комплексе возможно выполнить триангуляцию как фрагмента готовой схемы, так и новой модели.

Операция **Генерация сетки произвольной формы на плоскости** расположена в разделе **Схема** инструментальной панели. Управление триангуляцией осуществляется кнопками, которые объединены в инструментальную панель окна задачи и появляются после инициализации триангуляции (рис. 2.9.).



Рис. 2.9. Инструментальная панель управления триангуляцией

Перед тем как выполнить триангуляцию, нужно задать контур, ограничивающий её область. Контур задается с помощью замкнутой ломаной линии, проходящей через заранее введенные опорные узлы. Также, в качестве контура можно использовать стержневые элементы, лежащие на границе области триангуляции. В случае, если область триангуляции содержит внутренние области, в которых триангуляция не выполняется (например, отверстия), каждая из таких областей должна задаваться с помощью нового контура.

При вводе контура необходимо придерживаться следующих правил:

- при вводе участка контура не обязательно фиксировать узлы, лежащие на прямой, соединяющей опорные узлы. Они вводятся в контур автоматически. Исключением составляет триангуляция «только на узлах контура», при выполнении которой учитываются только отмеченные узлы;

- замыкание контура производится указанием на первый узел или двойным щелчком мыши после ввода последнего узла;

- не допускается наличие узлов, имеющих одинаковые координаты или расположенных друг от друга на расстоянии, которое меньше или равно значению точности оценки совпадающих узлов, как по контуру, так и внутри него;

- внутри контура не должно быть узлов (в том числе принадлежащих другим контурам), лежащих от контура на расстоянии менее  $0,15$  заданного шага триангуляции. Наличие

таких узлов приводит к появлению вырожденных треугольников, что провоцирует прерывание процесса триангуляции;

- внутренние контуры не могут касаться наружного контура, пересекать или касаться друг друга;

- не допускается присутствие внутренних контуров, лежащих вне контура, ограничивающего область триангуляции.<sup>2</sup>

Если контур был задан некорректно, то его сброс выполняется нажатием кнопки **Отказ от результатов триангуляции**.

Руководствуясь всеми перечисленными выше правилами необходимо:

- активировать команду **Задание контура** и обвести «резиновой нитью» узлы, лежащие в угловых точках внешнего контура плиты (рис. 2.10.);

- повторить предыдущую операцию для внутреннего контура лифтов (рис. 2.10.);

- после задания контура нажать кнопку **Генерация треугольной сетки КЭ на плоскости**.

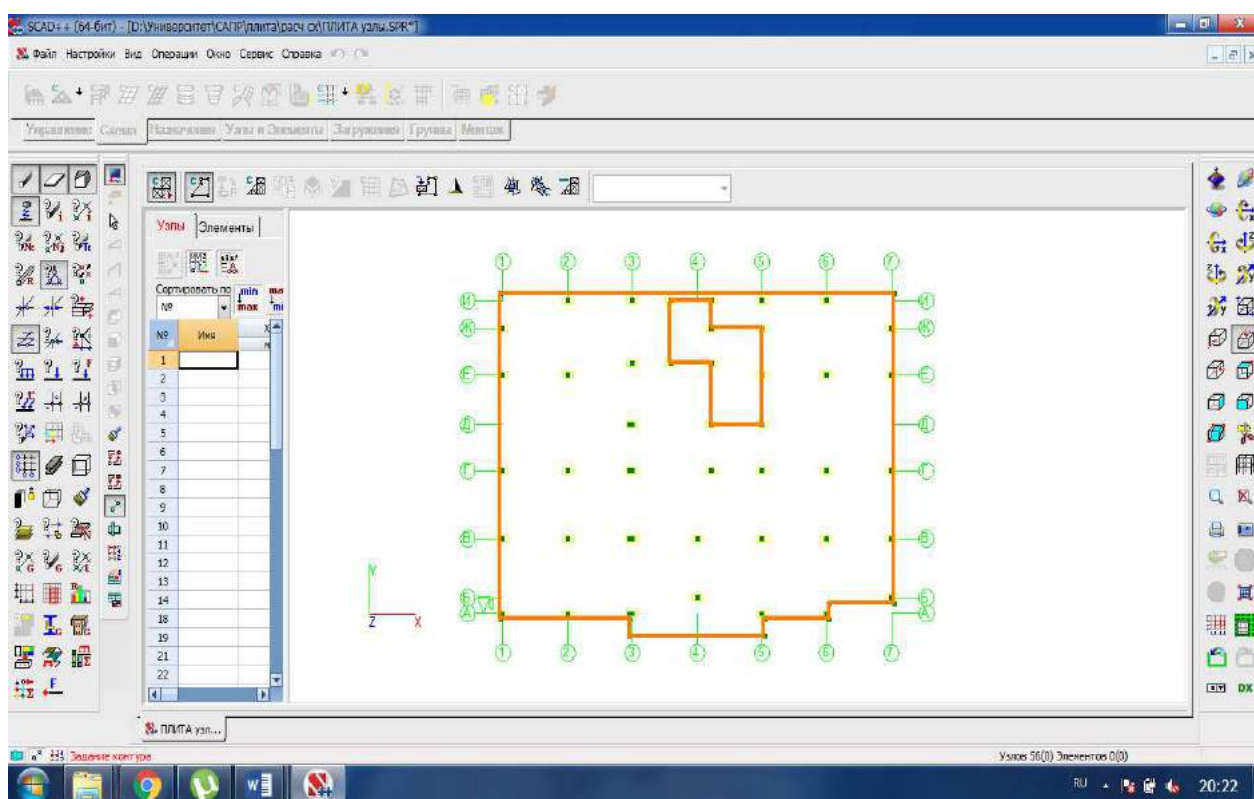


Рис. 2.10. Задание контура триангуляции

<sup>2</sup> См.: [2] – с. 202-215

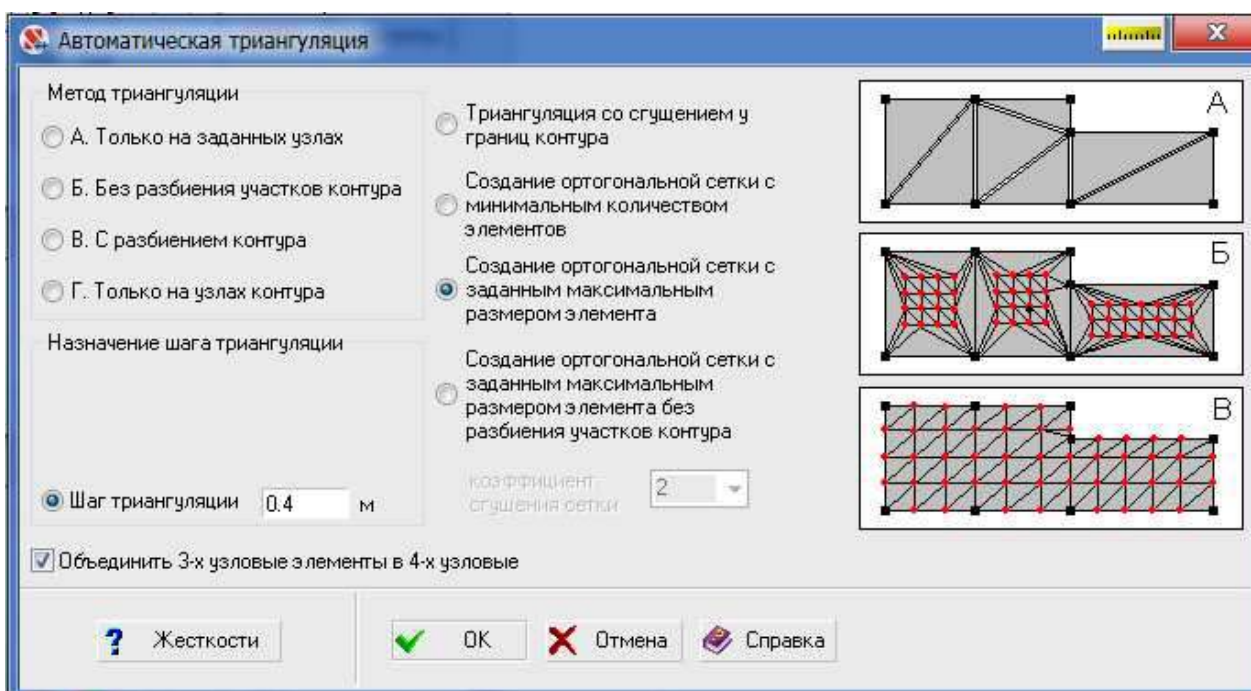


Рис. 2.11. Диалоговое окно **Автоматическая триангуляция**

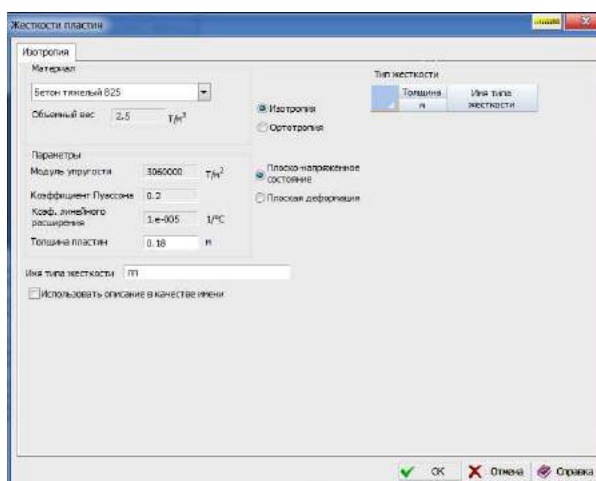
— назначить параметры триангуляции в диалоговом окне **Автоматическая триангуляция** (рис. 2.11.):

— установить признак объединения трехузловых элементов в четырехузловые (в процессе формирования схемы такое объединение будет выполнено для всех допустимых пар треугольников);

— отметить **Создание ортогональной сетки с заданным максимальным размером элемента** — формируется сетка с преимущественным использованием квадратных и прямоугольных элементов (так как активна опция **Объединить 3-х узловые элементы в 4-х узловые**), стороны которых меньше или равны значению шага триангуляции;

— задать **Шаг триангуляции**  $0,4$  м (оптимальный размер сетки конечных элементов подобран по результатам итераций);

— назначить жесткостные характеристики элементам. Для этого в окне **Автоматическая триангуляция** используется операция **Жесткости**, вызывающая диалоговое окно **Жесткости пластин** (рис. 2.12.). *Выбрать материал – Бетон В25, толщину пластин –  $0,18$ м в соответствии с рекомендациями табл. 3.6. [1].* После назначения нужно закрыть диалоговое окно **Жесткости пластин** нажатием кнопки **ОК**.

Рис. 2.12. Диалоговое окно **Жесткости пластин**

— после выхода из диалогового окна **Автоматическая триангуляция** нажатием кнопки **ОК** выполняется разбиение заданной области на четырехузловые конечные элементы;

— для установки области на место в схеме необходимо активировать команду **Установка результатов триангуляции на место в схеме**.

Выход из режима триангуляции осуществляется нажатием кнопки **Генерация сетки произвольной формы на плоскости** .

Результирующая конечно-элементная модель плиты перекрытия показана на рис. 2.13.

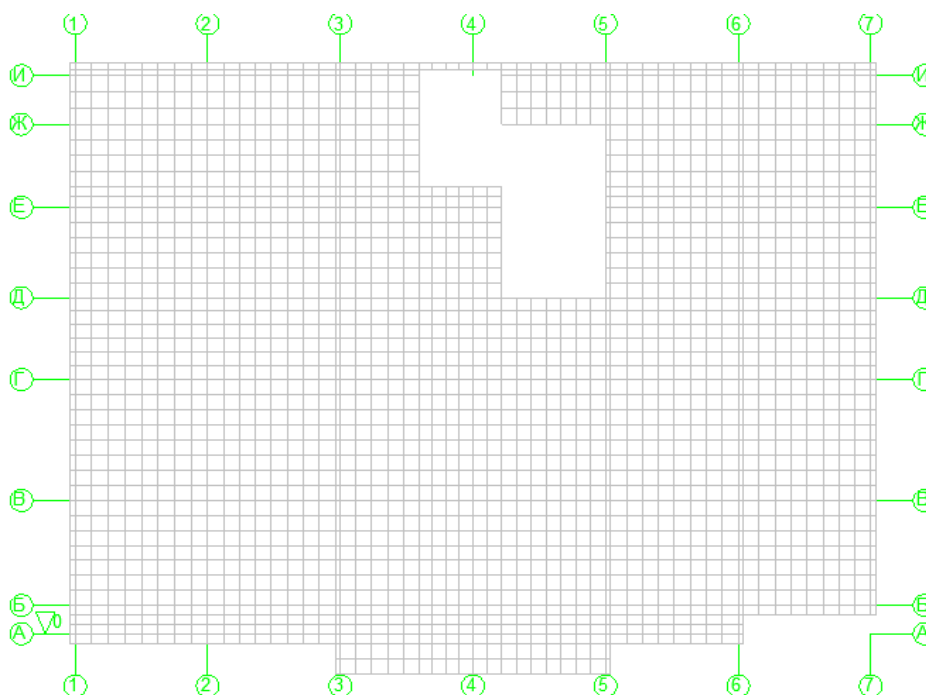


Рис. 2.3. Конечно-элементная модель плиты перекрытия

### 2.3.4. Оценка и повышение качества триангуляции

Теоретически с точки зрения конечно-элементного анализа оптимальным является разбиение изучаемой модели на конечные элементы, имеющие форму простейших равно-сторонних фигур (квадрат, равносторонний треугольник, равносторонний тетраэдр, куб). Практически создание сеток конечных элементов для объектов со сложной геометрией представляет собой трудоемкий и кропотливый процесс, поэтому получаемое разбиение на конечные элементы чаще всего отлично от оптимального.

Проектно-вычислительные комплексы, реализующие метод конечных элементов, постоянно совершенствуют и добавляют функции, позволяющие построить качественную сетку конечных элементов, дающую возможность получить наиболее точные результаты расчета.

Кроме того, возникает задача оценки качества полученного сеточного разбиения. В программе SCAD Office оценка качества полученной сетки конечных элементов производится в соответствии с п.5.12 [2]. Для оценки используется операция **Качество триангуляции** раздела **Узлы и элементы** вкладки **Элементы**. При активации операции появляется диалоговое окно **Качество триангуляции** (рис. 2.14.), во вкладке которого можно выбрать параметр оценки качества.

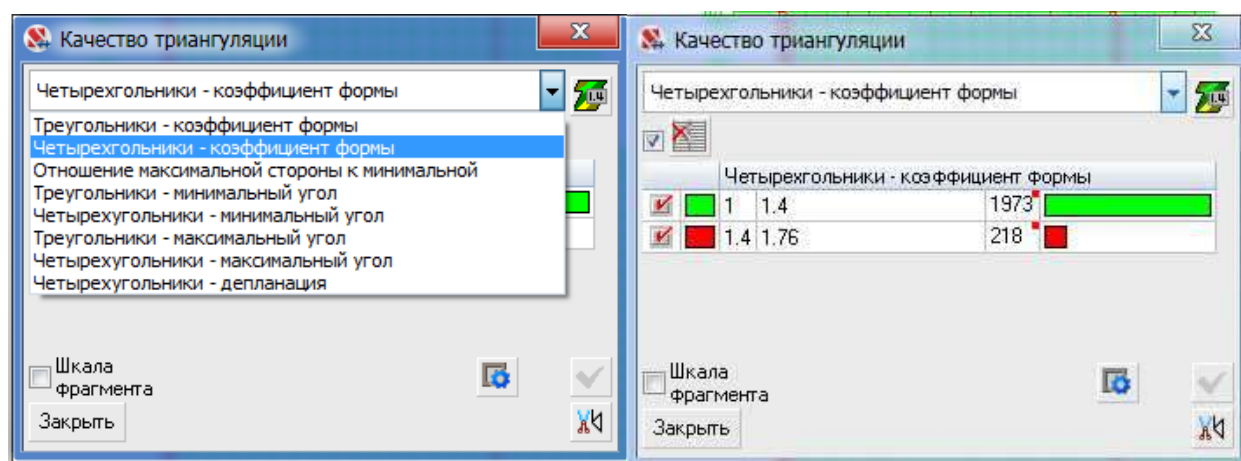


Рис. 2.4. Диалоговое окно **Качество триангуляции**

Для трех- и четырехузловых элементов оценка выполняется по приведенным ниже параметрам:

— коэффициент формы, вычисляемый по формуле  $\sum_i L_i^2 / S$ , где  $L_i$  - длина  $i$ -ой стороны,  $S$  - площадь элемента;

- минимальный угол в элементе;
- максимальный угол в элементе;
- отклонение от плоскостности (депланация) для четырехузловых элементов (по четырем точкам строится плоскость, которая наилучшим образом аппроксимирует вершины элемента, вычисляется максимум из расстояний от вершин до плоскости, результат делится на длину минимальной стороны).

Результаты оценки качества выводятся в виде цветовой шкалы (рис. 2.15.). Зеленым цветом на схеме отображаются элементы, у которых значение исследуемого фактора лежит в пределах установленной нормы, а красным — выходит за эти пределы. Диапазон допустимых значений «От и До» задается в одноименных полях ввода диалогового окна **Настройки**, которое вызывается нажатием кнопки **Настройки цветовой шкалы**.

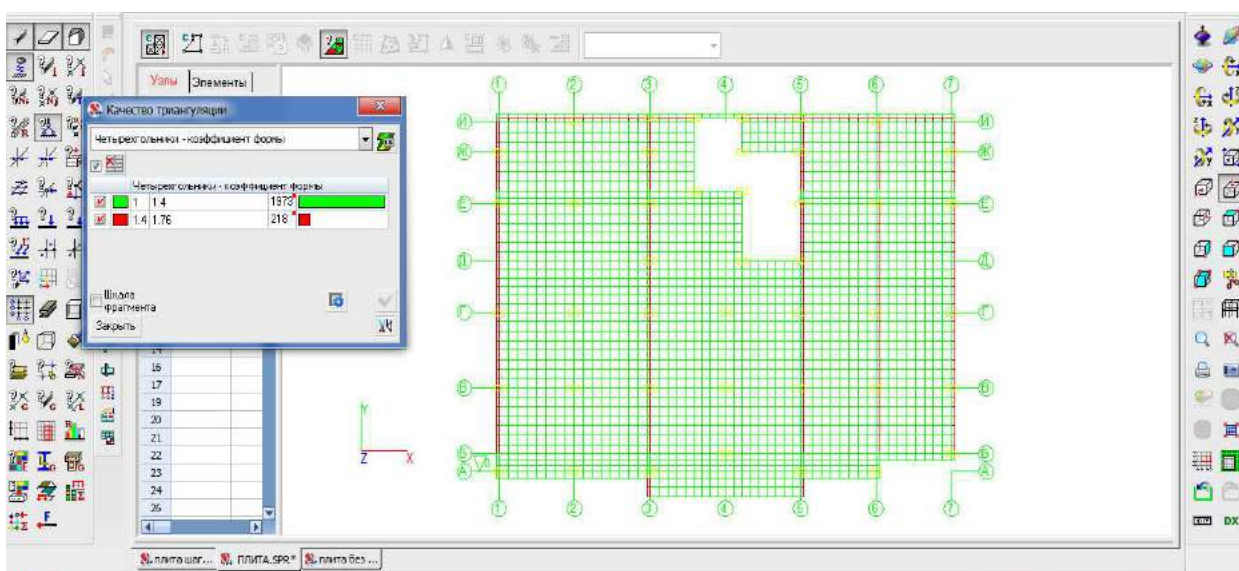


Рис. 2.5. Оценка качества триангуляции

Если качество триангуляции оказывается неудовлетворительным, его необходимо повысить. Для этого можно воспользоваться операцией **Улучшение качества триангуляции** раздела **Узлы и элементы** вкладки **Элементы**. При активации опции **Улучшение качества триангуляции** программа произведет попытку сместить узлы, порожденные в процессе триангуляции, таким образом, чтобы улучшить показатели качества. Также возможно улучшить качество сетки конечных элементов «вручную». Для этого нужно удалить вырожденные конечные элементы из расчетной схемы командой **Узлы и элементы** → **Элементы** → **Удаление элементов**, а затем построить на месте удаленных элементов пластины правильной формы с помощью операции **Добавление пластины** раздела **Узлы и элементы** вкладки **Элементы**.



### 2.3.5. Назначение типа конечных элементов

При решении задач МКЭ используются элементы различных типов. Наиболее общие из них:

**Одномерные элементы:** Простейшими среди элементов является одномерный элемент. Схематически он изображается в виде отрезка (рис. 2.16.), хотя и имеет поперечное сечение. Площадь поперечного сечения может изменяться по длине, но во многих встречающихся задачах она считается постоянной. Наиболее часто такой элемент используется в одномерных задачах распространения тепла и в задачах строительной механики при расчете стержневых элементов конструкций.

Простейший одномерный элемент имеет два узла, по одному на каждом конце. Элемент более высокого порядка, трехузловые (квадратичные) и четырехузловые (кубические), изображены на рис. 2.16.б и рис. 2.16.в. Одномерный элемент может быть криволинейным (рис. 2.16.в).

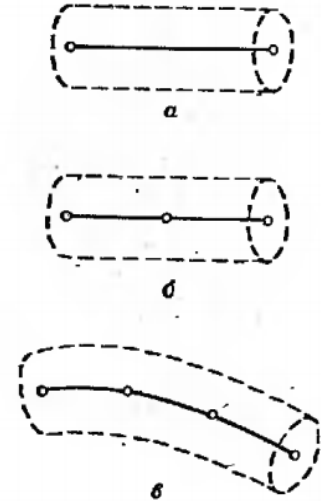


Рис. 2.16.

Одномерные КЭ

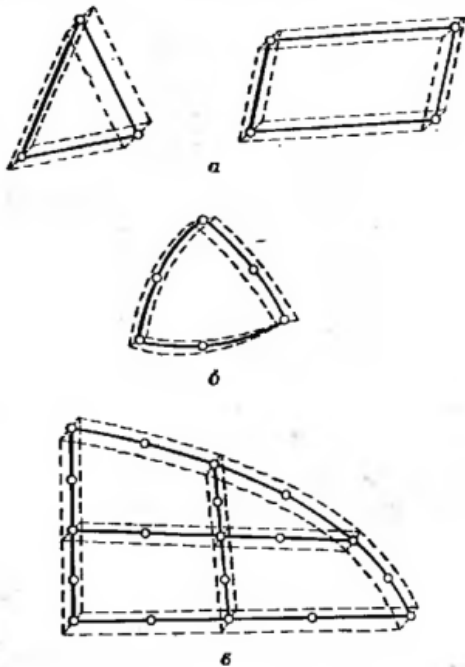


Рис. 2.17.

Двумерные КЭ

**Двумерные элементы:** Для построения дискретной модели двумерной области используются два основных семейства элементов: треугольники и четырехугольники. Стороны линейных элементов каждого семейства представляют собой прямые линии (рис. 2.17.а). Квадратичные и кубические элементы могут иметь как прямолинейные, так и криволинейные стороны (рис. 2.17.б). Возможность моделирования криволинейных границ достигается добавлением узлов в середину сторон элементов. Оба семейства элементов могут быть использованы одновременно внутри области, если только они имеют одинаковое число узлов на стороне (рис. 2.17.в). Толщина элемента может быть или постоянной, или являться функцией координат.

**Трехмерные элементы:** Наиболее часто встречающимися трехмерными элементами является тетраэдр и параллелепипед (рис. 2.18.а и рис. 2.18.б). В обоих случаях линейные элементы ограничены прямолинейными сторонами (плоскостями), тогда как элементы более высокого порядка могут иметь в качестве границ криволинейные поверхности. При разбиении трехмерного тела трудно наглядно представить расположение элементов в дискретной модели, поэтому, вероятно, более желательным из этих двух типов является параллелепипед.

На рис. 2.18.в показан другой вид элементов, которые используются при рассмотрении тел цилиндрической формы. Эти элементы подобны двумерному треугольнику и позволяют еще учесть изменение неизвестной величины вдоль третьей координаты.

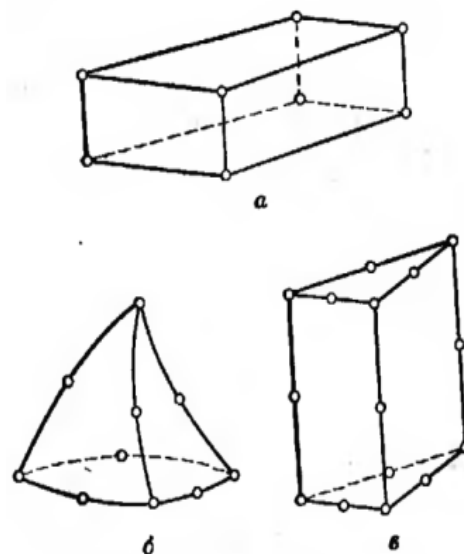


Рис. 2.18.  
Трехмерные КЭ

Библиотека конечных элементов программно-вычислительного комплекса SCAD Office насчитывает более 120 конечных элементов. Тип конечного элемента назначается программой автоматически в зависимости от следующих параметров:

- геометрическая форма элемента;
- размерность используемого пространства (одномерное, двумерное, трехмерное);
- число степеней свободы (возможность линейных и угловых перемещений);
- количество узлов на гранях элемента;
- правила прикрепления узлов конечных элементов к узлам системы (жесткое или шарнирное);
- набор допустимых нагрузок и воздействий, которые возможно приложить к конечному элементу;
- закон зависимости между внутренними усилиями и напряжениями;
- класс решаемых задач;
- система аппроксимирующих функций, позволяющая выразить компоненты перемещений в любой точке элемента через его степени свободы;
- перечень ограничений и рекомендаций по применению конечного элемента<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> См: [2] – с. 70-91

В данном пособии плита перекрытия моделируется двумерными четырехугольными конечными элементами.

По умолчанию всем элементам плиты перекрытия назначается 44-ый тип конечного элемента – 4-х узловой КЭ оболочки. Он предназначен для расчета тонких и средней толщины оболочек, а также элементов нулевой кривизны (плоских) из изотропного, ортотропного и анизотропного материалов.

Для отображения типов конечных элементов необходимо нажать левой кнопкой мыши на кнопку **Типы элементов** панели фильтров. Для настройки параметров отображения необходимо нажать правой кнопкой мыши на кнопку **Типы элементов** панели фильтров. В появившемся диалоговом окне **Настройка фильтров отображения информации** (рис. 2.19.) установить маркер **Цветовое отображение типов элементов**. После этого активировать фильтры и выйти из диалогового окна нажатием кнопки **ОК**.

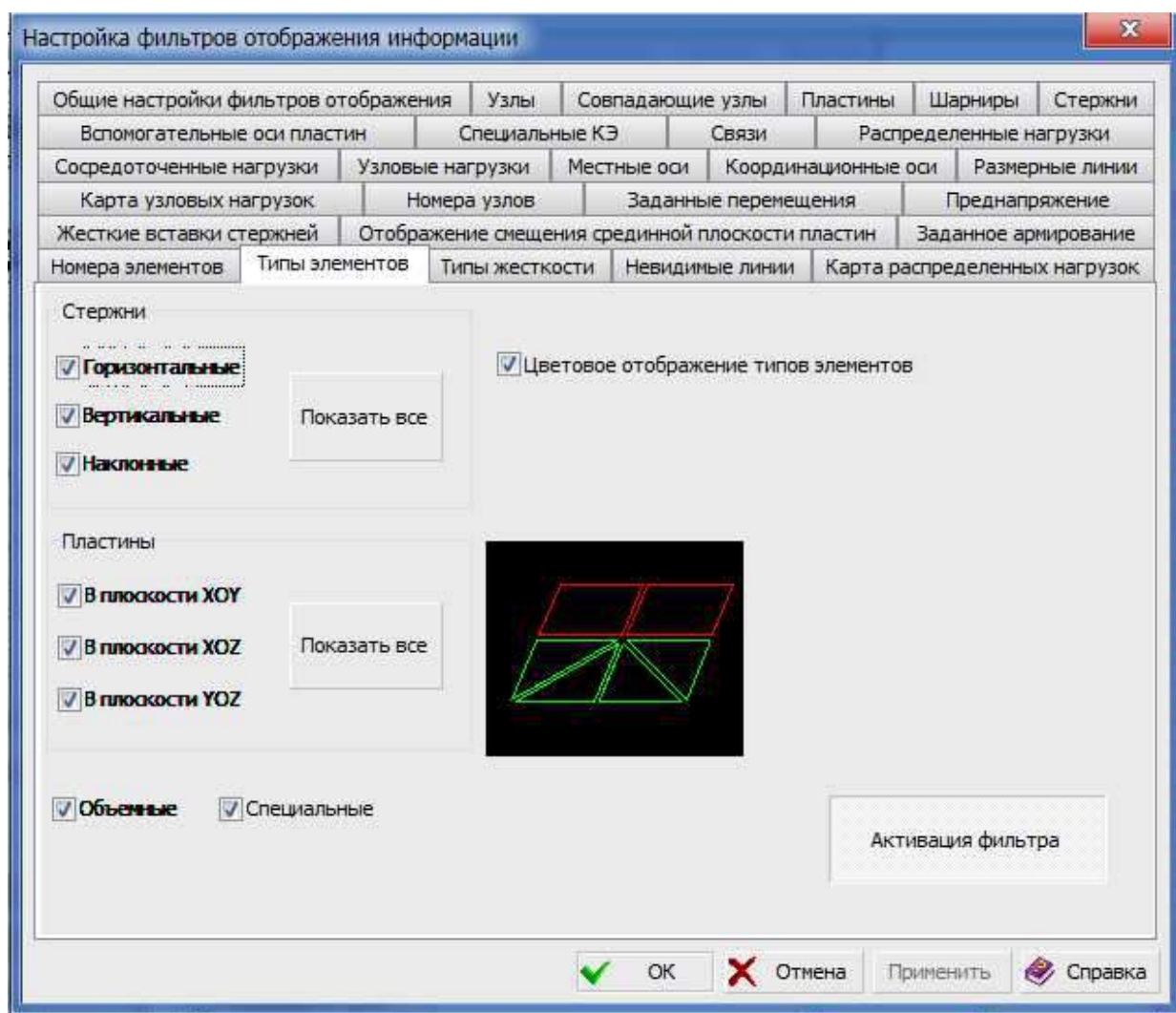


Рис. 2.6. Диалоговое окно **Настройка фильтров отображения информации**

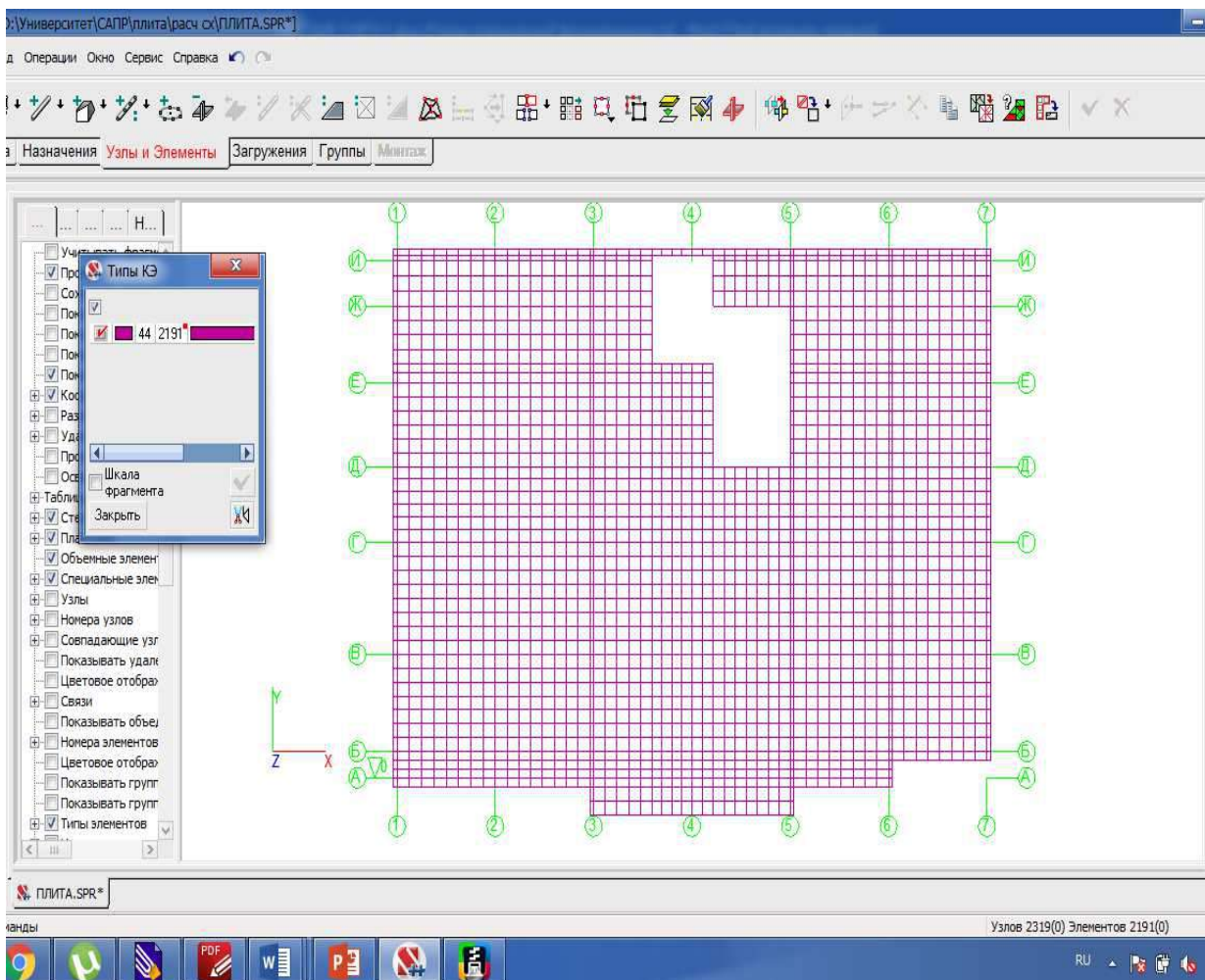


Рис. 2.20. Отображение типов конечных элементов

### 2.3.6. Установка дополнительных связей

При формировании конечно-элементной сетки появляется множество новых узлов. Для корректной работы плиты перекрытия в узлы, опирающиеся на монолитные стены в соответствии с планом (рис. 2.4.), необходимо установить связи вдоль оси Z. Алгоритм установки и отображения связей описан в п.п. 2.3.2. настоящего пособия. Результирующая расчетная схема плиты со всеми установленными связями показана на рис. 2.21.

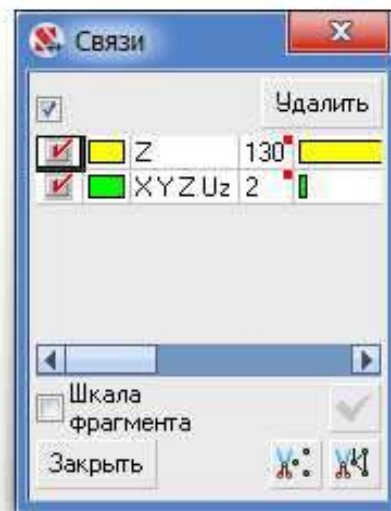
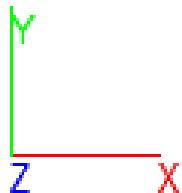
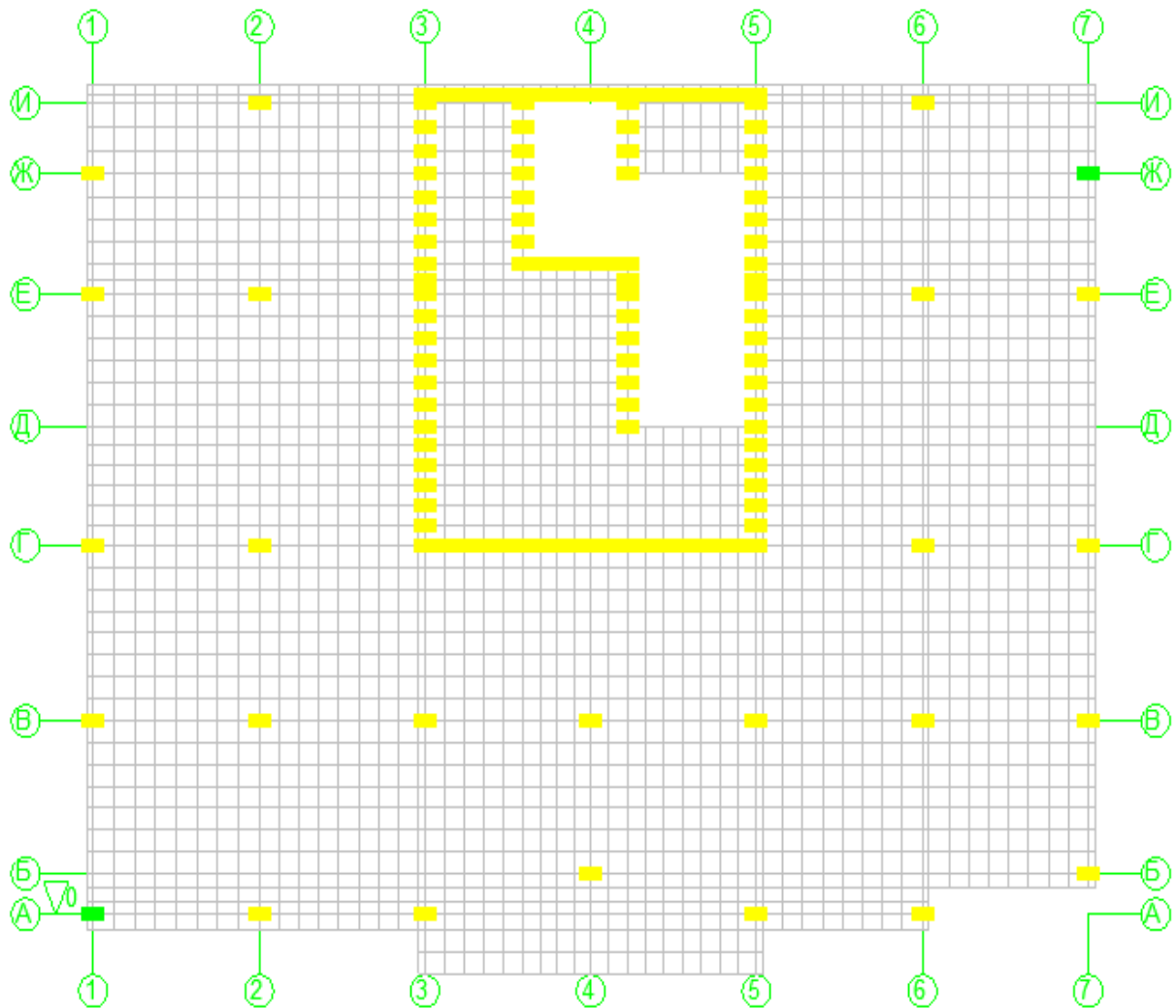


Рис. 2.21. Результирующая расчетная схема плиты перекрытия



### 3. Сбор и назначение нагрузок

#### 3.1. Собственный вес плиты

Собственный вес является постоянной нагрузкой.

Нормативное значение веса конструкции в ПК «SCAD Office» вычисляется автоматически как произведение объёмного веса материала на толщину пластины. Операция выполняется только тогда, когда задан объёмный вес всех элементов.

Коэффициенты надежности по нагрузке для веса строительных конструкций и грунтов представлены в табл. 7.1. [3], приведенной ниже:

Табл. 3.1. Коэффициенты надежности по нагрузке

Конструкции сооружений и вид грунтов	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma$
<b>Конструкции</b>	
Металлические, за исключением случаев, указанных в 7.3	1,05
Бетонные (со средней плотностью свыше 1600 кг/м <sup>3</sup> ), железобетонные, каменные, армокаменные, деревянные	1,1
Бетонные (со средней плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup> и менее), изоляционные, выравнивающие и отделочные слои (плиты, материалы в рулонах, засыпки, стяжки и т.п.), выполняемые:	
в заводских условиях	1,2
на строительной площадке	1,3
<b>Грунты</b>	
В природном залегании	1,1
На строительной площадке	1,15
Примечание – При определении нагрузок от грунта следует учитывать нагрузки от складываемых материалов, оборудования и транспортных средств, передаваемые на грунт.	

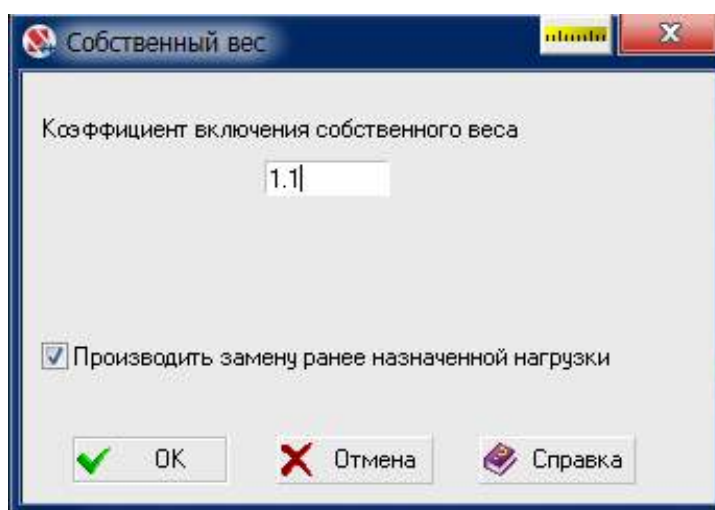



Рис. 3.1. Диалоговое окно **Собственный вес**

Для назначения расчетной нагрузки от собственного веса плиты выбираем вкладку **Загружения** → **Собственный вес** 

После активации операции появляется диалоговое окно **Собственный вес** (рис. 3.1.), в котором назначаются коэффициент включения собственного веса (коэффициент надежности по нагрузке) и правила моделирования нагрузки.

Нагрузки от собственного веса задаются как распределенные силы, приложенные на элементы по направлению оси *Z* общей системы координат. Для отображения распределенных нагрузок на схеме используется кнопка фильтров **Распределенные нагрузки**, для отображения значения интенсивности нагрузки - кнопка фильтров **Значения нагрузок**. Также для отображения нагрузок на пластины удобно использовать кнопку **Построение карты распределенных нагрузок** на панели фильтров.

После завершения ввода нагрузок текущее загрузение необходимо сохранить, выбрав команду **Сохранить/Добавить загрузение** вкладки **Загружения**. После активации этой операции появляется диалоговое окно **Сохранение загрузения** (рис. 3.2.), в котором назначается имя и тип загрузения, вид нагрузки (эти параметры выбираются из одноименных списков), коэффициент надежности по нагрузке и доля длительности.

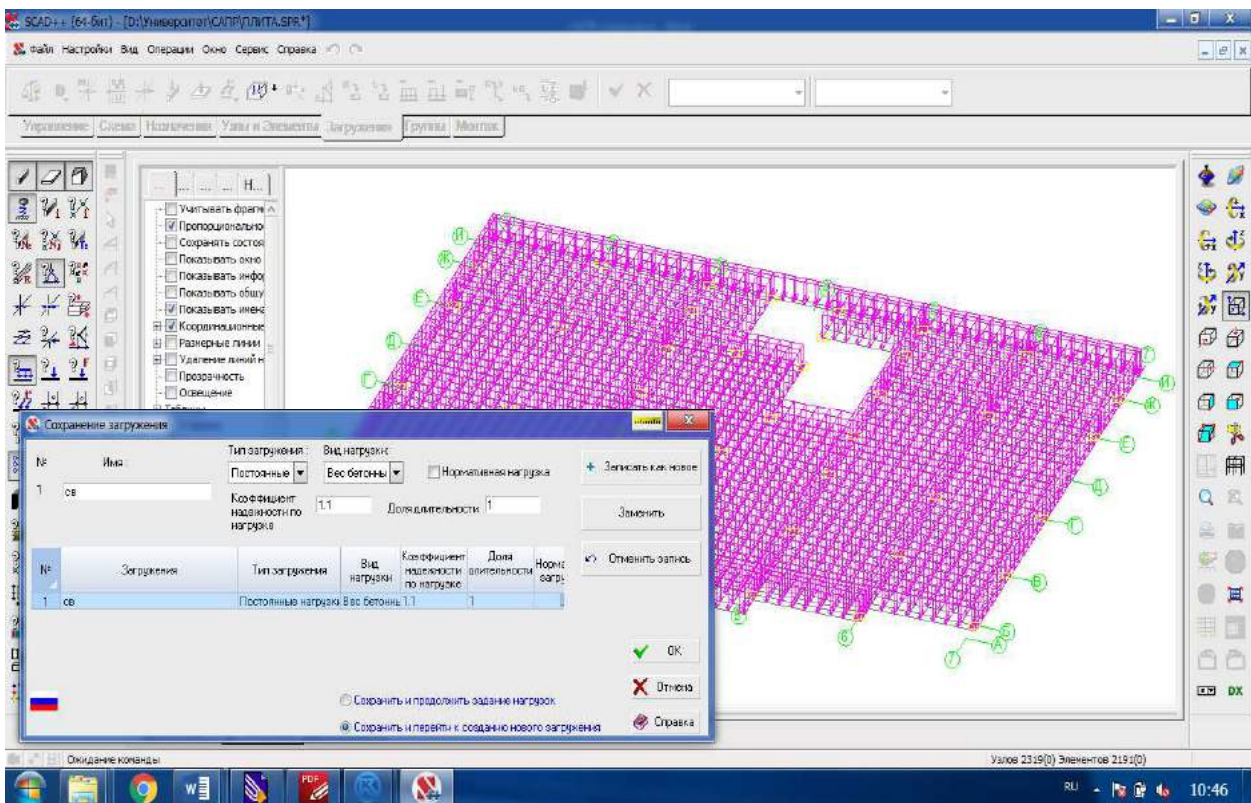


Рис. 3.2. Загружение 1 - собственный вес



После назначения характеристик нового загрузки, выполняем его сохранение нажатием кнопки **Записать как новое**. Если предполагается продолжение работы с текущим загрузением, то перед выходом из диалогового окна по кнопке **ОК** следует активировать маркер **Сохранить и продолжить задание нагрузок**, если с новым — маркер **Сохранить и перейти к созданию нового загрузки**.

При активации маркера **Сохранить и перейти к созданию нового загрузки** заданная нагрузка автоматически снимается. Вернуться к ней можно, выбрав её название во вкладке **Загрузки** раздела **Загрузки** инструментальной панели. Перед созданием следующего загрузки текущую нагрузку необходимо снять нажатием кнопки **Снять все нагрузки**.

При условии, что параметры загрузки заданы корректно, они используются в качестве исходных данных для формирования расчетных сочетаний усилий (PCY) и перемещений (PCП).

### 3.2. Вес покрытия

Вес покрытия так же, как и собственный вес, является постоянной нагрузкой, так как действует на всем протяжении эксплуатации здания.

Предполагаемый состав пола показан на рис 3.3.

паркетная доска	20 мм
твердая плита ДВП	5 мм
цементно-песчаная стяжка	40 мм
экструдированный пенополистирол	30 мм
ж.б.плита перекрытия	200 мм

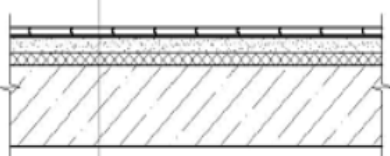


Рис. 3.3. Состав пола

Определим нормативные значения действующих нагрузок.

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$  принимаем по табл. 7.1. [3].

Расчет нормативных и расчетных значений нагрузки от покрытия сводим в табл. 3.2.

Табл. 3.2. Нагрузка от покрытия

Нагрузка	Нормативное значение нагрузки $g_n$ , т/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	Расчетное значение нагрузки $g_p$ , т/м <sup>2</sup>
Звукоизоляционный слой из экструдированного пенополистирола плотностью $\rho=35$ кг/м <sup>3</sup> и толщиной $t=0,03$ м	$35*0,03/1000=$ 0,015	1,3	0,020
Цементно-песчаная стяжка $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup> , $t=0,04$ м	$1800*0,04/1000=$ 0,072	1,3	0,094
Плиты ДВП $\rho=800$ кг/м <sup>3</sup> , $t=0,005$ м	$800*0,005/1000 =$ 0,004	1,2	0,005
Паркетная доска $\rho=600$ кг/м <sup>3</sup> , $t=0,02$ м	$600*0,02/1000=$ 0,012	1,3	0,016
Итого:			0,135

Вид, величина и направление нагрузок на пластинчатые элементы задаются в диалоговом окне **Задание нагрузок на пластинчатые элементы**, появляющемся после выбора соответствующей опции в инструментальной панели раздела **Загружения**.

Алгоритм назначения нагрузок на пластины:

- активировать кнопку **Нагрузка на пластины**;
- в диалоговом окне **Задание нагрузок на пластинчатые элементы** (рис.3.4.) назначить систему координат (*общая*), вид (*распределенная*), величину (*0,135 т/м<sup>2</sup>*), направление (*ось Z*) нагрузки (после выбора вида нагрузки в окне отображается рисунок, показывающий положительное направление ее действия);
- нажатием кнопки **ОК** выйти из диалогового окна;
- отметить на схеме элементы, на которые прикладывается данная нагрузка (*для того чтобы выделить все элементы плиты нужно нажать правой кнопкой мыши на схему и выбрать пункт **Инвертировать выбор элементов***);
- нажать клавишу **Enter** на клавиатуре или кнопку **ОК** в инструментальной панели.

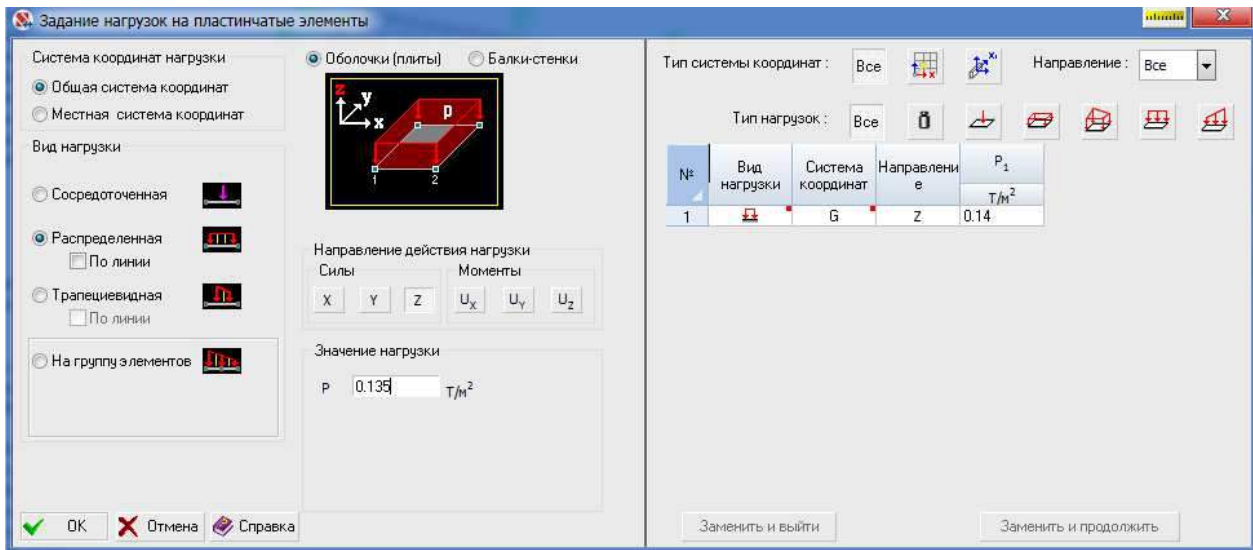


Рис. 3.4. Диалоговое окно **Задание нагрузок на пластинчатые элементы**

Сохранение и отображение заданной нагрузки производится по алгоритму, описанному в предыдущем пункте (рис.3.5.).

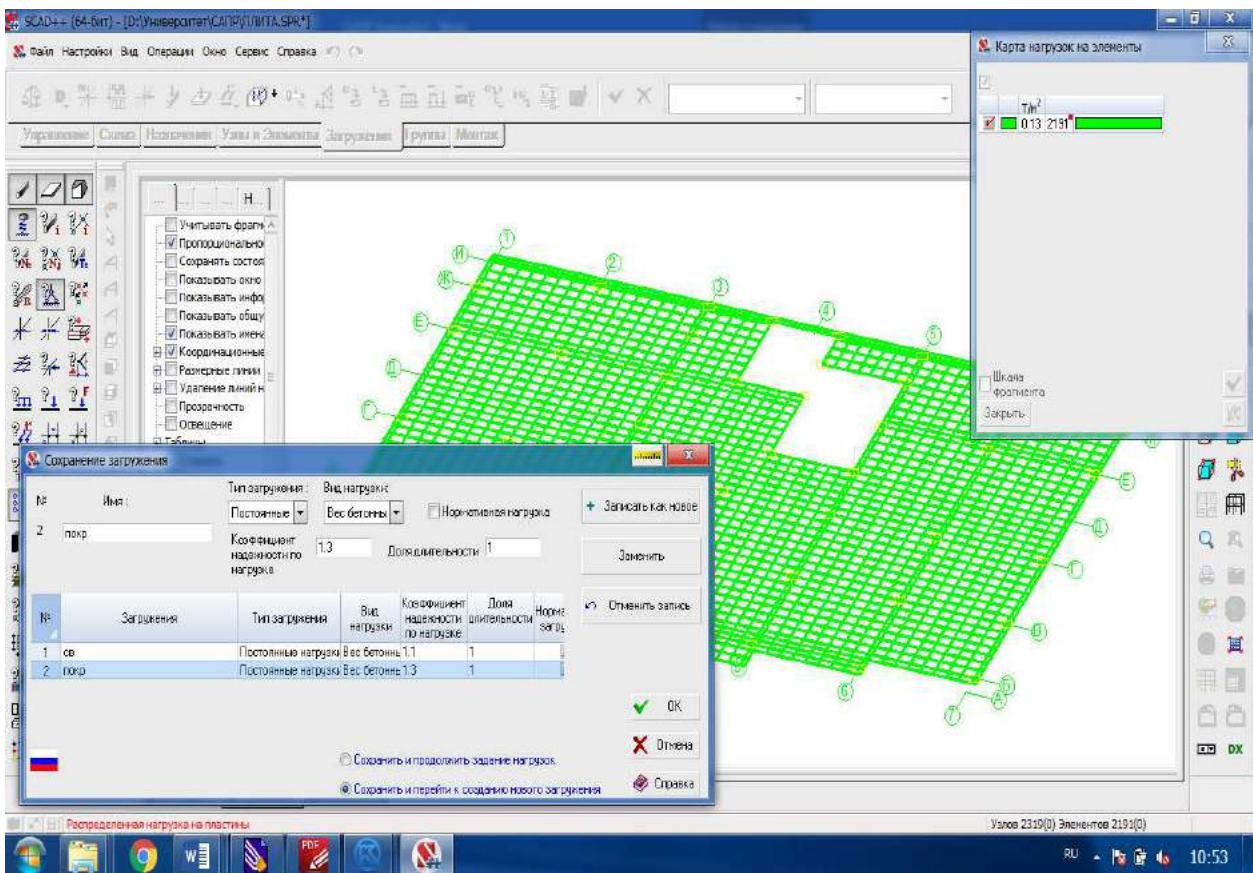


Рис. 3.5. Загружение 2 - вес покрытия

### 3.3. Полезная нагрузка

Полезная нагрузка (нагрузка от людей) в соответствии с [3] относится к равномерно распределенным кратковременным нагрузкам. Нормативные значения нагрузок на плиты перекрытия  $g_{н.п.н.}$  принимается в зависимости от типа помещения по табл. 8.3. [3], приведенной ниже:

Табл. 3.3. Нормативные значения равномерно распределенных нагрузок

№ пп.	Помещения зданий и сооружений	Нормативные значения равномерно распределенных нагрузок $P_i$ , кПа, не менее
1	Квартиры жилых зданий; спальня помещения детских дошкольных учреждений и школ-интернатов; жилые помещения домов отдыха и пансионатов, общежитий и гостиниц; палаты больниц и санаториев; террасы	1,5
2	Служебные помещения административного, инженерно-технического, научного персонала организаций и учреждений; офисы, классные помещения учреждений просвещения; бытовые помещения (гардеробные, душевые, умывальные, уборные) промышленных предприятий и общественных зданий и сооружений	2,0
3	Кабинеты и лаборатории учреждений здравоохранения, лаборатории учреждений просвещения, науки; помещения электронно-вычислительных машин; кухни общественных зданий; помещения учреждений бытового обслуживания населения (парикмахерские, ателье и т.п.); технические этажи жилых и общественных зданий высотой менее 75 м; подвальные помещения	2,0
4	Залы: а) читальные б) обеденные (в кафе, ресторанах, столовых и т.п.) в) собраний и совещаний, ожидания, зрительные и концертные, спортивные, фитнес-центры, бильярдные г) торговые, выставочные и экспозиционные	2,0 3,0 4,0 4,0
5	Книгохранилища; архивы	5,0
6	Сцены зрелищных предприятий	5,0
7	Трибуны: а) с закрепленными сиденьями б) для стоящих зрителей	4,0 5,0
8	Чердачные помещения	0,7
9	Покрытия на участках: а) с возможным скоплением людей (выходящих из производственных помещений, залов, аудиторий и т.п.) б) используемых для отдыха в) прочих	4,0 1,5 0,7

Продолжение табл. 3.3.

№ пп.	Помещения зданий и сооружений	Нормативные значения равномерно распределенных нагрузок $P_i$ , кПа, не менее
10	Балконы (лоджии) с учетом нагрузки: а) полосовой равномерной на участке шириной 0,8 м вдоль ограждения балкона (лоджии) б) сплошной равномерной на площади балкона (лоджии), воздействие которой не благоприятнее, чем определяемое по 10,а	4,0 2,0
11	Участки обслуживания и ремонта оборудования в производственных помещениях	1,5
12	Вестибюли, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходами), примыкающие к помещениям, указанным в позициях: а) 1, 2 и 3 б) 4, 5, 6 и 11 в) 7	3,0 4,0 5,0
13	Перроны вокзалов	4,0
14	Помещения для скота: а) мелкого б) крупного	2,0 5,0
<p><b>Примечания</b></p> <p>1 Нагрузки, указанные в поз. 8, следует учитывать на площади, не занятой оборудованием и материалами.</p> <p>2 Нагрузки, указанные в поз. 9, не следует учитывать одновременно со снеговой нагрузкой.</p> <p>3 Нагрузки, указанные в поз. 10, следует учитывать при расчете несущих конструкции балконов (лоджий) и участков стен в местах защемления этих конструкций. При расчете нижележащих участков стен, фундаментов и оснований нагрузки на балконы (лоджии) следует принимать равными нагрузкам примыкающих основных помещений зданий и снижать их с учетом 8.2.4 и 8.2.5.</p> <p>4 Нормативные значения нагрузок для зданий и помещений, указанных в позициях 3, 4г, 5, 6, 11 и 14, следует принимать по заданию на проектирование на основании технологических решений.</p>		

Помимо нагрузки от людей, необходимо учесть нагрузки от перегородок. Поскольку мы проектируем современное здание со свободной планировкой и заранее не знаем расположение перегородок (нам известно лишь то, что они будут кирпичными с толщиной 120 мм при высоте этажа 3,3 м), по опыту проектирования аналогичных зданий принимаем эквивалентную равномерно распределенную нагрузку с нормативным значением  $g_{н.п.} = 0,2$  т/м<sup>2</sup>. Данный подход допускается в соответствии с п.8.2.2 [3]. Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_{ф.п.}$  принимаем по табл. 3.1..

Табл. 3.4. Задания для назначения полезной нагрузки

№ зад-я	Типы помещений в осях				
	1-3/Г-И	1-3/А-Г 3-4/А-В	5-7/А-Г 4-5/А-В	5-7/Г-И	3-5/В-И
1	Квартира	Архив	Торговый зал	Офис	Коридор
2	Архив	Торговый зал	Офис	Квартира	Коридор
3	Торговый зал	Офис	Квартира	Архив	Коридор
4	Офис	Квартира	Архив	Зал совещаний	Коридор
5	Квартира	Архив	Офис	Торговый зал	Коридор
6	Квартира	Офис	Торговый зал	Архив	Коридор
7	Квартира	Торговый зал	Офис	Архив	Коридор
8	Офис	Квартира	Торговый зал	Архив	Коридор
9	Офис	Архив	Квартира	Торговый зал	Коридор
10	Офис	Архив	Торговый зал	Квартира	Коридор
11	Торговый зал	Офис	Архив	Квартира	Коридор
12	Зал совещаний	Архив	Квартира	Офис	Коридор
13	Торговый зал	Квартира	Архив	Офис	Коридор
14	Архив	Торговый зал	Квартира	Офис	Коридор
15	Архив	Офис	Квартира	Торговый зал	Коридор
16	Читальный зал	Книгохранилище	Квартира	Зал совещаний	Коридор
17	Читальный зал	Книгохранилище	Зал совещаний	Квартира	Коридор
18	Квартира	Зал совещаний	Читальный зал	Книгохранилище	Коридор
19	Зал совещаний	Квартира	Читальный зал	Книгохранилище	Коридор
20	Читальный зал	Зал совещаний	Архив	Квартира	Коридор
21	Квартира	Книгохранилище	Зал совещаний	Читальный зал	Коридор
22	Читальный зал	Книгохранилище	Квартира	Зал совещаний	Коридор
23	Квартира	Читальный зал	Зал совещаний	Архив	Коридор
24	Читальный зал	Архив	Зал совещаний	Квартира	Коридор
25	Архив	Квартира	Читальный зал	Зал совещаний	Коридор
26	Зал совещаний	Книгохранилище	Квартира	Читальный зал	Коридор

Итоговая равномерно-распределенная полезная нагрузка для каждого из пяти участков плиты перекрытия, указанных в табл. 3.4., рассчитывается по формуле (3.1). Данные для расчета принимаются в соответствии табл. 3.4. в зависимости от варианта задания. Пример распределения нагрузки по плите показан на рис. 3.7.

Итоговая равномерно-распределенная нагрузка:

$$g_{п.} = g_{н.п.н} \cdot \gamma_{f.п.н} + g_{н.п.} \cdot \gamma_{f.п.}, \quad (3.1)$$

где:

$g_{н.п.н}$  - нормативное значение полезной равномерно распределенной нагрузки на плиту перекрытия по табл. 3.3. (табл. 8.3. [3]) в зависимости от типа помещения по табл. 3.4.;

$\gamma_{f.п.н}$  - коэффициент надежности по нагрузке для полезной нагрузки по п.8.2.2 [3], равный:

- 1,3 - при полном нормативном значении менее 2,0 кПа;
- 1,2 - при полном нормативном значении 2,0 кПа и более;

$g_{н.п.}$  - нормативное значение добавочной нагрузки от веса временных перегородок,  $g_{н.п.} = 0,2 \text{ т/м}^2$ ;

$\gamma_{f.п.}$  - коэффициент надежности по нагрузке для нагрузки от веса временных перегородок по табл. 3.1. (табл. 7.1. [3]),  $\gamma_{f.п.} = 1,3$ , так как перегородки изготавливаются на строительной площадке.

Для проверки правильности перевода единиц измерения можно воспользоваться вспомогательной программой системы SCAD Office **Преобразование единиц измерения** (рис. 3.6.), расположенной в папке SCAD.

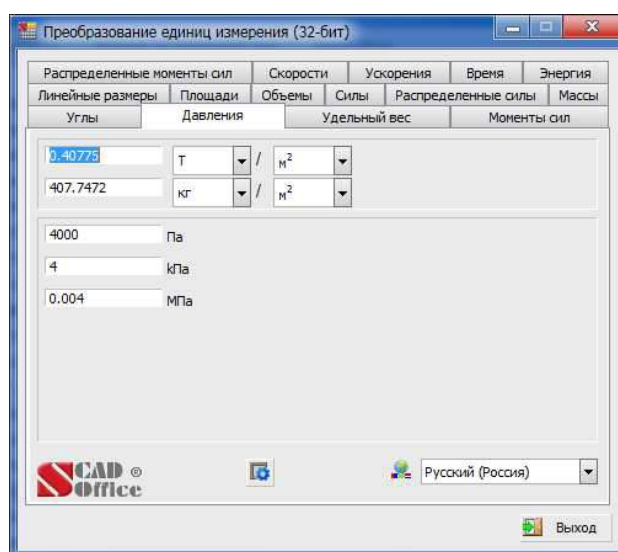


Рис. 3.6. Вспомогательная программа **Преобразование единиц измерения**

Перед началом задания полезной нагрузки рекомендуется активировать отображение нагрузок на пластины с помощью кнопки **Построение карты распределенных нагрузок** на панели фильтров. Далее, не закрывая появившееся диалоговое окно **Карта нагрузок на элементы** (рис. 3.7.), можно переходить к загрузению участков плиты.

Операция **Построение карты распределенных нагрузок** позволяет своевременно проверять правильность задания нагрузки на конечные элементы плиты перекрытия. При её активации элементы расчетной схемы окрашиваются в различные цвета в зависимости от значения действующей на них нагрузки. А в диалоговом окне **Построение карты распределенных нагрузок** отображаются значения нагрузок на элементы соответствующих цветов.

Алгоритм назначения нагрузок на пластины:

- активировать кнопку **Нагрузка на пластины**;
- в диалоговом окне **Задание нагрузок на пластинчатые элементы** (рис. 3.4.) назначить систему координат (*общая*), вид (*распределенная*), величину, направление (*ось Z*) нагрузки (после выбора вида нагрузки в окне отображается рисунок, показывающий положительное направление ее действия);
- нажатием кнопки **ОК** выйти из диалогового окна;
- отметить на схеме элементы, на которые прикладывается данная нагрузка (для того чтобы выделить необходимую в соответствии с табл. 3.4. часть плиты нужно нажать правой кнопкой мыши на расчетную модель и выбрать тип курсора **Прямоугольник**, затем выделить необходимые элементы прямоугольной рамкой);
- нажать клавишу **Enter** на клавиатуре или кнопку **ОК** в инструментальной панели.

Перед сохранением нагрузки необходимо убедиться в том, что она задана на все конечные элементы плиты, при этом ни один из элементов не нагружен дважды. Для этого рекомендуется воспользоваться командой **Идентификация количества нагрузок на элемент** панели фильтров (рис. 3.8.).

Сохранение заданной нагрузки производится по алгоритму, описанному в предыдущих пунктах.

Так как каждая из трех перечисленных выше нагрузок (собственный вес плиты, нагрузка от покрытия, полезная нагрузка) формировала отдельное загрузение, результирующая схема имеет 3 расчетных загрузения. Проверку и корректировку этих загрузений можно осуществить в диалоговом окне **Параметры загрузений** (рис. 3.9.) появляющемся при активации команды **Изменить имена/параметры загрузений** вкладки **Загрузения** панели инструментов.



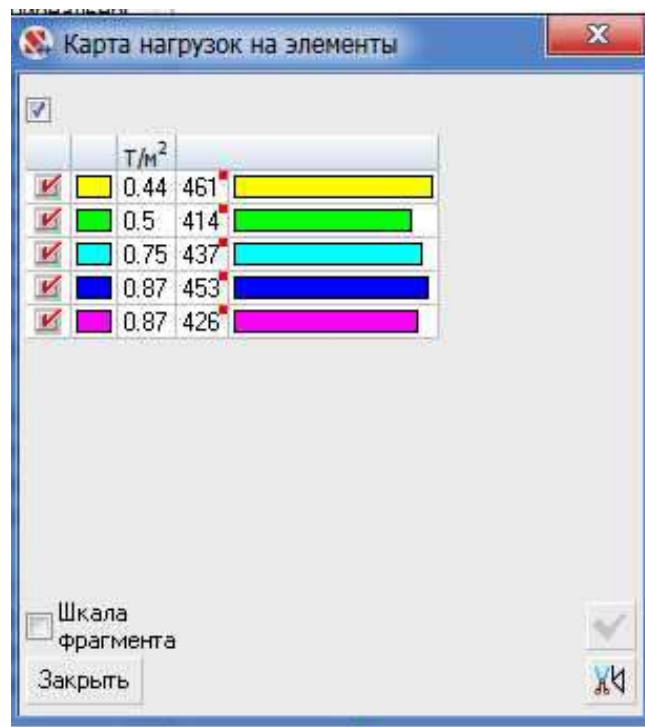
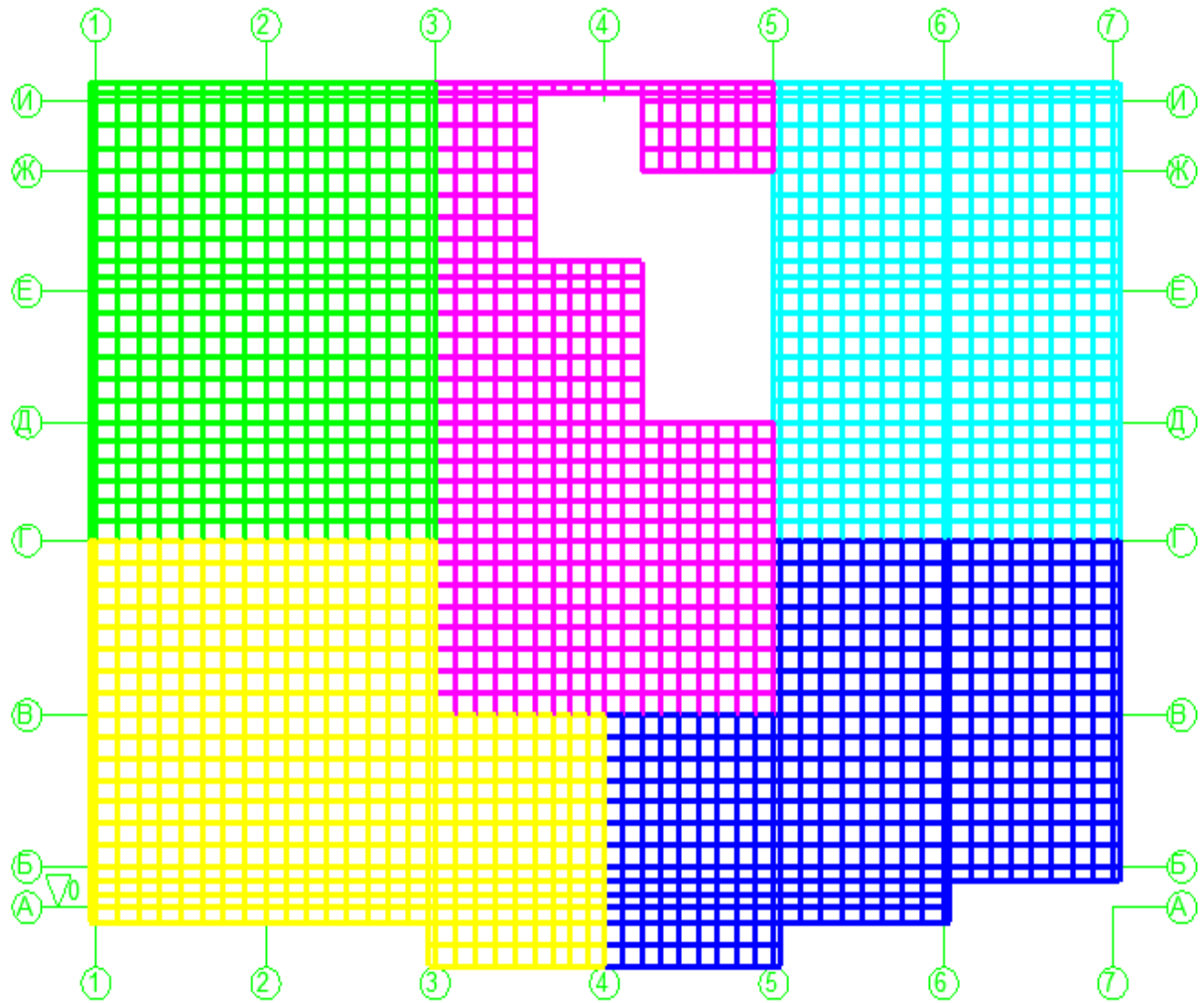


Рис. 3.7. Загружение 3 - полезная нагрузка

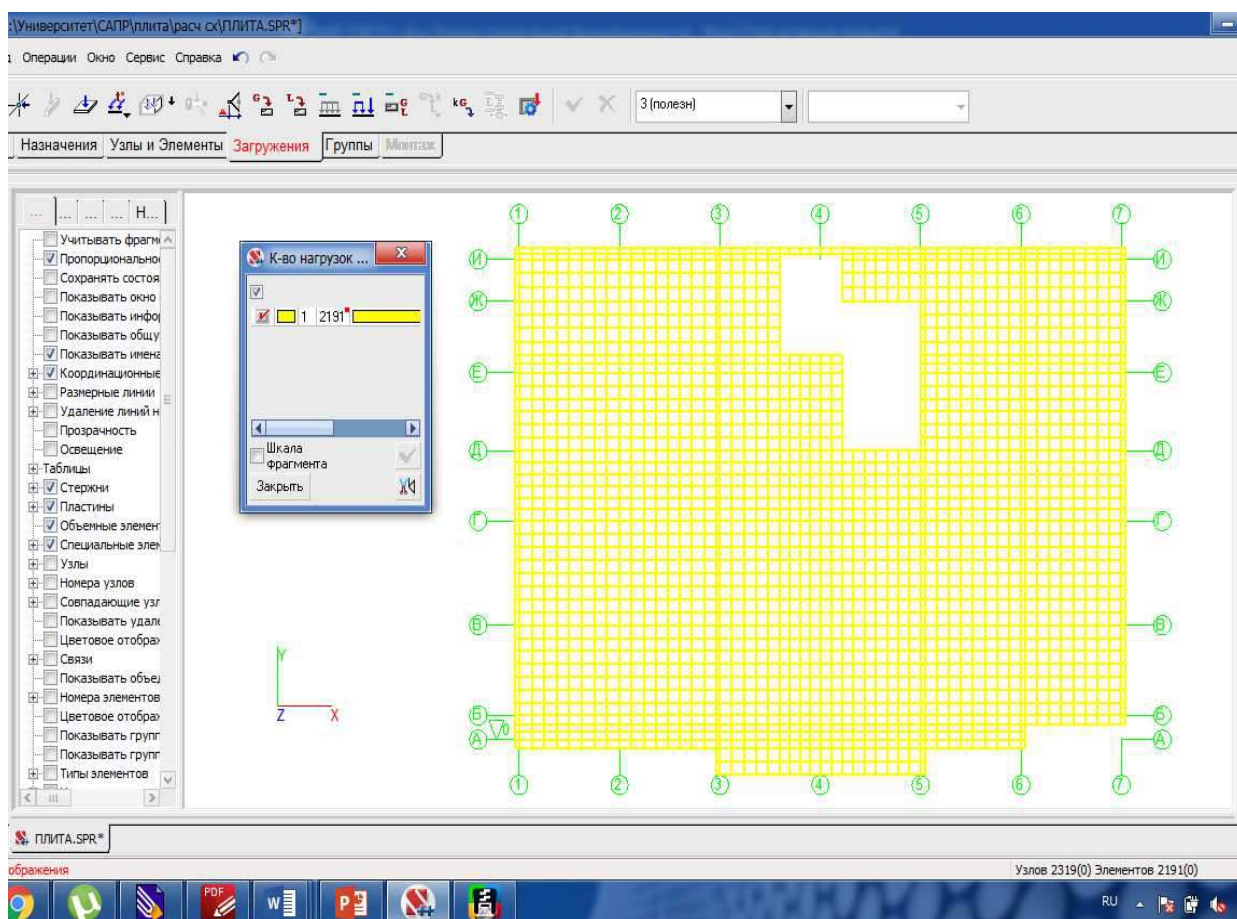


Рис. 3.8. Идентификация количества нагрузок на элемент

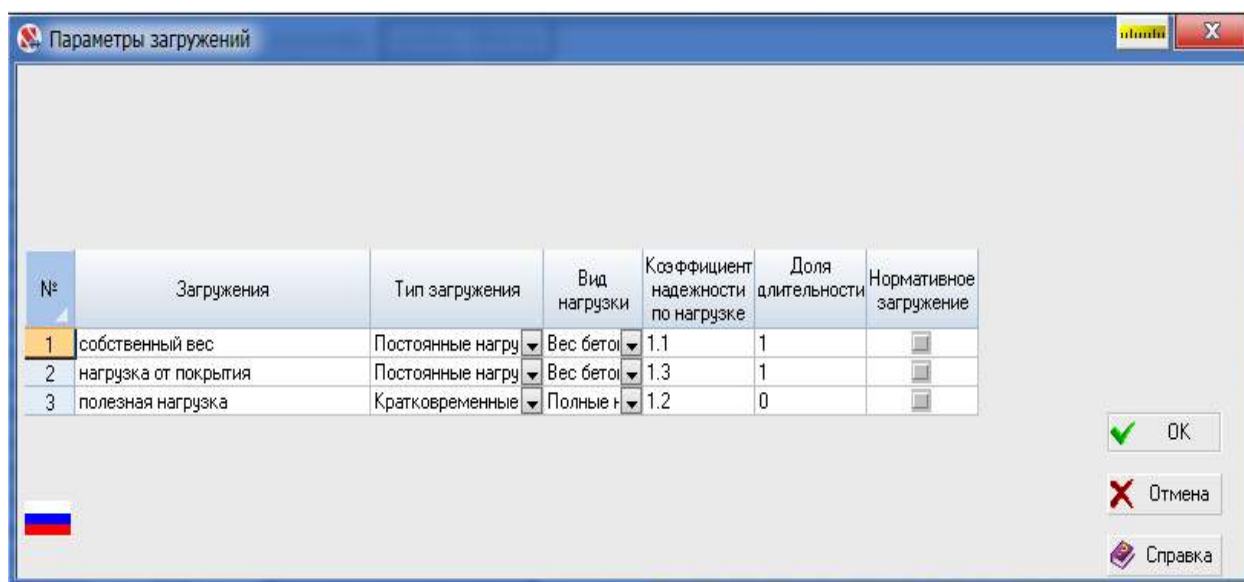


Рис. 3.9. Диалоговое окно Параметры загрузений

## 4. Расчет и подбор арматуры плиты перекрытия

### 4.1. Контроль правильности создания схемы

Все данные, необходимые для расчета сформированной расчетной модели, введены. Но до расчета желательно выполнить контроль созданной схемы. Для этого используются специальные операции в разделе **Управление** инструментальной панели препроцессора.

Операция **Упаковка данных** используется для исключения из проекта ранее удаленных узлов и элементов, узлов, не принадлежащих элементам, а также для объединения совпадающих узлов и элементов, удаления дублирующих типов жесткости и др. Для управления упаковкой используется диалоговое окно **Упаковка данных** (рис. 4.1.), которое появляется после активизации операции.

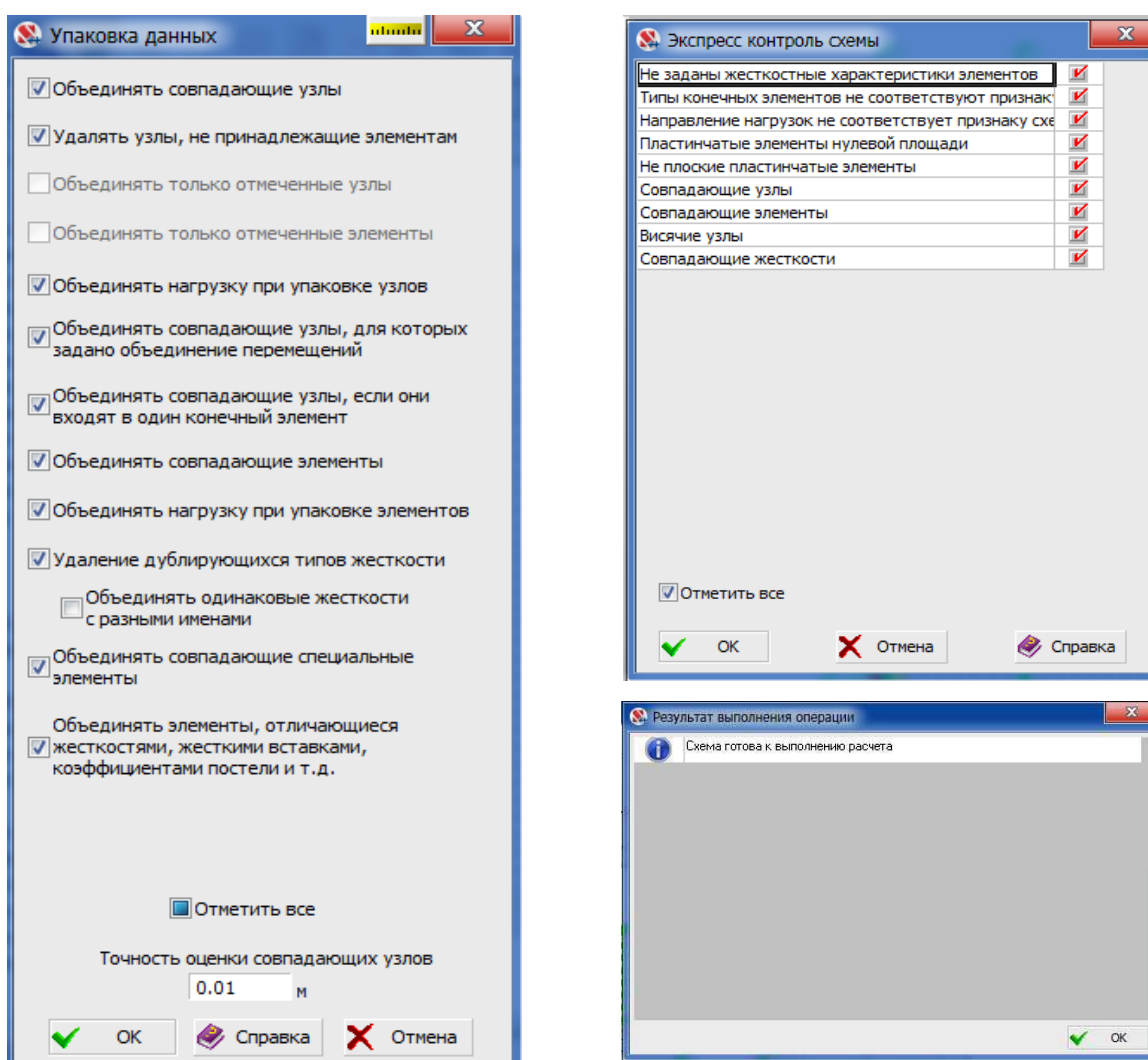


Рис. 4.1. Диалоговые окна **Упаковка данных**, **Экспресс-контроль схемы** и **Проверка готовности системы к расчёту**

Контроль расчетной схемы на соответствие типу схемы выполняется операцией **Экспресс-контроль схемы** (рис. 4.1.). Проверка направления выдачи усилий производится одноименной кнопкой на панели фильтров. Для проверки готовности системы к расчёту используйте одноименную кнопку (рис. 4.1.). После контроля расчетной схемы переходим в **Дерево проекта**, для чего активируем вкладку **Управление** в инструментальной панели и нажимаем кнопку **Выйти в экран управления проектом**.

## 4.2. Расчетные сочетания усилий и перемещений

Определить расчетные сочетания — значит найти такие сочетания отдельных загрузений, которые являются наиболее опасными для каждого проверяемого элемента, то есть для каждого сечения стержневого элемента и каждого узла двухмерного или трехмерного конечного элемента. При этом найденный набор комбинаций может не совпадать для различных элементов. Кроме того, каждому элементу соответствует не одно РСУ, а несколько. Таким образом, для системы в целом мы получаем сочетания загрузений, которые физически не действуют одновременно, поэтому нельзя построить «эпюру РСУ» или «изополя РСУ».<sup>4</sup> Поэтому, если есть необходимость увидеть результат одновременного действия нескольких загрузений, необходимо воспользоваться режимом **Комбинации загрузений**.

Операция подготовки данных РСУ вызывается из **Дерева проекта** в разделе **Специальные данные**, подраздел **Расчетные сочетания усилий**.

Диалоговое окно **Расчетные сочетания усилий и перемещений** (рис. 4.2.) включает различные элементы управления.

При первичном заполнении данных в таблице с характеристиками загрузений сформировано столько строк, сколько загрузений в задаче, при этом по умолчанию всем им присваивается тип «неактивное».

После активации маркерами графы **Активное загрузение** во всех графах таблицы автоматически будут приведены значения коэффициентов, которые были заданы при формировании загрузений. При изменении значений коэффициентов в диалоговом окне **Расчетные сочетания усилий и перемещений** они автоматически заменяются и в диалоговом окне **Сохранение загрузения**.

Для того чтобы, после проверки характеристик всех активных загрузений, вернуться в **Дерево проекта** с автоматическим сохранением заданных параметров, необходимо нажать кнопку **ОК**.

---

<sup>4</sup> См.: [2] – с. 582

Расчет РСУ производится на основании выбранных ранее норм проектирования. Смена норм проектирования может быть выполнена с помощью пункта **Настройка норм проектирования** меню **Настройки**.

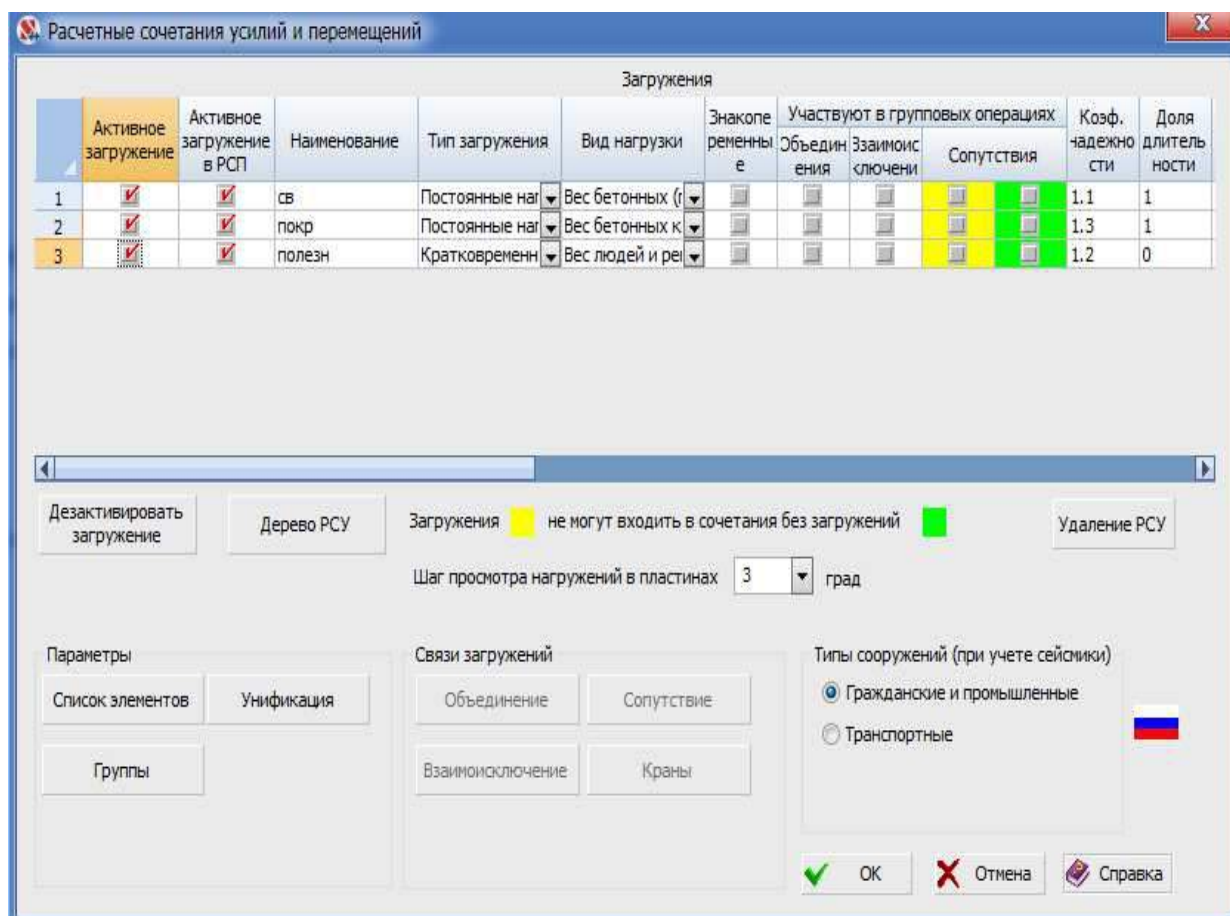




Рис. 4.2. Диалоговое окно **Расчетные сочетания усилий и перемещений**

### 4.3. Линейный расчет

Если позиция **Линейный расчет** дерева проекта отмечена пиктограммой , то расчетная схема готова для выполнения расчета, если пиктограмма имеет вид , то расчет недоступен, ввиду частичного отсутствия обязательных исходных данных (описание геометрии расчетной схемы, жесткостные характеристики, нагрузки). Когда не хватает необязательных данных (к примеру, описания шарниров, которых может не быть в схеме), пиктограмма соответствующей позиции **Дерева проекта** в разделе **Расчетная схема** содержит вопросительный знак.

В группе функций **Расчет** выбираем **Линейный**. На экране появится диалоговое окно **Параметры расчета**, в котором выполняется настройка параметров управления расчетом. Примем для расчета значения параметров, установленные по умолчанию, и нажмем кнопку **ОК**.

Ход расчета отображается в специальном окне (рис. 4.3.), в заголовке которого указано имя задачи. Окно состоит из трех полей: в первом показана расчетная схема; во втором — профиль матрицы жесткости; в третьем — протокол выполнения расчета.

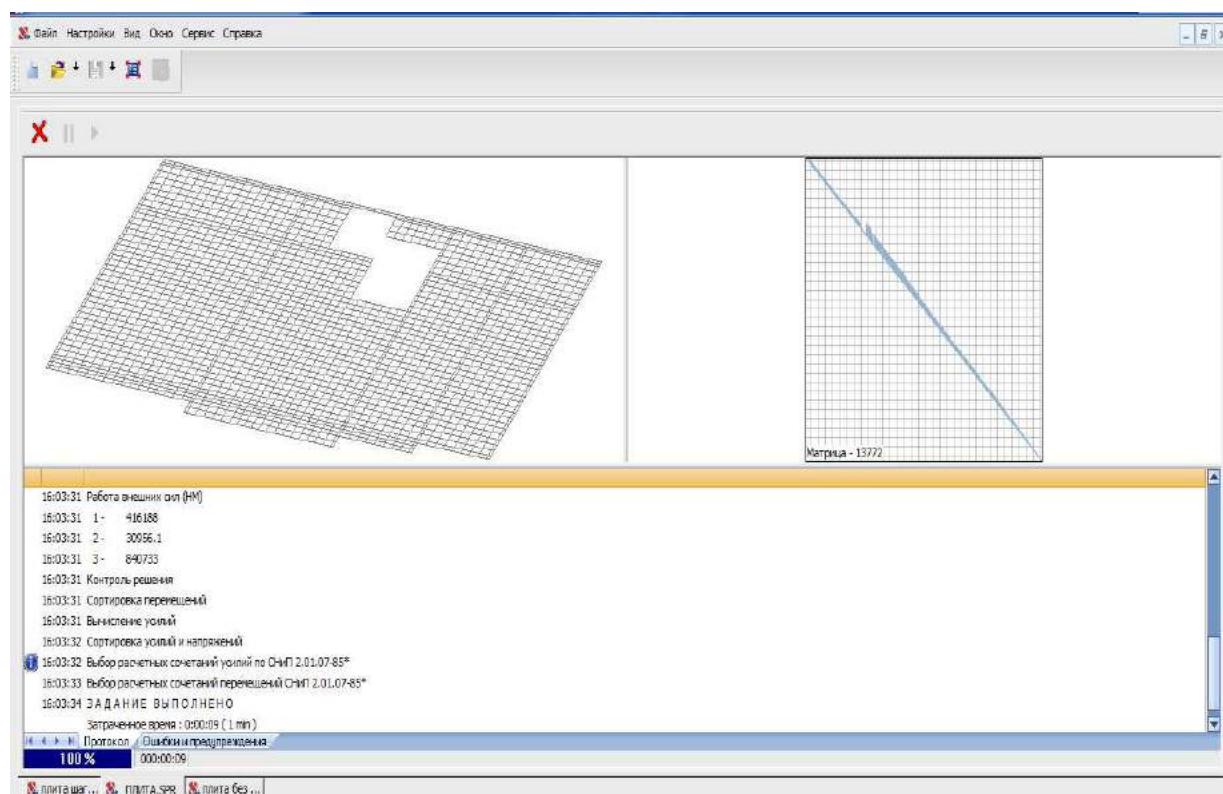


Рис. 4.3. Окно, отображающее ход расчета

Кнопками в инструментальной панели этого окна можно закрыть окно расчета, приостановить и продолжить расчет после остановки. Протокол выполнения расчета содержит данные о расчетной схеме, информацию о ходе расчета, возникших ошибках и предупреждениях. Для просмотра протокола используется одноименная операция, которая вызывается из окна **Дерево проекта** или инструментальной панели **Управление** пре- и постпроцессора.

## 4.4. Графический анализ результатов расчета

После выполнения расчета и нажатия кнопки **Заккрыть окно расчета** управление вновь переходит к **Дереву проекта**. Если расчет завершился успешно, то можно приступить к анализу полученных результатов.

С помощью левой кнопки мыши активируем позицию **Графический анализ** раздела **Результаты в окне** дерева проекта. При этом появляется окно графического постпроцессора, инструментальная панель которого включает закладки панелей отображения результатов расчета (перемещения, усилия и напряжения), результатов работы расчетных и конструирующих постпроцессоров — закладки **Постпроцессоры** (анализ нагрузок от фрагмента схемы, главных и эквивалентных напряжений и т.п.), **Сталь** (экспертиза элементов стальных конструкций), **Железобетон** (экспертиза элементов железобетонных конструкций).

## 4.5. Подбор арматуры плиты перекрытия

### 4.5.1. Общие сведения о подборе арматуры

В режиме **Армирование сечений железобетонных элементов** выполняется подбор арматуры и экспертиза заданного армирования в элементах железобетонных конструкций по предельным состояниям первой и второй групп в соответствии с требованиями [4] или другого нормативного документа, назначенного ранее.

Расчет выполняется для железобетонных конструкций из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов с применением арматурной стали или арматурной проволоки.

Для работы постпроцессора необходимы следующие исходные данные:

- геометрия армируемого сечения - *введена*;
- расчетные сочетания усилий (PCY) при наличии 2х и более загрузжений - *назначены*;
- информация о классе бетона, классе арматуры, расстояние до центра тяжести арматуры и т.п. – *необходимо задать*.

Экспертиза и подбор арматуры в стержневых элементах выполняется в соответствии с методикой, предложенной Н.И. Карпенко [5]. На данной методике основаны и рекомендации [4]. В [4], в отличие от [6], не оговорено условие образования наклонных трещин. В программе такая проверка все же реализована в соответствии с рекомендациями п. 4.28 [6] при условии, что установлено требование отсутствия трещин.

Модуль армирования **Плита. Оболочка** предназначен для экспертизы и подбора арматуры железобетонных плит и оболочек по предельным состояниям первой и второй групп (прочность и трещиностойкость).

Для плиты подбор выполняется с учетом приведенных ниже силовых факторов, вычисленных в центре элемента:

- перерезывающие силы —  $Q_x, Q_y$ ;
- изгибающие моменты —  $M_x, M_y$ ;
- крутящий момент —  $M_k$ .

Расстояние до центра тяжести арматуры может описываться двумя или четырьмя значениями. В первом случае значение  $a_1$  соответствует расстоянию до центра тяжести нижней арматурной сетки,  $a_2$  — верхней арматурной сетки. Во втором случае  $a_1$  и  $a_2$  задаются для арматуры, расположенной соответственно снизу и сверху вдоль оси  $X_1$ ,  $a_3$  и  $a_4$  — для арматуры вдоль оси  $Y_1$ .

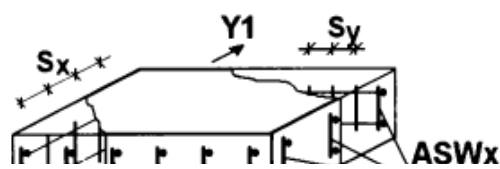
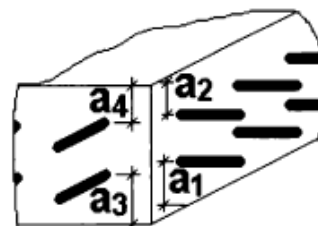
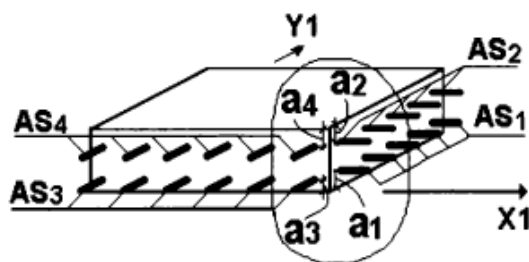


Рис. 4.4. Расположение арматуры

В результате работы модуля вычисляются площади верхней и нижней продольной арматуры, площади и шаги поперечной арматуры. На рис. 4.4. для сечений элемента железобетонной оболочки приведено расположение и идентификация верхней и нижней продольной арматуры, а также поперечной арматуры.<sup>5</sup>

#### 4.5.2. Ввод данных для подбора арматуры

Управление операциями ввода исходных данных для анализа несущей способности и подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций выполняется во вкладке инструментальной панели **Железобетон** (рис. 4.5.).

<sup>5</sup> См.: [2] – с. 603-608



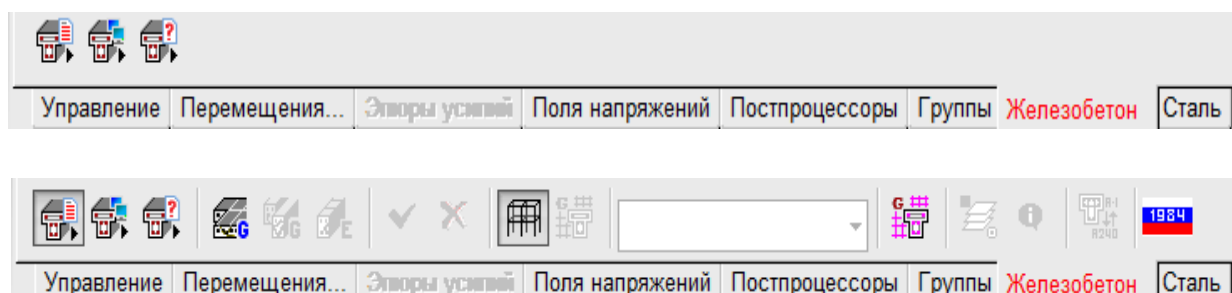


Рис. 4.5. Вкладка **Железобетон** инструментальной панели

Необходимым условием для работы, как было сказано выше, является наличие расчетных сочетаний усилий (PCY). Пока PCY не рассчитаны, функции анализа железобетонных конструкций недоступны. Следует обратить внимание на соответствие норм (СП, СНиП и т.д.), заданных при формировании PCY, и норм, использованных при анализе элементов железобетонных конструкций.

При подготовке новых конструктивных групп следует:

— отметить на схеме элементы, входящие в конструктивную группу (*для того чтобы выделить все элементы плиты нужно нажать правой кнопкой мыши на схему и выбрать пункт **Инвертировать выбор элементов***);

— во вкладке **Железобетон** инструментальной панели активировать команду **Ввод данных**, после чего появится инструментальная панель подготовки исходных данных для анализа элементов железобетонных конструкций;

— выбрать кнопку, соответствующую типу создаваемой группы (***Создание групп армирования пластин***);

— нажать кнопку **Подтверждение**;

— в появившемся диалоговом окне **Армирование пластин** (рис. 4.6.) задать имя группы, ввести или выбрать из списков необходимые данные в соответствии с заданием, [1], [6] и [4], в том числе, значение коэффициента надежности по ответственности, класс арматуры, коэффициенты условий работы и максимально допустимые диаметры продольной и поперечной арматуры, класс бетона и другие;

— нажать кнопку **Добавить**;

— выйти из диалогового окна, с помощью кнопки **Выход**.

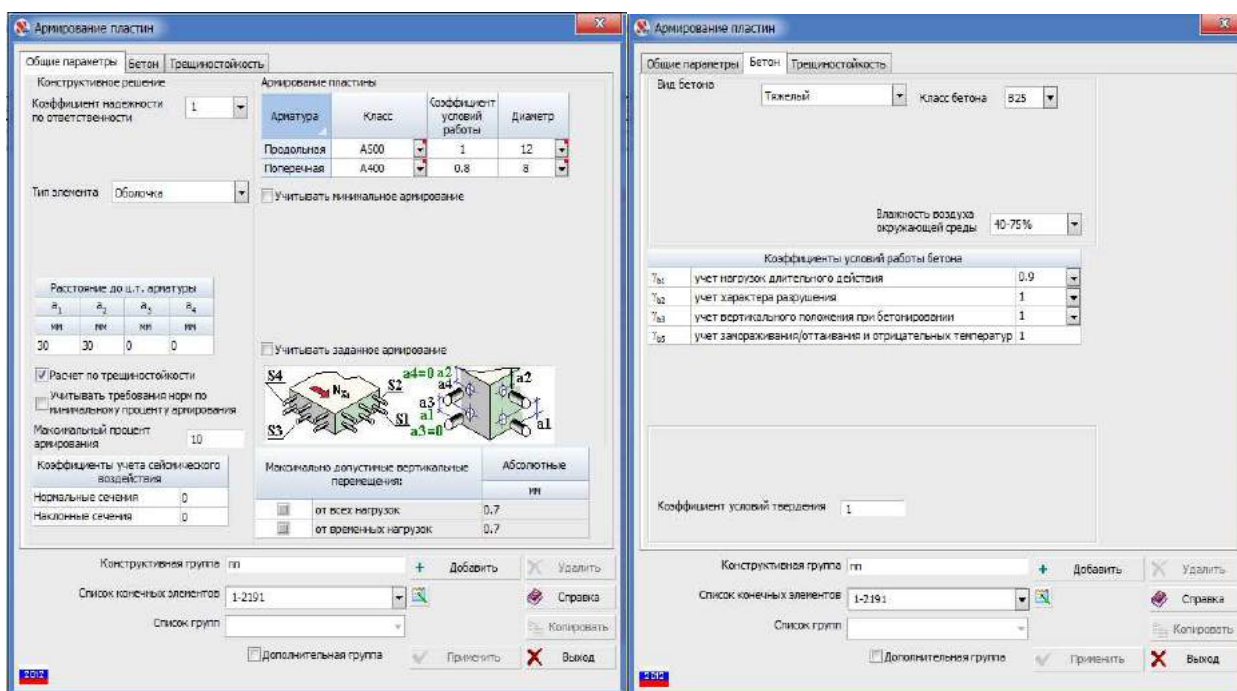


Рис. 4.6. Диалоговое окно Армирование пластин

### 4.5.3. Подбор арматуры в плите перекрытия

После формирования группы конструктивных элементов можно перейти к армированию плиты перекрытия. Подбор арматуры и отображение результатов подбора выполняется с помощью инструментальной панели **Железобетон**. Для активации расчета используется операция **Подбор арматуры** в одноименном разделе панели. Данная кнопка включает стрелку дополнительных возможностей, которая позволяет, помимо полного подбора для всех групп конструктивных элементов, произвести подбор только для тех групп, которые были изменены, просмотреть сообщения, выведенные при предыдущем расчете, и выполнить контроль данных без проведения расчета.

Ход подбора арматуры отображается в окне **Выполнение расчета**. После завершения расчета выводятся сообщения, появляющиеся в процессе подбора.

По результатам подбора может быть сформирован отчет.

Для того чтобы учесть возможное возрастание силовых факторов у краев элемента (для подбора используются значения усилий в центре конечного элемента), при подборе арматуры в пластинчатых элементах производится увеличение подобранной площади арматуры на 5%<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> См.: [2] – с. 625-626

#### 4.5.4. Вывод результатов подбора арматуры

Для всех видов армирования пластинчатых элементов выводится погонная площадь армирования в виде изолиний, изополей или цветowych карт **Железобетон** → **Подбор арматуры** → **Отображение изополей армирования пластин/Отображение изополей и изолиний армирования пластин/Отображение цветовой карты результатов армирования**. Также, в программе предусмотрен вывод результатов подбора продольной арматуры в виде набора стержней по направлениям, совпадающим с направлениями выдачи усилий. Для активации этой операции используется команда **Переключение формы выдачи результата**, шаг арматуры выбирается из одноименного списка в инструментальной панели.

Кроме того, результаты подбора продольной арматуры могут отображаться как дополнительное армирование, выполняемое сетками или отдельными стержнями. При армировании сетками (кнопка **Дополнительное армирование сетками**) необходимо выбрать из списка **Выбор шага арматуры** шаг следования стержней в сетке. Если дополнительное армирование задается стержнями (кнопка **Дополнительное армирование стержнями**), то из списка **Выбор диаметра дополнительной арматуры** выбирается диаметр стержней.

Для того чтобы отобразить результаты подбора арматуры плиты перекрытия в форме, представленной на рис. 4.7. – 4.10 нажимаем кнопку **Отображение изополей армирования пластин** раздела **Подбор арматуры** инструментальной панели **Железобетон**. Для вывода результатов подбора продольной арматуры в виде набора стержней активируем команду **Переключение формы выдачи результата**. Из выпадающего списка **Выбор шага арматуры** выбираем шаг стержней 200 мм. Тип (нижняя или верхняя) и направление (вдоль оси X или Y) отображаемого армирования назначается с помощью операции **Задание типа информации**.

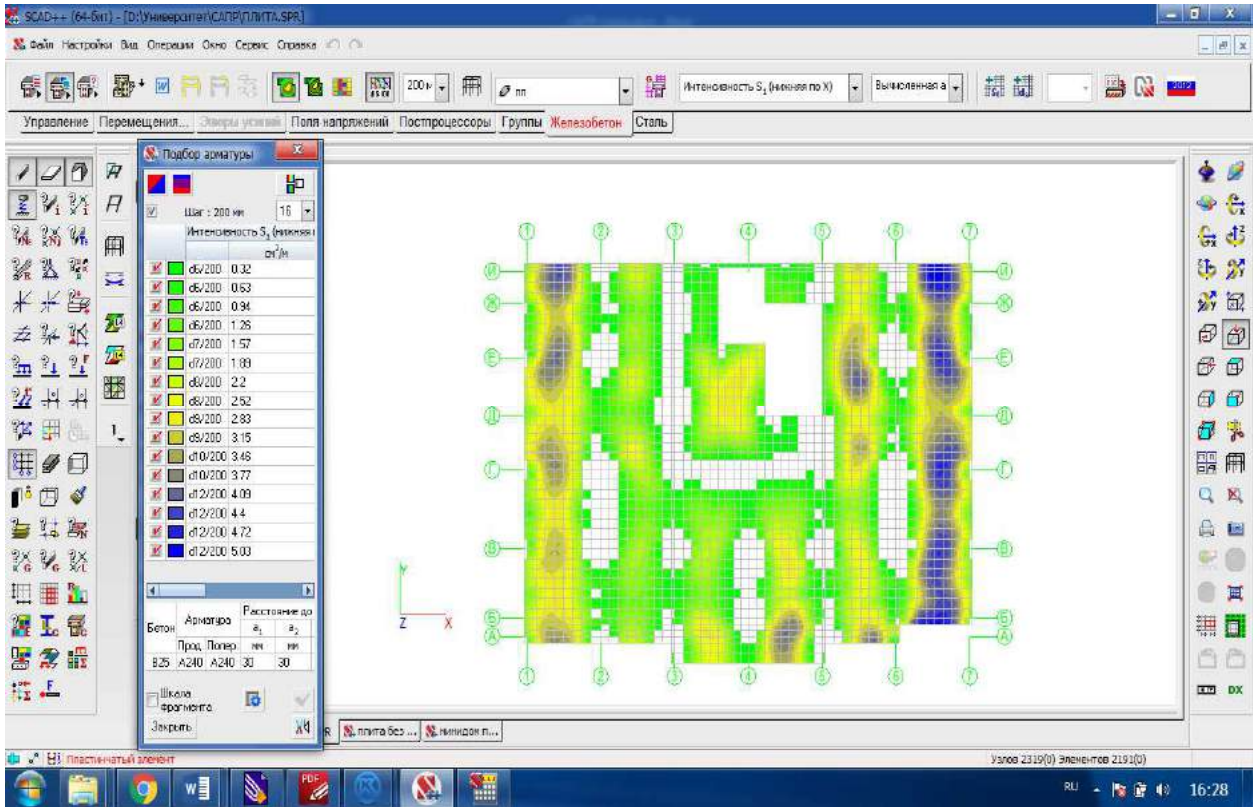


Рис. 4.7. Нижняя арматура по направлению оси X. Шаг арматуры 200мм

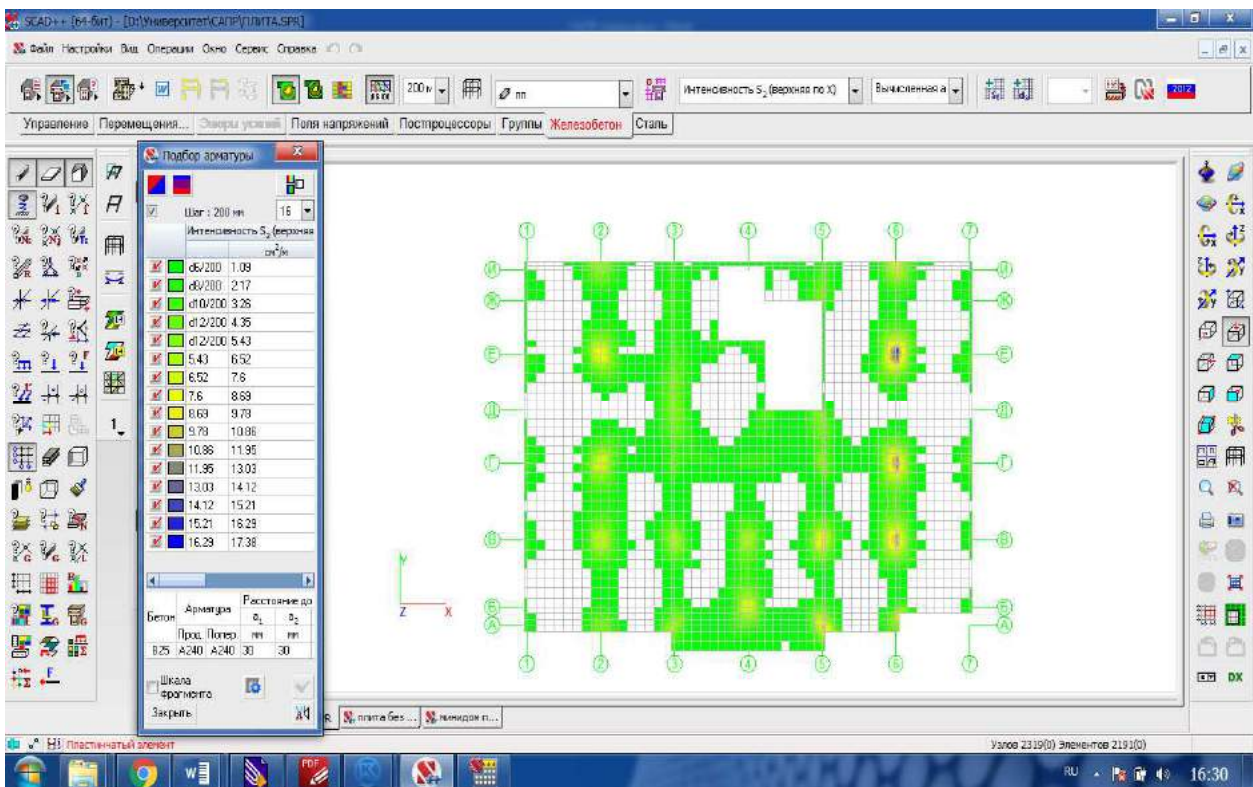


Рис. 4.8. Верхняя арматура по направлению оси X. Шаг арматуры 200мм

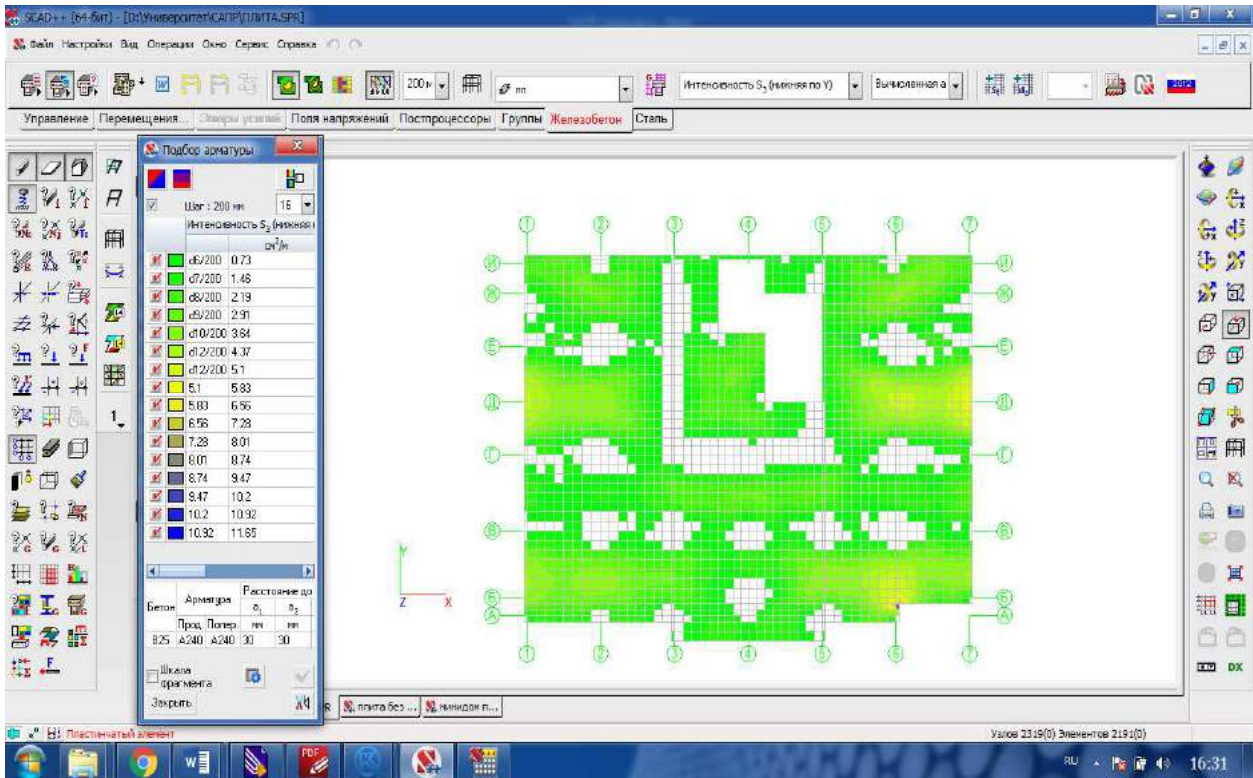


Рис. 4.9. Нижняя арматура по направлению оси Y. Шаг арматуры 200мм

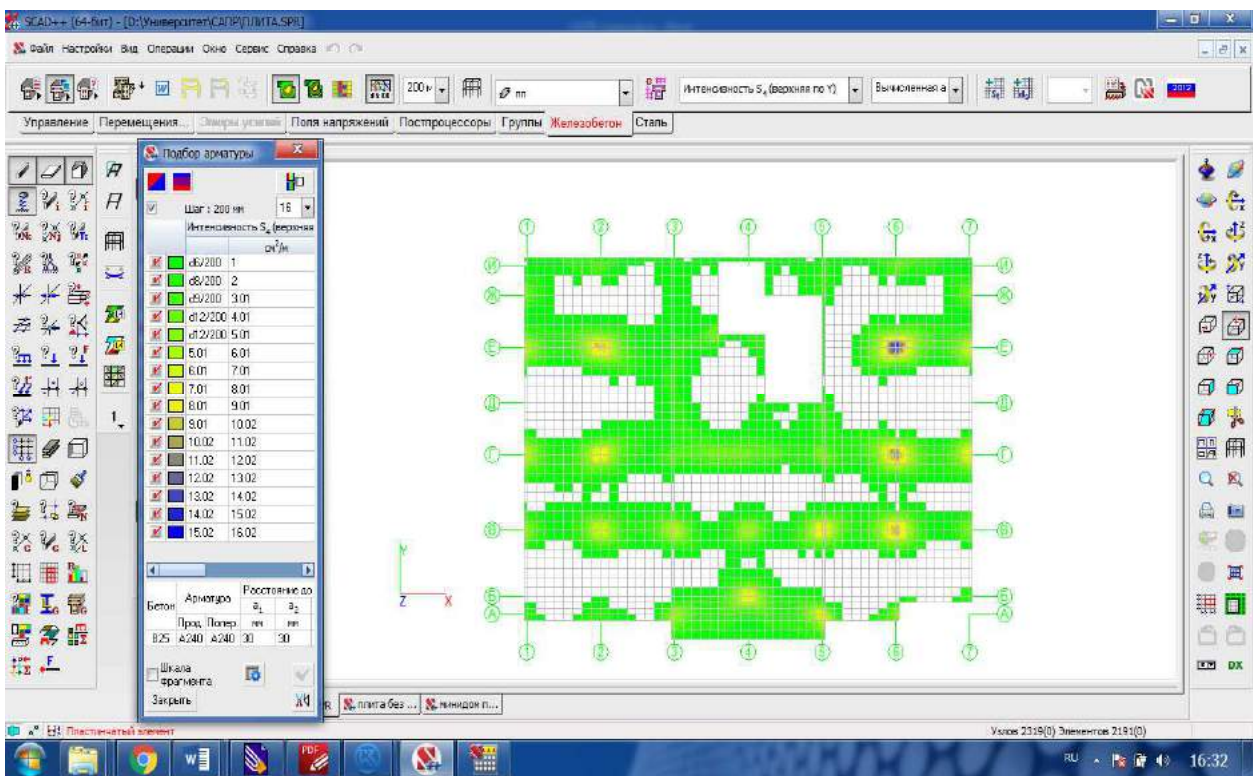


Рис. 4.10. Верхняя арматура по направлению оси Y. Шаг арматуры 200мм

## 5. Сравнительный анализ армирования плиты перекрытия в зависимости от выбранной расчетной схемы

Современные вычислительные комплексы, созданные на основе метода конечных элементов, дают возможность составить расчетную схему, моделирующую здание в целом, что позволяет учесть особенности действительной работы сооружения и оценить влияние совместной работы конструкций на напряженно-деформированное состояние отдельных элементов.

Произведен расчет и сравнение результатов армирования плиты перекрытия для 5-ти различных расчетных схем при прочих равных условиях (нагрузки, сетка конечных элементов, жесткостные характеристики и т.д.). Несущая система здания включает ядро жесткости, образованное монолитными стенами, осадка фундамента удовлетворяет нормативным требованиям. Это снижает влияние на напряженное состояние перекрытия, горизонтальных нагрузок здания и деформации основания.

Виды расчетных схем:

- плита перекрытия в составе монолитного каркаса здания с учетом всех действующих на него нагрузок (рис. 5.1.а.). Модель здания построена с использованием препроцессора Форум. При генерации проекта в SCAD включен маркер **Сгущение сетки под колоннами**, вследствие чего на участках пересечения колонн и перекрытий моделируются жесткие тела, размеры которых соответствуют размерам колонн, что способствует более корректному распределению напряжений в каркасе;

- одноэтажный фрагмент, включающий перекрытие одного этажа и вертикальные конструкции (колонны и монолитные стены), нижележащего этажа с шарнирными опорами (рис. 5.1.б.). На участках пересечения колонн и перекрытий моделируются жесткие тела. Приложены только вертикальные нагрузки;

- обособленная плита перекрытия. На участках пересечения колонн и перекрытий также созданы жесткие тела, размеры которых соответствуют размерам колонн. Опирается плита на колонны и монолитные стены шарнирно. Приложены только вертикальные нагрузки;

- отдельно взятая плита перекрытия без жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий (рис. 5.1.в.). Плита опирается на нижележащие конструкции шарнирно.

- плита перекрытия без жестких тел на участках пересечения колонн и перекрытий. Узлы опирания плиты на колонны и монолитные стены - жесткие.

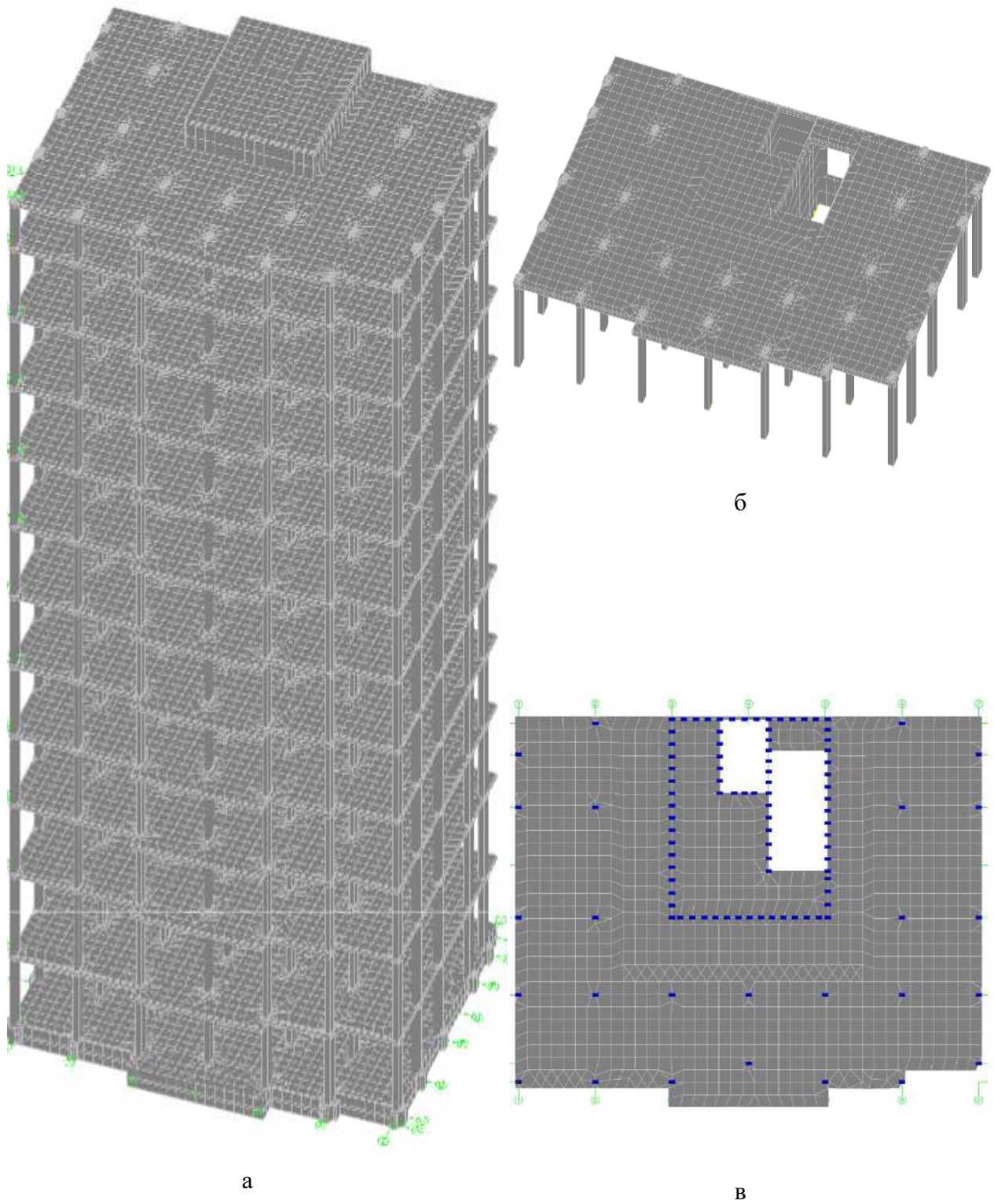


Рис. 5.1. Типы расчетных схем

Интенсивность армирования по результатам расчета приведена в табл. 5.1.

Табл. 5.1. Максимальная интенсивность армирования (см<sup>2</sup>/м)

Расположение арматуры \ Вид расчетной схемы	Плита в составе монолитного каркаса здания	Одноэтажный фрагмент	Плита с жесткими телами и шарнирным опиранием	Плита без жестких тел, с шарнирным опиранием	Плита без жестких тел, с жестким опиранием
Нижняя по X	5,46	5,68	5,60	3,83	2,14
Верхняя по X	7,63	5,83	6,11	6,76	7,13
Нижняя по Y	4,75	4,13	4,09	3,89	2,66
Верхняя по Y	7,31	6,31	5,9	8,35	9,3

Стоит отметить, что распределение напряжений в плите при учете совместной работы с каркасом отличается от распределения напряжений в 4-х других вариантах, когда плита рассматривается обособленно. Это обусловлено неравномерными осадками опор плиты, вызванными неравномерным укорочением вертикальных элементов в общей схеме здания, что соответствует действительной работе конструкции. Для анализа выбрана плита перекрытия второго этажа, для вышележащих плит картина распределения напряжений аналогична.

Представленные выше результаты подтверждают то, что расчет и подбор арматуры плиты перекрытия оптимально производить с учетом ее работы в составе монолитного каркаса.

Если подобный расчет невозможен (недостаток данных или др.) или нецелесообразен (к примеру, необходимо только проверить арматуру существующего перекрытия), то допускается расчет на действие вертикальных нагрузок одноэтажного фрагмента или обособленной плиты с жесткими телами на участках пересечения колонн и перекрытий. Но это не приводит к значительному снижению точности результатов только при условии, что горизонтальные нагрузки здания и деформации основания не оказывают заметного влияния на напряженное состояние конструкций перекрытия.



### Пример армирования междуэтажного перекрытия

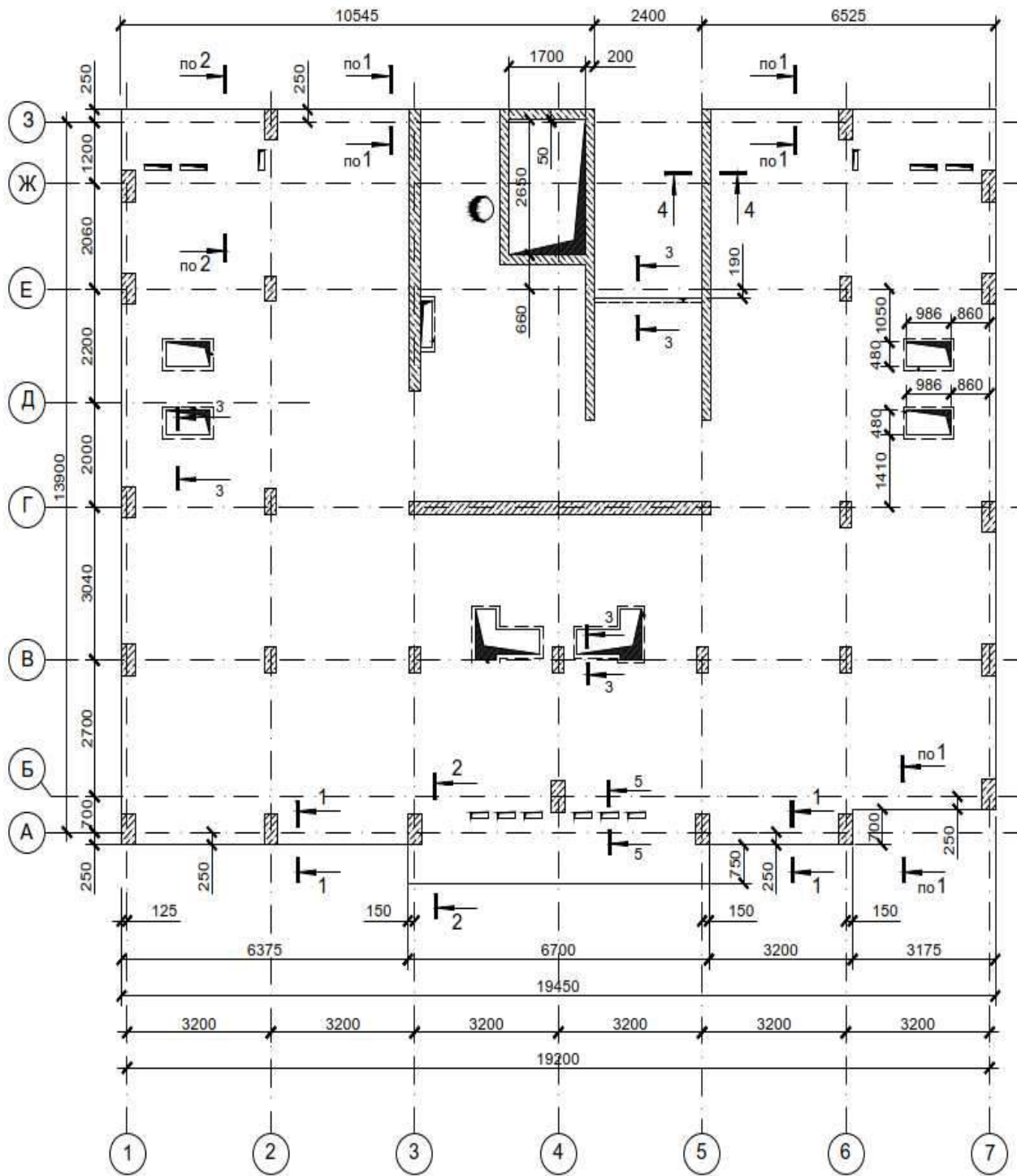


Рис. П.1. Монолитная плита перекрытия. Опалубка

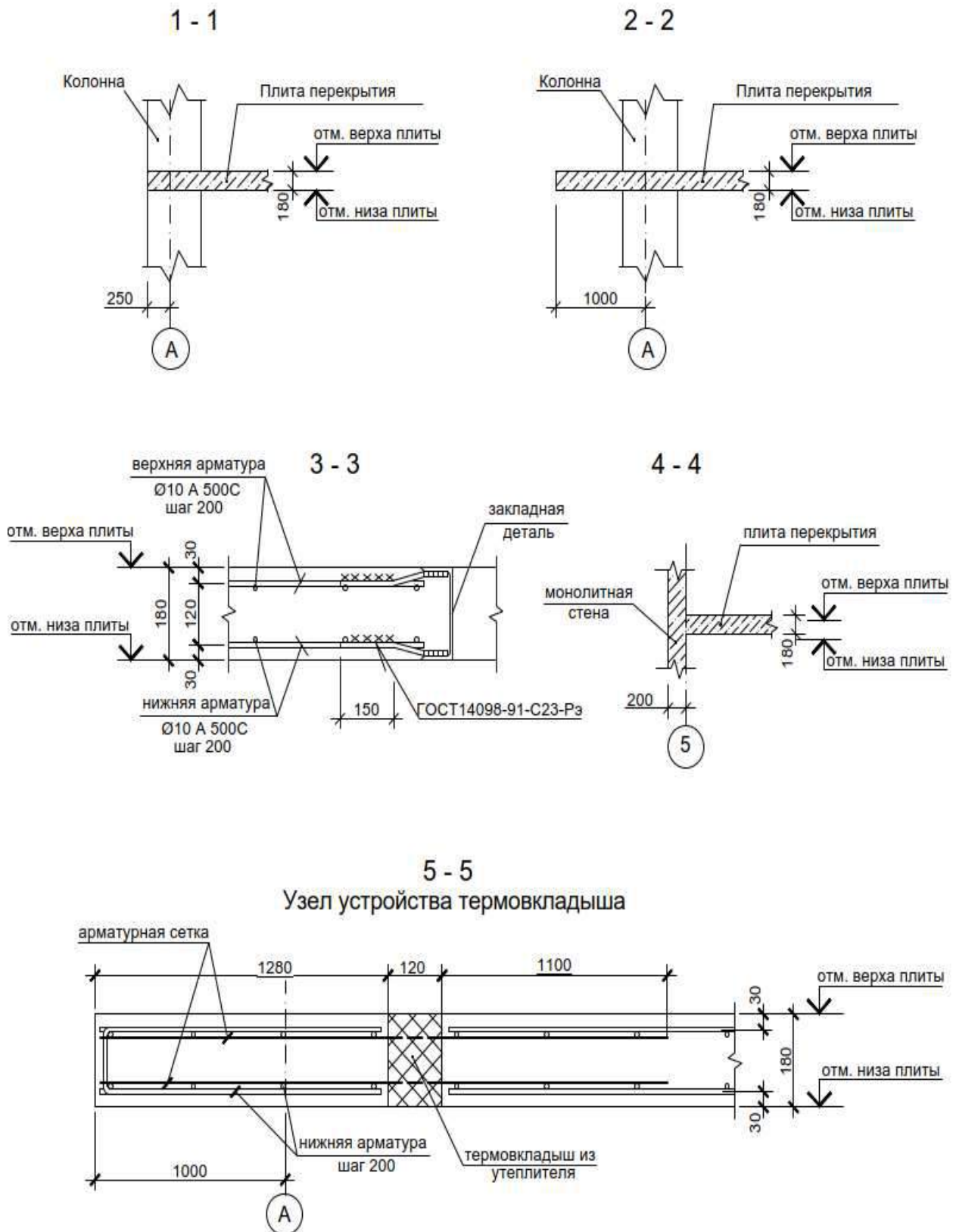


Рис. П.2. Монолитная плита перекрытия. Опалубка. Узлы.

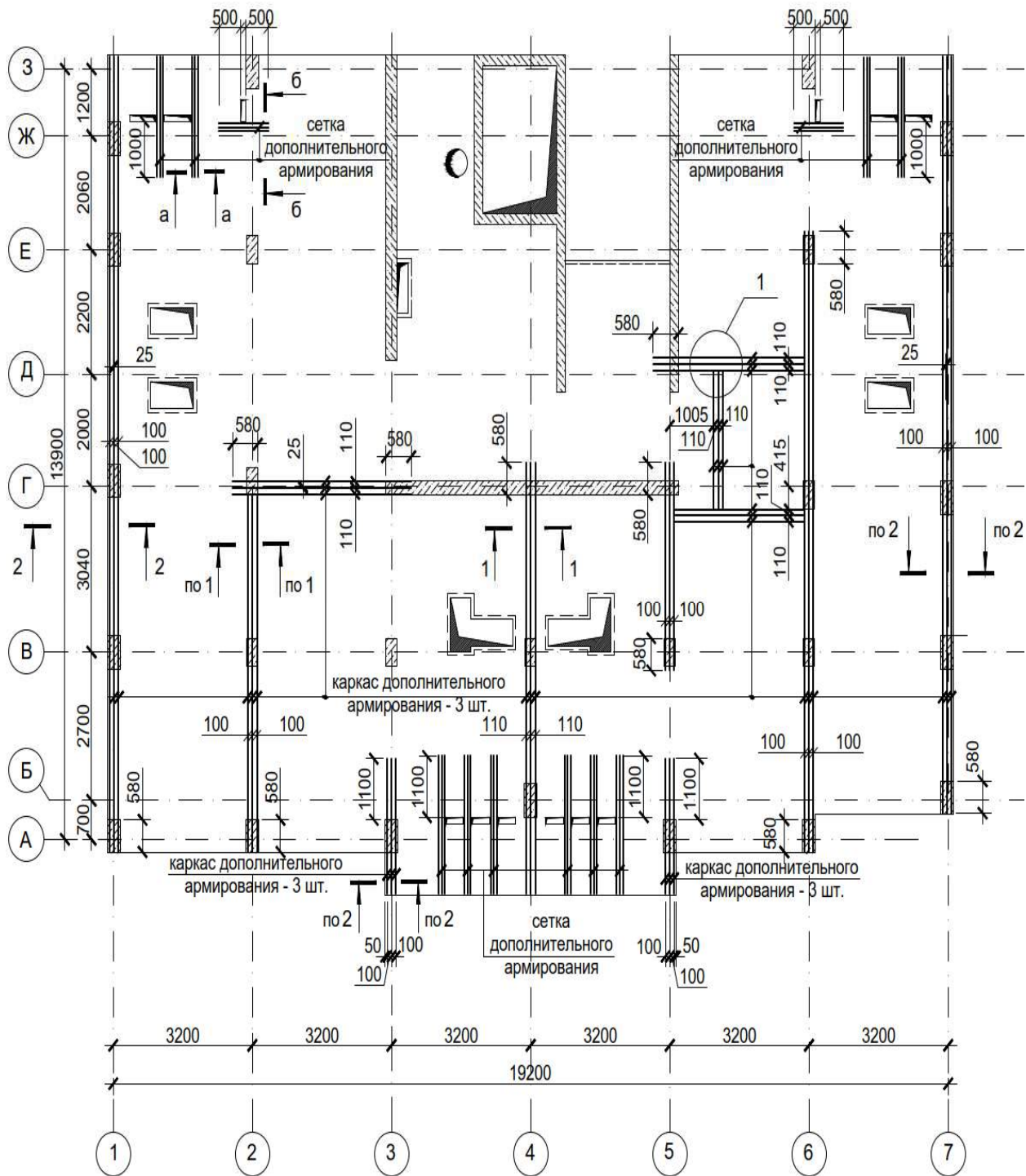


Рис. П.3. Монолитная плита перекрытия.

Схема расположения дополнительных сеток и каркасов

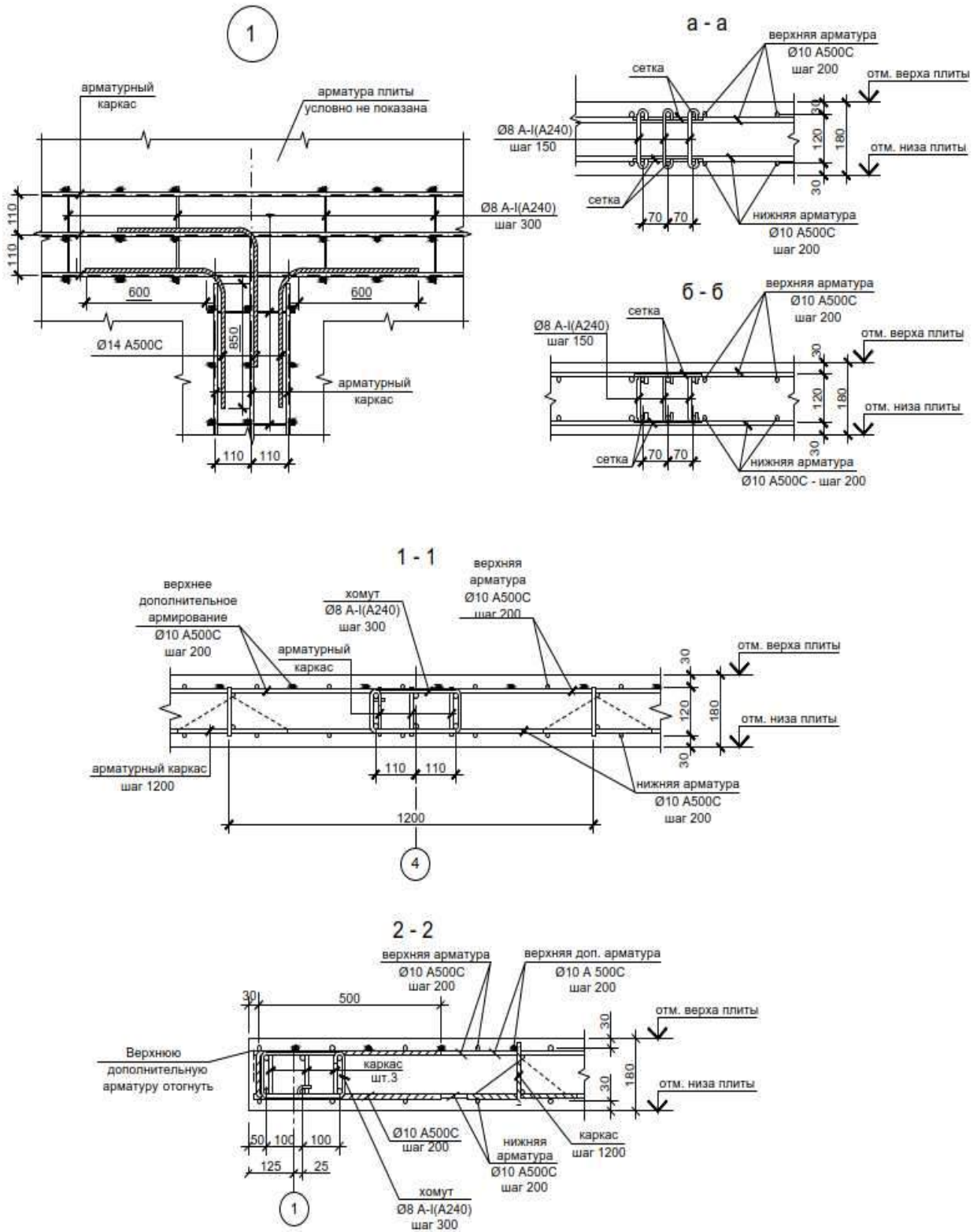
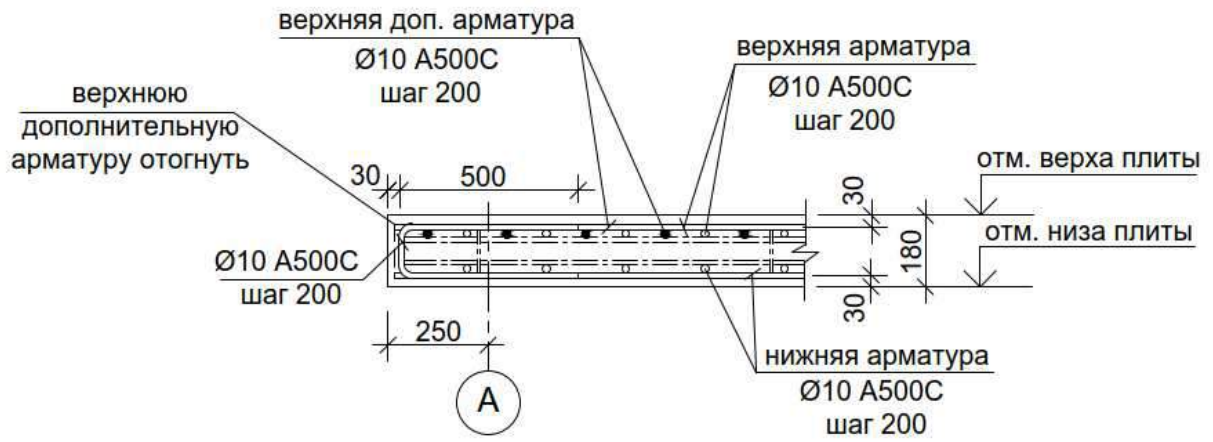


Рис. П.4. Монолитная плита перекрытия.

Схема расположения дополнительных сеток и каркасов. Узлы.



## 1 - 1



## 2 - 2

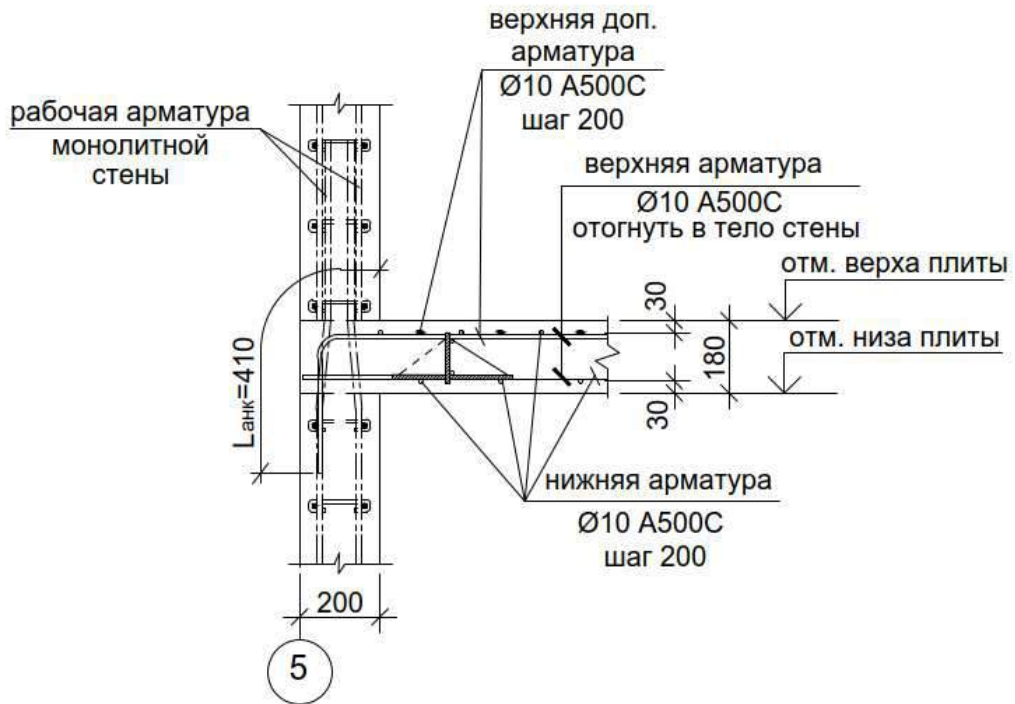


Рис. П.6. Монолитная плита перекрытия.  
Основное армирование в нижней зоне. Узлы



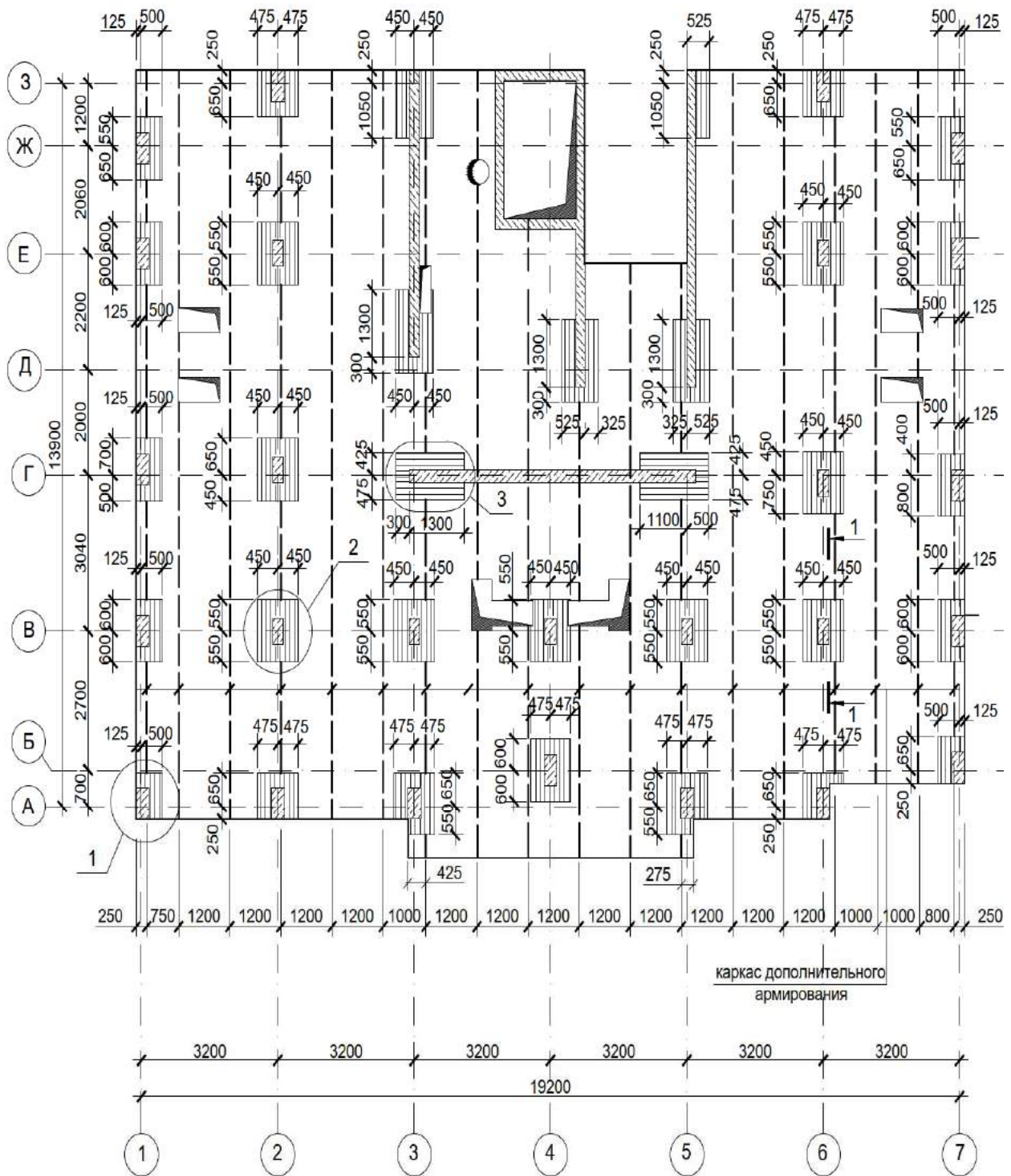


Рис. П.8. Монолитная плита перекрытия.

Схема расположения поддерживающих каркасов  
и каркасов в зоне продавливания



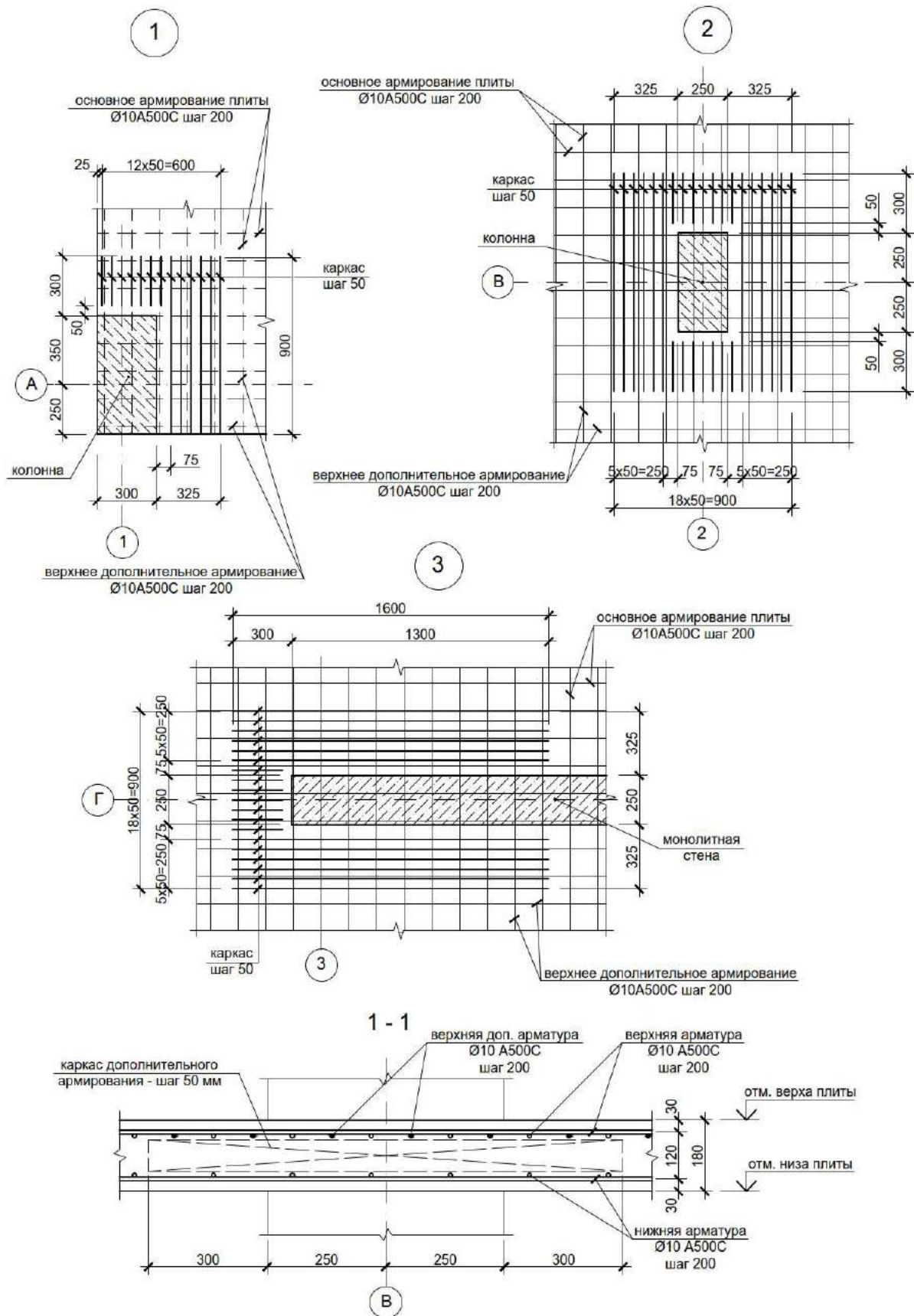


Рис. П.9. Монолитная плита перекрытия.

Схема расположения поддерживающих каркасов  
и каркасов в зоне продавливания. Узлы

## Список литературы

1. И. Тихонов, Пособие по проектированию. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий, Москва, 2007.
2. В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, М. А. Микитавренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер, SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD, Москва: СКАД СОФТ, 2015.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
4. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2, 3).
5. Н.И., Карпенко, Общие модели механики железобетона, Москва: Стройиздат, 1996.
6. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-03), Москва: ЦНИИПромзданий, 2005.
7. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
8. Байков В.Н., Сигалов В.Н., Железобетонные конструкции. Общий курс, Москва: Стройиздат, 1991, р. 767.
9. Методическое пособие , Плоские безбалочные железобетонные перекрытия. Правила проектирования, Москва, 2017.
10. А.С. Городецкий, Л.Г. Батрак, Д.А. Городецкий, М.В. Лазнюк, С.В. Юсипенко, Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона: проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии, Киев: Факт, 2004.
11. А.Э. Дорфман, Л.Н. Левонтин, Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий, Москва: Стройиздат, 1975.

12. Владим. гос. ун-т ; сост. Л.Е. Кондратьева., Основы метода конечных элементов : Введение. Расчет стержневых систем : конспект лекций, Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007.
13. Лампси Б.Б. Строительная механика Часть II. Статически неопределимые системы: учеб.-метод.пос./ Б.Б.Лампси, Н.Ю.Трянина, С.Г.Юдников, А.А.Юлина, Б.Б.Лампси, П.А.Хазов; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ , 2016. – 81.
14. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.
15. Норри, Д. Введение в метод конечных элементов : пер. с англ. / Д. Норри, Ж. де Фриз. – М. : Мир, 1981. – 304 с.
16. Маковкин Г.А., Лихачева С.Ю. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Учебное пособие. Часть 1. Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012. 71 с.
17. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов : пер. с англ. / Г. Стренг, Дж. Фикс. – М. : Мир, 1977. – 349 с.
18. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галларер. – М. : Мир, 1984. – 428 с.
19. Капустин, С. А. Метод конечных элементов в задачах механики деформируемых тел : учеб. пособие / С. А. Капустин ; Нижегород. гос. ун-т. – Н. Новгород : ННГУ, 2002. – 180 с.

Маркина Юлия Дмитриевна  
Лампси Борис Борисович  
Хазов Павел Алексеевич

РАСЧЕТ И АРМИРОВАНИЕ  
МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ  
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE

Учебное пособие

Редактор:  
А. А. Голодаева

Подписано в печать 13.02.2020г. Формат 60x90 1/8 Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. 8,7. Усл. печ. л. 9,1. Тираж 300 экз. Заказ №

---

---

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