

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра железобетонных и каменных конструкций

Направление подготовки – Строительство (код 08.03.01)

Наименование ОПОП - Промышленное и гражданское строительство

**МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Теоретический (лекционный) материал

Люблинский В.А

к.т.н., доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций

Джамуев Б. К.

к.т.н., доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций

Попов Д.С.

преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций

Москва. 2020

ГЛАВА 1.

Общие сведения и подходы к численным методам расчета несущих систем и конструкций

Тема 1.1 Основные сведения о методе конечных элементов

Метод конечных элементов (МКЭ) - основной метод современной строительной механики, лежащий в основе подавляющего большинства современных программных комплексов, предназначенных для выполнения расчетов строительных конструкций на ЭВМ. Но диапазон его применения чрезвычайно широк: строительство и машиностроение, гидро- и аэродинамика, горное дело и новейшая техника, а также различные задачи математической физики – теплопроводности, фильтрации, распространения волн и т. д.

Метод конечных элементов, как и многие другие численные методы, основан на представлении реальной континуальной конструкции ее дискретной моделью и замене дифференциальных уравнений, описывающих НДС сплошных тел, системой алгебраических уравнений. Вместе с тем МКЭ допускает ясную геометрическую, конструктивную и физическую интерпретацию.

Суть метода заключается в том, что область, занимаемая конструкцией, разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам подобластей (рисунок 1.1). Последние носят название конечных элементов (КЭ), а сам процесс разбивки – дискретизацией.

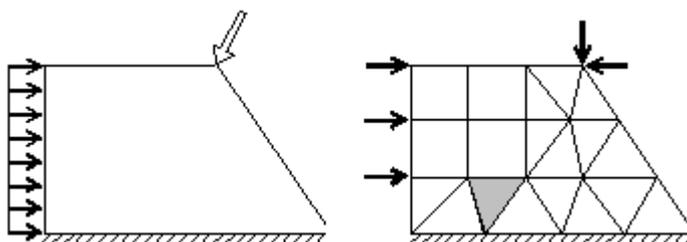


Рисунок 1.1. Разбивка плоской пластинчатой конструкции на конечные элементы

В зависимости от типа конструкции и характера ее деформации КЭ могут иметь различную форму. Так, при расчете стержневых систем (фермы, балки, рамы) КЭ представляют собой участки стержней; для двумерных континуальных конструкций (пластины, плиты, оболочки) чаще всего применяют треугольные и прямоугольные (плоские или изогнутые) КЭ; а для трехмерных областей (толстые плиты, массивы) – КЭ в форме тетраэдра или параллелепипеда. В отличие от реального сооружения в дискретной модели конечные элементы связываются между собой только в отдельных точках (*узлах*) определенным конечным числом *узловых параметров*.

МКЭ – это вариационный метод. Функционал энергии для всей рассматриваемой области здесь представляется в виде суммы функционалов отдельных ее частей – конечных элементов. По области каждого элемента, независимо от других, задается свой закон распределения искомых функций. Такая кусочно-непрерывная аппроксимация выполняется с помощью специально подобранных аппроксимирующих функций, называемых также координатными или интерполирующими. С их помощью искомые непрерывные величины (перемещения, напряжения и т.д.) в пределах каждого КЭ выражаются через значения этих величин в узловых точках, а произвольная заданная нагрузка заменяется системой эквивалентных узловых сил.

При такой кусочно-непрерывной аппроксимации обеспечивается условие совместности лишь в узлах, а в остальных точках по границам КЭ это условие удовлетворяется в общем случае приближенно (в связи с этим различают КЭ разной степени совместности).

Способ разбивки рассматриваемой области на конечные элементы, их число и число степеней свободы, а также вид аппроксимирующих функций в конечном итоге определяют точность расчета конструкции. Следует отметить, что простым увеличением числа конечных элементов не всегда удается достичь повышения точности расчетов. Вопросы устойчивости и

сходимости решения, а также оценки точности полученных результатов являются основными при использовании МКЭ.

По сравнению с другими численными методами МКЭ в лучшей степени алгоритмизирован и более гибок при описании геометрии и граничных условий рассчитываемой области. Кроме того, к достоинствам метода следует отнести его физическую наглядность и универсальность.

Применительно к стержневым системам МКЭ в форме метода перемещений может рассматриваться как матричная форма классического метода перемещений, отличающаяся только более глубокой формализацией алгоритма и ориентацией его на использование ЭВМ.

Тема 1.2 Методы решений системы уравнений.

Вариационный метод основан на принципах стационарности некоторой переменной, зависящей от одной или нескольких функций (такая переменная носит название функционала). Применительно к механике деформируемого твердого тела эта переменная представляет собой потенциальную (функционал Лагранжа) или дополнительную (функционал Кастилиано) энергию системы или формируется на основе этих двух энергий (функционалы Хеллингера-Рейсснера, Ху-Вашицу). Если в функционал подставить аппроксимирующие выражения искомых функций и применить к нему экстремальные принципы (соответственно принцип Лагранжа, принцип Кастилиано и т. д.), получим систему алгебраических уравнений, решением которой будут значения узловых неизвестных. В отличие от прямого метода вариационный метод может одинаково успешно применяться как к простым, так и сложным задачам.

В МКЭ, аналогично классическим методам строительной механики, за основные неизвестные могут приниматься величины разного типа: кинематические (перемещения, деформации), статические (внутренние силы, напряжения и др.) или смешанные кинематические и статические параметры. В зависимости от выбора узловых неизвестных различают три формы МКЭ:

метод перемещений, метод сил и смешанный метод. С этой точки зрения МКЭ можно рассматривать как обобщение традиционных методов строительной механики стержневых систем применительно к расчету континуальных систем.

Метод перемещений – в настоящее время наиболее распространенная форма МКЭ. Это объясняется тем, что для заданной конструкции легче получить кинематически определимую основную систему метода перемещений, нежели статически определимую основную систему метода сил. Кроме того, матрица жесткости метода перемещений составляется без особых затруднений и, как правило, имеет разряженную или ленточную структуру.

В основе математической формулировки МКЭ в форме метода перемещений лежит вариационный принцип Лагранжа, т. е. принцип минимума потенциальной энергии системы. Основными неизвестными здесь являются перемещения узловых точек дискретной схемы, напряжения же вторичны и определяются путем численного дифференцирования перемещений.

К достоинствам метода относятся: простота реализации; удовлетворительные точность и устойчивость решения с гарантированной сходимостью к нижней границе. Минусы: точность определения напряжений намного ниже, чем перемещений, хотя именно значения напряжений важны при прочностных расчетах, к тому же поскольку приближенное решение отвечает нижней границе, то значения и перемещений, и напряжений оказываются заниженными.

В принципе общий алгоритм расчета МКЭ сводится к последовательности шагов (матричных операций), в результате выполнения которых определяются необходимые параметры решения задачи (перемещения, деформации, напряжения). На практике расчеты по МКЭ всегда выполняются с применением компьютерных технологий, реализующих известные матричные формулы и выражения для получения промежуточных и конечных результатов.

Ниже приведены основные этапы статического расчета конструкции МКЭ.

Как известно, метод конечных элементов (МКЭ) в своей классической линейной постановке сводит решение любой задачи к решению системы линейных уравнений. При расчете железобетонных конструкций такой линейный подход не дает реальных результатов, поскольку железобетон обладает рядом специфических нелинейных свойств: пластичность бетона, сцепление бетона и арматуры, прогрессирующее образование трещин и др. Наличие столь различных по природе нелинейных свойств, проявляемых конструкциями до момента наступления их предельного состояния требует создания гибкого итерационного алгоритма для их учета.

Железобетон – основной конструкционный материал в строительстве наших дней – отличается рядом особенностей, которые необходимо учитывать для надежного проектирования разнообразных конструкций и сооружений, возводимых из этого материала. Пластические свойства бетона, его неоднородность, трещинообразование уже на ранней стадии деформирования ставят серьезные трудности перед исследователями.

Тема 1.3 Принципы выбора расчетных схем

Расчётная схема сооружения - в строительной механике, упрощённое изображение сооружения, принимаемое для расчёта. Различают несколько видов расчётных схем, отличающихся основными гипотезами, положенными в основу расчёта, а также используемым при расчёте математическим аппаратом. Чем точнее расчётная схема соответствует действительному сооружению, тем более трудоёмок его расчёт.

Классификация расчётных схем

- по характеру учёта пространственной работы – одно-, двух- и трёхмерные;

- по виду неизвестных – дискретные, дискретно-континуальные и континуальные;

- по виду конструкций, положенных в основу расчётной схемы – стержневые, пластинчатые, оболочковые и массивные;

- по учёту инерционных сил – статические и динамические.

Расчётная схема состоит из условных элементов: стержней, пластин, оболочек, массивов и связей.

Стержни используют в расчётных схемах стержневых конструкций (стоек, балок, арок и др.), систем из таких конструкций (ферм, рам, сетчатых оболочек), а также для приближённого расчёта плоскостных конструкций (например, несущих стен зданий).

Пластины треугольной и прямоугольной формы являются основными конечными элементами при расчёте методом конечных элементов плоскостных конструкций (стен и плит перекрытий зданий).

Оболочки являются расчётной схемой различных пространственных конструкций (куполов, сводов, оболочек).

Массивы в расчётных схемах используются, как правило, в качестве недеформируемых опор пролётных конструкций, опирающихся на сжимаемое основание.

Связи в расчётных схемах соединяют между собой отдельные элементы, а также конструкцию с основанием. В расчётных схемах связи различаются по числу степеней свободы, которые они отнимают от системы. Связи могут быть дискретные и распределённые (континуальные). Стержни и пластины, соединённые распределёнными связями, называются составными стержнями и пластинами.

Многоэтажное здание является сложной пространственной системой, которая в зависимости от этажности, особенностей конструктивной системы и действующих нагрузок, рассчитывается с разной степенью детализации с использованием различных расчётных схем. В современной практике

проектирования расчёт здания, как правило, выполняется по специальным программам с применением вычислительной техники.

При одномерной расчётной схеме здание рассматривается как консольный тонкостенный стержень или система стержней, упруго или жёстко закреплённых в основании. Предполагается, что поперечный контур стержня или системы стержней неизменяем.

При двухмерной расчётной схеме здание рассматривается как плоская конструкция, способная воспринимать только такую внешнюю нагрузку, которая действует в её плоскости. Для определения усилий в вертикальных несущих конструкциях условно принимается, что все они расположены в одной плоскости и имеют одинаковые горизонтальные перемещения в уровне перекрытий.

При трёхмерной расчётной схеме здание рассматривается как пространственная система, способная воспринимать приложенную к ней пространственную систему нагрузок.

Примеры двухмерных расчётных схем следующие: стены с регулярно расположенными по вертикали проёмами, составной стержень, многоэтажная рама, пластинчатая система МКЭ.

В дискретных расчётных схемах неизвестные усилия или перемещения определяют для конечного количества узлов системы путём решения систем алгебраических уравнений. Дискретные расчётные схемы наиболее приспособлены для расчёта методом конечных элементов. Такие схемы широко используют для моделирования не только стержневых систем, но и сплошных пластин и оболочек.

В дискретно-континуальных расчётных схемах неизвестные силовые факторы или перемещения задают в виде непрерывных функций вдоль одной из координатных осей. Неизвестные функции определяются решением краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Дискретно-континуальные расчётные схемы получили особо широкое применение в 60-80

годах прошлого века для расчёта стен и вертикальных диафрагм жёсткости многоэтажных зданий с регулярным расположением проёмов, когда вычислительные возможности ЭВМ были весьма ограничены.

В теории составных стержней принимается, что стержни деформируются только от продольных сил и изгиба. Между тем вертикальные диафрагмы жёсткости многоэтажных зданий часто имеют такие соотношения размеров в плане и по высоте здания, для которых необходимо учитывать деформации сдвига.

В континуальных расчётных схемах неизвестные силовые факторы или перемещения задают в виде непрерывных функций вдоль двух или трёх координатных осей. Неизвестные функции определяются решением краевой задачи для системы уравнений в частных производных. В отдельных случаях применение континуальной расчётной схемы позволяет получить решение в виде конечных формул. Однако эти случаи весьма редки. Поэтому такая расчётная схема применяется редко.

Тема 1.4 Применение суперэлементов

Сложная структура современных инженерных сооружений: многоэтажных высотных зданий, производственных объектов и т. д., с одной стороны, и стремление к использованию все более точных дискретных схем, с другой стороны, приводят к системам разрешающих уравнений очень большого порядка. Несмотря на то, что современные вычислительные средства и имеющиеся алгоритмы позволяют решать такие системы, возникают определенные трудности с хранением глобальной матрицы жёсткости, с точностью решения из-за накопления ошибок округления при огромном числе арифметических операций, с большими затратами «ручного» труда при подготовке исходной информации для расчета и значительными затратами машинного времени.

Разделение системы разрешающих уравнений МКЭ на несколько систем меньшего порядка может быть выполнено уже на этапе построения конечно-элементной модели. Это достигается с помощью введения в дискретную модель конструкции так называемых суперэлементов (СЭ). СЭ – это укрупненный элемент, включающий в себя некоторую группу обычных (*базисных*) конечных элементов. Суперэлементы обычно повторяют форму и размеры естественных частей реальных конструкций и сооружений: этажи и фрагменты зданий, блоки корпусов, различные конструктивные части сооружений. В основе объединения базисных элементов в СЭ лежит процедура конденсации, применяемая здесь для исключения неизвестных во внутренних узлах суперэлемента.

Обзор возможностей современных программных комплексов для выполнения расчетов несущих систем и строительных конструкций зданий и сооружений ориентируется на новые технологии проектирования.

В настоящее время основной технологией проектирования в области архитектуры и строительства становится **BIM** (Building Information Modeling или Building Information Model) — информационное моделирование здания или информационная модель здания — это подход к проектированию, возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания (к управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект.

Тема 1.5 Общие принципы работы с программными комплексами

В принципе общий алгоритм расчета МКЭ сводится к последовательности шагов (матричных операций), в результате выполнения которых определяются необходимые параметры решения задачи (перемещения,

деформации, напряжения). На практике расчеты по МКЭ всегда выполняются с применением компьютерных технологий, реализующих известные матричные формулы и выражения для получения промежуточных и конечных результатов.

Ниже приведены основные этапы статического расчета конструкции МКЭ.

Дискретизация конструкции. Рассматриваемая область представляется в виде совокупности конечных элементов, соединенных между собой в узловых точках. Сами элементы могут иметь различную форму и размеры, например, в виде стержня, треугольной пластинки, прямоугольной в плане оболочки, пространственного тетраэдра (рисунок 1.2 *а*). Выбор типа КЭ и общего их числа зависит от вида и формы конструкции, от требуемой точности, от характера внешней нагрузки и наложенных связей. Например, при расчете стержневых систем каждый стержень постоянного сечения принимается за отдельный элемент (рис. 1.2 *б*). Решение в этом случае получается точным.

Дискретизация континуальных систем (пластины, оболочки, массивы) является более сложной задачей. Общих рекомендаций по нанесению сетки или разбивке области на отдельные элементы нет. Обычно руководствуются предварительными представлениями о характере ожидаемого результата и в местах предполагаемых высоких градиентов искомых величин сетку КЭ сгущают. Однако следует помнить, что применение неравномерной разбивки может вызвать дополнительные трудности, связанные с ухудшением обусловленности системы разрешающих уравнений. Вообще рациональная разбивка требует некоторых практических навыков. Она может быть самой разнообразной. При решении двумерных задач (балка-стенка, изгиб плиты) дискретизация области обычно производится треугольными и прямоугольными элементами (рис. 1.2 *в*). Предполагается, что вся действующая нагрузка приводится к узловой, поэтому, например, в случае распределенной нагрузки для ее более точного моделирования бывает необходимо вводить

дополнительные узлы и элементы. Заданные перемещения, жесткие или упругие связи также должны быть отнесены к узлам.

Таким образом, первый этап заключается в составлении *конечно-элементной схемы* – дискретной модели конструкции. Здесь можно выделить следующие действия:

- а) выбор типа КЭ (по геометрии, виду аппроксимации и т. п.);
- б) разбивку области на КЭ (с нумерацией узлов и элементов);
- в) описание каждого элемента: топологические (номера узлов в сетке), физико-механические (модуль упругости и т. п.), геометрические характеристики;
- г) описание каждого узла (координаты в общей системе координат);
- д) описание заданных узловых нагрузок и перемещений.

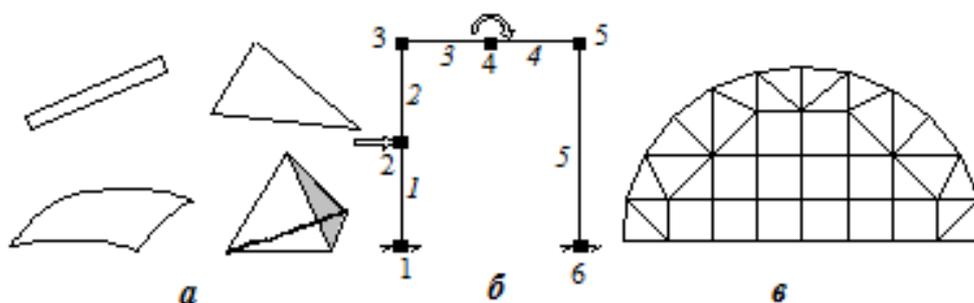


Рисунок.1.2. Дискретизация непрерывных систем: а – виды КЭ, б – разбивка плоской рамы на пять стержневых КЭ, в – разбивка балки-стенки криволинейного очертания треугольными и прямоугольными КЭ

Несмотря на то, что перечисленные выше действия не опираются на строгие теоретические рекомендации и во многом выполняются интуитивно, первый этап имеет большое значение для дальнейшего расчета конструкции.

Статические граничные условия учитываются при формировании вектора нагрузки P . Проблема решается просто, если внешние нагрузки заданы непосредственно в узловых точках. Распределенные же нагрузки заменяются эквивалентными обобщенными узловыми силами $P_{узн}$, при этом с целью уменьшения погрешности расчета часто приходится разбивать конструкцию

на более мелкие элементы. Эти узловые силы добавляются к тем, что получены при формировании (на 2-м этапе) вектора сил из элементных нагрузок.

Кинематические граничные условия, как правило, представляются в виде заданных узловых перемещений (равных и не равных нулю). Нулевые перемещения соответствуют абсолютно жестким опорным связям, наложенным на некоторые узлы дискретной модели конструкции. Отличные от нуля заданные перемещения могут быть обусловлены неточностью изготовления (монтажа), регулированием усилий, смещением (осадкой) опор и т. п.

Решение системы разрешающих уравнений заключается в следующем: Окончательная система разрешающих уравнений МКЭ для статической задачи представляет собой систему линейных алгебраических уравнений с симметричной, положительно определенной матрицей коэффициентов, как правило, ленточной структуры.

Определение внутренних усилий (напряжений) выполняется при решении системы уравнений. Результатом решения системы разрешающих уравнений МКЭ в форме метода перемещений будут компоненты узловых перемещений дискретной модели конструкции.

В МКЭ стержневая система мысленно разбивается на отдельные части - конечные элементы, соединяющиеся между собой в узлах. Узлы могут быть жесткими и шарнирными. Совокупность соединенных между собой и прикрепленных к основанию конечных элементов образует расчетную схему метода, называемую конечно-элементной схемой или конечно-элементной моделью, или просто системой элементов. Элементы и узлы конечно-элементной схемы нумеруются.

Внешняя нагрузка считается приложенной только в узлах конечно-элементной схемы. В общем случае переход от заданной нагрузки к узловой осуществляется следующим образом. На основании принципа суперпозиций рассматриваемое состояние стержневой системы может быть представлено как

сумма двух состояний (рисунок 1.3). В первом состоянии вводятся связи, препятствующие всем возможным смещениям узлов системы, аналогично тому, как образуется основная система в методе перемещений. При этом, однако, продольными деформациями стержней не пренебрегают. От действия заданных нагрузок во введенных связях возникают реакции. Во втором состоянии узлы конечно-элементной схемы не закреплены от смещений, но к ним прикладываются усилия равные по модулю реакциям в связях, определенным в первом состоянии, но противоположные им по направлению. Расчет системы в первом состоянии не представляет труда. В частности, если конечно-элементная схема создается таким образом, чтобы элементы представляли собой отдельные стержни, то для каждого из таких элементов имеется табличное решение, позволяющее определить реакции в связях и построить эпюры внутренних усилий по их длине. Для расчета же системы во втором состоянии, т.е. для решения задачи 2, и применяется метод конечных элементов. Окончательное решение задачи будет представлять собой сумму решений этих двух задач.

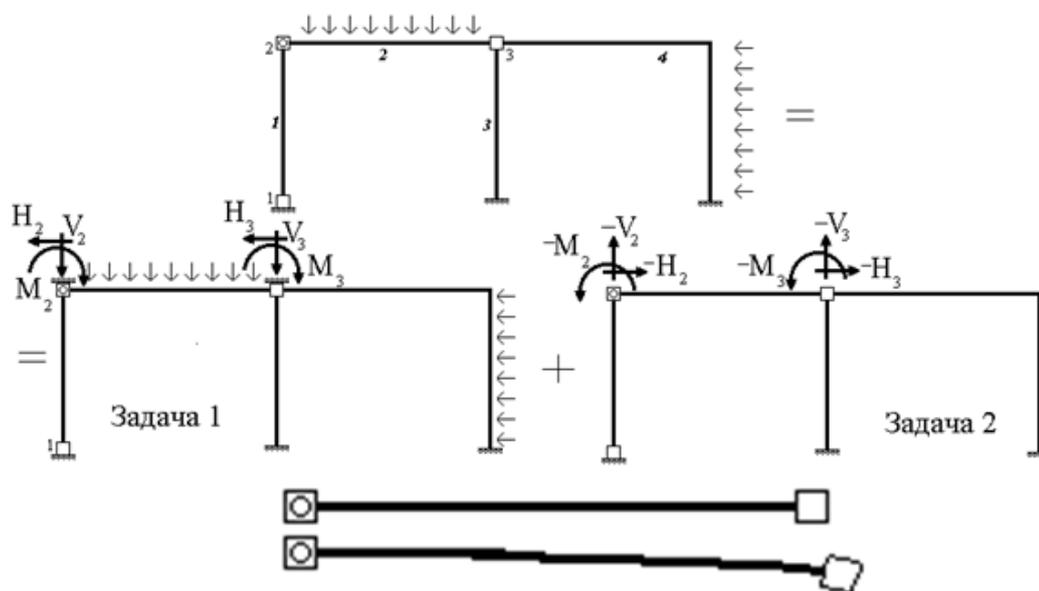


Рисунок 1.3. Усилия и перемещения узлов стержневой системы

В задаче 2 усилия, действующие на любой элемент, приложены исключительно в узлах. В этом случае перемещения узлов любого элемента,

взятого в отдельности, однозначно определяют усилия и перемещения в любой точке этого элемента. Как известно, для стержневых систем решение такой задачи может быть найдено точно.

Каждый, взятый отдельно от системы, конечный элемент должен быть достаточно простым, чтобы имелась возможность легко определить перемещения и усилия в любом сечении стержней элемента по заданным перемещениям его узлов. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями в них задается при помощи матрицы жесткости элемента. Количество перемещений узлов элемента, которые однозначно определяют состояние данного элемента называют числом степеней свободы элемента.

Для всей конечно-элементной схемы вводятся матрица жесткости системы или глобальная матрица жесткости, устанавливающая связь между перемещениями узлов системы и усилиями в них, а также число степеней свободы системы или глобальное число степеней свободы - количество перемещений узлов системы, которые достаточно знать, чтобы однозначно определить состояние всей системы.

Для всех элементов, из которых состоит конечно-элементная схема, должны быть построены матрицы жесткости элементов. В программных комплексах, реализующих алгоритм метода конечных элементов, хранятся готовые матрицы жесткости для элементов различных типов.

На практике, при расчете плоских стержневых систем используют готовые матрицы жесткости для элементов только трех типов: простых стержней с двумя жесткими узлами, двумя шарнирными узлами, одним жестким и одним шарнирным узлом. В этом случае при разбивке стержневой системы на элементы узлы вводятся в местах соединения и изломов стержней, в опорах, шарнирах и на свободных концах консольных стержней. В принципе узел может быть введен и в любых других точках, например, в точках приложения сосредоточенных сил.

Из построенных матриц жесткости элементов формируется матрица жесткости системы. Для этого все матрицы жесткости элементов и матрица жесткости системы должны быть сформированы в единой системе осей координат, называемой *глобальной системой осей координат*. При расчете плоских стержневых систем традиционно используется следующая глобальная система осей координат (ось 1 направлена вправо, ось 2 - вверх, ось 3 - против часовой стрелки).

Матрицы жесткости элементов могут формироваться и храниться в памяти ЭВМ в своих, локальных системах осей координат, в общем случае отличных от глобальной системы осей координат. В данной ситуации при помощи специальной процедуры эти матрицы должны быть перестроены для глобальной системы осей координат.

Так как матрица жесткости системы устанавливает связь между усилиями, приложенными к ее узлам и перемещениями ее узлов, то имея построенную матрицу жесткости системы и зная внешнюю узловую нагрузку, можно найти перемещения всех узлов конечно-элементной схемы. Для этого требуется решить систему линейных алгебраических уравнений. Порядок этой системы равен числу ее степеней свободы.

По известным перемещениям узлов системы для каждого элемента при помощи имеющихся матриц жесткости элементов можно найти внутренние усилия в элементах от действия нагрузки, приложенной в узлах.

Таким образом, метод конечных элементов в данном виде аналогичен методу перемещений, так как сначала определяются перемещения узлов системы, а затем по ним - деформации и усилия в стержнях. Возможна реализация метода конечных элементов и в форме метода сил, однако она имеет ряд существенных недостатков и поэтому представляет большей частью чисто научный, но не практический интерес.

Итак, расчет стержневой системы методом конечных элементов в форме метода перемещений состоит из следующих этапов:

1.Создание конечно-элементной схемы (разбивка системы на элементы и их нумерация).

2.Сведение заданной внешней нагрузки к узловой.

3.Формирование матриц жесткости всех элементов системы в локальных системах координат и их преобразование в глобальную систему координат.

4.Формирование глобальной матрицы жесткости, системы уравнений метода конечных элементов и ее решение.

5.Определение усилий в элементах от действия узловой нагрузки.

6.Определение окончательных значений усилий в элементах путем сложения решений задач 1 и 2.

Тема 1.5 Обзор возможностей современных программных комплексов для выполнения расчетов несущих систем и строительных конструкций зданий и сооружений.

ПК ЛИРА-САПР - многофункциональный программный комплекс, предназначенный для проектирования и расчета строительных и машиностроительных конструкций.

Расчет выполняется на статические (силовые и деформационные) и динамические воздействия. Выполняется подбор или проверка сечений стальных и(или) железобетонных конструкций. Выдаются эскизы рабочих чертежей КМ и отдельных железобетонных элементов.

Достоинства ПК ЛИРА-САПР

- реализация технологии информационного моделирования зданий (BIM). Реализация обеспечивается связью с другими архитектурными, расчетными, графическими и документирующими системами: САПФИР-3D, Revit, Tekla, AutoCAD, ArchiCAD, Advance Steel, BoCAD, Allplan, STARK ES, Gmsh и других на основе DXF, MDB, STP, SLI, MSH, STL, OBJ, IFC и прочих файлов.

- интуитивная графическая среда. Возможность 3D-визуализации расчетной схемы на всех этапах синтеза и анализа, мощная система диагностики. Многочисленные виды представления результатов решения задачи в графическом и табличном формате позволяют быстро провести необходимый анализ. В одной задаче пользователь может легко варьировать сечениями элементов, материалами, нормативами.

- удобный и простой интерфейс. Синтез расчетной схемы здания или сооружения на основе управляемой процедуры преобразования 3D и 2D архитектурных моделей, созданных в различных графических программах - САПФИР-3D, Allplan, Revit, AutoCAD и др.

- мощный многофункциональный процессор. Реализует алгоритмы составления и решения систем уравнений с порядком до нескольких миллионов неизвестных. Процессор функционирует в 64-х и 32-х разрядных режимах с использованием многоядерности современных компьютеров.

- расчет на различные виды динамических воздействий. Учитывает множество факторов: сеймику, ветер, вибрационные нагрузки, импульс, удар, ответ-спектр и мн.др.

- развитая библиотека конечных элементов. Позволяет создать компьютерные модели практически любых конструкций: плоских и пространственных рам, балок стенок, изгибаемых плит, оболочек, массивных тел, а также комбинированных систем.

- специальные конечные элементы. Большой набор специальных конечных элементов, позволяющих составлять адекватные компьютерные модели для сложных и неординарных сооружений.

- проектирование железобетонных и стальных конструкций. Проверка и подбор сечений железобетонных и стальных элементов в соответствии с действующими в мире нормативами. Выполнение рабочих чертежей стадии КМ и КЖ.

- суперэлементное моделирование. Возможность визуализации на всех этапах расчета. В ряде случаев ускоряет решение задачи и снижает влияние плохой обусловленности большеразмерной матрицы.

- физическая и геометрическая нелинейность. Модули учета физической нелинейности обеспечивают возможность компьютерного моделирования процесса нагружения моно- и би-материальных конструкций с прослеживанием развития трещин, деформаций вплоть до получения картины разрушения конструкции. Модули учета геометрической нелинейности позволяют рассчитывать, как изначально геометрически неизменяемые, так и изменяемые конструкции. В системе реализован документатор, который формирует отчет, состоящий из текстовой, табличной и графической информации. Режим интерактивных копий экрана позволяет осуществлять фиксацию и возврат к фрагменту расчетной схемы, а также выполнять автоматическое обновление изображений после ее изменения.

МОНОМАХ-САПР - это универсальный программный комплекс для расчета и проектирования железобетонных, каменных и армокаменных конструкций. Автоматизированный расчет и проектирование конструкций с учетом поэтапности возведения. Комплекс представляет собой набор информационно связанных конструктивно ориентированных программ (могут работать и в автономном режиме), объединенных в рамках общего комплексного подхода, который обеспечивает значительное упрощение работы и увеличения скорости проектирования.

STARK ES - Интегрированная система, позволяющая осуществлять анализ и проектирование конструкций зданий и сооружений. Система представляет собой набор программ, предназначенных для прочностного анализа и проектирования конструкций. Программный комплекс для расчета конструкций зданий и сооружений на прочность, устойчивость и колебания на основе метода конечных элементов.

Structure CAD (SCAD) - проектно-вычислительный комплекс, который базируется на расчете методом конечных элементов и предназначен для расчета напряженно-деформированного состояния, анализа устойчивости, а также решение задач статики и динамики для широкого класса строительных, машиностроительных и других конструкций.

При успешном завершении численного расчета можно ознакомиться с протоколом решения, который содержит следующую информацию: время счета; предупреждения по исходным данным задачи; требуемые объемы виртуальной и дисковой памяти; информацию об объеме задачи, количестве неизвестных и элементов; о ширине ленты системы уравнений до и после оптимизации профиля матрицы; о наличии геометрической изменяемости; о контроле решения системы уравнений; о формировании файлов результатов.

Если после обращение к команде **выполнить расчет** расчет не выполняется, то в протоколе будет содержаться информация об *ошибках*, обнаруженных при контроле исходных данных задачи.

Например, при подборе арматуры в железобетонных элементах могут возникнуть ситуации, когда невозможно подобрать арматуру для данных элементов. К примеру, поперечное сечение стержня может быть мало исходя из проверки достаточности его размеров по сжатой наклонной полосе при действии поперечной силы или крутящего момента. Также в результате подбора арматуры может оказаться, что превышен процент продольного армирования.

В этих и других подобных случаях программа будет выдавать ошибки по результатам подбора арматуры – красный диапазон с подписью Ошибка на мозаиках подобранного армирования. Для просмотра ошибки необходимо воспользоваться функцией «Информация об элементе».

Начиная с версии 2016 информацию об ошибках можно получить также через соответствующий диалог Ошибки на панели Инструменты во вкладке «Железобетон».

При решении задач иногда возникают ошибки, природа которых, на первый взгляд, не понятна, например, геометрически изменяемая система, пики усилий (как следствие, площадей армирования) в некоторых элементах. Зачастую причиной этого служат ошибки при триангуляции: возникновение вырожденных элементов, элементов с плохой геометрией и пр. В ПК ЛИРА имеется такая полезная функция, как «Анализ геометрии». Данной функции ранее уделялось мало внимания, как показывает практика - зря, ведь она позволяет обнаружить и устранить погрешности триангуляции сетей еще на этапе создания модели.

ГЛАВА 2.

Реализация технологии компьютерного моделирования при построении несущих систем и конструкций зданий

Тема 2.1 Расчетная схема здания

Расчетная схема (модель) здания включает в себя несущие конструктивные элементы здания. При составлении расчетной схемы должны быть известны геометрические размеры элементов расчетной схемы. Конструктивных раздел является следующим после принятия объемно-планировочного решения проектируемого здания. Графическим изображением объемно-планировочного решения является габаритная схема здания. Важным моментом при создании расчетной схемы является моделирование сопряжение конструктивных элементов расчетной схемы и моделирование закрепления опорных узлов, которые определяются их конструктивным решением. Для описания жесткости и материалов для конструктивных элементов расчетной схемы должны быть уточнены размеры поперечных сечений элементов и для них назначены материалы (классы бетона и арматуры). После создания физической модели (фрагмента) несущей системы здания или отдельного

конструктивного элемента несущей системы должны определены и приложены нагрузки к узлам и элементам расчетной схемы.

Расчетные схемы классифицируются:

- по характеру учета пространственной работы — плоские (рисунок 1.1, а—д) и объемные (рисунок 1.1, е, ж);
- по характеру конструкции, положенной в основу расчетной схемы, — стержневые (рисунок 1.1, б, в, ж), пластинчатые (рис. 1.1, а, г, е), комбинированные (рис. 1.1, д).

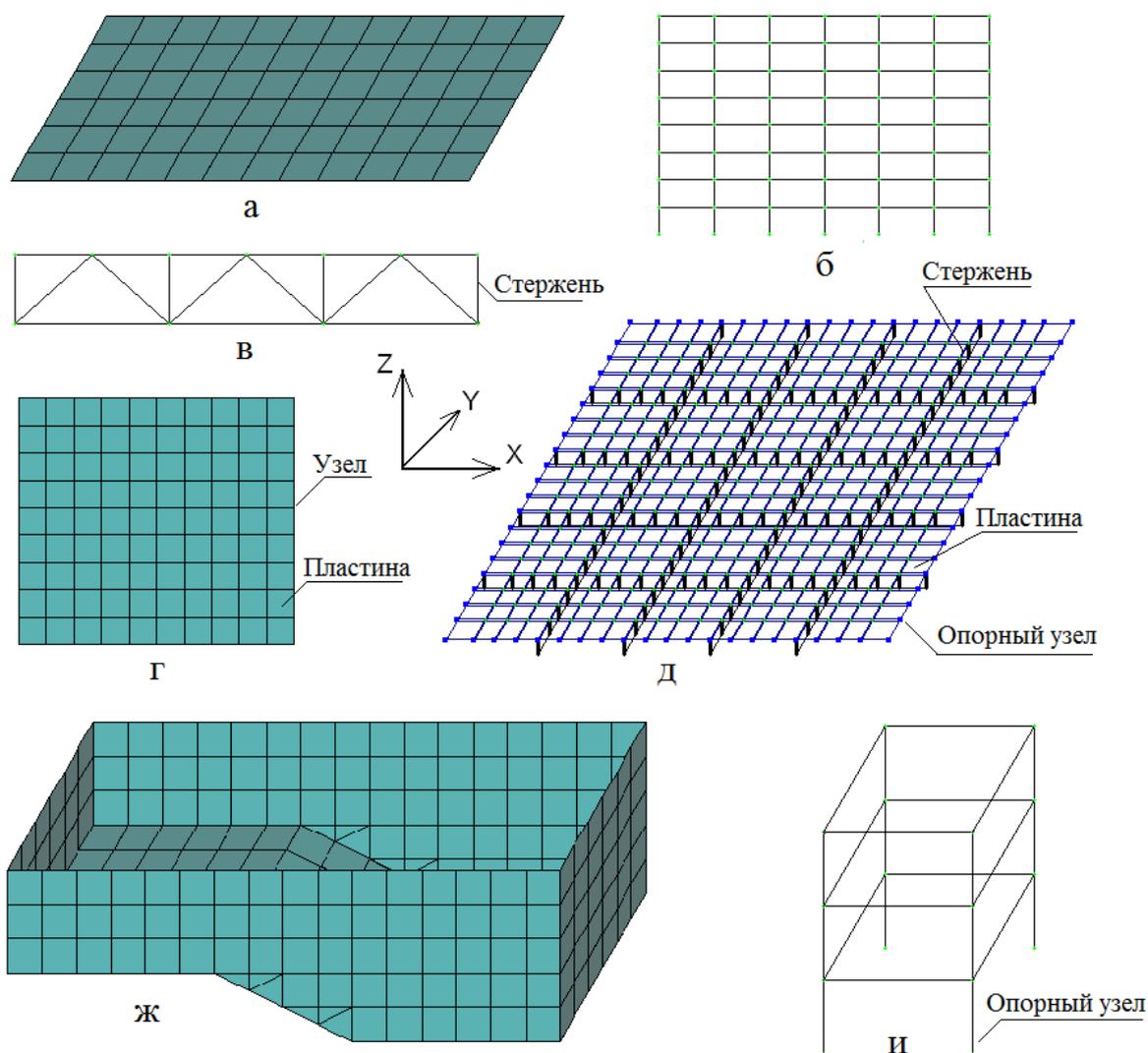


Рисунок. 2.1. Расчетные схемы: а — плиты перекрытия; б — поперечной рамы здания; в — фермы; г — стенки; д — балочного перекрытия; е — бассейна; ж — объемной рамы здания

Кроме того, расчетные схемы различаются по виду неизвестных: континуальные и дискретные.

В континуальных расчетных схемах неизвестные силовые факторы или перемещения задаются в виде непрерывных функций вдоль координатных осей. Неизвестные функции определяются решением краевой задачи для системы дифференциальных уравнений в частных производных.

В дискретных расчетных схемах неизвестные усилия и перемещения определяются для конечного количества узлов решением систем алгебраических уравнений. Программный комплекс ЛИРА реализует метод конечных элементов в перемещениях и является дискретной расчетной схемой.

В программном комплексе ЛИРА можно выполнять расчеты железобетонных конструкций, моделируя как плоские, так и объемные расчетные схемы.

В объемную модель здания включаются основные конструктивные элементы здания (или части здания), в то время как плоская модель всегда включает лишь часть конструктивных элементов (один конструктивный элемент) здания, что не позволяет в полной мере смоделировать работу конструкции как составного элемента конструктивной системы здания. Тем не менее плоские расчетные схемы активно используются на начальных стадиях расчета или при проектировании зданий, например, регулярной - колонной конструктивной системы, когда можно выделить поперечную раму, состоящую из колонн и полос плоской плиты перекрытия (условного ригеля).

Колонны и балки являются линейными элементами, они моделируются стержнями и армируются каркасами. Плиты перекрытия и стены — двумерные элементы, которые моделируются пластинами и армируются сетками.

Прочность, жесткость и устойчивость зданий обеспечиваются совокупностью примененных при проектировании зданий взаимосвязанных

конструктивных элементов, которые составляют конструктивную систему зданий.

Таким образом моделирование расчетной схемы выполняется путем:

- задания геометрии расчетной схемы;
- закрепления опорных узлов;
- назначения жесткости и материалов элементам расчетной схемы;
- приложения нагрузок к узлам и элементам.

Для создания геометрии расчетной схемы можно воспользоваться регулярными фрагментами рамы, стенки, плиты (*создание \Rightarrow регулярные фрагменты и сети*).

На рисунке 2.2 показано заполнение диалогового окна при создании геометрии плоской расчетной схемы плиты с размерами 6 м×3 м. Для вызова диалогового окна можно воспользоваться кнопкой меню операций, представленной на рисунке 2.2б. На рисунке 2.2в видно, что плита вдоль первой оси (X) разбита на 12 элементов (количество $N=12$), а вдоль второй оси (Y) она разбита на 6 элементов (количество $N=6$). Длина элементов L составляет 0,5 м. Глобальные координатные оси показаны на рисунке 8.5г. Построение геометрии расчетной схемы ведется с учетом направления глобальных координатных осей. При этом левый нижний угол плиты будет помещен в начало координат ($X=0$, $Y=0$, $Z=0$). Нумерация узлов и элементов плиты начинается от начала координат. Узлы 1,2,3,4 будут являться узлами элемента №1

Положение плиты относительно глобальных координатных осей можно изменять, задавая координаты первого узла в диалоговом окне *создание плоских фрагментов и сетей*.

Формирование геометрии расчетной схемы стенки выполняется аналогично формированию расчетной схемы плиты. Но в отличие от плиты, которая располагается в плоскости XOY, стена располагается в плоскости XOZ. Геометрия расчетной схемы стенки приведена на рисунке 2.3а

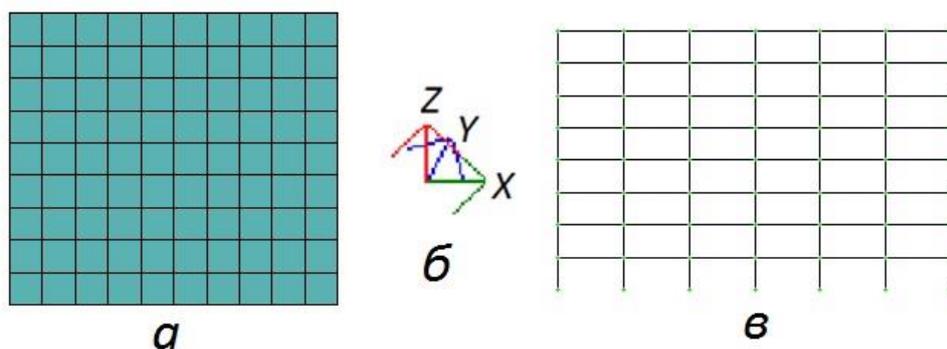


Рисунок 2.3. К созданию геометрии расчетных схем: а - геометрия расчетной схемы стенки, б - глобальные координатные оси для ориентации расчетных схем, в - геометрия плоской рамы

Расчетная схема рамы приведена на рисунке 2.3в.

При создании расчетной схемы плоской рамы (признак 2) она будет располагаться в плоскости XOZ и по умолчанию будет привязана к началу координат (см. диалоговое окно на рис.2.2). Привязку можно изменить, указав смещение по осям X , Y , Z в метрах, или указав курсором на новое положение левого нижнего узла рамы. Раму можно повернуть на угол, например, 90° относительно оси Z . Тогда рама будет располагаться в плоскости YOZ .

При корректировке геометрии расчетных схем возможно использование команд *добавить узел* и *добавить элемент*, также *удалить* выделенные узлы и элементы расчетной схемы. Добавить узлы можно по координатам, по окружности и по другим параметрам. К расчетной схеме можно добавлять стержни, 3-х и 4-х узловые (треугольные и четырехугольные) пластинчатые элементы, добавить элементы путем деления целого элемента на части и другие варианты добавления элементов к расчетной схеме.

Расчетная схема может быть построена на *сети* (пятая закладка диалогового окна на рисунке 2.2а *создание плоских фрагментов и сетей*). Сеть служит основой для расстановки узлов на сети *создание* \Rightarrow *добавить узел* \Rightarrow *на сети* (вторая закладка) с последующим *созданием и триангуляцией контура* плиты (стенки) или с последующим объединением узлов стержнями в рамной расчетной схеме.

Тема 2.2 Примеры формирования расчетных схем железобетонных конструкций

На рисунке 2.4 приведена расчетная схема плиты покрытия резервуара. Она сопрягается шарнирно со стенами резервуара. Плита покрытия имеет сложный план и отверстие. Для построения плиты с отверстием на сложном плане применена опция *создание и триангуляция контуров*, которая позволяет создать внешний и внутренний контуры плиты и выполнить разбиение плиты, в данном случае на четырехугольные элементы. Внутренним контуром плиты является круглое отверстие. Для построения окружности используется опция *добавить узел по окружности*. Контур обводятся по точкам предварительно указанным или построенным на сети (*схема*⇒*создание*⇒*регулярные фрагменты и сети*⇒*сеть*).

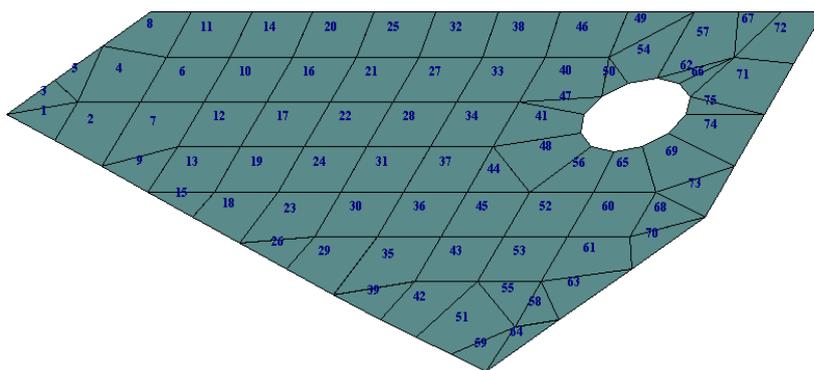


Рисунок 2.4. Расчетная схема плиты покрытия резервуара, построенная с использованием команды *создание и триангуляция контуров*

После формирования геометрии расчетной схемы необходимо выполнить закрепление опорных узлов схемы (*схема* ⇒ *связи*). В открывающемся диалоговом окне (см. рис.2.5а) можно наложить или удалить наложенные связи в отмеченных опорных узлах расчетной схемы. Наложить связь - это указать направления (X, Y, Z, UX, UY, UZ), по которым требуется запретить перемещения узлов.

Опорные узлы плоской расчетной рамы на рисунке 8.6в закрепляются по направлениям X, Z, UY (жесткое закрепление), опорные узлы плиты покрытия резервуара закрепляются по направлению Z (шарнирное закрепление).

Следующим этапом формирования расчетной схемы является назначение жесткости элементам расчетной схемы. На рисунке 2.5б показано диалоговое окно, которое отрывается после выбора кнопки этой команды (рис.2.5в) или при обращении к следующим позициям меню функций: *жесткости* ⇒ *жесткости и материалы*

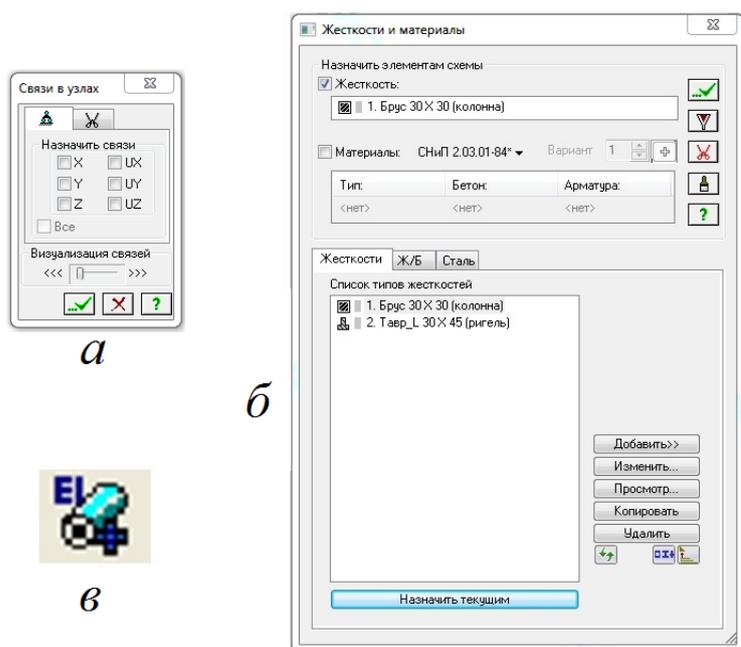


Рисунок 2.5. Назначение связей в опорных узлах и жесткости элементам расчетной схемы:

а - диалоговое окно назначение связей

б - диалоговое окно жесткости и материалы,

в - кнопка меню операций жесткости и матери

В диалоговом окне на рисунке 2.5б список типов жесткости сформирован для стержневых элементов плоской многоэтажной рамы - колонн и ригелей. Для описания жесткости стержневых элементов расчетной схемы указывается: *добавить* ⇒ первая закладка (*стандартные типы сечений*) ⇒ *брус* ⇒ *параметры жесткости* - модуль упругости E ; геометрические размеры сечения B , H ; плотность железобетона R_0 . Для назначения жесткости элементам расчетной схемы их необходимо выделить. Затем назначить

текущим, например элемент-колонну из списка жесткости и присвоить выбранную жесткость соответствующим элементам расчетной схемы.

Для описания жесткости пластинчатых элементов расчетной схемы (плиты покрытия резервуара) указывается: *добавить* \Rightarrow третья закладка (*пластинчатые, объемные, численные*) \Rightarrow *пластина* \Rightarrow *параметры жесткости* - модуль упругости E ; коэффициент Пуассона ν ; толщина пластины H ; плотность железобетона R_0 .

Материалы для железобетонных конструкций можно назначить, активизируя кнопку *ж/б* в диалоговом окне и последовательно задавая: тип элемента расчетной схемы (стержень, плита), классы и некоторые другие характеристики для бетона и арматуры.

При вводе параметров жесткости конкретного элемента расчетной схемы в качестве комментария можно указать тип конструктивного элемента (колонна, ригель). Это позволит лучше ориентироваться в списке жесткости конструктивных элементов расчетной схемы и может быть востребовано, например, при выделении элементов через команду *полифильтр* в диалоговом окне команды (см. рис. 2.6). После выбора из списка жесткостей элемент-колонна на расчетной схеме выделятся все с отмеченной жесткостью

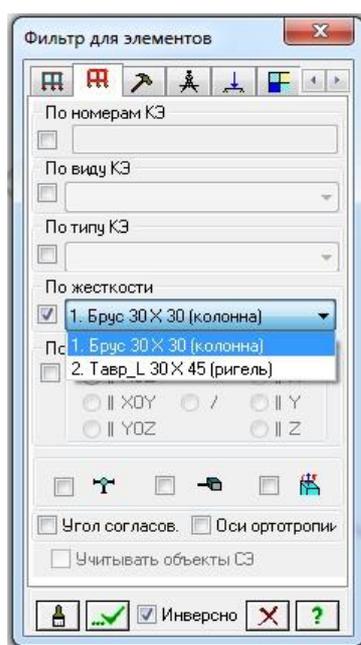


Рисунок 2.6. Диалоговое окно команды полифильтр с примером выделения колонн расчетной схемы по жесткости

Приложение нагрузок завершает формирование расчетной схемы. Для приложения нагрузок необходимо выбрать следующие позиции меню функций: *нагрузки* \Rightarrow *нагрузки на узлы и элементы*.

В отрывающемся диалоговом окне *задание нагрузок*, показанном на рисунке 2.7а, можно выбрать одну из закладок: узел, стержневой или пластинчатых элемент, чтобы стало возможно прикладывать нагрузку к конкретным элементам расчетной схемы. При этом предварительно должен быть выделен узел (элемент), к которому прикладывается нагрузка

При выборе кнопки *типа нагрузка* будет открыто вложенное диалоговое окно, к котором можно указать численное значение нагрузки.

Нагрузка прикладывается по направлению X, Y, Z (момент - UX, UY, WZ) в глобальной или местной системе координат (см. рисунок 2.7в,г)

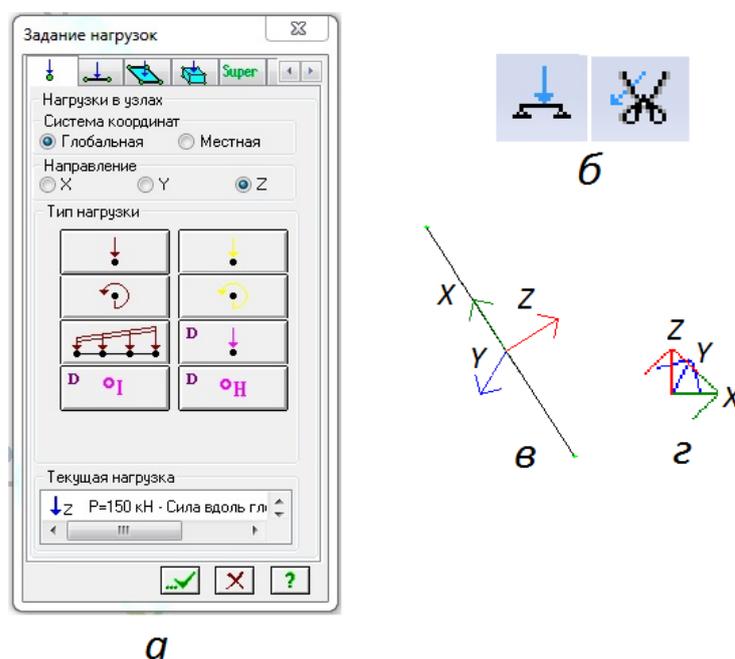


Рисунок 2.7. Приложение нагрузок к элементам расчетной схемы:

а - диалоговое окно задание нагрузок

б - кнопки нагрузки на узлы и элементы и удаление нагрузок,

в - местные оси стержневого элемента расчетной схемы (если система координат - местная, то при приложении нагрузок принимается во внимание положение местных осей),

z - глобальные координатные оси.

Положительное значение силы - действие против оси.

Положительное значение момента - вращению по часовой стрелке, если смотреть с конца оси.

Переход к расчету, а затем к выводу результатов расчета производится следующим образом: *режим* \Rightarrow *выполнить расчет*; *режим* \Rightarrow *результаты расчета*.

При построении плоских расчетных схем можно воспользоваться операцией *объекты, заданные перемещением или вращением образующей* (*создание* \Rightarrow *объекты, заданные перемещением или вращением образующей*).

Примером использования этой команды может служить построение расчетной схемы, например, плоской рамы узлы сопряжения элементов рамы (колонн и ригелей) моделируются как жесткие. Для замены жестких узлов сопряжения элементов рамы на шарнирные необходимо выделить стержни-ригели и установить по концам стержней шарниры. На рисунке 2.8 приведено диалоговое окно команды *шарниры*. С использованием диалогового окна в расчетную схему можно вводить как угловые (вокруг осей X1, Y1, Z1), так и линейные (вдоль осей X1, Y1, Z1) шарниры. При этом учитывается местная система координат.

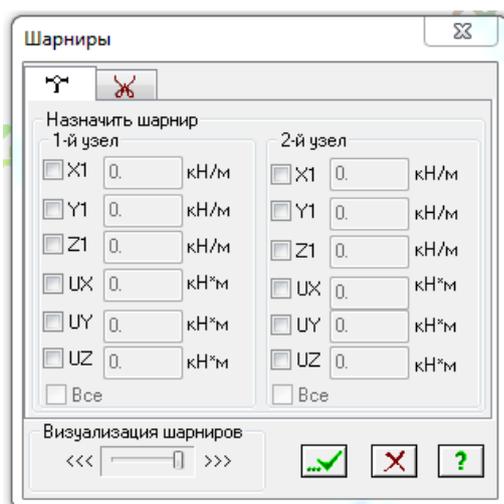


Рисунок. 2.8. Диалоговое окно команды шарниры

Для того, чтобы жесткие узлы сопряжения ригелей с колоннами плоской рамы были преобразованы в шарнирные, необходимо отметить в диалоговом

окне направление UY для 1-го и 2-го узла выделенного стержня и указать жесткость шарнира равную нулю (чистый шарнир). С увеличением жесткости шарнира сопряжение элементов расчетной схемы будет приближаться к жесткой связи элементов.

Команда абсолютно жесткое тело АЖТ может использоваться при построении плоской расчетной схемы плиты перекрытия, опертой на колонны. В этом случае команда АЖТ позволяет моделировать тело колонн при закреплении плиты перекрытия в центре поперечного сечения колонн в базовом узле (см. рисунок 2.9).

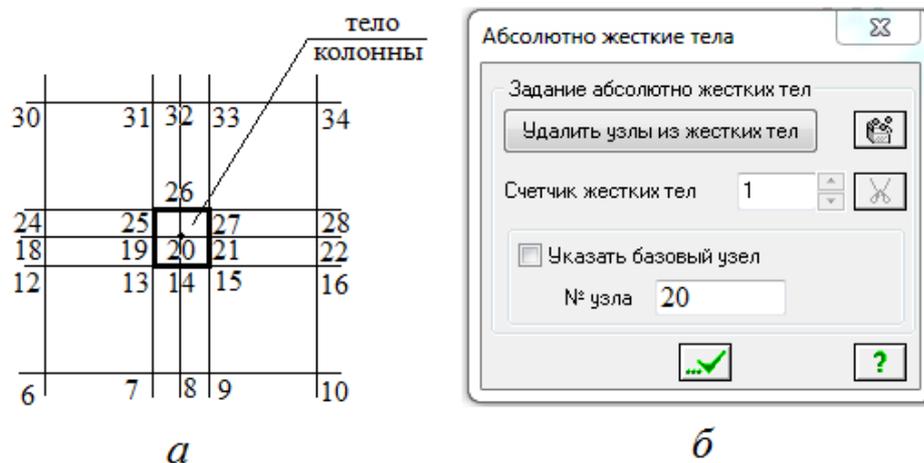


Рисунок 2.9. Фрагмент расчетной схемы (а) и диалоговое окно команды АЖТ (б)

Диалоговое окно (рисунок 2.9 б) предназначено для моделирования работы фрагментов расчетной схемы как абсолютно жесткие тела (АЖТ). Абсолютно жесткое тело АЖТ1 (номер АЖТ фиксируется *счетчиком жестких тел*) включает в себя узлы № 19... №27. Создание АЖТ выполняется при помощи отметки на схеме соответствующих узлов и присвоения одному из них №20 статуса базового узла. Следует отметить, что после назначения базового узла все операции над АЖТ1 будут производятся только с базовым узлом №20, в данном случае - это закрепление базового узла №20 путем наложения связей в направлениях Z , UX , UY (жесткое сопряжение). Диалоговое окно содержит счетчик номеров АЖТ и поле для ввода базового узла, принадлежащего текущему АЖТ. Предусмотрено три способа назначения базового узла:

отметить базовый узел первым; установить флажок *указать базовый узел* (в поле ввода номер базового узла появится автоматически); убрать флажок *указать базовый узел* и указать номер узла в поле ввода. Назначенный базовый узел окрашен на схеме желтым цветом. В диалоговом окне команды АЖТ предусматривается также удаление созданного абсолютно жесткого тела.

При создании комбинированной расчетной схемы монолитного балочного перекрытия плита моделируется пластинчатыми элементами, балки - стержневыми (см. рисунок 2.10). Особенностью такой расчетной схемы является наличие в ней элементов с признаком 3 (плиты $h=100$ мм) и с признаком 2 (балок $h=500$ мм). При этом важно правильно разместить плиту и балки относительно друг друга по высоте. На рисунке 2.10а показано, что при построении расчетной схемы монолитного балочного перекрытия центр каждой балки будет лежать на срединной поверхности плиты. Для моделирования реального расположения балок в монолитном перекрытии необходимо использовать команду *жесткие вставки стержней* (в меню *жесткости*) необходимо сместить балки вниз на величину $\Delta=(0,5-0,1)=0,2$ м (длина жестких вставок)

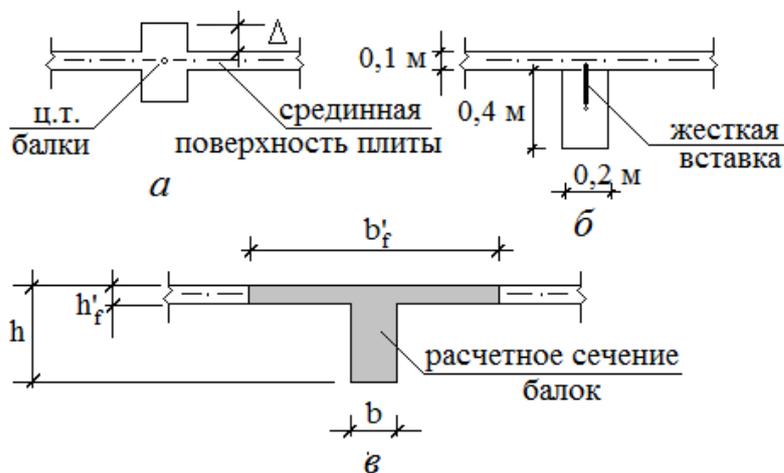


Рисунок 2.10. Моделирование расчетной схемы монолитного балочного перекрытия: а – расположение элементов расчетной схема на первом этапе ее построения; б – применение жесткой вставки стержней для смещение балок вниз на величину Δ ; в – расчетное сечение балок

В диалоговом окне *жесткие вставки стержней* (см. рисунок 2.11а) указывается длина жестких вставок для концов отмеченного стержня. в

направлении одной из местных осей ($X1$, $Y1$, $Z1$). Удаление жестких вставок производится аналогично. Направление местных осей устанавливается с использованием команды *флаги рисования (местные оси стержней)*. На рисунке 8.134б показано направление местных осей стержней-балок расчетной схемы монолитного балочного перекрытия. На рисунке 8.13в приведена пространственная модель монолитного балочного перекрытия.

Рассматриваемая расчетная модель наиболее полно отражает действительную работу балочного перекрытия, в том числе снимает вопрос о степени включения в работу плиты при изгибе стержней-балок. Вместе с тем, возникают трудности на последнем этапе проектирования, а именно на этапе конструирования балки, когда конкретно должны быть определены размеры поперечного таврового сечения балок. В этом случае к узлам плиты с помощью жестких вставок предлагается подвешивать стержни таврового поперечного сечения, совмещая плиту с полкой тавра. Разработчиками программного комплекса ЛИРА утверждается и доказывается сравнительными расчетами, что наложение при компоновке расчетной модели собственно плиты и части плиты как полки балок не оказывает существенного влияния на достоверность расчетов, так как при их выполнении отдельно учитываются мембранная и изгибная группа возникающих в плите усилий.

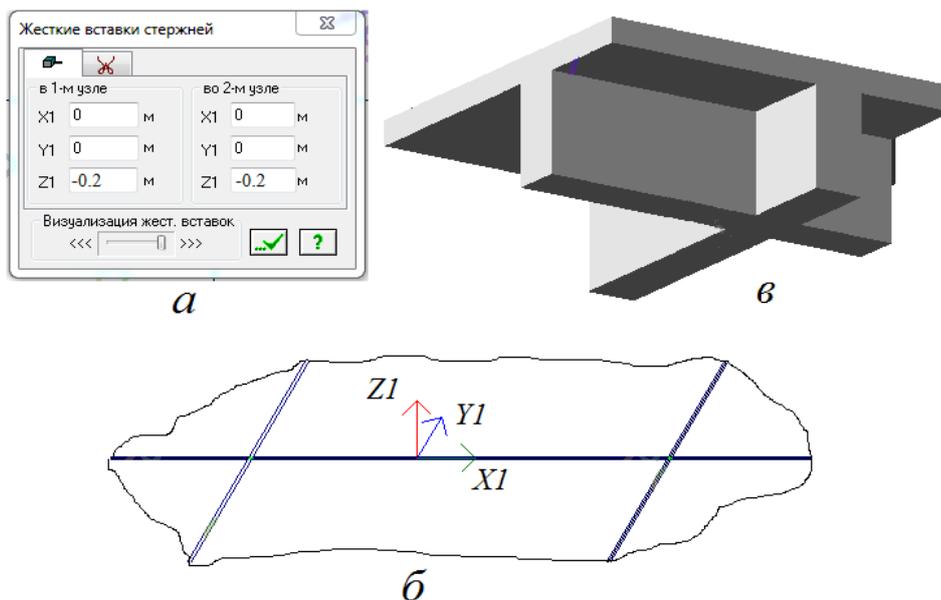


Рисунок 2.11. Применение команды жесткие вставки стержней: а – заполнение диалогового окна команды; б – местные оси стержней-балок; в – пространственная модель (3D-графика монолитного балочного перекрытия)

Ширина полки таврового расчетного сечения балок назначается в соответствии со следующими рекомендациями:

- значение b_f' , вводимое в расчет, принимается из условия, что ширина свеса полки в каждую сторону от ребра должна быть не более $1/6$ пролета элемента ($b_f'=1,66+1,66+0,2=3,52$ м),
- при наличии поперечных ребер или при $h_f' \geq 0,1h$ ($0,01 > 0,05$ м) ширина свеса полки назначается не более $1/2$ расстояния в свету между продольными ребрами ($b_f'=0,9+0,9+0,2=2$ м).

Для рассматриваемого примера ширина полки таврового сечения балок принимается равной $b_f'=2$ м (см.рис.2.10в).

Так как длина жестких вставок – это расстояние между центрами тяжести таврового поперечного сечения и срединной поверхностью плиты, то перед определением длины жестких вставок необходимо определить положение центра тяжести таврового поперечного сечения. На рисунке 2.12 приведен пример определения центра тяжести таврового сечения со следующими размерами: $b=200$ мм, $h=450$ мм, $b_f'=800$ мм, $h_f'=100$ мм. Положение центра тяжести по высоте таврового сечения выполнено в программе ЛИР-КС

(конструктор сечений) программного комплекса ЛИРА. Длина жестких вставок $\Delta=155-50=105$ мм

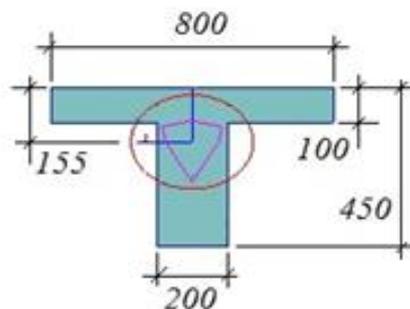
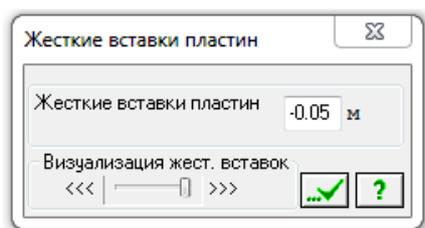
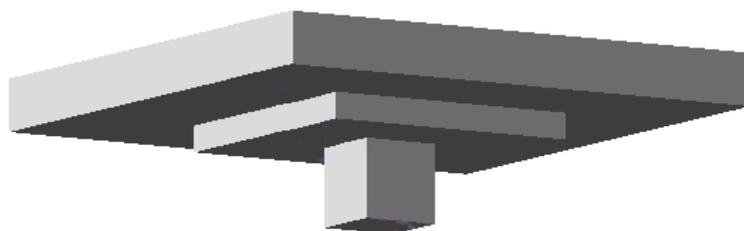


Рисунок.2.12. Положение центра тяжести по высоте таврового сечения, определенное в программе конструктор сечений (ЛИР-КС)

При проектировании плоского монолитного перекрытия в зданиях колонной конструктивной системы в зоне сопряжения плиты перекрытия с колоннами может быть выполнено утолщение плиты перекрытия. Выравнивание плиты перекрытия по верхней грани выполняется с использованием команды *жесткие вставки пластин (жесткости \Rightarrow жесткие вставки пластин)*. диалоговое окно команды представлено на рисунке 2.13а. Пространственная модель (3D-графика) монолитного перекрытия с утолщением плиты в зоне сопряжения с колоннами показана на рисунке 2.13б.



а



б

Рисунок 2.13. Применение команды *жесткие вставки пластин* : а – заполнение диалогового окна команды, б– пространственная модель (3D-графика) монолитного перекрытия с утолщением плиты в зоне сопряжения с колоннами

При использовании ПК ЛИРА подбор арматуры железобетонных конструкций, определение ширины раскрытия трещин осуществляется в режиме *железобетонные конструкции*.

Для расчета каменных конструкций специальный режим не предусмотрен, но можно выполнить статический расчет конструкции из каменных материалов, дополнив его расчетом в соответствии с СП 15.13330.2012 "Каменные и армокаменные конструкции".

При определении нагрузок на строительные конструкции пользуются указаниями, приведенными в СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.

При выполнении компьютерного расчета собственный вес плиты будет добавлен к постоянной нагрузке посредством выполнения команды: *добавить собственный вес* (позиция меню *нагрузка* ⇒ *добавить собственный вес*).

Нагрузка на группу узлов, стержень и пластину может иметь трапециевидную форму. К узлам и элементам расчетной схемы можно приложить момент (сосредоточенный и равномерно распределенный), учесть температурные воздействия (равномерный и неравномерный нагрев стержней и другие), задать смещение или поворот узлов, а также задать вес массы узла, стержня, пластины и приложить некоторые другие нагрузки (рисунок 2.14).

Положительное значение нагрузки соответствует ее действию в направлении против координатной оси, момента – вращению по часовой стрелке, если смотреть с конца оси.

При подготовке исходных данных для выполнения компьютерных расчетов необходимо учитывать, что расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы ведутся на полное расчетное значение нагрузок, в то время как расчеты по второй группе предельных состояний - на нормативное значение нагрузок, при этом учитывается как полное, так и пониженное значение нормативных нагрузок.

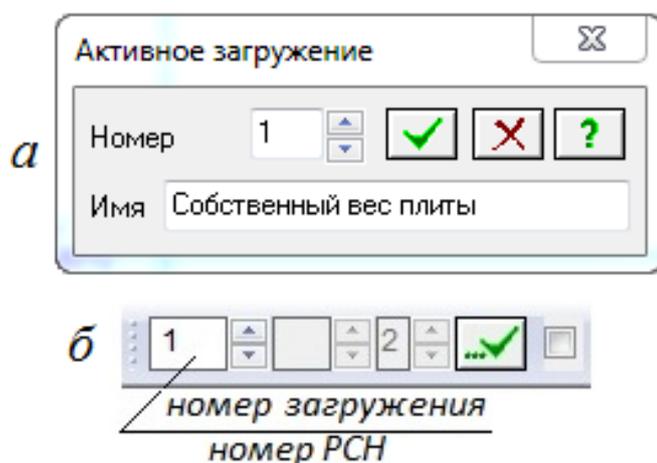


Рис.2.14. Присвоение номера приложенным нагрузкам:

а - диалоговое окно для присвоения номера и имени текущему (активному) нагружению,

б - счетчик загрузений

Алгоритм вычисления расчетного сочетания усилий (PCУ) основан на накоплении суммарных наибольших и наименьших значений усилий, определяемых при выполнении статического расчета по отдельным загрузениям для элементов расчетной схемы. На рисунке 2.15 представлено диалоговое окно формирования таблицы PCУ (*нагрузки* \Rightarrow PCУ).

Таблица PCУ составлена при выполнении статического расчета поперечной рамы. Нагрузки на раму прикладываются в составе шести загрузений, перечисленных в диалоговом окне формирования таблицы PCУ.

Статический расчет рамы выполняется как на действие средней (статической) ветровой нагрузки (кратковременное загрузение №5), так и с учетом ее пульсационной составляющей (мгновенное загрузение №6).

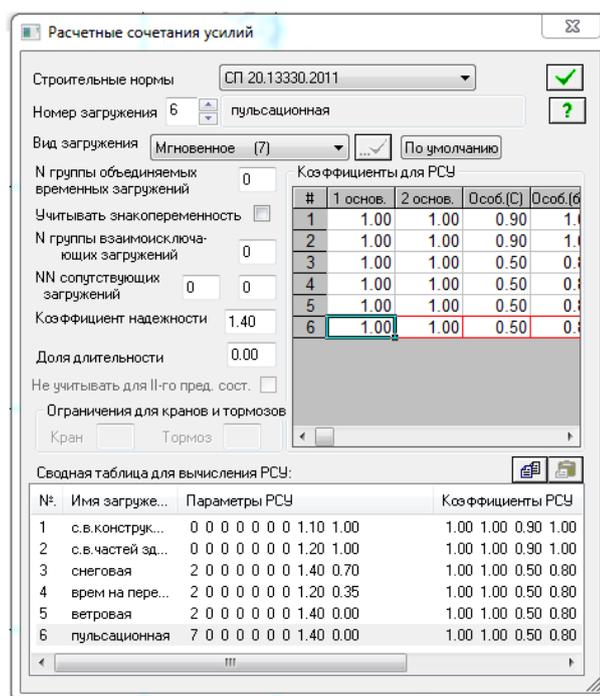


Рисунок 2.15. Диалоговое окно формирования таблицы РСУ. Требуется: назначение норм (СП 20.13330.2016), присвоение вида загрузки № 1...№6 с уточнением значений коэффициентов надежности по нагрузке и доли длительности для текущего нагружения

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки обусловлена турбулентной структурой ветрового потока и корреляции давления по поверхности, с которой давление ветра передается на конструктивные элементы здания, а также обусловлена динамической реакцией здания, связанной с действием вещественных инерционных сил, поэтому должны быть собраны массы из вертикальных статических нагружений № 1...№4, для чего вызывается диалоговое окно (см. рисунок 2.16) после последовательного обращения к позициям меню: *нагрузки* ⇒ *динамика* ⇒ *учет статических нагружений*.

Затем для нагружения №5 составляется таблица динамических нагружений (*нагрузки* ⇒ *динамика* ⇒ *таблица динамических нагружений*). На рисунке 2.17а приведено диалоговое *таблица динамических нагружений*, в которое заносится номер динамического нагружения (№6); наименование динамического воздействия (пульсационное); номер соответствующего статического нагружения (№5). После обращения к кнопке параметры открывается встроенное диалоговое окно (см. рис. 2.17б).

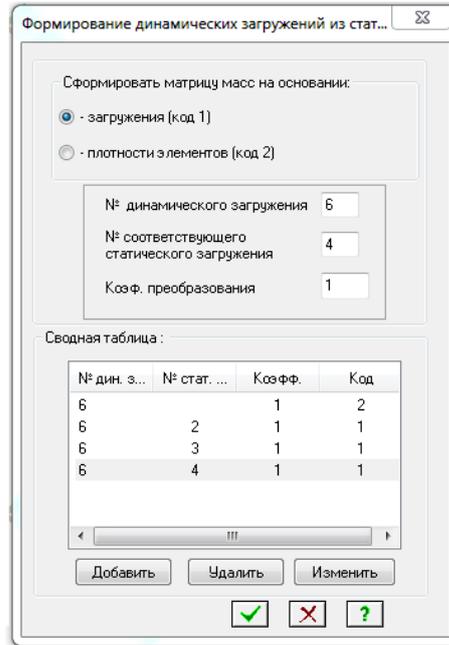


Рисунок.2.16. Диалоговое окно формирования динамических нагрузок из статических (отмечается код 1 для обычных нагрузок, код 2 для нагрузок, заданных командой добавить собственный вес; указывается номер динамического нагружения (№6); последовательно с использованием кнопки добавить перечисляются вертикальные статические нагружения №1.... №4).

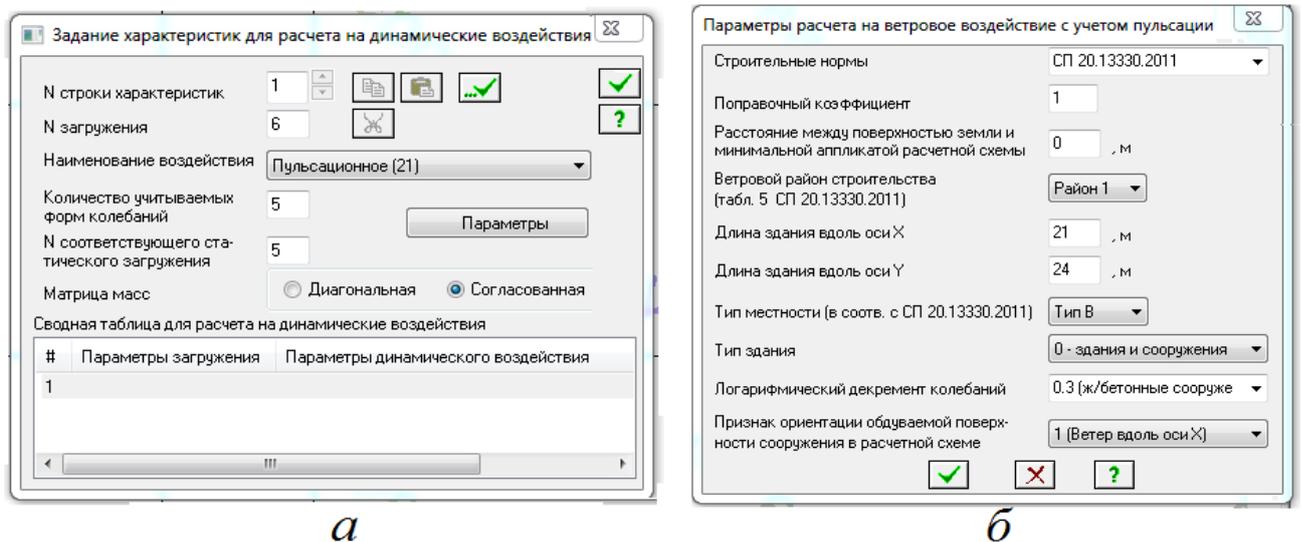


Рисунок. 2.17 Диалоговые окна задания характеристик (а) и параметров (б) пульсационного нагружения

При выполнении компьютерных расчетов с использованием программного комплекса ЛИРА нагрузки задаются (удаляются) в диалоговом окне задание нагрузок (см. рис.2.7), вызываемым по команде нагрузки ⇒ нагрузки на узлы и элементы. Нагрузки могут быть приложены к

предварительно выделенными узлам, стержневым, пластинчатым, а также объемным элементам расчетной схемы. Предусмотрен выбор *глобальной* или *местной* системы координат. Глобальная система координат расположена в левом нижнем углу экрана, *местные оси стержней* и *местные оси пластин* можно увидеть при использовании команды *флаги рисования*.

Типы нагрузок на кнопках диалогового окна выделены разным цветом:

коричневый цвет - кнопки для задания статической нагрузки (сосредоточенных и распределенных силы и момента), равномерного или неравномерного нагрева;

желтый цвет - кнопки для задания смещения (Δ) и поворота (φ);

При обращении к кнопкам *тип нагрузки* открывается диалоговое окно для задания параметров нагрузок. Приложенные нагрузки отражаются на поле списка нагрузок (*текущая нагрузка*).

Для моделирования *цилиндра* задаются тип решетки, элементы, из которых будет сгенерирован цилиндр (пластины или стержни) и параметры цилиндра (радиус $R=2$ м, высота $H=3$ м, количество элементов по длине $n_1=6$ и по окружности $n_2=24$, угол раскрытия поверхности вращения $\varphi_i=360^\circ$). Пространственная модель цилиндра представлена на рисунке 2.18а.

Для моделирования *конуса* задаются параметры конуса (малый радиус конуса $r=0,5$ м (для усеченного конуса), радиус основания $R=2$ м, высота усеченного конуса $H=3$ м, количество элементов по высоте $n_1=6$ и по окружности $n_2=24$, угол раскрытия усеченного конуса $\varphi_i=360^\circ$). Пространственная модель конуса представлена на рисунке 2.29б.

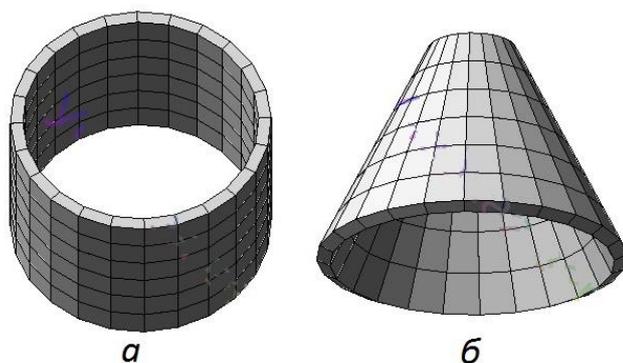


Рисунок 2.18. Пространственные модели цилиндра (а), конуса (б)

При формировании расчетных схем используются операции с блоками (*редактирование* ⇒ *операции с блоками*). Следует отметить, что при построении плоской расчетной схемы с использованием диалогового окна *создание плоских фрагментов и сетей*, а также при построении объемных расчетных схем узлы и элементы расчетной схемы изначально будут объединены в блок. И этому блоку будет присвоен номер.

В блок можно также собрать отдельно созданные элементы расчетной схемы. После выделения элементов применить команду *создать блок* из меню *редактирование*.

На рисунке 2.19 показано диалоговое окно *операции с блоками*. Окно содержит поле списка с номерами блоков в порядке их создания. Окно имеет две закладки: *блоки* и *пересечь*. С *блоками* можно произвести следующие действия (рисунок 2.19а):

- *объединить* блоки в новый блок (отметить блоки в списке можно выделением блоков на расчетной схеме или отметить несколько блоков в поле списка выполняется левой кнопкой мыши при нажатой клавише CTRL);
- *перенумеровать* - упорядочить номера блоков в поле списка;
- *отменить* признак блока – снять статус блока с отмеченного в поле списка;
- *удалить* блоки, отмеченные в поле списка

При выполнении команды *объединить* блоки можно установить флажок *Все отмеченное*, тогда в новый блок объединяться не только блоки, отмеченные в поле списка, но также элементы, не входящие в блоки, но отмеченные на расчетной схеме.

- Если установить флажок *Сшивка*, то совпадающие узлы объединяемых блоков заменяются одним узлом (сшиваются).
- Если установить флажок *Расшивка*, то узлы нового блока, совпадающие с узлами, не входящими в этот блок, дублируются (расшиваются).

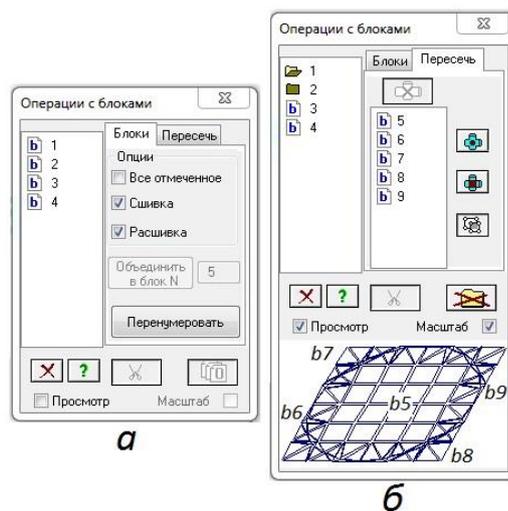


Рисунок 2.19. Диалоговое окно операции с блоками b_1, b_2, b_3, b_4 : а - закладка блоки, б - закладка пересечь

Операция *пересечь блоки* (рисунок 2.19б) приведет к появлению новых блоков с новыми номерами в списке и согласование сети конечных элементов в местах пересечения блоков. Так пересечение блока b_1 (плиты) и блока b_2 (цилиндра) привело к появлению в плите пяти блоков b_5 - b_9 , а в левом поле списка обозначение блока b_1 заменилось на *пиктограмму портфеля*. Портфель разворачивается двойным щелчком левой кнопки мыши. При этом в правом поле списка появляется перечень всех содержащихся в нем блоков. Для портфеля 1 - блоки b_5 - b_9 . Для портфеля 2 - блок b_{10} .

В этом диалоговом окне также можно:

- *отметить узлы пересечения* (кнопка) – отметка на схеме узлов пересечения;
- *отметить элементы пересечения* (кнопка) – отметка на схеме элементов пересечения;
- *отметить область наложения элементов пересечения*(кнопка) – отметить фрагмент схемы, в котором находятся узлы с совпадающими координатами.
- *все блоки одним списком* (кнопка) – показать в левом поле списка все блоки b_3 - b_{10} .
- установленный флажок *Просмотр* открывает окно визуализации отмеченного блока (в данном случае блоков портфеля 1).

- установленный флажок *Масштаб* регулирует масштаб отображения просматриваемого блока.

На рисунке 2.20 представлена объемная расчетная модель, построенная с использованием операций с блоками.

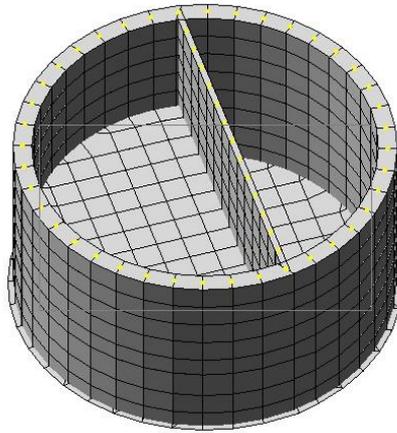


Рисунок.2.20. Объемная расчетная модель, построенная с использованием операций с блоками

При построении объемной расчетной модели днище, промежуточное перекрытие и внутренняя разделительная стена строятся, соответственно, как плиты и как стена в диалоговом окне команды генерация *регулярных фрагментов и сетей*. Наружные стены строятся с использованием команды *поверхности вращения*. Представленная модель является моделью подземной частью сооружения (подземного колодца). Подземная часть сооружения имеет плиту покрытие, на которую устанавливается наземная часть сооружения.

Для построение пространственной модели здания с колоннами и монолитным балочным перекрытием можно обратиться к диалоговому окну команды *пространственная рама* из меню *создание* (см.рис.2.21).

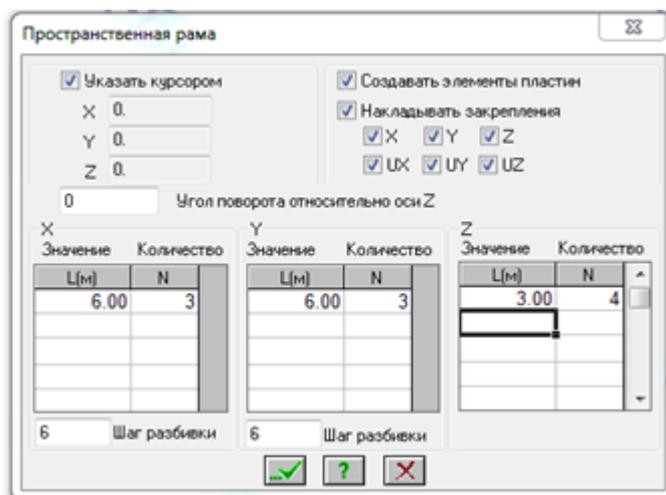


Рисунок 2.21. Диалоговое окно команды пространственная рама

На рисунке 2.22 представлен фрагмент расчетной схемы пространственной рамы, а на рис.2.23 показаны изополю напряжений по M_x (МПа) для плиты балочных перекрытий и покрытия пространственной рамы



Рисунок 2.22. Фрагмент пространственной модели (3D-графика) объемной расчетной модели многоэтажного здания колонной конструктивной системы с балочным перекрытием

В качестве построения расчетной схемы из объемных элементов можно рассмотреть построение из объемных элементов столбчатого фундамента и многопустотной плиты перекрытия.

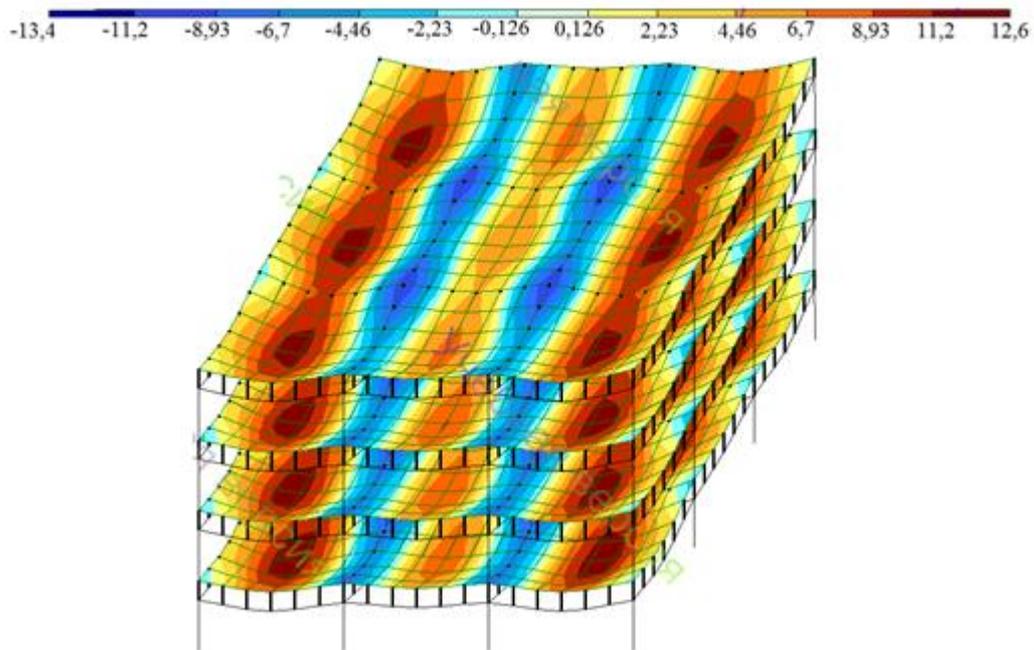


Рисунок 2.23. Изополя напряжений по M_x (МПа) для плиты балочных перекрытий и покрытия пространственной рамы

Пример 1

При выполнении компьютерной модели отдельного ступенчатого фундамента из объемных конечных элементов имеет место следующая последовательность действий:

- признак схемы - 5;
- создание с разбиением на конечные элементы двух пластин (первая пластина для формирования подколонника, вторая - плитной части фундамента) с размещением первой пластины на уровне обреза фундамента, второй - на уровне подошвы фундамента;
- выделить первую пластину и в диалоговом окне команды *перемещение образующей* (рис.3,9а) переместить пластину вниз с созданием объемного элемента подколонника, после чего удалить пластину, выделить вторую пластину и переместить вверх для создания объемного элемента плитной части фундамента;
- задать жесткость для объемных КЭ;

- наложить связи по шести направлениям в четырех точках по обрезу фундамента (угловые точки сечения колонны, опирающейся на обрез фундамента);
- приложить нагрузку по подошве фундамента (давление грунта) по нижней грани объемных элементов, а также приложить нагрузку от веса грунта на плитную часть фундамента и *добавить собственный вес*.

На рисунке 2.24 показана компьютерная модель фундамента, а на рисунке 2.24в (N) и 2.24г(τ) представлены результаты статического расчета

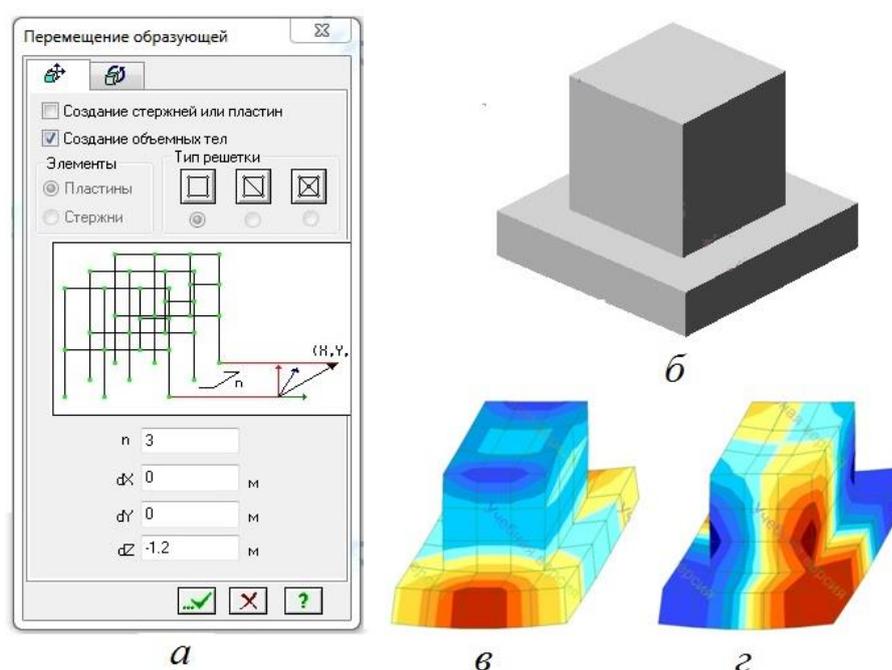


Рисунок 2.24 Компьютерная модель и напряженное состояние отдельного фундамента под монолитные колонны:

а – диалоговое окно команды перемещение образующей,

б – расчетная модель из объемных элементов,

в, г – результаты расчета

Пример 2.

Последовательность построения поперечного сечения плиты.

С использованием команды *генерация регулярных фрагментов и сетей* (стенка в плоскости XOZ с разбиением по X: $0,085 \times 2 + 0,083 \times 12 + 0,085 \times 2$ и по Z: $0,055 \times 4$ выполняется построение прямоугольника.

С использованием команды *добавить узел* \Rightarrow *по окружности* ($R=0,08$ м, $n=10$, центр окружности указывается курсором)

Для построения в поперечном сечении круглых пустот используются *операции с блоками*. Построенный прямоугольник является блоком, окружности - нет. Для того, чтобы можно было окружности отнести к блокам необходимо выделить узлы и элементы окружности и обратиться к команде *создать блок*. Для удобства выделения окружностей можно использовать команду *вид* \Rightarrow *инверсная фрагментация*. Теперь, когда все элементы построенного поперечного сечения являются блоками, их можно *пересечь*. (предварительно попарно выделяя).

Построение расчетной модели из объемных элементов выполняется *перемещением образующей* (плоскости). Длина плиты - 5,6 м. При построении расчетной модели предполагается построить ее половину и использовать прямую симметрию (плоскость XOZ , узлы плоскости требуется закрепить по направлениям Y , UX , UZ). Половина длины плиты - 3,8 м ($n=25$, $\Delta Y=3,8$ м).

На рисунке 2.25 приведена геометрия плиты, а на рисунке 2.26 – картина распределения напряжений в плите.

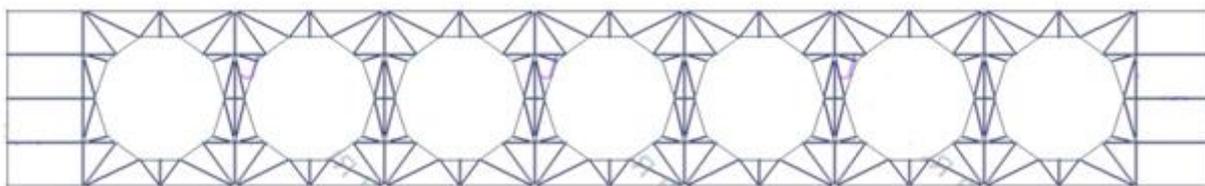


Рисунок 2.25. Геометрия поперечного сечения плиты

Сопряжение пластинчатых элементов расчетной схемы может быть выполнено в программном комплексе ЛИРА-САПР с использованием конечного элемента КЭ55, который моделирует упругую связь между узлами пластинчатых элементов.

На рисунке 2.27 представлен фрагмент расчетной модели с применением КЭ 55.

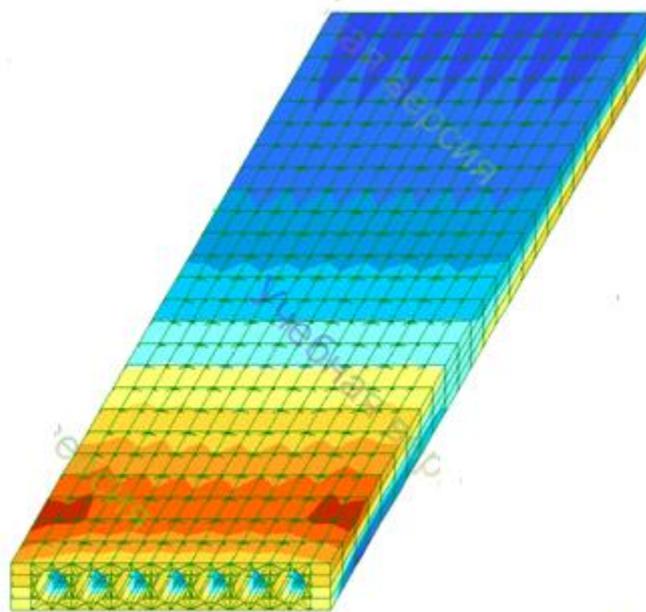


Рис 2.26 Картина распределения в расчетной модели многоруотной плиты перекрытия

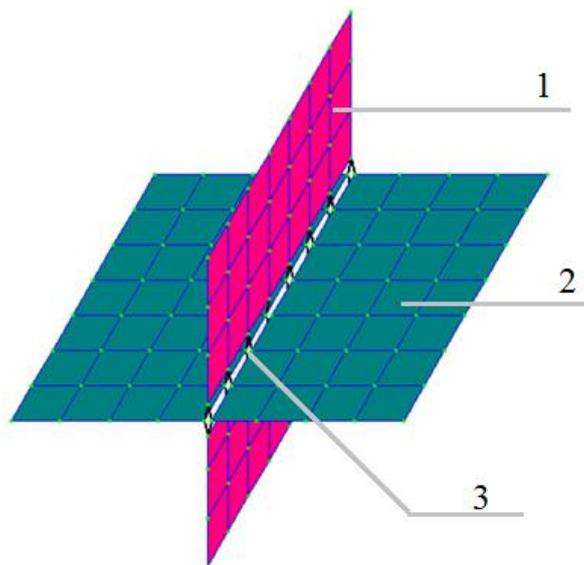


Рисунок 2.27. Фрагмент расчетной модели стыка с применением КЭ 55:

1 – вертикальный пластинчатый элемент, 2 - горизонтальный пластинчатый элемент, 3 - КЭ 55
(моделирует упругую связь между узлами пластинчатых элементов).

Нагрузка на группу узлов, стержень и пластину может иметь трапециевидную форму. Например, нагрузка на стены заглубленной в землю ванны бассейна (см. рисунок 2.28). Коэффициент надежности по нагрузке для грунтов в природном залегании $\gamma_f=1,1$, на строительной площадке $\gamma_f=1,15$.

К узлам и элементам расчетной схемы можно приложить момент (сосредоточенный и равномерно распределенный), учесть температурные воздействия (равномерный и неравномерный нагрев стержней и другие), задать смещение или поворот узлов, а также задать вес массы узла, стержня, пластины и приложить некоторые другие нагрузки.

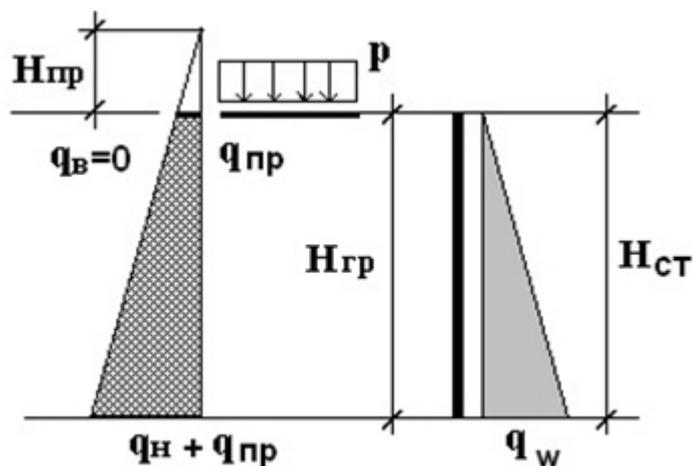


Рисунок 2.28. Нагружение стены заглубленной в землю ванны бассейна:

$q_w = \gamma_w H_{ст}$ – гидростатическое давление воды; γ_w – объемный вес воды (10 кН/м^3);
 $q_n = \gamma_{зр} H_{ст} \text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$ – активное давление грунта (при отсутствии данных $\varphi=30^\circ$, $\gamma_{зр}=18 \text{ кН/м}^3$);
 $H_{нр}=p/\gamma_{зр}$, (при отсутствии данных $p=10 \text{ кН/м}^2$), $q_{нр} = \gamma_{зр} H_{нр} \text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$

Положительное значение нагрузки соответствует ее действию в направлении против координатной оси, момента – вращению по часовой стрелке, если смотреть с конца оси.

Нормативное значение равномерно распределенных временных нагрузок на перекрытия и лестницы зданий определяются назначением помещений и приведены в СП 20.13330.2016.

При подготовке исходных данных для выполнения компьютерных расчетов необходимо учитывать, что расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы ведутся на полное расчетное значение нагрузок, в то время как расчеты по второй группе предельных состояний - на нормативное значение нагрузок, при этом учитывается как полное, так и пониженное значение нормативных нагрузок.

ГЛАВА 3

Подготовка исходных данных для выполнения компьютерных расчетов. Представление результатов

Тема 3.1 Подбор сечений железобетонных конструкций

Железобетон является комплексным строительным материалом. Несущая способность железобетона обеспечивается за счет совместной работы бетона и стали. При этом в качестве неизвестного параметра выступает требуемая площадь рабочей арматуры рассчитываемой конструкции, а размеры поперечного сечения конструктивного элемента задаются как исходные данные при проведении расчетов железобетонных конструкций.

Поперечные сечения сборных железобетонных конструкций могут назначаться, опираясь на опыт проектирования сборных железобетонных конструкций, в том числе, собранный в Российском Строительном каталоге (СК-3 – строительные конструкции и изделия).

На рисунке 3.1 приведены размеры поперечных сечений сборных колонн и ригелей многоэтажных каркасных зданий (СК-3, серия 1.020.1).

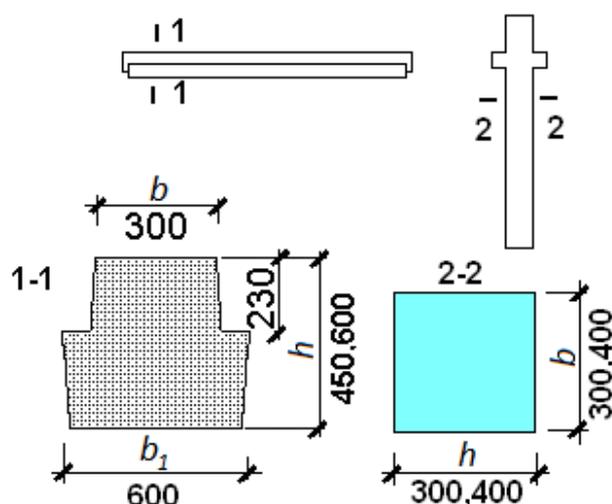


Рисунок 3.1. Размеры поперечных сечений колонн и ригелей многоэтажных каркасных зданий

Размеры поперечного сечения колонны для стандартной сетки 6×6 м составляют 300×300 мм, 400×400 мм. Они определяются высотой колонны и нагрузкой, передаваемой на колонну от перекрытий и покрытия здания, с

учетом собственного веса колонн. Поперечное сечение ригеля представляет собой перевернутый тавр. Пролет ригеля $L=6$ м. Высота сечения ригеля (h) может составлять 450 мм или 600 мм. При этом высота стенки принимается равной 230 мм, если ригель предназначен для опирания на него многопустотных плит перекрытия и 300 мм при опирании на полки ригеля ребристых плит.

В таблице 3.1 показан подбор размеров поперечного сечения надкрановой и подкрановой частей колонн одноэтажных каркасных зданий пролетом $L=18(24)$ м с мостовыми кранами. Размеры поперечного сечения надкрановой и подкрановой частей колонн определяется отметкой верха колонны, ее шагом и грузоподъемностью мостового крана.

Таблица 3.1.

<i>Подбор размеров сечения надкрановой и подкрановой частей колонн одноэтажных каркасных зданий с мостовыми кранами при пролете $L=18;24$ м</i>					
Параметры сечения	Отметка верха колонн	Шаг колонн, м	Грузоподъемность крана, т	Высота сечения, мм	
				h_1	h_2
Ширина 400 h_1 – высота надкрановой части h_2 – высота подкрановой части	+1,140	6	15;20	380	700
	+1,140	6	30	600	700
	+1,140	12	15;20;30	600	800
	+1,260	6	15;20	380	800
	+1,260	6	30	600	800
	+1,260	12	15;20;30	600	900
	+1,380	6	15;20	380	800
	+1,380	6	30	600	800
	+1,380	12	15;20;30	600	900
	+1,440	6	15;20	380	800
	+1,440	6	30	600	800
	+1,440	12	15;20;30	600	900

В таблице 3.2 приведен сортамент поперечных сечений элементов решетки железобетонных ферм для покрытия одноэтажных зданий пролетом $L=18...24$ м. Высоту поперечных сечений верхнего и нижнего поясов фермы можно принять равной ширине фермы (b). При шаге ферм $V=6$ м размеры

поясов фермы принимаются $b \times h = 220 \times 220, 240 \times 240, 260 \times 260$ мм, при шаге ферм $B=12$ м – $280 \times 280, 320 \times 320, 350 \times 350$ мм.

Рекомендации по назначению размеров поперечных сечений вертикальных и горизонтальных несущих элементов монолитных жилых и общественных зданий стеновой и каркасной конструктивных систем сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.2.

Сортамент сечений элементов решетки железобетонных ферм $L=18;24$ м	
Ширина (b), мм	Высота (h), мм
220	100,120,140,160
240	100,120,140,160,180
280	100,120,140,160,180,200
320	120,140,160,180,200
350	120,140,160,180,200

Таблица 3.3.

Размеры поперечных сечений вертикальных и горизонтальных несущих элементов многоэтажных монолитных зданий								
Стеновая система		Каркасная конструктивная система						
$H_{эт.}=2,80...4,20$ м		высота этажа: $H_{эт.}=2,80; 3,00; 3,30; 4,20; 4,50$ м						
пролет $L \leq 7200$ мм		пролет $L \leq 7200$ мм; консольные вынос $L_{кон.} \leq 2400$ мм			пролет $L \leq 18000$ мм ($L_{кон.} \leq 3000$ мм), шаг $B \leq 7200$ мм			
плоское перекрытие (рис.1.2.2 а)		плоское перекрытие (рис.1.2.2 б)			балочное (ребристое) перекрытие (рис.1.2.2 в)			
$h_{пер.}$	$h_{вн.стен}$	$h_{пер.}$	$h_{кол.}$	$b_{кол.}$	$h_{пл.}$	$h_{бал.}$	$h_{кол.}$	$b_{кол.}$
12,14, 16,18, 22	12,14, 16,18, 20,22, 24	20,22, 24	30...45	30,40	20,30, 40	30,40, 50,60, 80,100	30... 150	30,40
Размеры сечений приведены в сантиметрах h – высота сечения, b – ширина сечения								

Поясняющие схемы к таблице 3.3 приведены на рисунке 3.2.

Размеры поперечных сечений конструктивных элементов зданий могут назначаться с учетом их пролета. Так, толщина плоских плит перекрытий сплошного сечения, опертых на колонны назначается не менее $1/30$ длины наибольшего пролета по СП 52-103-2007.

В программном комплексе ЛИРА (программа ЛИР-ВИЗОР) размеры поперечного сечения стержневых элементов расчетной схемы (команда *жесткости и материалы*) задаются после выбора вида сечения из предложенных в команде стандартных сечений (брус, тавр, двутавр, кольцо и др.). Для пластинчатых элементов расчетной схемы указывается их толщина.

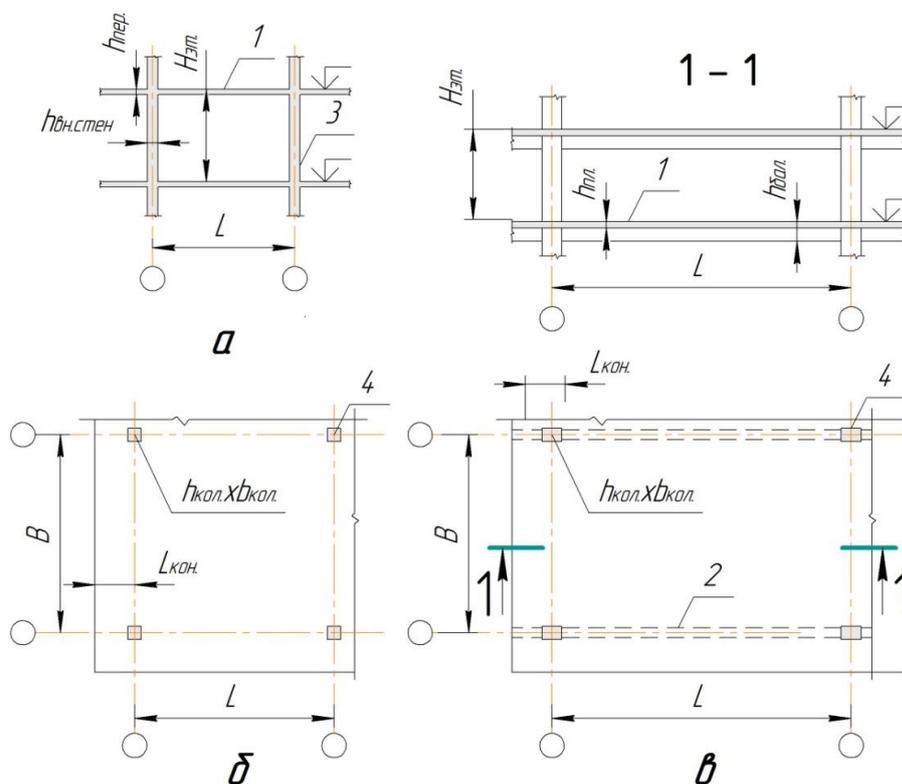


Рисунок 3.2. Варианты конструктивных решений монолитных зданий:
 а) – стеновая конструктивная система (1- плоская плита перекрытия, 3 – внутренняя несущая стена); б) и в) – каркасная конструктивная система (1 – плоское перекрытие, 2 – ребристое перекрытие, 4 – колонна)

Следует отметить, что только на начальных стадиях нагружения железобетонных плит и балок работает все бетонное сечение конструкций. При увеличении нагрузки в растянутой зоне сечения появляются трещины. В финальной стадии нагружения работает бетон сжатой зоны сечения и арматура, расположенная у растянутой грани (рис.3.3).

Программный комплекс ЛИРА позволяет моделировать расчетные сечения с заданными геометрическими характеристиками, типом и параметрами дробления сечения, типом и параметрами арматурных включений. (при выполнении нелинейных расчетов).

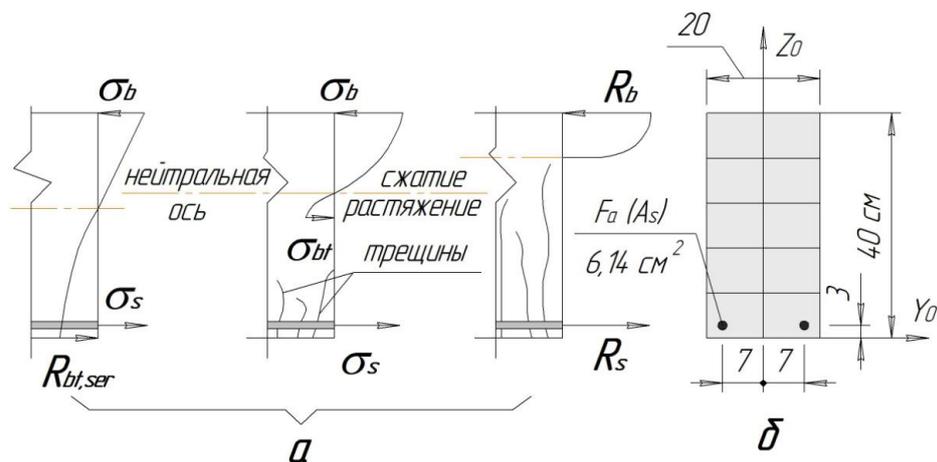


Рисунок 3.3. Стадии нагружения изгибаемой железобетонной балки: начальная, промежуточная, финальная (а) и моделирование сечения балки при компьютерном расчете (б)

На рисунке 3.3б в качестве примера приведено сечение балки 20×40 (b×h) см, с дроблением сечения по ширине и высоте соответственно на две и пять частей, с включением в сечение двух арматурных стержней. Диаметр стержней d_s принят 20 мм. При назначении диаметра стержней можно ориентироваться на оптимальный процент армирования $\mu\%$, который для балок составляет 1,5...2,0% (для колонн - около 3% (до 5%), для плит перекрытия - 0,6...0,8%): $A_s = 0,015 \times b \times h_0 = 0,015 \times 20 \times (40 - 3) = 11,1 \text{ см}^2$ (по сортаменту $A_s = 6,14 \text{ см}^2$ для одного стержня диаметром 20 мм). Привязка арматурных стержней в сечении балки связана с необходимостью обеспечить требуемую толщину защитного слоя бетона, которая по конструктивным требованиям для железобетонных конструкций, эксплуатируемых в закрытых помещениях при нормальной или пониженной влажности, должна составлять 20 мм. Кроме того, толщина защитного слоя принимается не менее диаметра d_s арматурных стержней.

Для формирования геометрии нестандартных сечений можно воспользоваться программой ЛИР-КС. - конструктор сечений.

Формирование железобетонных сечений произвольного профиля, определение геометрических характеристик и полный расчет сечений с визуализацией распределения напряжений в них при приложении усилий можно производить с использованием модуля *конструктор сечений* программного комплекса ЛИРА.

Модуль *конструктор сечений* (ЛИР-КС) можно использовать для определения геометрических характеристик и анализа распределения напряжений в сечениях сложной формы, а также для моделирования нестандартных сечений стержневых элементов расчетной схемы.

Для элементов расчетной схемы могут быть заданы как стандартные, так и нестандартные сечения. Нестандартные сечения предварительно должны быть созданы в программе ЛИР-КС.

Созданный в модуле ЛИР-КС файл хранится в папке LData программного комплекса ЛИРА. Затем для элементов расчетной схемы, формируемой с помощью графического редактора ЛИР-ВИЗОР, можно задать жесткость нестандартных сечений следующим образом: *жесткости элементов* ⇒ *добавить* ⇒ *нестандартные сечения* ⇒ *указать* на созданный файл из папки LData, *установить* его в качестве текущего, *назначить* сформированное нестандартное сечение для выделенного элемента расчетной схемы.

Переход в окно модуля ЛИР-КС из программы ЛИР-ВИЗОР: *жесткости* ⇒ *конструктор сечений*.

Перед началом работы в программе ЛИР-КС необходимо установить:

- единицы измерения (*сервис* ⇒ *единицы измерения* ⇒ *исходные данные (размеры сечения - см (м); нагрузки и параметры материалов - кН, м)* ⇒ *результаты расчета (напряжения и усилия - кН, м)*);
- масштаб изображения (*сервис* ⇒ *настройка* ⇒ *единицы - см (м)*).

Окно конструктора сечений содержит *меню функций* (позиции заданы словами: *файл, редактирование, вид, расчет, результаты, сервис, справка*) и кнопки *меню операций*.

Кнопки *меню операций* скомпонованы в три инструментальные панели: *главная, редактирование, результаты*.

Кнопки главной инструментальной панели интуитивно понятны.

С помощью кнопки *сетка* на инструментальной панели можно убрать или показать сетку окна модуля ЛИР-КС. Можно также сгущать или

разреживать шаг сетки по горизонтали и вертикали с использованием клавиш (+/-) на дополнительном цифровом блоке клавиатуры. О текущем шаге сетки можно судить по делениям линейки.

В панели инструментов *Расширенное редактирование* приведены кнопки для создания сечения произвольного профиля, формируя его из отдельных элементов базы железобетонных сечений, а также из геометрических фигур (прямоугольника, эллипса, полигона) с последующим использованием кнопок редактирования для окончательного формирования сечения произвольного профиля.

Для вывода на экран таблицы результатов определения геометрических характеристик нестандартного сечения и визуализации изополей напряжений при анализе их распределения по сечению предусмотрена панель инструментов *Анализ* и *Расширенный анализ*. Демонстрация возможностей программы ЛИР-КС при формировании нестандартного сечения и расчете его геометрических характеристик, а также напряжений приведена в примере. Рассмотрено формирование и определение геометрических характеристик поперечного сечения многопустотной железобетонной плиты. Поперечное сечение плиты представлено на 3.4а. Для удобства формирования геометрии поперечного сечения многопустотной железобетонной плиты оно предварительно разбивается на блоки (см. рис.3.4б). Последовательность построения блока 1 следующая (см. рис. 3.4в):

- с помощью кнопок *прямоугольник* и *эллипс* + Shift рисуем на поле соответственно прямоугольник и круг, ориентируясь на размеры прямоугольника 0,185x0,22 м и круг диаметром 0,159 м по линейке окна конструктора сечений;

- уточняем размеры фигур и размещаем центры фигур в начало координат (щелкаем правой кнопкой мыши на построенной фигуре, выберем в открывающемся меню пункт *свойства*, в диалоговом окне зададим уточненные размеры фигур и координаты центра обеих фигур: $y=0, z=0$);

○ объединяем прямоугольник и круг вычитанием (выделяем прямоугольник, затем, удерживая клавишу Ctrl - круг; нажимаем кнопку объединение вычитанием).

Последовательность построения блока 2 следующая:

- рисуем произвольный прямоугольник;
- задаем точные размеры прямоугольника - 0,035x0,22 м;
- выделяем прямоугольник и преобразуем его в полигон.

Для компоновки поперечного сечения плиты используются следующие кнопки редактора сечений: *установочный репер, объединение, контур*.

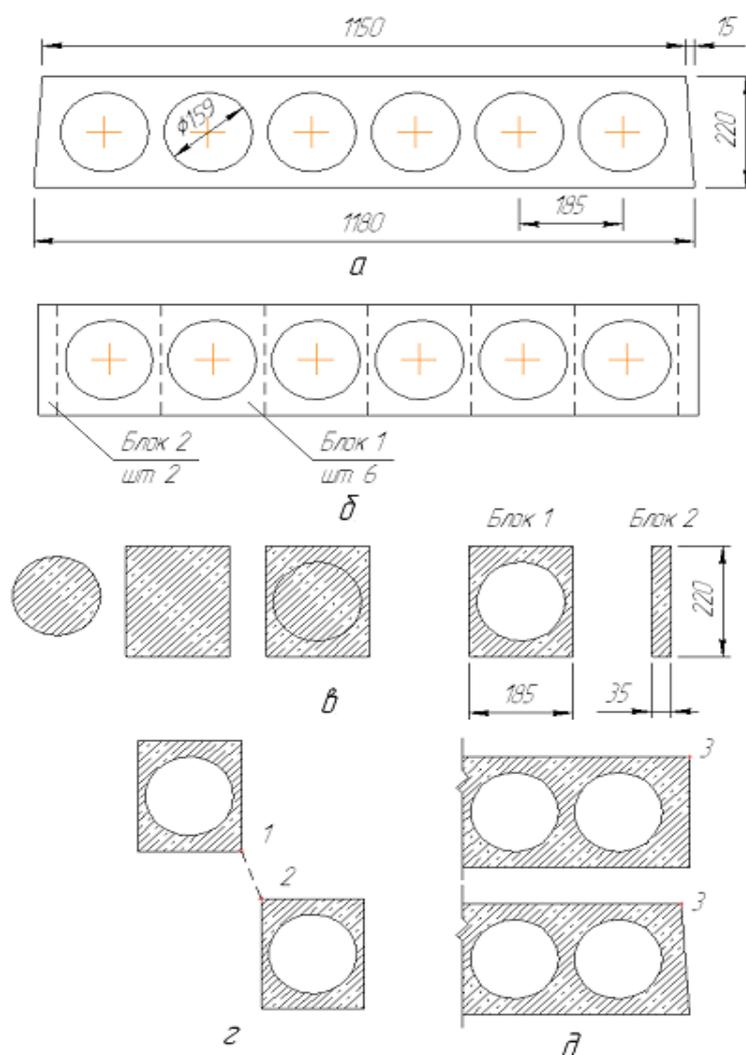


Рисунок 3.4. К определению геометрических характеристик сечения

а) – поперечное сечение многупустотной плиты; б) – разбиение сечения на блоки;

в)...д) – последовательность выполнения построений при формировании сечения.

Последовательность компоновки поперечного сечения из блоков следующая:

- с помощью кнопок *копировать* и *вставить* тиражируем блоки 1 и блоки 2;
- после выделения двух блоков, предназначенных для объединения, вызываем *установочный репер*, указываем на стыкуемые узлы (см. рис. 6.1г) и в диалоговом окне установочного репера задаем проекции на координатные оси u и z , равные нулю;
- после стыковки блоков выполняем операцию *объединение*.

Последовательно присоединяя к сформированной части поперечного сечения плиты остальные блоки, завершаем компоновку сечения. Теперь остается сдвинуть верхние крайние узлы сечения (см. рис. 3.4а и 3.4д). Выполним следующую последовательность действий: после выделения как сечения плиты целиком, так и узлов сечения (с использованием кнопки *контур*) и указания на сдвигаемый узел щелкаем правой кнопкой мыши на узле; выберем в открывающемся меню пункт *свойства*; а в диалоговом окне зададим новые координаты узла, изменив их по отношению к текущим.

Тема 3.2 Материалы для проектирования железобетонных конструкций

Конструкционные материалы назначаются в соответствии с нормативными требованиями по проектированию этих конструкций по СП 63.13330.2018. При назначении параметров жесткости в диалоговом окне команды для стержневых элементов расчетной схемы задаются: модуль упругости бетона E , размеры поперечного сечения элементов $H \times B$, объемный вес железобетона $R_0=25\text{кН/м}^3$. Для пластинчатых элементов расчетной схемы задаются: модуль упругости бетона E , толщина элемента H , коэффициент поперечного расширения бетона ν , объемный вес железобетона $R_0=25\text{кН/м}^3$.

После назначения класса бетона по прочности на сжатие для элементов расчетной схемы при задании жесткости указываются значение модуля упругости бетона E_b с понижающими коэффициентами ($k=0,2...0,3$ для элементов перекрытия, $k=0,6$ – для вертикальных несущих элементов) и коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона) $\nu_{b,p}$.

В программном комплексе ЛИРА-САПР может быть произведен расчет в нелинейной постановке. При выполнении автоматизированного расчета железобетонных конструкций с использованием программного комплекса ЛИРА, при назначении жесткости элементов расчетной схемы (при отметке *учет нелинейности* и выборе *параметры материала*) из библиотеки законов деформирования материалов можно выбрать вид зависимости и указать параметры.

Например, при назначении для элемента расчетной схемы класса бетона В25 и выборе из библиотеки законов деформирования бетона закон №21 – экспоненциальный закон деформирования материала для типа тяжелый бетон атмосферного твердения, значения параметров графика $\sigma=E \cdot \varepsilon$ - относительные деформации бетона ε и напряжения σ в диалоговом окне (см .рисунок 3.5) появляются автоматически, также автоматически выполняется построение диаграммы $\sigma - \varepsilon$.

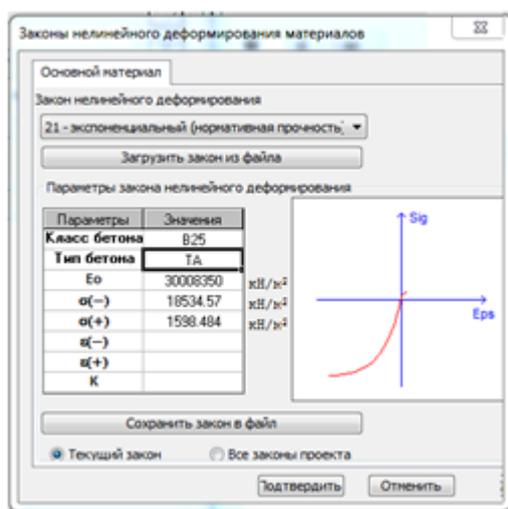


Рисунок 3.5. Диалоговое окно команды жесткости и материалы для задания закона нелинейного деформирования основного материала - бетона.

При проведении нелинейного расчета после задания закона деформирования основного материала (бетона) следует описать (задать) закон нелинейного деформирования армирующего материала. На рисунке 3.6 приведено окно команды *жесткости и материалы*. Выбран кусочно-линейный закон деформирования армирующего материала № 14. Но в отличии от автоматического задания закона деформирования бетона №21(после указания класса бетона) для закона деформирования арматуры №14 в диалоговом окне команды необходимо задать относительные деформации арматуры ϵ и напряжения σ (в диалоговом окне записаны параметры для арматуры класса А400). Значения σ, ϵ – по СП 63.13330.2018.

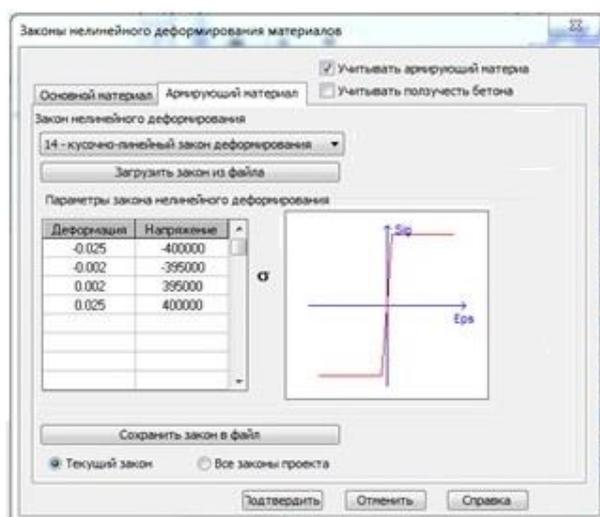


Рис.3.6. Диалоговое окно команды *жесткости и материалы* для задания закона нелинейного деформирования армирующего материала (арматуры класса А400)

При проведении нелинейного расчета задается также схема армирования для элемента расчетной схемы.

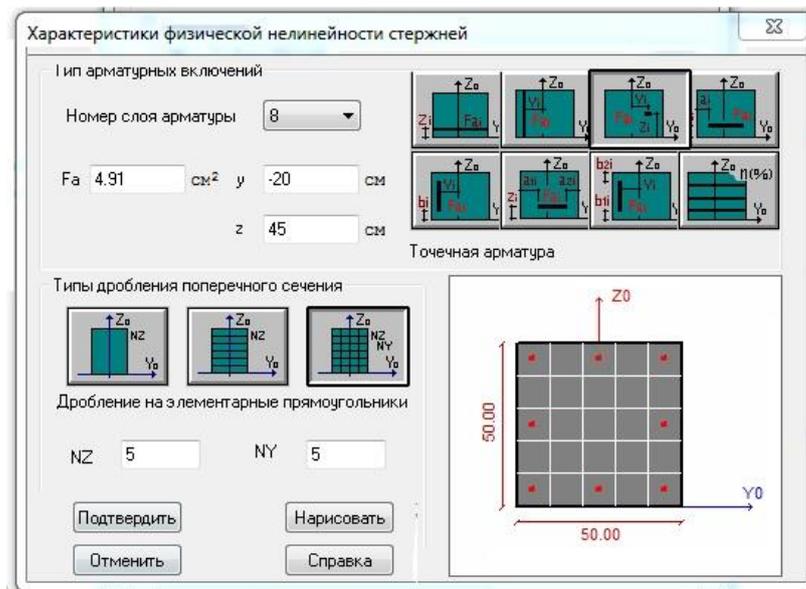


Рисунок 3.7. Диалоговое окно команды жесткости и материалы для задания схемы расположения арматуры в поперечном сечении балки.

На рисунке 3.7 представлено диалоговое окно, в котором приведена схема расположения продольной арматуры в поперечном сечении стержня-колонны расчетной схемы. Для заполнения диалогового окна необходимо выбрать тип арматурных включений (выбрана точечная арматура), также выбрать тип и частоту разбиения поперечного сечения стержня-колонны на элементы. Арматурные стержни в поперечном сечении элемента задаются последовательно по координатам Y , Z с указанием площади арматурного стержня (F_a).

На рисунке 3.8 представлено диалоговое окно, в котором приведена схема расположения продольной арматуры в поперечном сечении пластины-плиты расчетной схемы. Для заполнения диалогового окна необходимо выбрать тип арматурных включений (выбрана арматура стержневого типа, физический эквивалент сетки в процентах армирования), также количество стержней на один погонный метр составляет 5.

Верхняя и нижние сетки армирования плиты перекрытия располагаются на расстоянии от оси Y . соответственно, вверх и вниз по оси Z на 7 см.

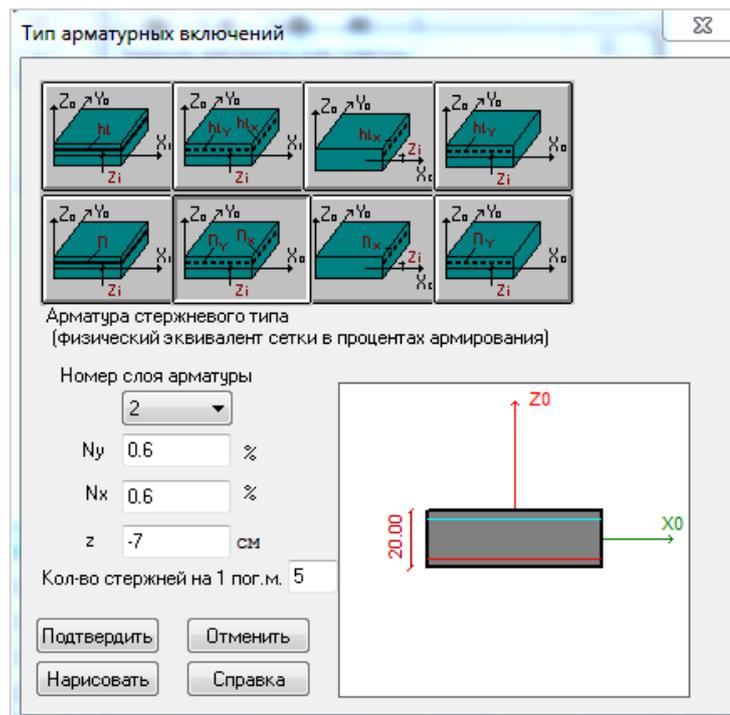


Рисунок 3.8. Диалоговое окно команды жесткости и материалы для задания схемы расположения арматуры в поперечном сечении балки.

В рассматриваемом примере высота поперечного сечения плиты перекрытия составляет 20 см. Защитный слой для нижних арматурных стержней сеток в соответствии с конструктивными требованиями и составляет 20 мм = 2 см. Сетка армирования составлена из стержней 10-А400 взаимно перпендикулярного направления. Расстояние Z считается от оси Y до центральной оси сетки армирования.

Тема 3.3 Фундаментные конструкции

При выполнении численных расчетов конструктивных систем зданий должна быть построена расчетная модель здание-основание. При проведении расчетов в соответствии с геологией участка строительства вычисляются коэффициенты постели C_1 и C_2 . Коэффициенты постели могут вычисляться как для фундаментной плиты (пластинчатого элемента расчетной схемы, так и фундаментного ростверка (стержневого элемента расчетной схемы). Кроме то, в зоне диалогового окна задания коэффициентов C_1 и C_2 , где указываются тип элементов расчетной схемы, можно выбрать конечные элементы КЭ53 или КЭ

54 (элементы упругого основания), предварительно установив эти конечные элементы в узлах фундаментной плиты.

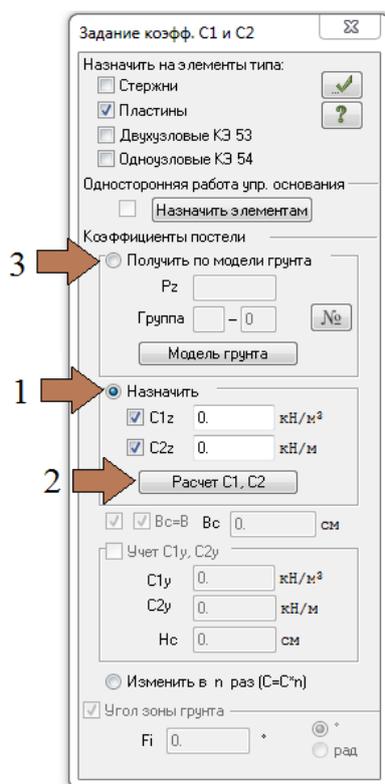


Рисунок 3.9. Варианты задания коэффициентов постели $C1$ и $C2$: 1 – назначить для предварительных расчетов, 2 – рассчитать коэффициенты, 3 – рассчитать коэффициенты постели по модели грунта.

На рисунке 3.9 показано диалоговое окно для задания параметров для вычисления коэффициентов постели $C1$ и $C2$. В диалоговом окне можно задать коэффициенты постели по-разному: назначить или вычислить.

При выполнении численных расчетов фундаментной плиты задание условия опирания плиты на грунт описывается коэффициентами упругого основания (коэффициентами постели) $C1$ и $C2$,

Коэффициенты постели $C1$ и $C2$ записываются в диалоговое окно *задание коэффициентов $C1$ и $C2$ (жесткости \Rightarrow коэффициенты постели $C1, C2$)*

Вторым вариантом задания коэффициентов $C1$ и $C2$ является аналитическое вычисление коэффициентов.

ГЛАВА 4

Конструктивные системы, несущие элементы и расчетные схемы зданий.

Тема 4.1 Конструктивные системы многоэтажных зданий

Многоэтажные здания в отношении их конструктивных решений классифицируются по материалу основных несущих конструкций, подразделяясь на железобетонные и каменные; по способу возведения здания, подразделяясь на сборные, сборно-монолитные и монолитные.

Конструктивные системы, представляющие собой совокупность взаимосвязанных несущих элементов зданий, обеспечивающих его прочность и устойчивость.

По виду конструктивной системы (КС) многоэтажные здания бывают:

- стеновой КС,
- колонной КС,
- ствольной КС,
- крупнопанельной КС.

В свою очередь каждая конструктивная система имеет несколько конструктивных схем. При этом конструктивная схема описывает взаимодействие несущих конструктивных элементов здания при определении усилий в них.

На рисунке 4.1 в графическом виде приведена классификация многоэтажных зданий.

В зависимости от схемы расположения стен на плане здания и характера опирания на стены перекрытий различают перекрестно-стеновую, поперечно-стеновую и продольно-стеновую конструктивные схемы.

На рисунке 4.2 приведены конструктивные схемы (продольно-стеновая, поперечно-стеновая, перекрестно-стеновая) стеновой КС многоэтажного здания.

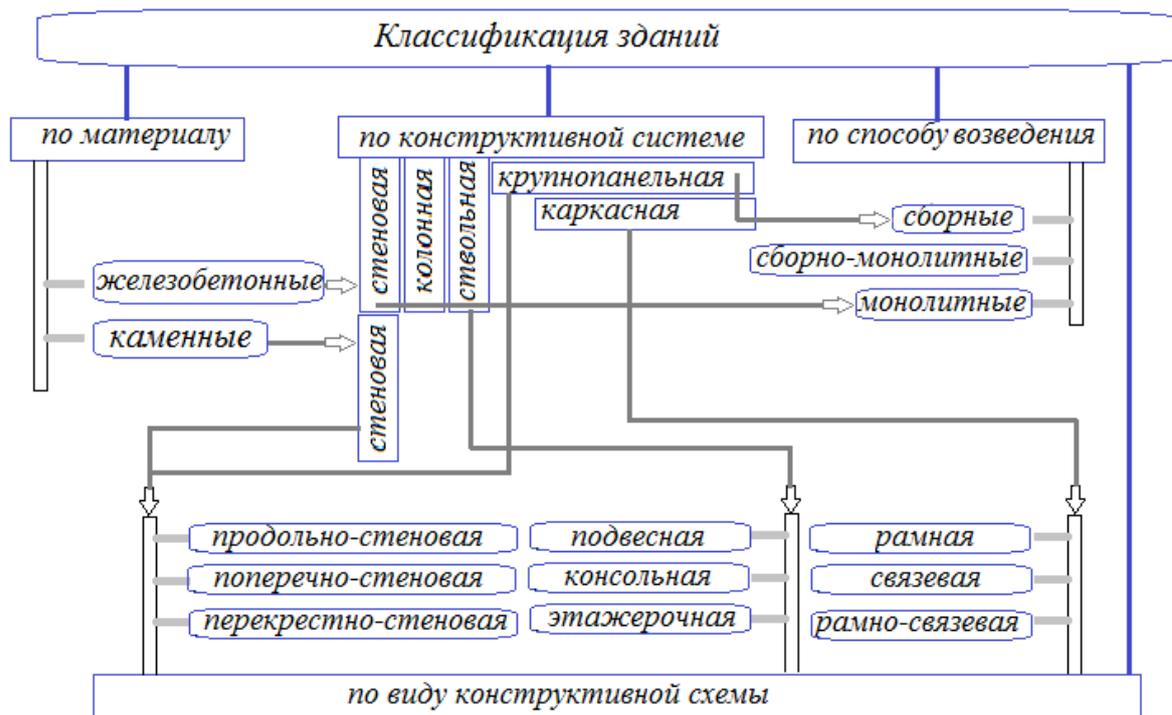


Рисунок 4.1. Классификация многоэтажных зданий

В зданиях с *продольно-стеновой конструктивной схемой* (рисунок 4.2а) плиты перекрытия также работают преимущественно по балочной схеме с опиранием на две противоположные продольные стены. Для повышения жесткости здания должны предусматриваться поперечные диафрагмы с опиранием на них плит перекрытия здания.

В зданиях с *поперечно-стеновой конструктивной схемой* (рисунок .4.2б) вертикальная нагрузка от перекрытия передается в основном на поперечные несущие стены, а плиты перекрытия работают преимущественно по балочной схеме с опиранием по двум противоположным сторонам. Горизонтальные нагрузки, действующие перпендикулярно поперечным стенам. Воспринимаются продольными диафрагмами жесткости. В качестве продольных диафрагм жесткости могут выступать стены лестничных клеток, отдельные участки продольных наружных и внутренних стен. Для повышения жесткости здания, примыкающие к продольным диафрагмам плиты должны опираться на них.

В зданиях с *перекрестно-стеновой конструктивной схемой* (рисунок 4.2в) наружные стены проектируются ненесущими (навесными и устанавливаемыми на перекрытие) и несущими, а плиты перекрытия, соответственно, опертые по трем сторонам или по контуру. Перекрестно-стеновая конструктивная система обладает большой пространственной жесткостью и способностью перераспределять усилия между конструктивными элементами здания.

Эффективность работы плит перекрытий в двух направлениях связана с уменьшением значений, возникающих в плите изгибающих моментов, что в свою очередь, позволяет проектировать плиты меньшей толщины и, соответственно, веса.

Чтобы плита считалась работающей в двух направлениях, кроме условия опирания плит по контуру на четыре или три стороны, важным моментом является соотношение размеров сторон плиты. Так, у опертых по контуру плит, соотношение размеров длинной и короткой сторон должно составлять 3:1 и менее. У опертых по трем сторонам плит соотношение размеров стороны, расположенной вдоль параллельно размещенных опор и стороны, расположенной вдоль свободного края, должно составлять 1,5:1 и менее.

Следует отметить, что здания поперечно-стеновой и продольно стеновой конструктивных систем не обладают такой способностью перераспределять между собой вертикальные нагрузки, здания перекрестно-стеновой конструктивной системы. Поэтому здания с такими конструктивными системами проектируются высотой до 17-ти этажей.

В *ствольных конструктивных системах* монолитных многоэтажных зданий вертикальными несущими конструкциями являются *стволы*, образуемые преимущественно стенами лестнично-лифтовых шахт, на которые непосредственно или через распределительные ростверки опираются перекрытия. По способу опирания междуэтажных перекрытий (рисунок 4.3) различают конструктивные схемы ствольных КС, которые бывают трех видов:

- с консольным опиранием этажей (рисунок 4.2а),
- с этажерочным опиранием этажей (рисунок 4.2б),
- с подвесным опиранием этажей. (рисунок 4.2в).

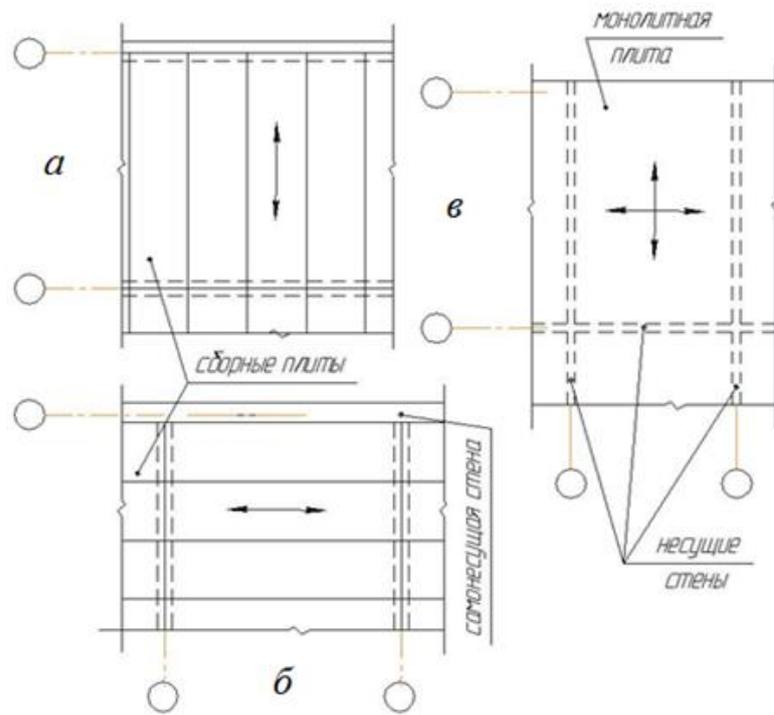


Рисунок 4.2. Конструктивные схемы монолитных и сборных многоэтажных зданий стеновой конструктивной системы: а – продольно-стенная, б – поперечно-стенная, в – перекрестно-стенная

Здания со ствольными конструктивными системами применяются тогда, когда необходимо свободное пространство под зданием или при сложных инженерно-геологических условиях площадки строительства.

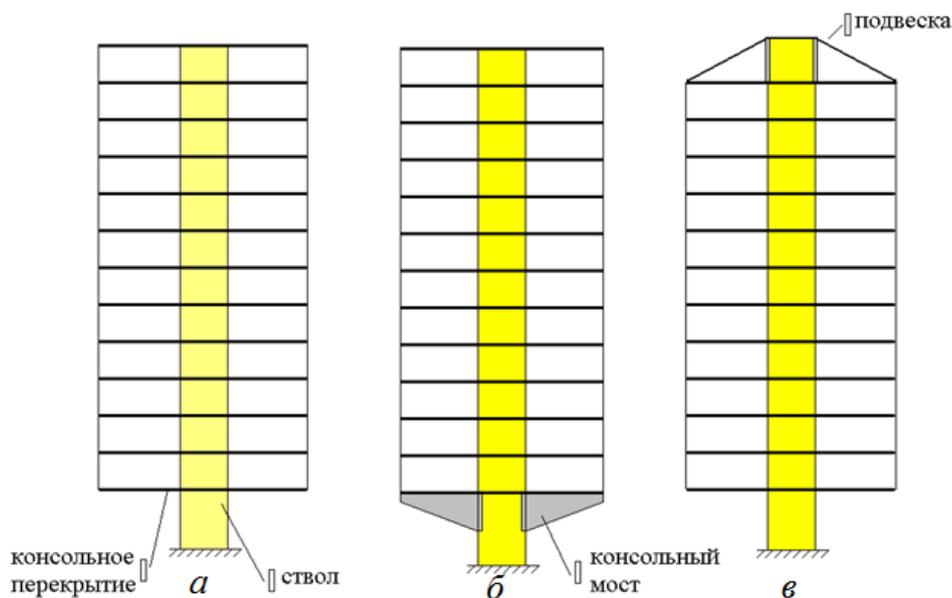


Рисунок 4.3. Конструктивные схемы монолитных многоэтажных зданий ствольной конструктивной системы: а – консольная, б – этажерочная, в - подвесная

На напряженно-деформированное состояние несущих элементов конструктивной системы многоэтажных зданий, прежде всего каркасной и крупнопанельных КС, оказывает влияние жесткость (податливость) стыков несущих элементов. При этом жесткость C элементов стыка характеризуется усилием, возникающем в них при единичном перемещении в направлении действия этого усилия, а податливость элементов стыка λ – перемещением связи от единичного усилия в направлении его действия. Жесткость связи и ее податливость связана обратно пропорциональной зависимостью.

На рисунке 4.4 приведены следующие виды горизонтальных стыков стеновых панелей и плит перекрытий: платформенный (4.4а), монолитный (4.4б),

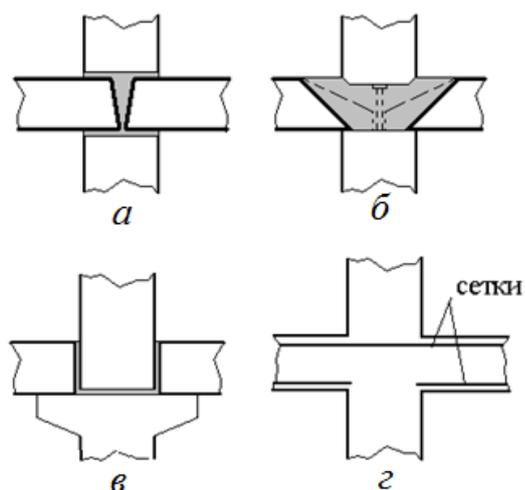


Рисунок 4.4. Конструктивное решение стыков в крупнопанельных (а, б, в) и монолитных (г) многоэтажных зданий стеновой КС: а – платформенный стык, б – монолитный, в - контактный

Многоэтажные каркасные здания могут иметь одну из трех конструктивных схем каркаса: связевую, рамно-связевую и рамную.

Важным моментом при классификации конструктивных схем многоэтажного каркасного здания является вид узлов сопряжения ригелей с колоннами здания. На рисунке 4.5 представлены виды узлов сопряжения несущих элементов многоэтажного каркасного здания и конструктивное решение этих узлов.

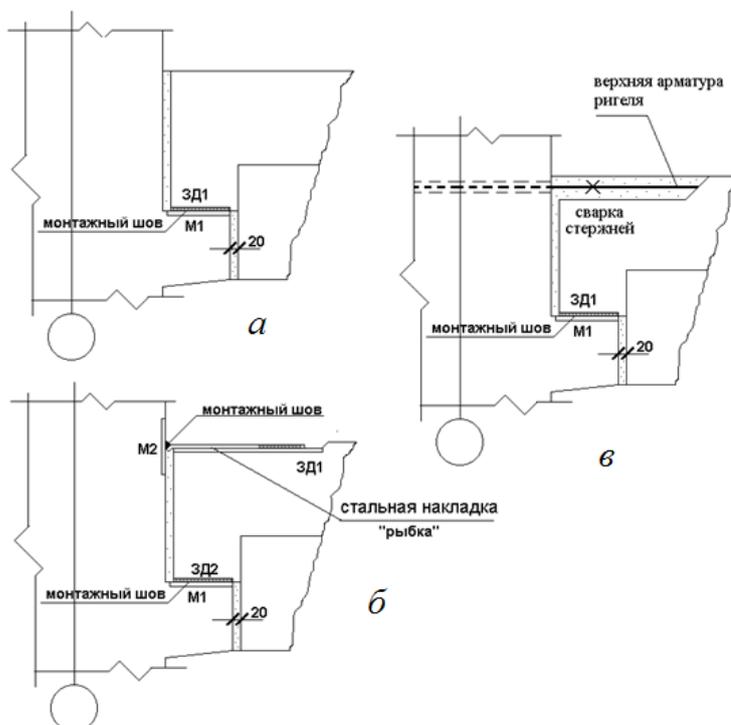


Рисунок 4.5. Виды узлов сопряжения ригелей и колонн многоэтажного каркасного здания и конструктивное решение этих узлов: а – шарнирный, б – полужесткий, в - жесткий

Тема 4.2 Моделирование несущей системы многоэтажного здания

Современные программные комплексы, в частности ПК ЛИРА-САПР, позволяют моделировать в расчетной схеме конструктивной системы многоэтажного каркасного здания узлы сопряжения ригеля и колонны с учетом жесткости стыка. Одним из механизмов учета жесткости соединения элементов расчетной схемы является использование команды *шарниры*, в диалоговом окне которой в общем случае можно задать линейную и угловую жесткость моделируемого стыка.

Первоначально при создании расчетной схемы многоэтажной рамы из стержневых элементов в программном комплексе ЛИРА-САПР стыковые соединения между горизонтальными и вертикальными элементами каркаса моделируются как жесткие. Между тем для многоэтажных каркасных зданий в сборном железобетоне используются три типа сопряжения между ригелем и колонной: жёсткое, шарнирное и полужесткое с частичным защемлением опорного сечения ригеля. Следует также отметить, что тип узлов сопряжения горизонтальных и вертикальных элементов каркаса диктует отнесение каркаса многоэтажного здания к одной из трех конструктивных схем: связевая, рамно-связевая и рамная.

Шарнирное сопряжение ригеля с колонной допускает свободный поворот опорных сечений ригеля. При создании расчетной схемы с шарнирным сопряжением несущих элементов в опорных узлах стержня-ригеля моделируется шарнирное сопряжение с колонной со свободным поворотом опорных узлов ригеля, который при жестком сопряжении элементов каркаса расчетной схемы отсутствует.

На рисунке 4.6 показаны результаты расчета плоской многоэтажной рамы с тремя типами стыков ригелей с колоннами: жестком (а), шарнирном (б), полужестком (в). Приведены эпюры изгибающих моментов M_y (кНм). На

рисунке 4.6 (з). представлено диалоговое окно команды *шарниры*, в котором отмечено направление угловой связи (UY) с указанием коэффициента угловой жесткости C_{φ} узла сопряжения элементов каркаса для полужесткого стыка.

В зданиях *колонной конструктивной системы* вертикальными несущими конструкциями являются *колонны*.

Плиты перекрытий в зданиях колонной конструктивной системы бывают безбалочные: плоскими (гладкими), в том числе с контурными балками по периметру плоского перекрытия здания, а также плоские плиты с капителями.

При этом плиты могут работать в одном направлении и быть сплошными, пустотными и ребристыми. И в двух направлениях - сплошные, кессонные пустотные и ребристые. при этом ребристые плиты могут быть ребрами вверх и вниз.

Балочные перекрытия бывают с межколонными балками в одном и двух направлениях, с системой главных и второстепенных балок и кессонными.

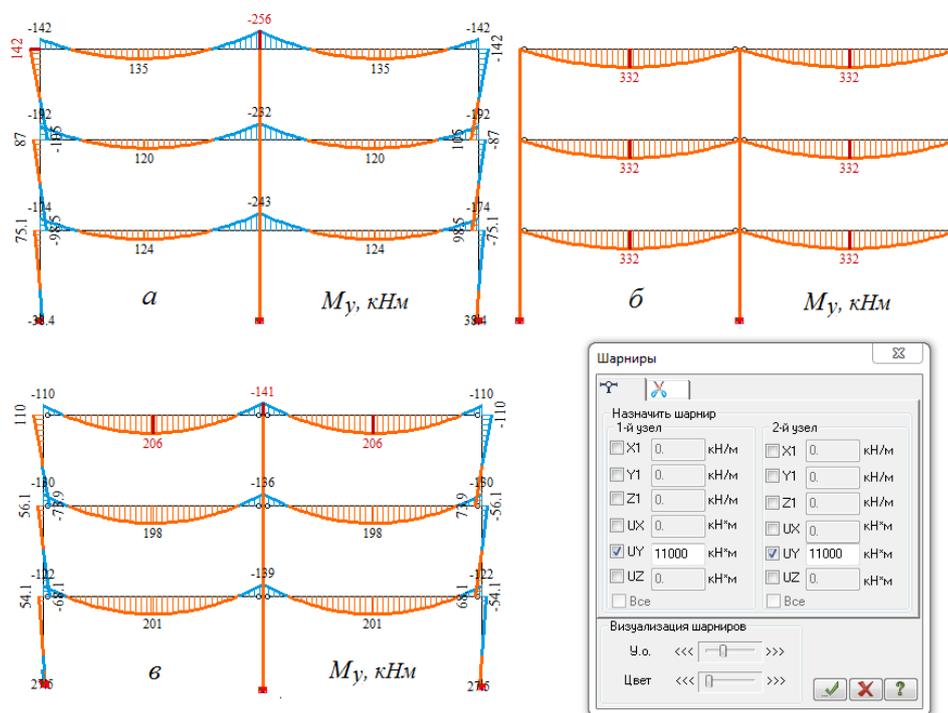


Рисунок 4.6. Результаты статического расчета: эпюры изгибающего момента M_y для плоской многоэтажной рамы при жестком (а), шарнирном (б), полужестком (в) сопряжении несущих элементов каркаса в стыке между элементами и диалоговое окно команды шарниры (з).

Конструктивные требования к габаритной схеме и требования к назначению *конструктивных параметров* многоэтажных монолитных зданий колонной КС изложены в СП 52-103-2007 (Железобетонные монолитные конструкции зданий).

Габаритная схема здания представляет собой графически изображаемые параметры объемно-планировочного решения здания. Габаритная схема здания разрабатывается в разделе АР (архитектурное решение здания) и выступает в качестве основы при проектировании конструктивной системы и конструкций здания. Габаритная схема здания может уточняться на этапе конструкторского проектирования в соответствии с требованиями к габаритной схеме, изложенными в нормативных документах, в частности, по проектированию железобетонных монолитных конструкций зданий.

Расчетная схема здания может быть построена как одномерная, двумерная или трехмерная. При этом для построения и последующего анализа расчетной схемы имеет значение вид составных элементов расчетной схемы: пластинчатые или стержневые. Расчетная схема здания включает в себя физическую модель и данные о нагрузках.

Нормативные требования относительно проведения расчета монолитного многоэтажного здания колонной конструктивной системы предусматривают проведение расчета в два этапа. На первом этапе производится расчет напряженно-деформированного состояния и проверка устойчивости конструктивной системы здания, то есть выполняется статический расчет КС. На втором этапе выполняется конструктивный расчет элементов расчетной схемы в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 (Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения)

Конструктивные параметры и требования к армированию несущих элементов многоэтажных монолитных зданий колонной конструктивной системы приведены в таблице 4.1.

Однако эти рекомендации норм носят самый общий характер и на первом этапе разработки раздела КЖ проекта для уточнения конструктивных параметров требуется вариантное проектирование.

Таблица 4.1

№ п/п	Несущий элемент КС	Конструктивные параметры	Требования к проценту армирования.
1	Колонны	Размер поперечного сечения квадратных или круглых колонн – не менее 30 см, класс бетона В25 В60, классы арматуры А400, А500, А600.	<i>Внецентренно сжатые элементы</i> Максимальный процент армирования в любом сечении (включая участки с соединением арматуры внахлестку) - $\mu\% \leq 10\%$.
2	Пилоны (вытянутое поперечное сечение)	Меньший размер поперечного сечения принимается не менее 20 см. класс бетона В25 В60, классы арматуры А400, А500, А600.	Минимальный процент армирования зависит от гибкости вертикальных внецентренно сжатых элементов
3	Стены	Толщина стен – не менее 18 см, класс бетона - не менее В20, классы арматуры А400, А500.	λ : при $\lambda \leq 5 - A_{s,ult}=0,2\%$, при $\lambda > 25 - A_{s,ult}=0,5\%$
3	Перекрытия плоские	Толщина перекрытия 16...25 мм (1/30 большего из пролетов), класс бетона - не менее В20, классы арматуры А400, А500.	Минимальный процент армирования для плоских плит и элементов балочных перекрытий принимается не менее 0,1%, для фундаментных плит – не менее 0,3%.
4	Фундаментные плиты	Толщина фундаментных плит – не менее 50 см, класс бетона - не менее В20, при марке по водонепроницаемости - не менее W6; $\mu\%$ - не менее 0,3 %.	Максимальный процент армирования определяется параметрами ξ_R , A_R для сжатой зоны бетона, определяемые по нормативным документам.

Конструктивные параметры включают в себя геометрические размеры несущих элементов КС, классы бетона и арматуры, а также значение процента армирования. Геометрические параметры и физические характеристики материалов для конструкций в расчетах принимаются как заданные. Полученное в результате расчета армирование оценивается через процент армирования $\mu\%$. При проектировании рекомендуется принимать оптимальные конструктивные параметры конструкций, устанавливаемые на основе вариантного проектирования.

Тема 4.3 Оптимизация и моделирование конструкций зданий

Для оптимизации конструктивных параметров несущих железобетонных конструкций проектируемого здания, в частности монолитного железобетонного перекрытия здания необходимо рассмотреть возможные варианты конструктивного решения перекрытия. При этом можно изменять, например, толщину плиты, материалы и нагрузки плиты перекрытия. Размеры ячейки для рассматриваемого здания колонной конструктивной остаются неизменным. Оптимизация выполняется на основе технико-экономического анализа вариантов конструктивного решения.

Основными вариантами конструктивного решения перекрытий многоэтажного монолитного здания в соответствии с СП 52-103-2007 (Железобетонные монолитные конструкции зданий) являются: безбалочные перекрытия в виде плоской плиты, а также плоской плиты с капителями; балочного перекрытия с межколонными балками в двух направлениях.

Для выполнения сравнительных расчетов различных вариантов плит перекрытий с варьированием конструктивных параметров были созданы фрагментированные модели плит перекрытий. Конечно-элементная модель плоской плиты перекрытия представлена на рисунке 4.7а, плоской плиты с капителями – на рисунке 4.7б, балочной плиты – на рисунке 4.7в

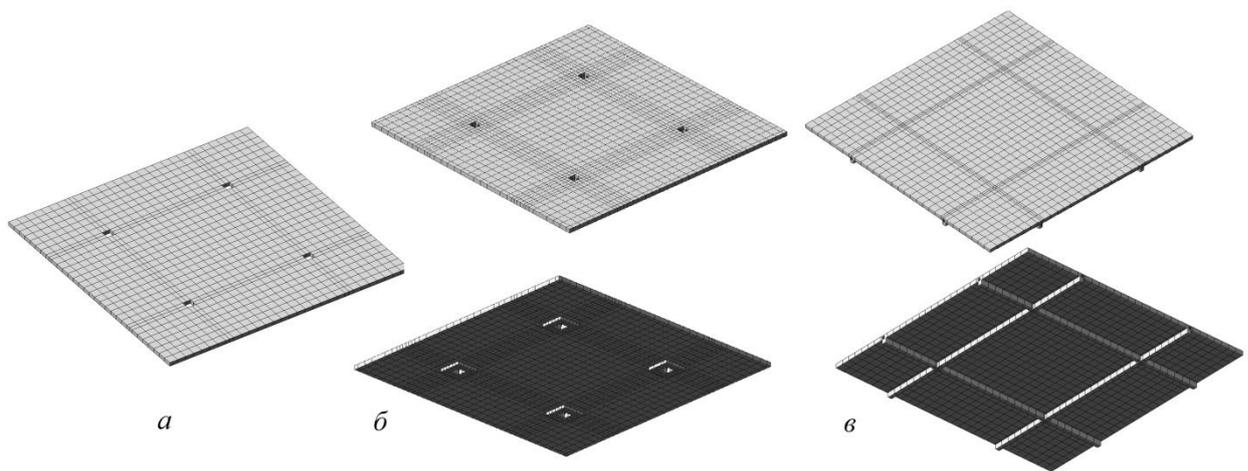


Рисунок 4.7. Расчетные модели фрагментов монолитного перекрытия: а – в виде плоской плиты перекрытия, б - плоской плиты с капителями, в – балочного с межколонными балками в двух направлениях

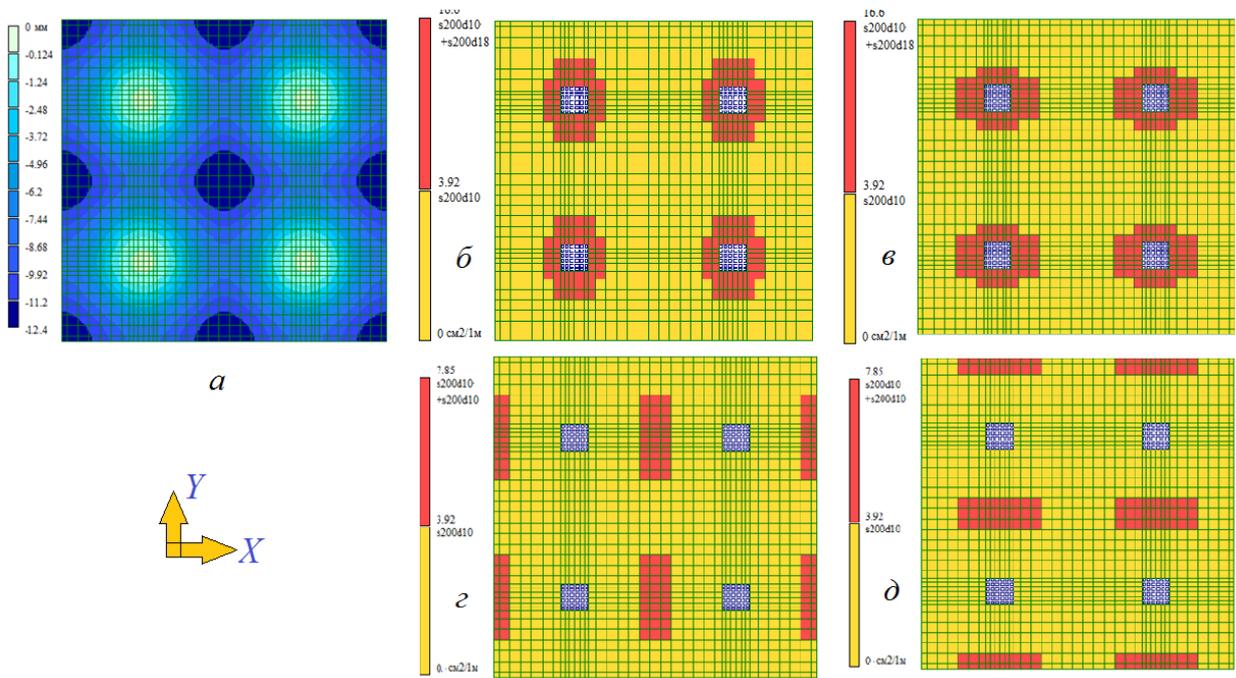
Таким образом, рассматривались лишь фрагменты перекрытия с регулярным расположением вертикальных несущих конструкций (колонн), для чего задавались граничные условия по периметру фрагментов перекрытия, соответствующие учету симметрии. Узлы по периметру плиты были закреплены с учетом рекомендаций, приведенным в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Связи, накладываемые на узлы пересечения расчетной схемы с плоскостями симметрии			
Плоскость симметрии	XOZ	XOY	YOZ
Накладываемые связи	Y, UX, UZ	Z, UX, UY	X, UY, UZ

При выполнении расчета для каждого вида монолитного перекрытия (безбалочного и балочного) варьировались исходные данные. Изменялись толщина плиты, классы материалов, а также нагрузка на монолитные перекрытия.

Для каждого рассматриваемого варианта выполнялся подбор арматуры, определялся прогиб, который сравнивался с допустимым. Ограничение допустимой ширины раскрытия при назначении исходных данных (команда *жесткости и материалы*) задавалось как условие.



*Рис.4.8. Прогиб (а) и армирование плоской монолитной плиты перекрытия:
 б– верхнее армирование по оси Y , в – верхнее армирование по оси X , г – нижнее армирование по оси Y, д – нижнее армирование по оси X.*

На рисунке 4.8 приведены результаты подбора арматуры и определения прогиба монолитной плиты перекрытия.

С учетом назначенных размеров поперечного сечения плоской плиты перекрытия и раскладки арматуры по результатам численных расчетов определялся расход бетона и арматуры по вариантам.

Для наглядности связи между расходом материалов и их классами, а также временными нагрузками на перекрытия различного вида были построены графики. Пример такого графика приведен на рисунке 4.9.

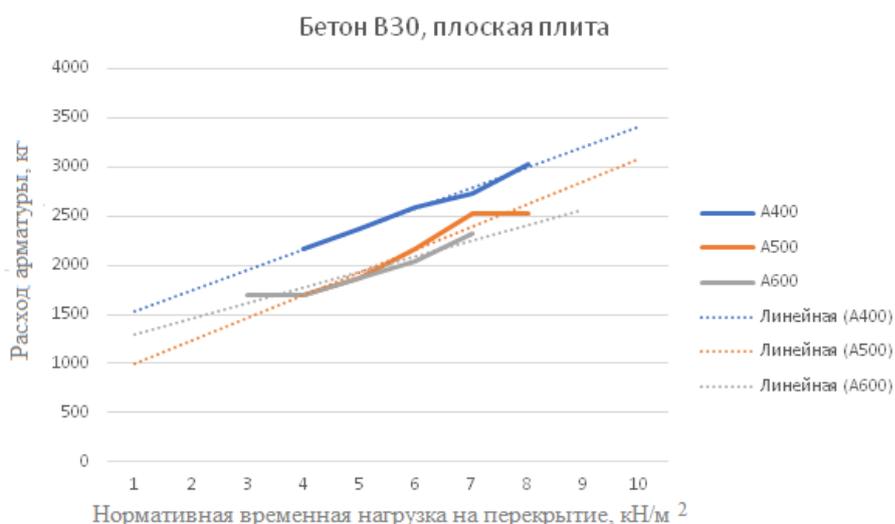


Рис.4.9. График зависимости расхода арматуры от временной нагрузки на перекрытие для плоской плиты перекрытия при применении для нее класса бетона В30

При проведении сравнительного анализа вариантов конструктивного решения перекрытия был выполнен локальный сметный расчет для одного этажа здания. По результатам локального сметного расчета построен график зависимости стоимости устройства монолитного перекрытия трех типов в зависимости от временной нагрузки (см.рис.4.10). При помощи такого графика можно, зная временную нагрузку на перекрытие, определять оптимальные конструктивные параметры по минимальной стоимости устройства перекрытия (сетки колонн с размерами 7,5×7,5 м), то есть на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Из графика, построенного по результатам локального сметного расчета видно, что наименьшие финансовые затраты будут на изготовление плиты перекрытия с капителями (при обеспечении одинаковой несущей способности при одинаковой нагрузке). Для плоской плиты расходы на ее изготовление резко возрастают при временных нагрузках на перекрытие 4-6 и более кН/м²

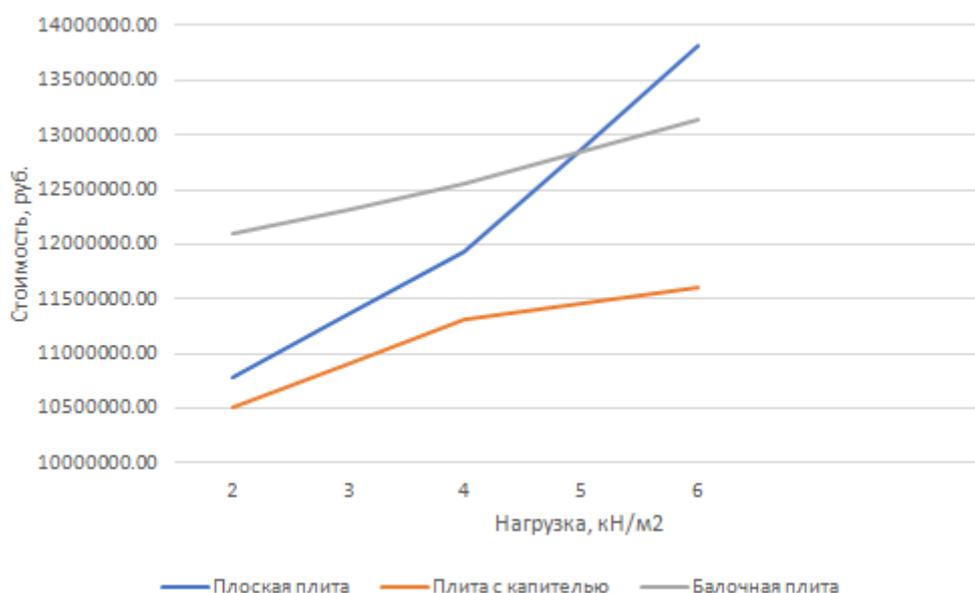


Рисунок 4.10. График зависимости стоимости устройства монолитных перекрытий трех видов от временной нагрузки на перекрытие

При выполнении статического расчета конструктивной системы рассматриваемых зданий рекомендуется рассматривать трехмерную расчетную модель здания совместно с основанием. Работа основания учитывается путем использования общепринятых расчетных моделей оснований с вычислением коэффициентов постели C_1 и C_2 . При проведении расчетов с применением программного комплекса ЛИРА с использованием модуля ГРУНТ.

Численные расчеты конструктивной системы здания начинаются с моделирования расчетной схемы. Далее рассматривается численный расчет монолитного многоэтажного здания с подземным этажом колонной конструктивной системы. Расчетная модель здания строится с использованием команды *генерация пространственных рам*, далее выполняется дополнительное построение стен подвала и лестнично-лифтовой шахты. Вычисление и назначение коэффициентов постели для элементов фундаментной плиты в соответствии с заданной геологией. Вычисление и приложение нагрузок к узлам и элементам расчетной схемы, в том числе пульсационной составляющей ветровой нагрузки и бокового давления грунта.

Создание геометрии пространственной рамы.

Для создания геометрии пространственной расчетной схемы здания необходимо обратиться к команде *генерация пространственной рамы* и в открывающемся диалоговом окне (см.рис.4.11) задать исходные данные для ее построения:

- фундаментная плита опущена вниз на три метра ($Z=-3,0$ м)
- пространственная рама в примере на рисунке 4.11 имеет три пролета ($N=3$) по оси X , длиной $L=6$ м с разбивкой плиты в пролете на шесть частей ($M=6$) и два пролета ($N=2$) по оси Y , длиной $L=6$ м с разбивкой плиты в пролете на шесть частей ($M=6$). Колонны подземного этажа имеют высоту три метра ($L=3$ м), расположены в пределах одного этажа ($N=1$), колонны разбиты на три части ($M=3$), так как в последующем необходимо достроить стены подземной части здания. Для четырех наземных этажей ($N=4$) колонны задаются без разбивки на элементы ($M=1$). Высота колонн – $L=4,2$ м.
- для фундаментной плиты задаются свесы с выносом 1 м, фундаментная плита, включая свесы имеет разбивку на конечные элементы размером 1×1 м. Аналогичную разбивку имеют плиты перекрытий,
- пространственная рама по умолчанию моделируется с балочным перекрытием. Так как перекрытие в рассчитываемом здании плоское, то балки необходимо удалить, предварительно отметив их как *горизонтальные стержни*,
- для фундаментной плиты в последствии будут определены коэффициенты постели $C1$ и $C2$, но на этапе создания геометрии пространственной рамы для обеспечения ее геометрической неизменяемости при выполнении численного расчета на все узлы фундаментной плиты накладываются закрепления по направлениям X , Y , UZ .

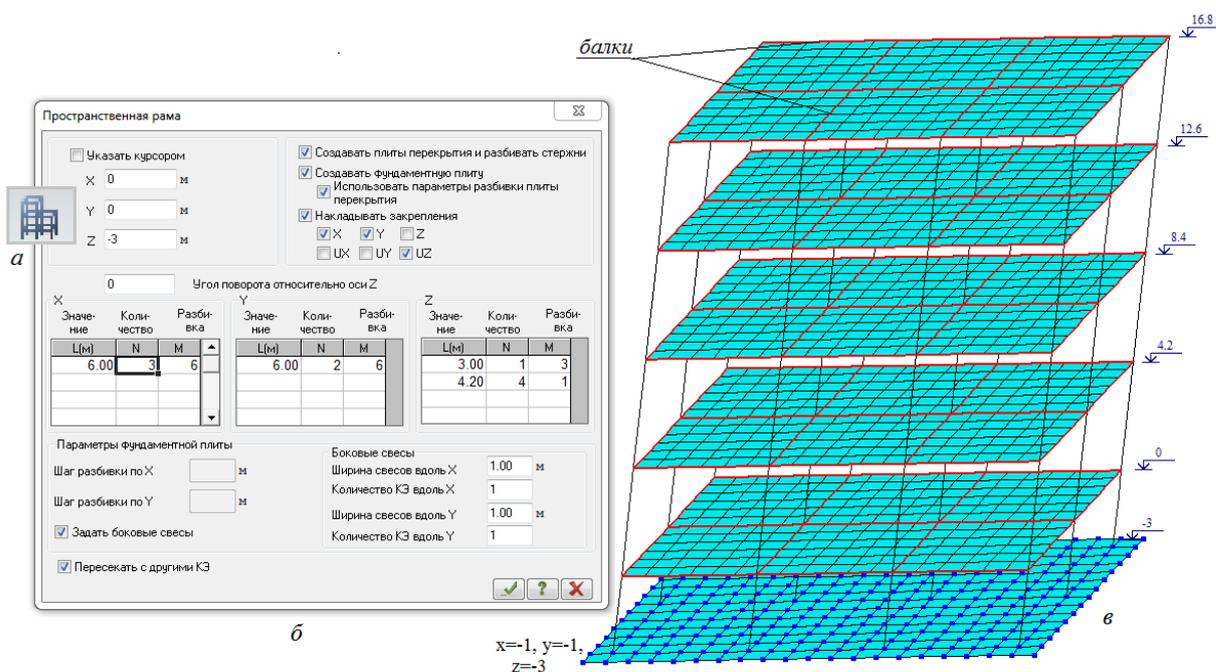


Рисунок 4.11. Моделирование пространственной рамы: а – кнопка команды генерация пространственной рамы, б – диалоговое окно команды, в – построенная модель пространственной рамы

При выполнении разбивки колонны в пролете на части можно предусмотреть разбивку, которая позволит смоделировать поперечное сечение колонны на плане плиты. В этом случае плита перекрытия будет примыкать к контуру колонны, а не к узлу стержня-колонны на плане плиты.

На рисунке 4.12 приведена плита перекрытия с разбивкой в пролете на двенадцать частей (размеры КЭ 0,5×0,5 м)

Для моделирования поперечного сечения колонны с использованием команды АЖТ (абсолютно жесткое тело) на плане плиты необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- выделить четыре КЭ плиты, примыкающих к стержню-колонне (см. рис.4.12а, поз.1),

- указать в диалоговом окне команды *преобразование сети пластинчатых КЭ* из меню *редактирование*, что разбивка каждого элемента будет на 4 части и разбиваться также будут примыкающие к выделенным КЭ плиты (рис.4.12б),

- указать в диалоговом окне АЖТ (см.рис. 4.12в) ведущий узел АЖТ (выбирается узел сопряжения стержня-колонны с плитой), затем выделить все узлы поперечного сечения колонны, сформировав АЖТ №1, и перейти к формированию следующего АЖТ (№2) аналогичным образом (поз.2, рисунок 4.12в)

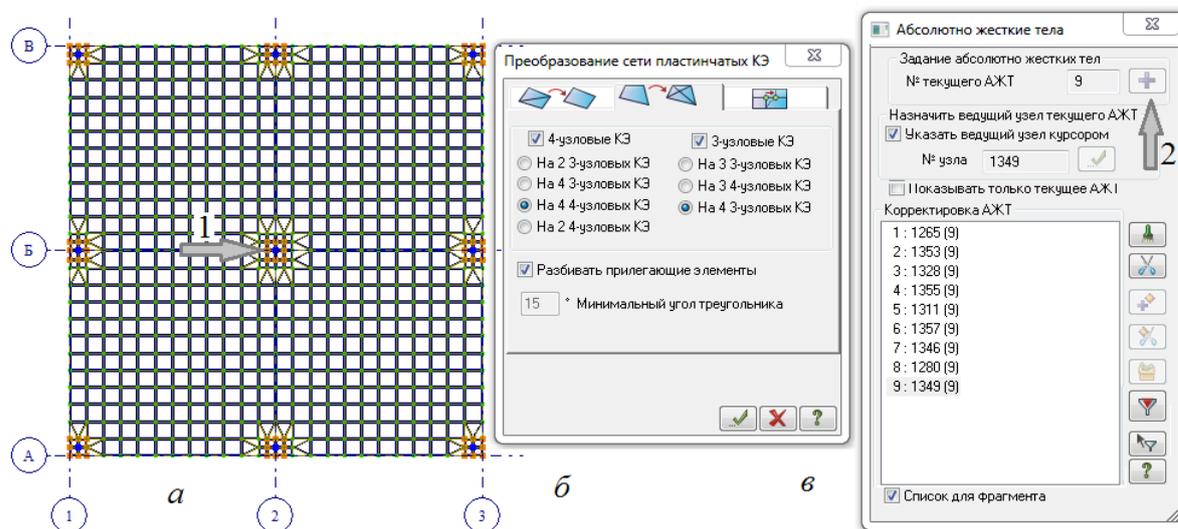


Рисунок 4.12. К моделированию поперечного сечения колонны на плане плиты перекрытия

Продолжение создание геометрии расчетной схемы связано с моделированием стен подземного этажа задания и лестничной клетки с использованием команды *генерация регулярных фрагментов и сетей* (см. рисунок 4.12 а,б).

Последовательность действий следующая:

- для упрощения построения с использованием команды *фрагментация* (нижняя лента экрана *создания и редактирования* расчетной схемы) отсекаем из созданной модели все перекрытия (предварительно отметив как *блок фундаментную плиту* и как *вертикальные стержни колонны*),

- для моделирование стен подземного этажа здания обращаемся к команде *генерация регулярных фрагментов и сетей* и в диалоговом окне команды задаем для фронтальных стен 1×18 , 1×3 и указываем курсором на точки фундаментной плиты, к которым должны быть привязаны нижние левые узлы фронтальных наружных стен подземной части здания. Диалоговое окно

моделирование одной из боковых стен показано на рисунке 2. Для этих стен указывается угол поворота относительно оси Z (90°), перед установкой стен лестничной клетки необходимо примыкающие к стенам лестничной клетки стержни-колонны наземной части здания разбить на КЭ. При высоте этажа 4,2 м можно разбить колонну в пределах этажа на шесть частей ($N=6$, $L=0,7$ м) с использованием команды *добавить элемент* (закладка *разделить на равные части*). Моделирование стен лестничной клетки выполняется также с использованием команды *генерация регулярных фрагментов и сетей*. Для поперечных стен лестничной клетки задаем 1×6 , а также 1×3 и $0,7 \times 24$; указываем поворот относительно оси Z (90°) и точки привязки к фундаментной плите. Для продольной стены – 1×3 , а также 1×3 и $0,7 \times 24$ и точку привязки к фундаментной плите.

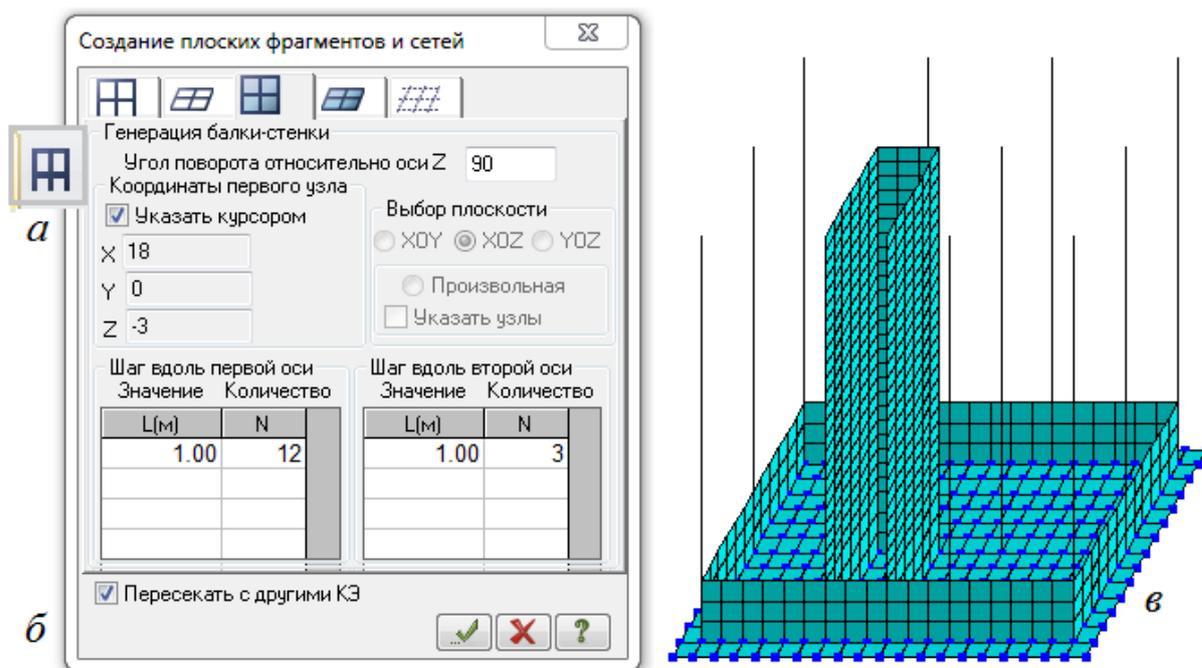


Рисунок 4.13. Моделирование наружных стен подземного этажа и лестничной клетки: а – кнопка команды генерация регулярных фрагментов и сетей, б – диалоговое окно команды, в – построенные стены подземного этажа и лестничной клетки

После *фрагментации* восстанавливаем конструкцию по команде *восстановить конструкцию*. Удаляем плиту перекрытия внутри лестничной

клетки, моделируем дверной проем в одной из поперечных стен лестничной клетки. Устанавливаем балки для объединения стен в уровне перекрытий.

Назначение жесткостей и материалов

Выполняется назначение жесткостей и материалов для элементов расчетной схемы. (команда *жесткости и материалы*). Параметры для команды *жесткости и материалы* (бетон В25, арматура А400) для различных элементов расчетной схемы приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3.

N п/п	Элементы расчетной схемы	Параметры для команды <i>жесткости и материалы</i>
1	Фундаментная плита	$E=30000000 \text{ кН/м}^2$; $H=50 \text{ см}$; $\nu=0,2$, $R_0=25 \text{ кН/м}^3$; пластина
2	Плита перекрытия	$E=6000000^* \text{ кН/м}^2$; $H=20 \text{ см}$; $\nu=0,2$, $R_0=25 \text{ кН/м}^3$; пластина
3	Стены	$E=18000000^{**} \text{ кН/м}^2$; $H=20 \text{ см}$; $\nu=0,2$, $R_0=25 \text{ кН/м}^3$; пластина
4	Колонны	$E=18000000^{**} \text{ кН/м}^2$; $H=50 \text{ см}$; $B=50 \text{ см}$, $R_0=25 \text{ кН/м}^3$; стержень
5	Балки	$E=6000000 \text{ кН/м}^2$; $H=20 \text{ см}$; $B=20 \text{ см}$, $R_0=25 \text{ кН/м}^3$; стержень

* – $k=0,2$; ** – $k=0,6$

Определение нагрузок и составление таблиц загрузжений, РСУ, РСН

Нормативное значение временной длительной нагрузки на перекрытие верхнего технического этажа составляет $P_1=0,7 \text{ кН/м}^2$ ($\gamma_f=1,3$; доля длительности – 1), коэффициент надежности по ответственности здания $\gamma_n=1$.

Для составления таблицы загрузжений по данным из таблицы нагрузок (табл.2) при учете динамической (пульсационной) составляющей ветровой нагрузки необходимо выполнить следующие действия:

- заполнить диалоговое окно *редактор загрузжений* (рисунок 4.14а). При этом можно объединять в одно загрузжение нагрузки одного вида и имеющие одинаковые коэффициент надежности по нагрузки и долю длительности. После перечисления всех нагрузок в *редакторе загрузжений* при активизации каждого из загрузжений выполняется приложение нагрузок к узлам и элементам расчетной схемы, после чего записи загрузжений становятся четкими. При этом надпись в строке 1 становится синей (нагрузка задана по команде *добавить*

собственный вес), а надпись в строке 5 после задания характеристик для расчета на пульсационное ветровое воздействие окрашивается в розовый цвет и в столбце *тип* появится запись ПУЛЬС:

- задать динамическую (пульсационную) составляющую ветровой нагрузки, для чего необходимо сформировать динамическое загрузение из статических, перечисленных в *редакторе загрузений* (кроме бокового давления грунта и временной ветровой нагрузки). При этом у перечисляемых нагрузок будут разные коды: 2– для нагрузки, задаваемой по команде *добавить собственный вес* и 1 – для всех остальных нагрузок. Вызов диалоговых окон на рисунке 4.14б и 4.14в: *расчет* \Rightarrow *учет статических загрузений* и *расчет* \Rightarrow *таблица динамических загрузений*

-составить таблицу РСУ (РСН). Из *редактора загрузений* нагрузки автоматически включаются в таблицу РСУ (РСН) при этом необходимо просмотреть все нагружения проверить тип нагрузок, коэффициент надежности по нагрузке и долю длительности.

Определение коэффициентов постели C1 и C2

При выполнении компьютерного расчета пространственной рамы с учетом основания в диалоговом окне *задание коэффициентов C1 и C2* можно назначить значения коэффициентов постели C1 и C2 (в поле 1 диалогового окна на рис.4.15а отметить и ввести в соответствующие поля значения коэффициентов C1, C2).

Для расчета коэффициентов постели C1, C2 (поле 1 на рис.4.15а) надо обратиться к кнопке *Расчет C1, C2*. При этом необходимо располагать информацией о размерах в плане фундаментной плиты (в примере 18×18 м), сосредоточенная вертикальная нагрузка на подошву фундаментной плиты (в примере 20000 кН) и геологии (см.табл.4.5).

Последовательность определения коэффициентов постели по кнопке *Расчет C1, C2* показана на рисунке 4.15.

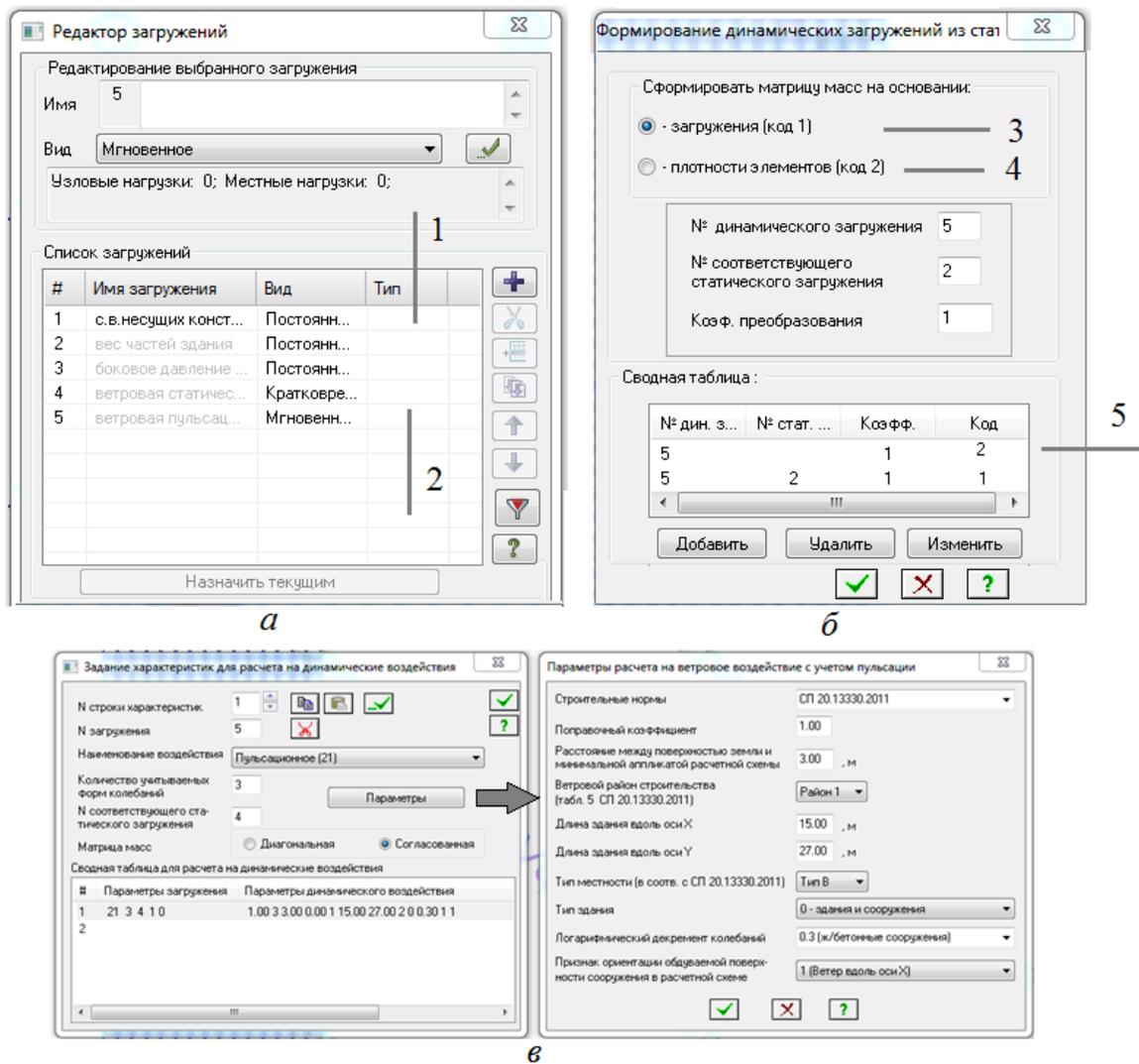


Рисунок 4.14. К заданию динамической составляющей ветровой нагрузки: а – диалоговое окно редактора загружений (1 - нагрузка, задаваемая с использованием команды добавить собственный вес, 2 – нагрузка, задаваемая через описание ее как динамическое (пульсационное нагружение), б – диалоговое окно формирование динамических загружений из статических (3 – код 1 для вертикальных постоянных и кратковременных загружений, 4 – код 2 для нагружения, задаваемого через команду добавить собственный вес (с.в. несущих конструкций), 5 – сводная таблица загружений, в – диалоговые окна для описания характеристик и параметров расчета на ветровое (динамическое) нагружений

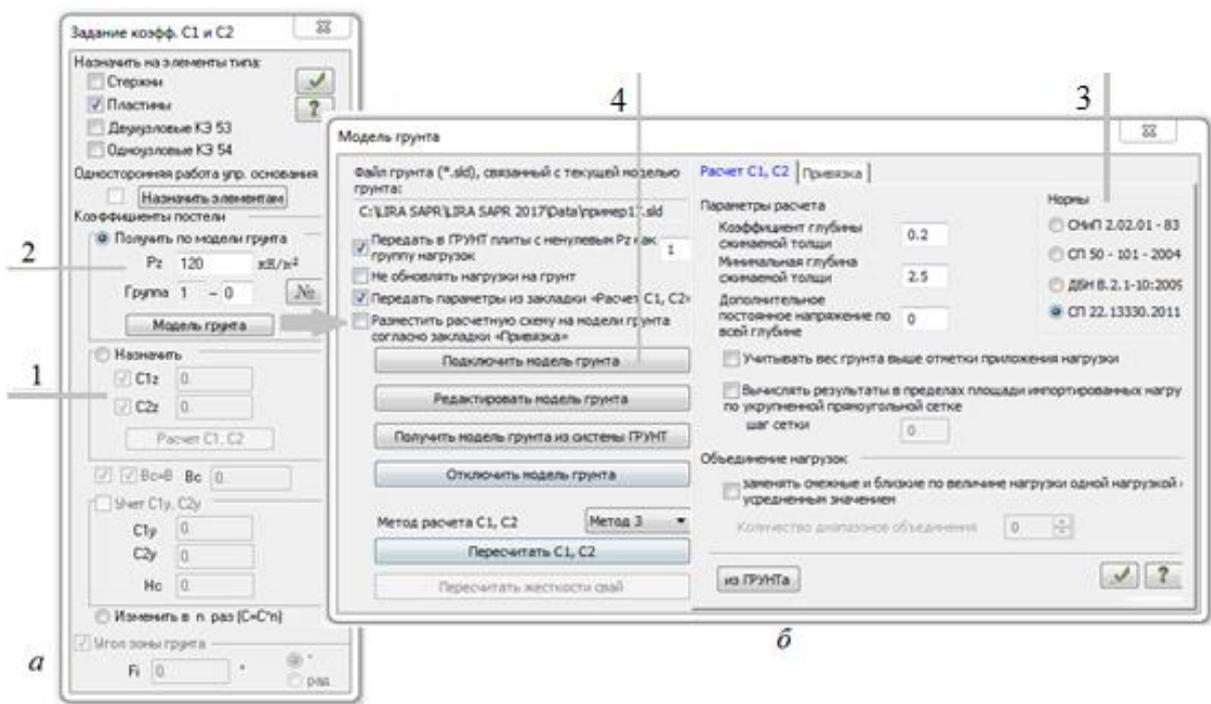


Рисунок 4.15. К назначению и заданию коэффициентов постели C_1 и C_2 (а – диалоговое окно команды: 1 - поле назначения и расчета коэффициентов постели, 2 - поле перехода в Модель грунта (после указания на пластины, задание P_z – давление под подошвой фундамента и сохранения информации), 3 - выбор нормативных документов, 4 - переход в окно Модели грунта с предварительным открытием файла модели грунта в открывающемся диалоговом окне

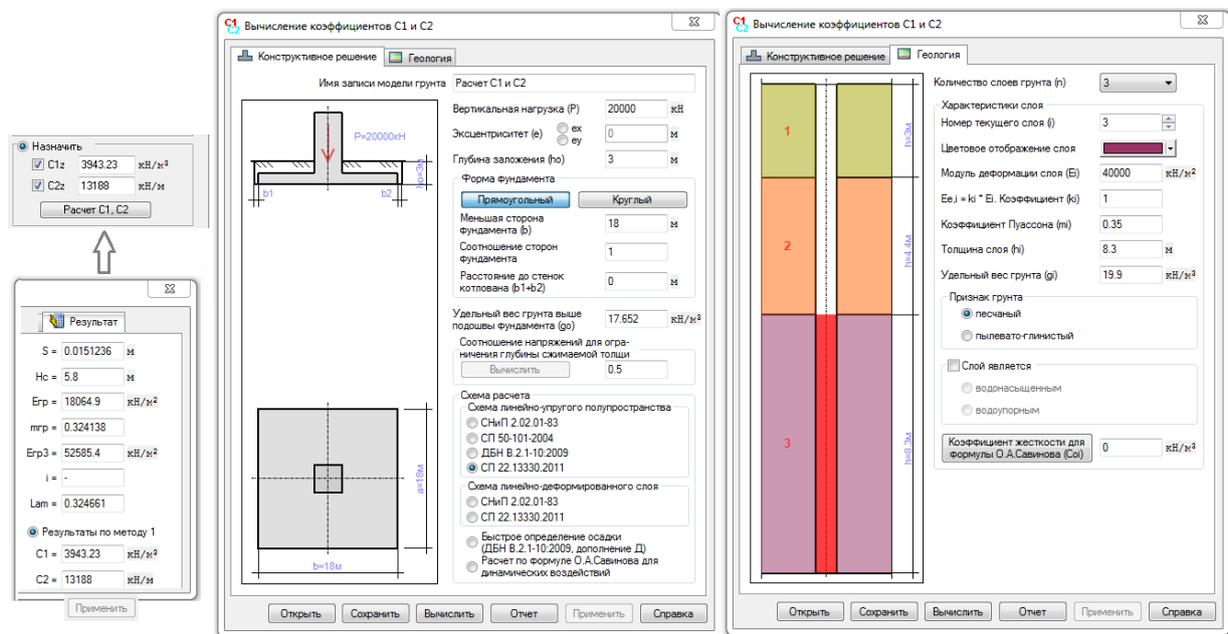


Рисунок 4.16. К определению коэффициентов постели C_1 и C_2

<i>Характеристики слоев грунта под подошвой фундамента</i>				
Толщина слоя, м	Наименование грунта	Удельный вес γ , кН/м ³	Модуль деформации E, МПа	Коэффициент Пуассона ν
3,0	Песок мелкий	18,7	22	0,3
4,4	Суглинок мягкопластичный $I_L=0,6$	19,6	15	0,35
5,6	Суглинок моренный $I_L=0,4$	20,7	40	0,35
8,3	Песок пылеватый	19,9	28	0,3

Для определения коэффициентов постели C_1 , C_2 необходимо выполнить следующие действия (см.рис.4.15):

- 1) ввести исходные данные в диалоговые окна *вычисление коэффициентов C_1 и C_2* с закладками: а – *конструктивное решение* (в примере $P=20000$ кН – вертикальная нагрузка от здания на грунт в уровне подошвы фундамента, ее можно определить по результатам расчета с назначенными коэффициентами постели), б – *геология* (после задания количества слоев грунта последовательно вводятся характеристики слоев грунта из табл.4.4)
- 2) произвести сохранение и вычисление (при этом необходимо выбрать один из трех методов расчета: в примере выбран метод 1) и результаты расчета появляются в информационном окне *результат* (в),
- 3) нажать на кнопку *применить* в информационном окне *результат* и вычисленные значения коэффициентов постели C_1 и C_2 появятся в поле 1 диалогового окна *задание коэффициентов постели C_1 и C_2* (г) –поле 1 диалогового окна *задания коэффициентов C_1 и C_2* (см.рис.4.15а)

Определение коэффициентов постели C_1 и C_2 с использованием модуля *Модели грунта* предполагает:

- 1) заполнение поля 2 диалогового окна *задание коэффициентов C_1 и C_2* (рис.4.15а), сохранение введенной информации и переход в диалоговое окно *модели грунта*,

- 2) заполнение диалогового окна *модели грунта* (рис.4.15б) – делаются отметки о том, что необходимо передать в окно модуля *Модели грунта* фундаментную плиту, а также параметры из поля 2 диалогового окна (см.рис.4.15а), а также выбирается нормативный документ по расчету основания (СП 22.13330) и необходимые для расчета основания параметры (поз.3 на рисс.4.15б),
- 3) выбор кнопки *подключить модель грунта* (поз.4, рис.4.15б), что приводит к открытию диалоговое окно *открыть файл модели грунта* (см.рис.4.16), в котором присваивается имя файла для модели грунта (расширение .sld). В списке имен файлов автоматически будет включено имя файла расчетной схемы, оно и выбирается как имя файла модели грунта. Можно корректировать файл и имя файла модели грунта. После обращение к кнопке *открыть* состоится переход в окно модуля *модель грунта*

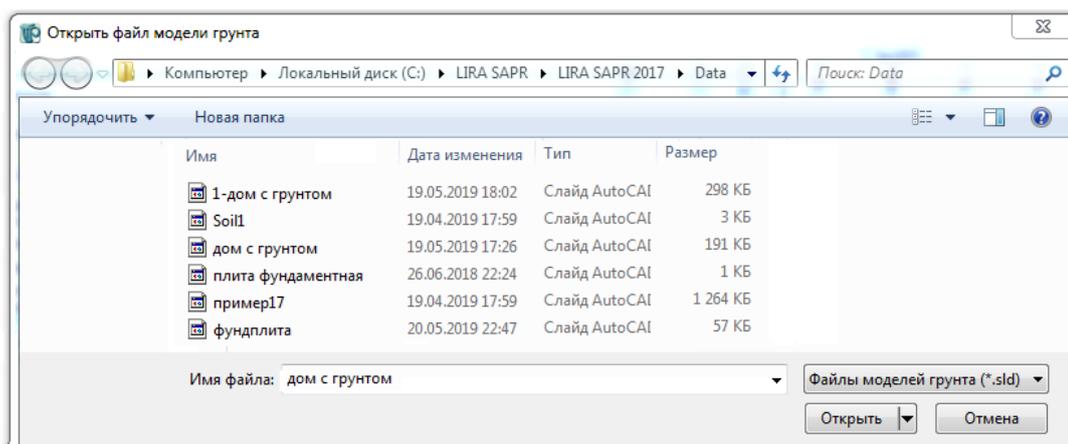


Рис.4.16. Диалоговое окно *открыть файл модуля грунта*

В окне модуля *модель грунта* будет размещена фундаментная плита, ранее выделенная в расчетной схеме. Окно модуля *модель грунта* имеет меню, с использованием позиций которого задаются параметры модели грунта, объединенной с расчетной схемой конструктивной системы здания (см. рисунок.4.17):

1. из меню окна модуля *Модель грунта* (см. рисунки 4.17, 4.18) выбирается *схема⇒сетка*, в диалоговом окне выполняется привязка левого нижнего узла

фундаментной плиты к началу координат (1), а также уточняется разбивка и размеры фундаментной плиты (2),

2. из меню выбирается *схема⇒скважина*. Для задания характеристик грунта на поле фундаментной плиты последовательно указываются координаты X и Y трех скважин (3) и для каждой скважины выбирается номер ИГЭ, после чего в таблице появляется наименование грунта, а после задания толщины слоя (4) и выбора кнопки *применить* (5) происходит заполнение строки №1 ИГЭ - инженерно-геологического элемента – см .рисунок 4.19. Диалоговое окно *скважины* связано (через № ИГЭ) с таблицей *характеристики грунта* – см. табл. на рис.4.19. Таблица характеристик грунта может дополняться.

3. из меню выбирается *файл⇒сохранить*, затем *файл⇒закрыть*. После выхода из модуля *Модель грунта* можно выполнить расчет конструктивной системы здания совместно с основанием. При выполнении расчета возникает информационное окно-предупреждение. Можно проверить имя файла модели грунта и продолжить выполнения расчета (см.рис.4.18).

4. Следует отметить что учет характеристик и расположения слоев грунта под подошвой фундамента в полной мере становится возможным при использовании модуля ГРУНТ программного комплекса ЛИРА-САПР. Поэтому для финальной стадии проектирования численные расчеты объемной модели здания с учетом работы основания ведутся с вычислением коэффициентов постели C1, C2 в модуле ГРУНТ.

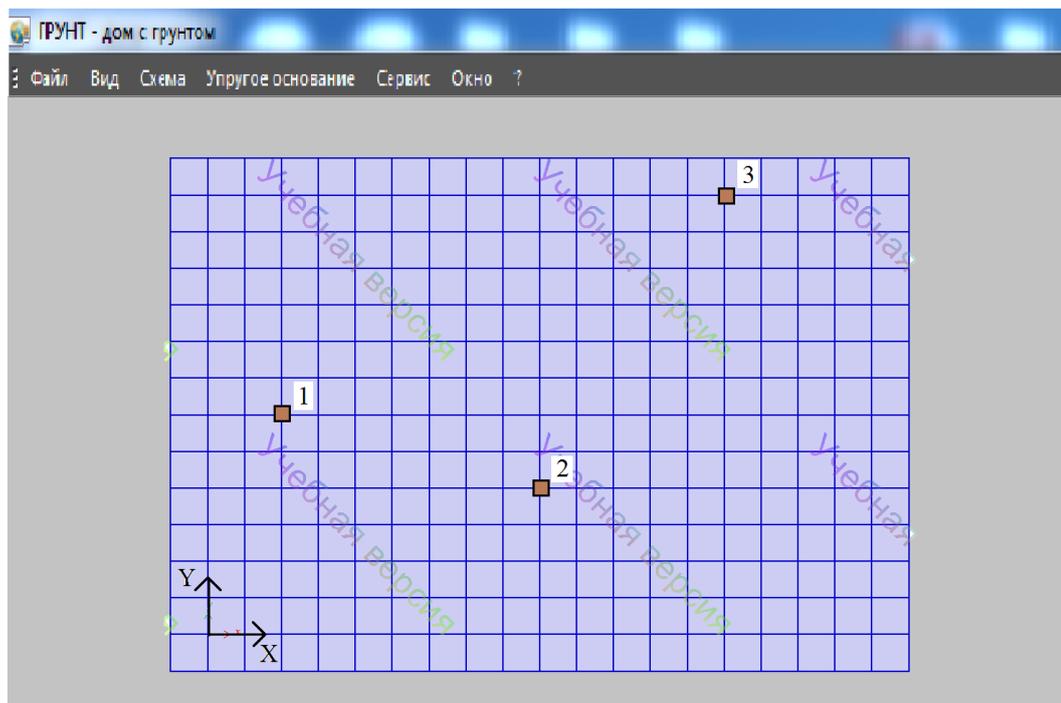


Рисунок 4.17. Окно модуля Модель грунта (1,2,3 – расположение скважин по полю фундаментной плиты)

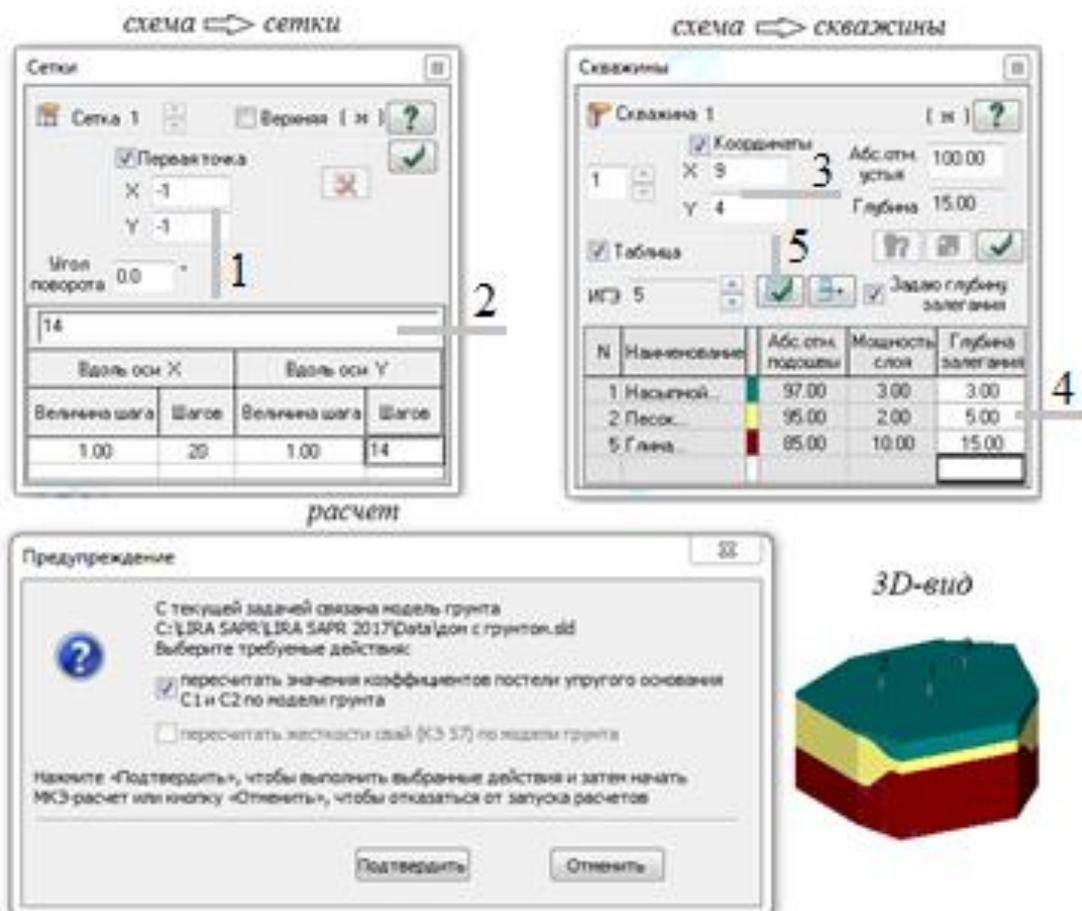


Рисунок 4.18. К созданию файла модели грунта основания для фундаментной плиты расчетной схемы

схема ⇒ характеристики грунта

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	№	Усл.	Наименование грунта	Цвет	Модуль дефор- мации, кН/м ²	Кэф- фици- ент Пуас- сона	Удель- ный вес грунта, кН/м ³	Кэффи- циент пере- хода ко 2 модулю де- формации	Природ- ная влаж- ность, доли	Показа- тель теку- чести IL	Водя- нистость W
3	ИГЭ	обозн.									
4											
5											
6	1		Насыпной		9806.65	0.3	17.652		5	0.05	0.2
7	2		Песок пылеватый		17652	0.3	17.1616		5	0.25	W
8	3		Супесь		19613.3	0.3	17.8481		5	0.26	1.1 W
9	4		Суглинок тугоп.		17652	0.35	18.3384		5	0.17	0.26
10	5		Глина полутвёрд.		21574.6	0.42	18.8288		5	0.02	0.15

Примечания: значения R_c, F_i, R_s в расчете коэффициентов постели C₁, C₂ не используются, но задают последующего экспорта в жесткости ЛИРА-САПР. Значения IL и K используются для расчета жесткост

Рисунок 4.19. Таблица – характеристики грунтов из модуля Модель грунта

Результаты определения коэффициентов постели C₁ и C₂, а также напряжений P_z с использованием модуля модель грунта приведены на рисунке 4.20.

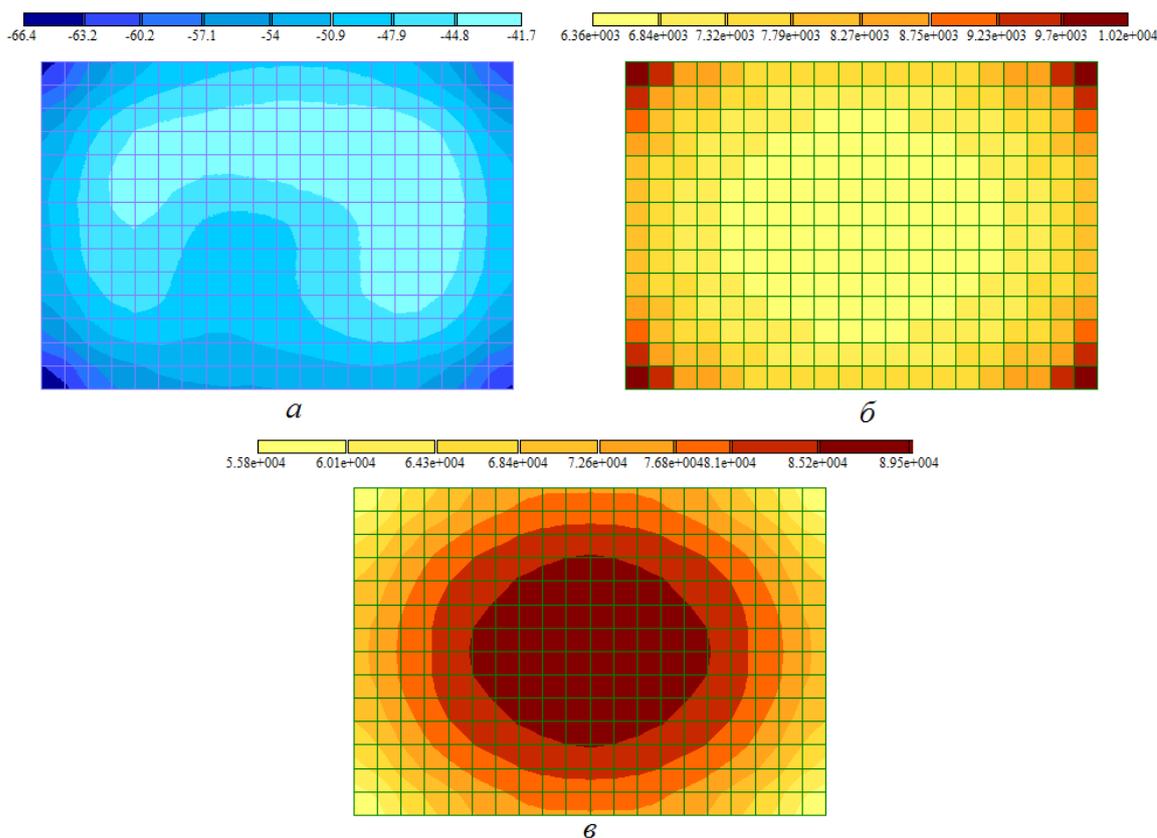


Рисунок 4.20. Результаты определения напряжений по P_z , кН/м²; коэффициентов постели C_1 кН/м³, C_2 кН/м с использованием модуля Модель грунта.

Результаты подбора арматуры и конструирование несущих железобетонных конструкций здания

По результату расчета несущих конструктивных элементов (плиты перекрытия, фундаментной плиты и колонны в пределах всех этажей) назначается их армирование.

Плиты перекрытия

Статический расчет плиты перекрытия выполняется в составе конструктивной системы здания при работе расчетной схемы совместно с основанием и приложении к элементам и узлам расчетной схемы нагрузок.

Расчеты выполнены по РСН, что позволяет получать изополя напряжений при действии всех нагрузок, вошедших в расчетное сочетание.

На рисунке 4.21 приведены результаты расчета плиты перекрытия: изополя напряжений по M_x (кНм/м), изополя напряжений по M_y (кНм/м), а также изополя относительных перемещений по Z (мм) на деформированной схеме плиты перекрытия.

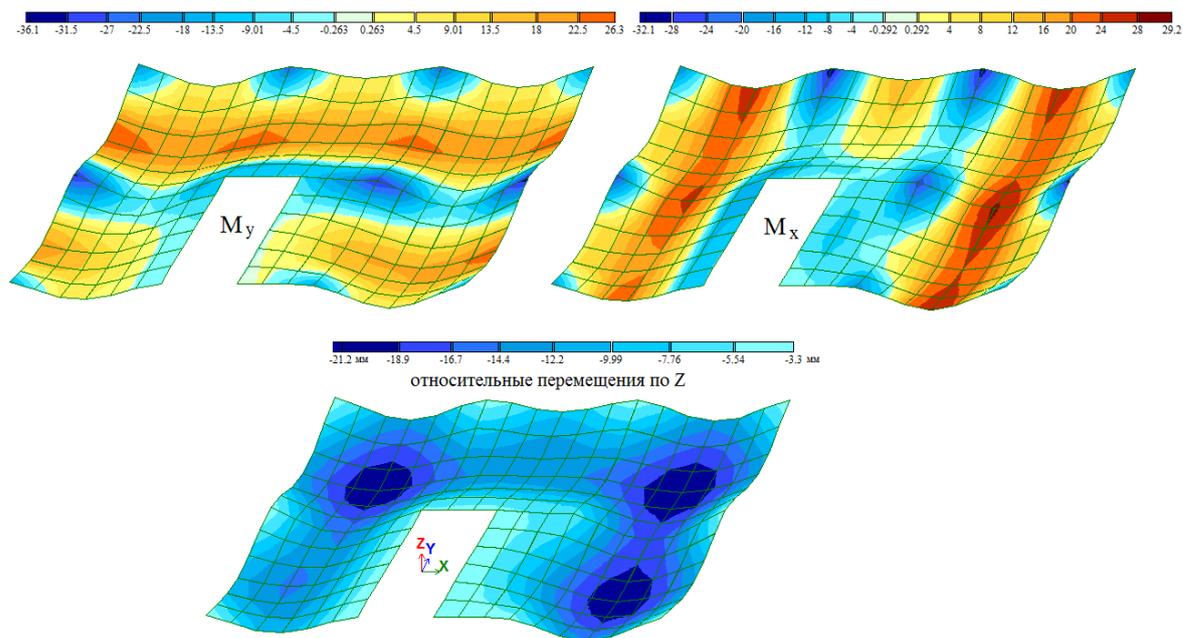


Рисунок 4.21. Результаты статического расчета плиты перекрытия: изополя напряжений по M_x (кНм/м), изополя напряжений по M_y (кНм/м), а также изополя относительных перемещений по Z (мм) на деформированной схеме плиты перекрытия.

На основании результатов статического расчета и с учетом прочностных и деформационных характеристик назначенных для плиты материалов

выполняется собственно расчет плиты перекрытия как железобетонной конструкции в соответствии с рекомендациями СП 63.13330.2018.

На рисунке 4.22 приведены результаты подбора арматуры, наличие которой обеспечивает несущую способность плиты перекрытия (расчет по первой группе предельных состояний).

Минимальный процент армирование составляет 0,1%. При $b=100$ см и $h_0=17$ см минимальное армирование составляет $A_s=0,001 \times 100 \times 17=1,7$ см² – 8-А400 (8-А500С) с шагом 200 мм.

Основное верхнее и нижнее армирование принять из стержней 8-А400 с шагом 200 мм. Дополнительное верхнее армирование принято: $A_s(d=18)-A_s(d=8)=12,72-2,51=10,21$ см² – 18-А400 с шагом 200 (по X), $A_s(d=16)-A_s(d=8)=10,05-2,51=7,54$ см² – 14-А400 с шагом 200 (по Y). аналогично подбирается нижняя дополнительная арматура.

Расчеты по второй группы предельных состояний включают в себя определение максимальных значений прогиба, а также ширины раскрытия трещин и сравнение полученных величин с предельно допустимыми по СП 20.13330.2016, СП 63.13330-2018.

Предельно допустимые значения прогиба плиты перекрытия не превышают предельно допустимые значения ($f = (1/200) L=3,0$ см).

Предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин ($a_{срс}=0,4$ мм – кратковременное раскрытие, $a_{срс}=0,3$ мм – длительной раскрытие) в исходных данных расчета задаются как ограничения.

Армирование конструктивного элемента расчетной схемы (в данном случае плиты перекрытия), а также составление спецификации материалов для конструктивного элемента представлено в разделе 5 лекционного материала.

Фундаментная плита

Представление результатов расчета фундаментной плиты выполняется аналогично представлению результатов расчета плиты перекрытия. При этом минимальный процент армирования для фундаментной плиты составляет 0,3%.

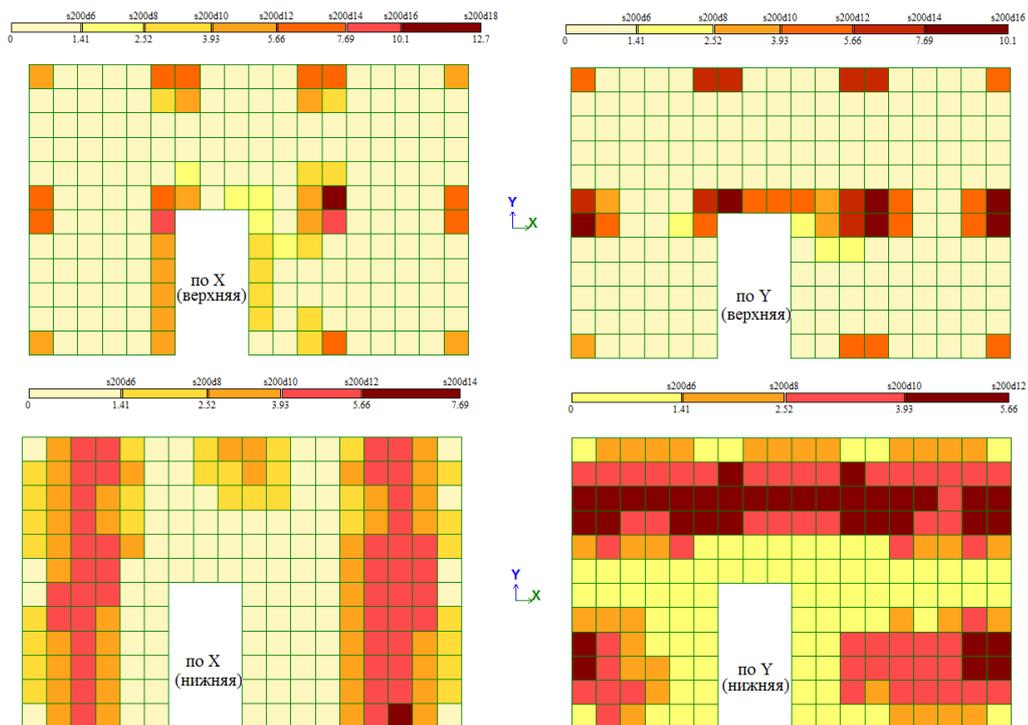


Рисунок 4.22. Результаты подбора арматуры плиты перекрытия

При $b=100$ см и $h_0=44$ см минимальное армирование составляет $A_s=0,003 \times 100 \times 44=13,2$ см² – 20-A400 (20-A500С) с шагом 200 мм. Арматурные стержни, подобранные из условия соблюдения минимального процента армирования, являются основной арматурой фундаментной плиты. В зоне расположения колонн у нижней грани плиты может потребоваться дополнительное армирование в соответствии с результатами выполненного расчета.

В соответствии с СП 22.13330.2016 совместная деформация основания и здание характеризуется осадкой основания фундаментной плиты. При этом предельно допустимые деформации основания: предельная (средняя) осадка $s=20$ см, относительная разность осадок $\Delta s/L=0,006$. Одним из результатов расчета является определение напряжений P_z , кН/м² под подошвой фундамента ($P_z \leq R$, где R – расчетное сопротивление грунта).

Предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин ($a_{crс}=0,4$ мм – кратковременное раскрытие, $a_{crс}=0,3$ мм – длительной раскрытие) в исходных

данных расчета задаются как ограничения (предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин определяются по СП 63.13330.2018).

Колонна в пределах высоты здания

Представление результатов расчета вертикальных несущих элементов (колонн) выполняется аналогично представлению результатов расчета плиты перекрытия. При этом минимальный процент армирования для колонны определяется ее гибкостью λ и составляет для колонн с равномерно сжатым поперечным сечением составляет 0,2% при $\lambda \leq 5$ и 0,5% при $\lambda \geq 25$. Максимальный процент армирования для колонн многоэтажных монолитных зданий составляет 5%.

Для представления результатов статического расчета в расчетной схеме выделяются вертикальные стержневые элементы с применением *фрагментации* выполняется построение эпюр M , N для колонн здания. Для одного вертикального элемента представляется армирование по высоте здания.

Тема 4. Моделирование одноэтажных производственных зданий

Рассмотрим создание и расчет модели поперечной рамы одноэтажного промышленного здания. Примем здание двухпролетное отапливаемое, состоящее из двух температурных блоков по 72 м. Покрытие здания – утепленное по ребристым плитам 3×12 м (рисунки 4.23,4.24). Длина пролета – 24 м, количество пролетов – 2, шаг колонн - 12 м. Стропильные конструкции – сегментные фермы пролетом 24 м. Подкрановые балки высотой 1.4 м. Наружные стены панельные: до отм. 9.6 м – самонесущие, выше навесные. Размеры колонн представлены на рисунке 4.25.

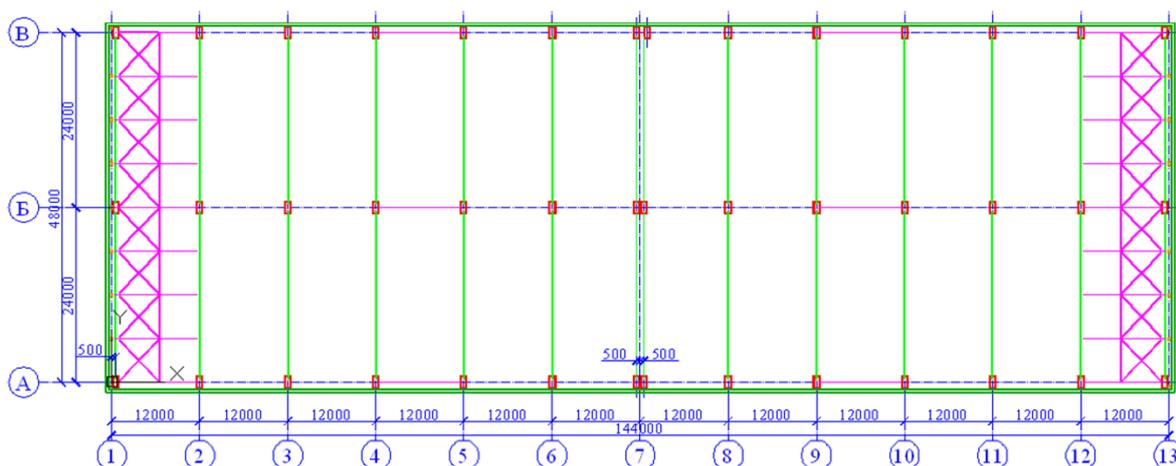


Рисунок 4.23 План одноэтажного промышленного здания

Район строительства – г. Орел: снеговой район – III, ветровой район – II, тип местности В. Оборудование: мостовые краны грузоподъемностью 20/5 т, режим работы 5К, отметка верха кранового рельса – 11.1 м. Высота кранового рельса – 150 мм. Сечения элементов несущих конструкций представлены на рисунке 4.25.

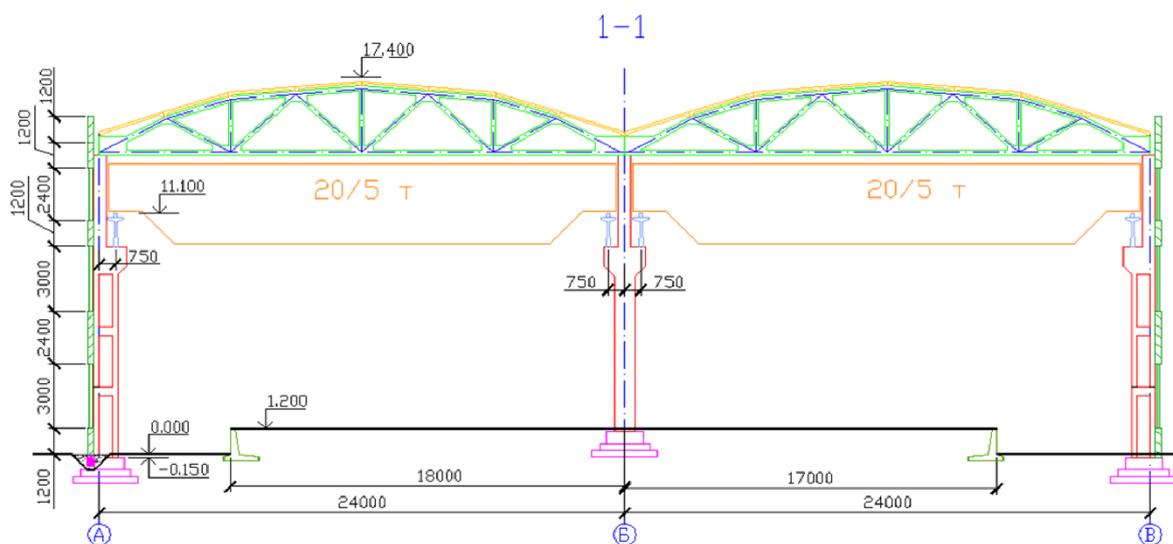


Рисунок 4.24 Поперечный разрез здания

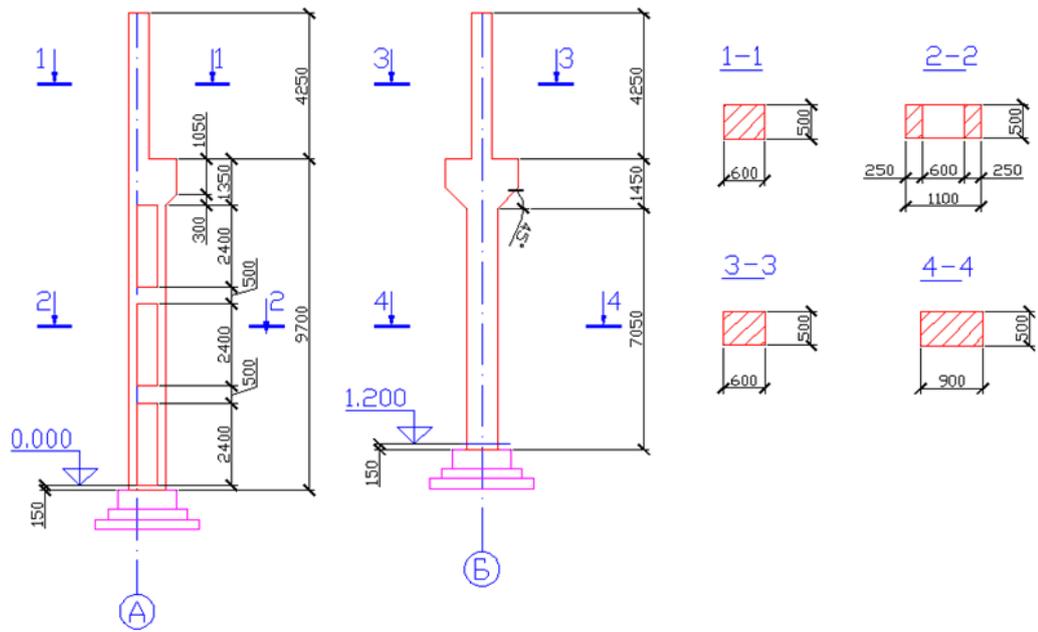


Рисунок 4.25 Размеры колонн одноэтажного промышленного здания

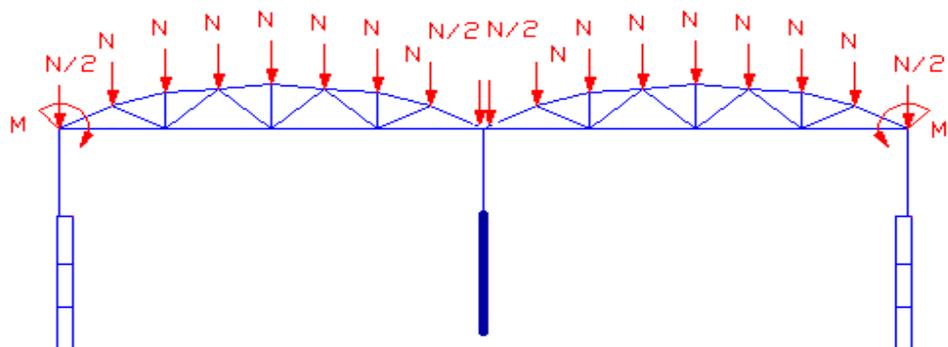


Рисунок 4.26 Схема приложения постоянных нагрузок от веса покрытия

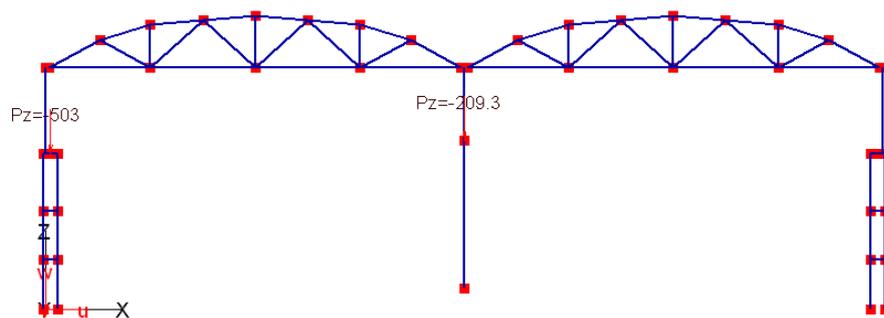


Рисунок 4.27 Схема приложения крановой нагрузки.

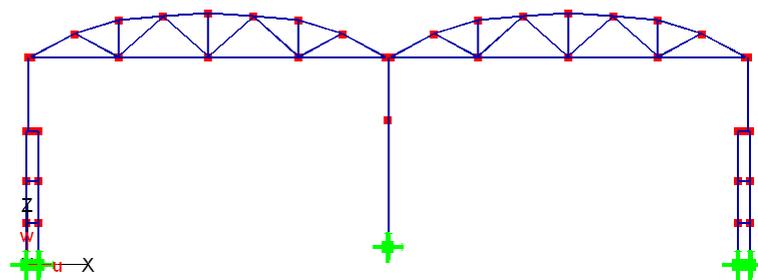


Рисунок 4.28 Схема закрепления опорных узлов

В рабочем окне выбираем нижние узлы рамы, в которых устанавливается жесткая заделка. Конкретный ввод информации по поперечной раме одноэтажного производственного здания будет рассмотрен на компьютерном практикуме. После ввода всей информации, нажимаем кнопку в закладке *Расчет* стандартной панели инструментов. В появившемся диалоговом окне выбираем опцию *Статический расчет*. Запуск на расчет происходит после нажатия кнопки *ОК*. Алгоритм определения РСУ по СП (СНиП) включает в себя генерацию возможных комбинаций нагрузжений, определение в сечениях элемента расчетных усилий, действующих при этих комбинациях нагрузжений, и выбор среди них наиболее опасных сочетаний.

В общем случае номера нагрузжений в РСУ и номера нагрузжений в КЭ-модели могут не совпадать. Для ветровых и сейсмических нагрузжений несколько нагрузжений в модели могут объединяться в одно нагрузжение в РСУ. Однако в данном примере номера нагрузжений в модели и в РСУ соответствуют друг другу.

В появившемся диалоговом окне *Расчетные сочетания усилий* выбираем опции действующего СП и затем нажимаем кнопку *ОК*. В появившемся диалоговом окне *Определение расчетных сочетаний усилий* задаем параметры для расчета РСУ в соответствии с таблицей параметров нагрузжений. При определении РСУ возможно учесть ситуации, когда два или более нагрузжений не могут вместе встречаться в одной комбинации или, наоборот, одно нагрузжение присутствует только тогда, когда присутствует другое. Эти случаи

учитываются при помощи задания групп несочетаемых и сопутствующих нагрузений.

В диалоговом окне *Вывести в...* задается форма вывода результатов расчета. В зависимости от того, какая опция была установлена в данной области, по окончании расчета либо выводится протокол расчета РСУ в MS Word, либо создается текстовый файл, который можно прочитать, например, из программы MS EXCEL. По окончании выбора нажимаем кнопку *Расчет* (или *Старт*). Анализ результатов расчета производится аналогично, как в курсе «Железобетонные и каменные конструкции».

ГЛАВА 5

Армирование железобетонных конструкций и подбор арматуры для элементов расчетной схемы

Тема 5.1 Конструктивные решения и требования к армированию железобетонных конструкций

Конструктивные требования к армированию железобетонных конструкций содержатся в СП 63.13330.2018 и зависят от вида напряженного состояния конструкции и отнесения ее к стержневым или пластинчатым элементам. Правила конструирования **колонн** касается:

- минимального количества;
- продольных стержней в поперечном сечении колонны, заданном при проведении расчета;
- диаметра и шага поперечных стержней;
- усиления концевых участков;
- армирования консоли (при ее наличии).

На рисунке 5.1 приведены размеры поперечного сечения колонн и показано, какое количество продольных стержней рабочей арматуры должно

быть установлено в сечении колонн для обеспечения совместной работы арматуры и бетона.

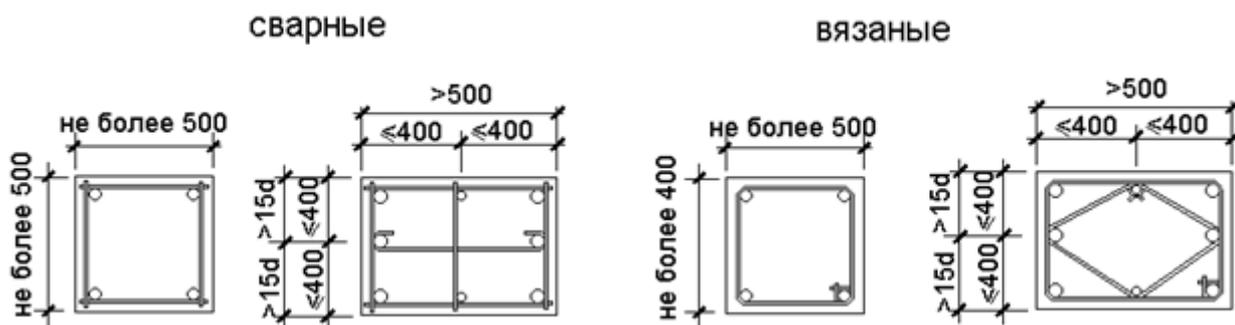


Рис. 5.1. Конструктивные требования к минимальному количеству продольных стержней в поперечном сечении колонны

Конструктивные требования в отношении диаметра и шага поперечных стержней и усиления концевых участков следующие:

- во внецентренно сжатых элементах продольная арматура объединяется поперечной (хомутами) с шагом (S) для закрепления продольных стержней от бокового выпучивания; диаметр хомутов не менее $0,25$ наибольшего диаметра продольной арматуры и не менее 6 мм для вязаных каркасов
- с целью предотвращения выпучивания продольной арматуры шаг поперечной арматуры должен не превышать $15d$ и быть не более 500 мм
- диаметр поперечной арматуры для сварных каркасов определяется из условия свариваемости с продольной арматурой сжатого элемента
- в местах стыкования рабочей арматуры внахлестку без сварки хомуты устанавливаются с шагом $10d$.
- при проценте армирования свыше $1,5\%$ у одной из граней элемента хомуты устанавливаются с шагом $10d$ и не более 300 мм;
- при усилении концевых участков внецентренно сжатых элементов сварные сетки косвенного армирования должны устанавливаться у торцов в количестве не менее 4 -х на длине $10d$.

На рисунке 5.2 показано распределение напряжений и схема армирования концевых участках колонны.

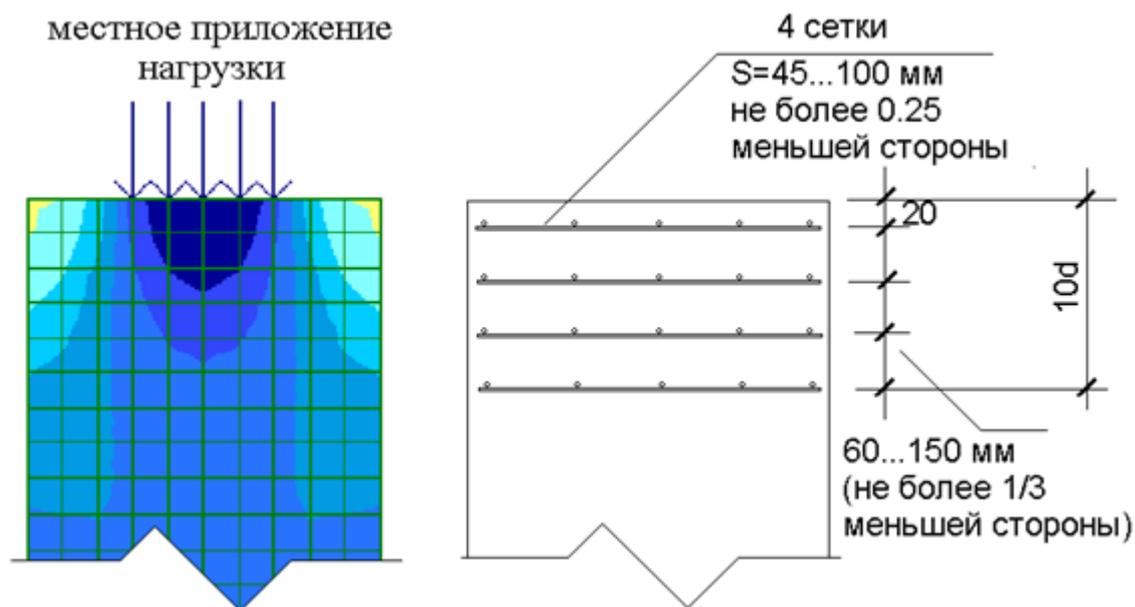


Рисунок 5.2. Распределение напряжений и схема армирования концевых участков колонны

Стены наряду с колоннами являются вертикальными несущими конструкциями зданий. Стены армируются по другим конструктивным требованиям, чем колонны. Поскольку колонны являются стержневыми элементами расчетной схемы и армируются каркасами, а стены – плитными и армируются сетками.

Прямоугольные колонны (пилоны) с соотношением сторон >4 могут быть отнесены к стенам.

Стены монолитных зданий армируются вертикальными (продольными) и горизонтальными (поперечными) стержнями, объединенными в сетки. Сетки располагаются у противоположных боковых поверхностей стены. Сетки соединяются между собой шпильками. Стыкование продольных стержней по высоте здания производится в уровне перекрытий внахлестку.

Конструктивные требования к армированию стен зависят от насыщенности поперечного сечения стен продольной рабочей арматурой, то есть от процента армирования $\mu\%$ стены:

в железобетонных стенах поперечные стержни, нормальные плоскости стены (шпильки), должны иметь шаг по вертикали не более $20d$ (для предотвращения выпучивания продольной рабочей арматуры), а по горизонтали не более 600 мм.

если требуемая по расчету продольная арматура имеет насыщение меньше минимального процента армирования, то поперечные стержни можно располагать на расстояниях по вертикали не более 600 мм, а по горизонтали не более 1000 мм.

при насыщении продольной арматуры железобетонных стен $\mu\% > 2\%$ поперечные стержни должны располагаться на расстоянии по вертикали не более $15d$ и не более 500 мм, а по горизонтали не более 400 мм и не более 2-х шагов вертикальных стержней (d – диаметр вертикальных стержней).

В вертикальных сечениях сопряжения продольных и поперечных несущих стен монолитного железобетонного здания стеновой конструктивной системы действуют усилия отрыва. Усилия отрыва возникают из-за разности перемещений продольных и поперечных несущих стен, обусловленных различным нагружением стен, а также проявлением усадочных и температурных деформаций.

Для уменьшения разности вертикальных перемещений несущих стен рекомендуется их выполнять из разных бетонов, оптимизировать толщины сопрягаемых стен.

Зона контакта продольных и поперечных стен армируется по высоте стен П-образными или гнутыми хомутами (рис.5.3). При этом сечение арматурных связей проектируется из условия восприятия ими усилий отрыва, а тип вертикального соединения сопрягаемых стен определяется последовательностью их возведения.

Вертикальные грани дверных и иных проемов в несущих монолитных стенах обрамляются по высоте проема П-образными или замкнутыми хомутами (рис. 5.3). Хомуты обеспечивают анкеровку концевых участков горизонтальных стержней и предохраняют крайние вертикальные стержни от выпучивания.

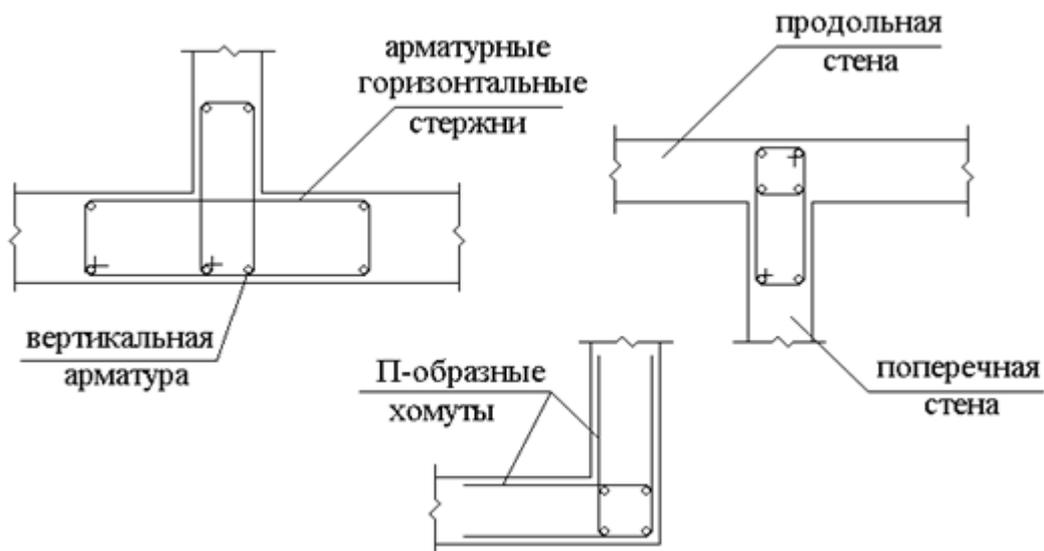


Рисунок 5.3. Схема армирования зоны контакта продольных и поперечных стен.

Внутренние несущие стены крупнопанельных зданий проектируются из сборных элементов, высотой на этаж и длиной в плане не менее размера помещения, которое панель разделяет.

Панели внутренних стен с дверными проемами проектируются замкнутыми с железобетонной надпроемной перемычкой, а также с железобетонной перемычкой или арматурным каркасом по низу проема. Не рекомендуется проектировать в стеновых панелях простенки шириной менее 0,3 м. При расположении дверного проема у края панели надпроемную перемычку проектируют как консольный элемент стеновой панели.

Правила конструирования железобетонных **балок** или ребер монолитного балочного перекрытия касаются требований (смотри рис. 5.4):

- по установке минимального количества плоских каркасов (1..3 штук), которые должно быть размещены в балке заданной ширины поперечного сечения (b);
- по установке дополнительного (промежуточного) продольного стержня (стержней) по высоте плоского каркаса при высоте балки $h > 700$ мм. Стержни устанавливаются так, чтобы расстояние между ними не превышало бы 400 мм;

○ по установке поперечной арматуры. В балках высотой 150 мм и более должна предусматриваться поперечная арматура, то есть устанавливаться каркасы.

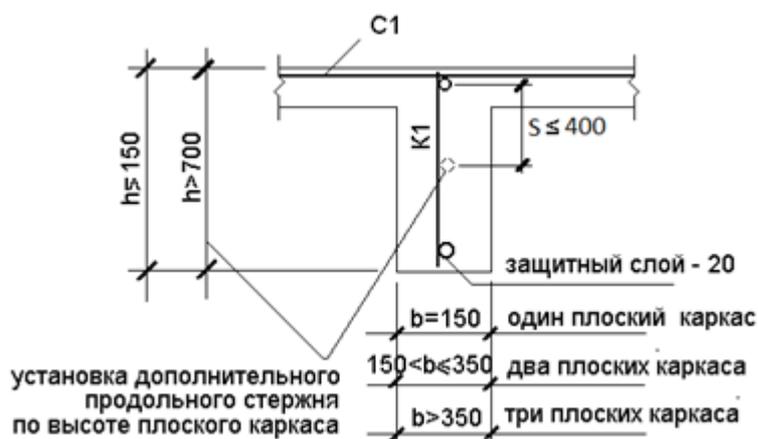


Рисунок. 5.4. Конструктивные требования по количеству каркасов в поперечном сечении балки и дополнительных продольных стержней в каркасах по высоте балки

Монолитные балочные перекрытия по классификации СП 52-103-2008 в зависимости от расположения балок может проектироваться в следующих вариантах:

- 1-й вариант – с межколонными балками в одном направлении;
- 2-й вариант – с межколонными балками в двух направлениях;
- 3-й вариант - с второстепенными балками, опертыми на лавные балки - межколонные балки одного направления;
- 4-й вариант – с кессонными балками, опертые на межколонные балки в двух направлениях;

Фундаментные плиты могут проектироваться сплошными, ребристыми и коробчатыми (рис. 5.5). Ребристые и коробчатые фундаменты применяются для повышения жесткости здания.

В ребристой фундаментной плите можно выделить ребра-балки и плиты, опирающиеся на балки. Коробчатые фундаменты состоят из плитных и стеновых элементов.

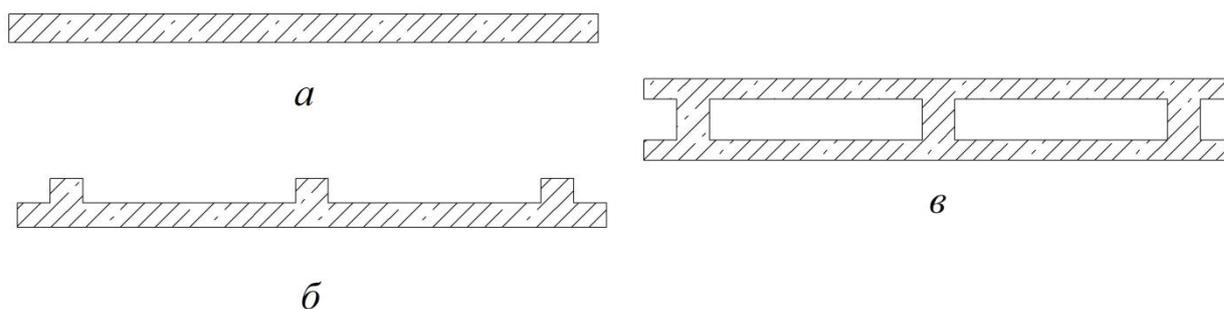


Рисунок 5.5. Виды поперечного сечения фундаментной плиты: а – сплошной, б – ребристой, в – коробчатой

Минимальную толщину сплошной фундаментной плиты принимается не менее 500 мм для сплошных плит и не более 2м для коробчатых плит (или более двух метров – при организации подземного технического этажа), класс бетона – не менее В20 (марку по водонепроницаемости – не менее W6), процент армирования – не менее 0,3%

Для сокращения расхода арматуры при армировании фундаментной плиты рекомендуется сначала установить рабочую арматуру, исходя из минимального процента армирования, а на участках, где действующие усилия превышают усилия, воспринимаемые этой арматурой, установить дополнительную арматуру. Однако такой подход приводит к более сложному армированию, требующему более тщательного контроля арматурных работ.

Фундаментные плиты сплошного сечения армируются сетками. Арматурные сетки могут быть сварными и вязанными. Сетки располагаются у нижней и верхней поверхностей плиты. В толстых фундаментных плитах также укладываются сетки в средней по высоте зоны плиты.

В соответствии с СП 52-103-2007 рекомендуется принимать толщину плоской плиты перекрытия не менее 16 см и не менее $1/30$ длины наибольшего пролета, но не более 25 см.

Высота сечений многопролетных балок монолитного перекрытия принимается ($1/15...1/18$) пролета балок, для балок кессонного перекрытия - $1/20$ пролета.

Минимальный класс бетона для изготовления перекрытий принимается В20. Для армирования монолитных перекрытий используется арматура классов А400, А500, А600.

В СП 52-103-2007 изложены основные подходы (конструктивные требования) к армированию плоских монолитных плит перекрытия в зданиях колонной конструктивной системы. Эти подходы состоят в следующем:

- для нерегулярной конструктивной системы нижняя арматура устанавливается одинаковой по всей площади плиты перекрытия в соответствии с максимальным значением усилий в пролетах плиты; основная верхняя арматура принимается такая же, как нижняя, а у колонн и стен жесткости должна быть установлена дополнительная верхняя арматура, которая в сумме с основной воспринимает опорные усилия в плите;

- для регулярной конструктивной системы продольную арматуру рекомендуется устанавливать по надколонным и межколонным полосам в двух взаимно перпендикулярных направлениях с учетом действующих в этих полосах усилий; нормами допускается установка части арматуры плит в виде сварных непрерывных каркасов в надколонных полосах плиты в двух направлениях (скрытые балки), при этом каркасы должны быть пропущены сквозь тело колонн;

- с целью сокращения расхода арматуры рекомендуется стержни нижней и верхней арматурных сеток плиты (фоновой арматуры) подбирать по минимальному проценту армирования ($\mu\%=0,1\%$), а на участках, где действующие усилия превышают усилия, воспринимаемые фоновой арматурой, устанавливается дополнительная арматура, которая в сумме с фоновой будет воспринимать максимальные усилия, возникающие в плите под нагрузкой;

- на краевых участках плоских плит должна быть установлена поперечная арматура в виде П-образных хомутов, которые обеспечивают восприятие крутящих моментов, возникающих у края плиты. Также необходимо предусматривать анкеровку концевых участков продольной арматуры. Если

плита перекрытия примыкает к стене (диафрагме жесткости), то рабочая арматура плиты должна быть заведена в стену на длину анкеровки.

Тема 5.2 Состав проектной документации

Состав проектной документации по разделу КЖ содержится в ГОСТ Р 21.1101-2009 "Основные требования к проектной и рабочей документации".

Состав и содержание проектной документации, форма ее представления, правила составления чертежей регламентируются специальными нормативными документами. В общем виде состав и содержание разделов проектной документации регламентируются Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с изменениями).

Исходные данные для проектирования содержатся, в том числе раздела КЖ, содержатся в Техническом задании на проектирование.

Перед началом проектных работ заказчик заключает договор с проектировщиком и выдает ему **техническое задание на проектирование**, прилагая к заданию основные документы, подготовленные на предпроектной стадии.

Задание на проектирование составляется Заказчиком или по его поручению генпроектировщиком, согласовывается с местными управлениями по архитектуре и экспертизе и утверждается Инвестором или Застройщиком. В нем приводятся как общие, так и специфические требования по проектированию, в том числе выделение пусковых комплексов и очередей возведения объектов. В задании обязательно отражаются требования к архитектурно-строительным и **конструктивным решениям**, требования по разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны и мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций, особые требования к разработке природоохранных мероприятий.

Застройщик указывает размеры отчислений на содержание технического надзора, страхование СМР, экспертизу проектно-строительной документации, проведение инспекционного государственного архитектурно-строительного надзора, подготовку эксплуатационных кадров и т. д. Кроме перечисленного, по объектам производственного назначения указываются требования по режиму работы предприятия, его перспективному развитию и конкурентоспособности продукции, а по объектам жилищно-гражданского назначения отражаются требования к встроенным или пристроенным помещениям, их площадь, назначение и состав помещений, их пропускная способность и т.д.

Как сказано выше, в разработке технического задания обычно принимает участие и сам проектировщик, но его роль в основном сводится к конкретизации и уточнению задач, которые ставит заказчик, окончательный же текст задания подписывает заказчик.

Содержание технического задания зависит от вида строительства. Оно регламентируется нормами, где приводится подробный перечень данных и требований к проекту для объектов промышленного и гражданского строительства. В любом случае в техническом задании должны быть указаны: основание для проектирования, особые условия строительства, основные технико-экономические показатели проектируемых объектов, требования к архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, требования по охране природы. Объём, состав и содержание рабочей документации определяются заказчиком (застройщиком) в зависимости от степени детализации решений, содержащихся в проектной документации, и указываются в задании на проектирование.

Техническое задание как правило состоит из следующих разделов.

Общие данные

Этот раздел должен содержать следующие сведения (на усмотрение заказчика):

- Обоснование строительства — приказ руководителя организации-заказчика или другой документ.
- Вид строительства — вновь начинаемое, реконструкция или другое.
- Полное наименование организации-заказчика.
- Сведения об особенностях участка, выделенного под строительство — геологические особенности, тип грунта, расположение грунтовых вод, наличие растительности под вырубку.
- Основные требования к объекту: тип объекта, назначение, этажность, возможность использования типовых проектов или только индивидуального, площадь застройки и допустимость использования подземного пространства участка.
- Очередность строительства — если имеется очередность запуска оборудования или установок на объекте.
- Необходимые сроки начала и завершения строительства. Желаемая дата сдачи объекта. Этот пункт должен присутствовать в любом техническом задании. Дата сдачи объекта должна быть раньше или совпадать с датой заключаемого договора.
- Степень надежности здания (в соответствии с требованиями ГОСТ 54257-2010).
- Характеристика проектирования — количество стадий.
- Наличие исходной документации для строительства, включая все разрешения.

Требования к проектированию

- Полнота градостроительных решений — необходимость наличия благоустройства, озеленения участка. В этом пункте также должны содержаться требования к размещению объекта строительства на участке.
- Архитектура объекта, в том числе решения для фасадов и решения для повышения энергоэффективности здания.

- Особенности конструктивных решений: предполагаемый тип фундамента, стен и перекрытий.

- Отделочные решения: возможность использования местных материалов или привозных, рекомендации по их использованию и по выбору цветовой гаммы.

- Инженерные решения: эффективное расположение коммунальных сетей, в том числе решение по оптимизации водоснабжения и водоотведения.

- Энергообеспечение объекта и его эффективность. В этот пункт можно включить даже необходимое количество розеток в каждом помещении.

- Проектирование освещения.

- Необходимость проектирования систем безопасности (охранно-пожарная сигнализация или и охранная, и пожарная по отдельности), систем передачи данных и других систем (вентиляция, отопление, кондиционирование).

- Инфраструктура объекта и участка - наличие парковок, пешеходных дорожек, благоустроенных подъездных путей.

- Требования заказчика к содержанию проектно-сметных документов и форме их предоставления.

- Необходимость технико-экономических обоснований всех расчетов.

На подготовительном этапе проектирования главный архитектор (главный инженер) проекта организывает подготовку заданий субподрядным проектным, изыскательским и другим организациям на выполнение поручаемых им работ, обеспечивает эти организации исходными данными, осуществляет контроль за ходом выполнения субподрядных работ, за своевременным решением всех вопросов, возникающих у субподрядных организаций в процессе разработки проекта, обеспечивает подготовку данных для заключения договора с заказчиком на выполнение проектно-изыскательных работ, в том числе о стоимости проектирования и изысканий и распределения ее между организациями и подразделениями – участниками разработки проекта

и составления графика разработки проектно-сметной документации.

На этом же этапе составляются сметы на выполнение проектно-изыскательских работ, выдается задание на инженерные изыскания. Инженерно-экономические изыскания начинаются при подготовке задания на проектирование. По их результатам должен быть сделан вывод об экономической эффективности строительства конкретного объекта. Последующая разработка проектной документации может осуществляться только при наличии утвержденного решения о согласовании места размещения объекта. Инженерно-технические изыскания должны позволить делать выводы о пригодности площадки, о предпочтительности того или иного вида фундамента (мелко заглубленного, свайного, глубоких опор и т.д.), т.е. позволить решать общие принципиальные вопросы.

Конструктивный раздел проекта (КЖ) выполняется на основе архитектурного раздела (АР) с учетом исходных данных из технического задания на проектирование.

После проведения расчетов, прежде всего численных расчетов конструктивной системы проектируемого здания, несущих железобетонных конструкций конструктивной системы, переходят к конструированию и выполнению исполнительных чертежей (чертежи марки КЖ), предназначенных для возведения объектов строительства. Нормативные документы устанавливают конструктивные требования, распространяющиеся на проектирование железобетонных конструкций (ГОСТ 21.501-2011 "Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений"). Соблюдение конструктивных требований обеспечивает условия экономичного и качественного изготовления конструкций, необходимые их долговечность и совместную работу арматуры и бетона.

Спецификация сборных железобетонных конструкций включает в себя шесть граф. В спецификации указываются: позиции, показанные на схеме расположения железобетонных конструкций; описание основных документов

на записываемые в спецификацию конструкции и изделия; количество элементов; масса в килограммах (тоннах), дополнительные сведения.

Схемы расположения выполняются с упрощенным изображением элементов в виде планов, фасадов или разрезов соответствующих конструкций. Схемы выполняются для каждой группы элементов конструкций, связанных условиями и последовательностью производства строительных работ.

На схемах расположения дополнительно указываются опалубочные размеры элементов конструкции (толщина стен и плит, сечение балок и колонн).

Спецификации к схемам расположения сборных железобетонных конструкций могут заполняться по разделам: элементы сборных конструкций; монолитные участки; стальные и другие изделия.

Для сборных железобетонных конструкций – типовых изделий, которые применены в проекте, в спецификации указываются ссылка на основные документы конструкций и изделий. Кроме того, они записываются в разделе «Прилагаемые документы» в ведомости ссылочных и прилагаемых документов без изменения обозначения.

Если в рабочие чертежи типового изделия вносятся изменения (например, установка дополнительных закладных деталей, устройство отверстий), то на это изделие выполняется рабочая документация. Требования следующие: типовое изделие изображается упрощенно; на изображении типового изделия указываются только те элементы и размеры, которые относятся к изменениям; измененному изделию присваивается самостоятельная марка, включающая в себя марку типового изделия и дополнительный индекс.

На схему армирования монолитных железобетонных конструкций наносятся:

- координатные оси здания, основные размеры;
- отметки наиболее характерных уровней элементов конструкций;
- контуры конструкций;

- позиции (марки) арматурных и закладных изделий, составляющих схему армирования;
- обозначение разрезов, узлов и фрагментов;
- размеры, определяющие положение арматурных и закладных изделий, а также толщину защитного слоя бетона;
- фиксаторы для обеспечения проектного положения арматуры (при необходимости);
- указания о способе соединения арматурных стержней.

Для разрабатываемых в проекте арматурных изделий выполняются чертежи. На конкретном чертеже указываются позиции стержней, составляющих арматурное изделие. Также указываются размеры, дополняющие сведения о стержнях, приведенные в спецификации арматурного изделия, и достаточные для его изготовления.

Спецификация арматурных изделий включает в себя шесть граф. В спецификации указываются: марка изделия (с указанием количества изделий этой марки на схеме армирования); позиция стержней, составляющих арматурное изделие; количество стержней каждой позиции; масса стержней для каждой позиции и для изделия в целом, в том числе с учетом всех изделий этой марки. В графе "Наименование" указываются диаметр, класс и длина стержней позиций в мм.

Таблица 5.1

Спецификация арматурного каркаса К1					
Марка изделия	Поз.	Наименование	Кол.	Масса позиции, кг	Масса изделия, кг
К1 (шт.7)	1	8-A400 l=3730	1	1,47	2,65 (18,55)
	2	6-A400 l=3740	1	0,82	
	3	5-B500 l=130	18	0,36	

Строки и столбцы спецификации-таблицы имеют вполне определенные размеры: ширина столбцов 15, 10, 60, 10, 15, 15 (ширина таблицы 125 мм),

высота строки заголовка – 15 мм, другие строки таблицы должны иметь высоту 8 мм.

Пример заполнения спецификации арматурного каркаса К1 приведен в таблице 5.1.

В таблице 5.2 показана спецификация материалов, куда наряду с арматурными изделиями, могут быть включены закладные детали и другие материалы (прежде всего бетон).

Таблица 5.2

П о з.	Обозначение	Наименование	К о л.	Мас са ед., кг	Прим ечани е
		<u>Свая БНС1</u>	1 0		
		<u>Детали</u>			
1	ГОСТ 34028-2016	Хомут 10-А240 $l=550$	4	0,34	
2	ГОСТ Р 52544-2006	Спираль 5-В500С $l=7000$	1	10,7 8	
		<u>Стержни</u>			
3	ГОСТ 34028-2016	12-А500С $l=2780$	4	9,87	
		<u>Материалы</u>			
	ГОСТ 7473-2010	БСТ15П4F150W6		0,11	м ³

В графах спецификации: *поз.* – указывается позиция (марка) элемента по чертежу, *обозначение* – основной документ (стандарт) на материал (изделие), *наименование* – для арматурного стержня указываются диаметр, класс, длина (12-А500С $l=2780$), для бетона – тип, например, бетон тяжелый по ГОСТ 26633-2012 класса по прочности на сжатие В25 (в примере записана бетонная смесь тяжелого бетона БСТ, далее в марке следуют класс по прочности на сжатие, марки по удобоукладываемости, морозостойкости и водонепроницаемости), *кол.* – записывается количество элементов по позициям, *масса ед., кг* – указывается масса в кг по позициям. *примечание* – записываются дополнительные сведения, в том числе, единицы массы, если масса арматуры приводится в тоннах или единицы объема (м³) для фиксации в спецификации расхода бетона

Отдельные прямые стержни включаются непосредственно в спецификацию арматуры, а гнутые стержни наряду с включением в спецификацию дополнительно в виде эскиза помечаются в ведомость деталей. В таблице 5.3 приведен пример заполнения ведомости деталей.

Строки и столбцы таблицы-ведомости деталей имеют вполне определенные размеры: ширина столбцов 20 мм и 70 мм (ширина таблицы 90 мм), высота строки заголовка – 15 мм, другие строки таблицы должны иметь высоту кратную 8 мм.

Таблица 5.4

Ведомость расхода стали, кг						
Марка изделия	Изделия арматурные					
	Арматура класса					Все го
	А500С			А240		
	ГОСТ Р 52544-2006			ГОСТ 5781-82*		
	Ø25	Ø20	Ø14	Ø8	Ø6	
Б1	551,0	–	–	120,1	–	
Б2	239,5	–	–	46,1	–	285, 6
Б3	805,1	–	121, 8	257,8		118 4,7
Б4	–	177,3	–	–	21,0	198, 3
Б5	–	305,8	–	–	36,5	345, 3
Перекрытие на отм.-0,050	–	–	8058 9	1733	11,2	823 33

При выполнении опалубочных и арматурных чертежей железобетонных конструкций подробности конструктивного решения элементов показываются на узлах. При этом на выноске узла указывается порядковый номер и при необходимости в скобках дается ссылка на лист чертежа, где этот узел предполагается разместить. Над изображением узла на чертеже в кружке

(d=12..14 мм) записывается номер узла. Если узел обозначен на другом чертеже, то дополнительно должен быть указывается номер листа, на котором обозначен рассматриваемый узел.

Задачами нормоконтроля является повышения качества проектно-конструкторских работ. Нормоконтроль - это проверка выполнения проектной (рабочей) документации., определение ее соответствия требованиям технического регламента, стандартов СПДС (системы проектной документации для строительства), других документов по стандартизации, указанных в проектной документации.

Нормоконтроля является обязательной частью разработки проектной и рабочей документации и ее завершающим этапом. Ведение нормоконтроля должно быть оформлено в проектной организации, утверждено положение о нормоконтроле и состав специалистов, осуществляющих нормоконтроль. По результатам нормоконтроля оформляются замечания. При этом проверяется:

- соответствие обозначения, присвоенное разрабатываемой проектной документации, установленной системы обозначения,
- правильность выполнения основной надписи и дополнительных граф к ней,
- наличие установленных подписей и дат на титульных листах и дат на титульных листах и в основных надписях,
- комплексность и состав документации,
- правильность выполнения документации, наличие и правильность ссылок на нормативные документы,
- правильность применения сокращений слов,
- правильность применения системы единиц физических величин,
- возможность сокращения объема документации.

Тема 5.3 Армирование железобетонных конструкций

Порядок подбора арматуры для железобетонных элементах расчетной схемы после выполнения статического расчета несущей системы здания можно представить следующим образом.

После выполнения статического расчета можно перейти в режим *конструирование* и выполнить расчет (подбор арматуры) для элементов расчетной схемы (стержней-колонн, пластин-плит и др.).

При этом, если заданы материалы (с использование команды *жесткости и материалы*), то в режиме *расчет* будет выполнен полный расчет, включающий в себя статический расчет и расчет железобетонных конструкций. Результаты статического расчета можно увидеть в режиме *анализ*, а расчета железобетонных конструкций расчетной схемы – в режиме *конструирование*.

Исходные данные для подбора арматуры стержневых и пластинчатых элементов расчетной схемы укаываются в диалоговом окне *материалы* команды жесткости и материалы (закладка ж/б).

Таким образом, перед подбором арматуры железобетонных конструкций должны быть назначены материалы. При назначении материалов в диалоговом окне должен быть выбран нормативный документ, по которому ведется расчет железобетонных конструкций (СП 63.13330.2018). Расчет может выполняться по *PCU*, по *PCH*, по *усилиям*.

Материалы (точнее параметры для железобетонных конструкций) можно задать в режиме *расчетная схема*. Однако востребованной информация о материалах становится только в режиме подбора арматуры. Поэтому задать параметры материалов можно также в окне подбора арматуры через позицию меню *жесткости и материалы*, закладка ж/б.

Параметры для железобетонных конструкций, используемые при подборе арматуры, можно задать (добавить), изменить и отменить для выделенных

элементов расчетной схемы. Параметры для железобетонных конструкций разделены на три группы: *тип, бетон, арматура*.

Первая группа параметров *тип* включает в себя:

- *модуль армирования*. При назначении модуля армирования необходимо выбрать из списка стержень, балку-стенку, плиту, оболочку. На рисунке 5.5 показано расположение и обозначение арматуры в стержне, балке-стенке, плите и оболочке. Отличие модуля армирования плиты от модуля армирования оболочки заключается в наборе усилий, по которым подбирается арматура. Для плиты - набор усилий $M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y$, а для оболочки - $M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y, N_x, N_y, \tau_{xy}$;

- *вид армирования*. Для стержней можно выбрать несимметричное, симметричное и одновременно оба вида армирования. Для колонн обычно выбирается симметричное армирование, для балок можно назначить несимметричное или оба вида армирования.

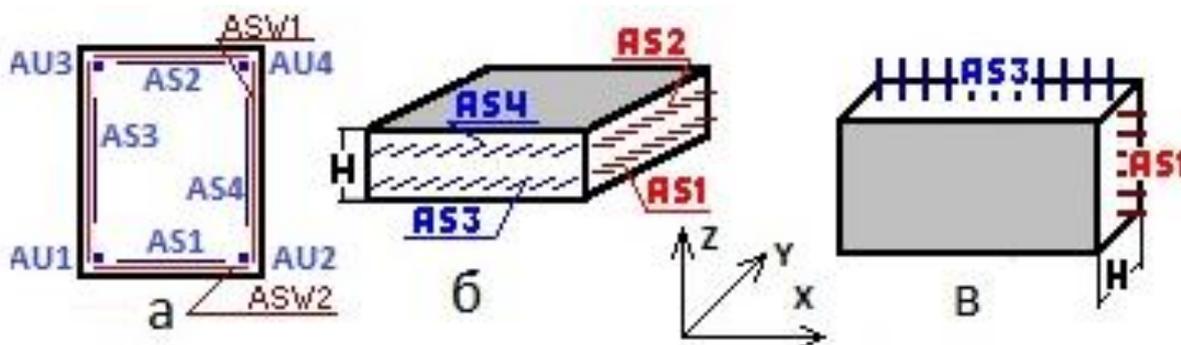


Рисунок 5.5. Расположение и обозначение арматуры в стержне (а), плите и оболочке (б), балке-стенке (в).

Для определения расположения арматурных стержней в поперечном сечении рассчитываемого конструктивного элемента необходимо учитывать толщины защитного слоя арматуры.

- *привязка центра арматуры, процент армирования*. Для определения расстояния от грани железобетонного элемента до центра тяжести арматуры (*a*) необходимо определить (в зависимости от условий эксплуатации конструкций) толщину защитного слоя и предварительно назначить максимальный диаметр

арматуры. В колоннах может быть установлена арматура диаметром до 40 мм, в балках - до 32 мм.

Оптимизация армирования железобетонных конструкций связана оптимизацией конструктивных параметров конструкций, которые включают в себя геометрические размеры, классы бетона и арматуры, а также процент армирования конструкции. При проектировании железобетонных конструкций стремятся к уменьшению размеров поперечного сечения, что приводит к увеличению диаметра рабочей арматуры и процента армирования. Минимальный процент армирования необходимо соблюдать, например, для зон плиты перекрытия с небольшими усилиями M , Q . Минимальный процент армирования для изгибаемых элементов - 0,1% (A_s), для фундаментной плиты - 0,3%, для внецентренно сжатых элементов - 0,1... 0,25% ($A_s = A_s'$) в зависимости от гибкости элемента. Максимальный процент армирования, например, для колонн составляет 5%. При этом необходимо соблюдение минимального расстояния между стержнями: не менее наибольшего диаметра стержня и не менее 25-50 мм (в зависимости от расположения стержней в конструкции). При стесненных условиях арматурные стержни можно располагать группами-пучками без зазора между стержнями. Расстояние между пучками - не менее приведенного диаметра стержня, эквивалентного площади сечения пучка арматуры. Поэтому определение значения a может носить более сложный характер;

- *конструктивные особенности стержней.* Указывается вид конструктивного элемента: *балка, колонна-пилон, колонна рядовая, колонна первого этажа;*

- *длина элемента, расчетная длина.* При расчете сжатых элементов необходимо указать длину элемента l , а также коэффициент расчетной длины k или расчетную саму длину l_0 . Расчетная длина определяется в зависимости от заделки концов элемента;

- *выбор системы* (СО - статически определимая, СНО - статически неопределимая);

- *выбор расчетов II-й группы предельных состояний* приводит к выполнению расчетов по продолжительному и непродолжительному раскрытию трещин. При этом можно задать предельно допустимую ширину раскрытия трещин. По умолчанию в диалоговом окне установлена предельно допустимая ширина раскрытия трещин из условия обеспечения сохранности арматуры (конструкции без предварительного напряжения арматуры): 0,3 мм - при продолжительном раскрытии трещин; 0,4 мм - при непродолжительном раскрытии трещин. Уменьшить ширину раскрытия трещин можно, например, уменьшая диаметр арматурных стержней. Плиты перекрытия и стены здания армируются сетками. Шаг арматурных стержней сеток назначается из ряда: 100, 150, 200, 250, 300 мм. После определения требуемой по расчету площади арматуры A_s подбирается арматурная сетка. Для уменьшения диаметра арматурных стержней необходимо уменьшить шаг стержней сетки.

Вторая группа параметров *бетон* включает в себя:

- класс бетона;

- диаграмму состояния. Осуществляется выбор одной из двух диаграмм состояния: двухлинейной и трехлинейной.

- коэффициенты условия работы бетона. Коэффициент условий работы бетона γ_{b1} вводится к расчетным значениям сопротивлений R_b и R_{bt} . Он учитывает влияние длительности действия статической нагрузки: $\gamma_{b1} = 1,0$ при непродолжительном (кратковременном) действии нагрузки; $\gamma_{b1} = 0,9$ при продолжительном (длительном) действии нагрузки. Коэффициент условий работы бетона γ_{b2} . Он вводится для бетонных конструкций к расчетному значению сопротивления бетона сжатию R_b и учитывает характер разрушения бетонных конструкций ($\gamma_{b2} = 0,9$). Коэффициент условий работы бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона сжатию R_b

железобетонных конструкций, бетонируемых в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м ($\gamma_{бз} = 0,85$);

- случайные эксцентриситеты. Случайный эксцентриситет e_a принимается не менее: $1/600$ длины элемента l (или длины элемента, равной расстоянию между его сечениями, закрепленными от смещения); либо $1/30$ высоты сечения h ; либо 10 мм (выбирается большее из трех перечисленных значений). Случайный эксцентриситет учитывается при расчете статически определимых конструкций. Для статически неопределимых конструкций он принимается во внимание, если эксцентриситет $e_0 = M/N$ приложения продольной силы N окажется меньше случайного эксцентриситета e_a .

Третья группа параметров *арматура* включает в себя задание классов продольной и поперечной арматуры, а также назначение максимального диаметра арматурных стержней.

Расчет арматуры может выполняться для одного или нескольких вариантов конструирования расчетной схемы (*редактирование \Rightarrow варианты конструирования основной схемы*). Варианты конструирования обычно формируются в режиме *расчетная схема*, а дополняются и корректируются в режиме *железобетонные конструкции*.

Варианты конструирования дают возможность в одной задаче получить результаты по схеме с различными конструктивными характеристиками; проводить расчет по иностранным и российским нормативным документам (СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003), выполнять расчеты по РСУ, РСН или по усилиям.

Причем при проведении расчета по усилиям требуется задание среднего значения коэффициента надежности по нагрузке и среднего значения доли длительности. Для двух других вариантов расчета они задаются при составлении таблиц РСУ и РСН.

Среднее значение коэффициента надежности по нагрузке γ_f принимается равное 1,15. Доля длительности имеет место для временных нагрузок. Для

большинства временных нагрузок на перекрытие доля длительности принимается 0,35. Для снеговой нагрузки она составляет 0,7. Для ветровой нагрузки доля длительности равна нулю. Постоянная нагрузка является нагрузкой длительного действия.

Следует отметить, что в программном комплексе ЛИРА при формировании расчетной схемы к элементам расчетной схемы прикладываются нормативные нагрузки. В режиме *железобетонные конструкции* арматура подбирается по расчетным усилиям, для определения которых требуется коэффициент γ_f .

В режиме *железобетонные конструкции* также определяется ширина раскрытия трещин (их продолжительное и непродолжительное раскрытие). При выполнении расчетов по продолжительному раскрытию трещин востребована средняя доля длительности.

Перед расчетом армирования элементов рам можно сформировать дополнительные исходные данные, которые будут включать в себя:

- конструктивные элементы. Объединение отдельных балок-элементов в единый конструктивный элемент (балка КБ1, КБ2...) и отдельных колонн-элементов также в единый конструктивный элемент (колонна КК1, КК2...) производится при обращении к следующим позициям меню функций: *редактирование* \Rightarrow *конструктивные элементы*;

- унифицированные конструктивные элементы. Для унификации конструктивных элементов (балка УКБ1, УКБ2..., колонна УКК1, УКК2...) необходимо обратиться к следующим позициям меню функций: *редактирование* \Rightarrow *унификация элементов*.

С помощью кнопки *флаги рисования* можно задать обозначение назначаемых элементов на расчетной схеме.

Конструктивный элемент - это совокупность нескольких элементов расчетной схемы, которые при конструировании будут рассматриваться как единое целое. Если конструктивный элемент состоит из элементов типа *балка*,

то на схеме он будет обозначаться КБ. Если конструктивный элемент состоит из элементов типа *колонна*, то на схеме он будет обозначен КК. Тип конструктивного элемента расчетной схемы предварительно определяется в диалоговом окне опции *жесткости и материалы*

В конструктивный элемент могут входить только элементы с одинаковым сечением. При этом формируемые элементы не должны иметь разрывов, они должны иметь один тип жесткости, не входить в другие конструктивные элементы и унифицированные группы, а также иметь общие узлы и лежать на одной прямой.

Для назначения конструктивного элемента необходимо выделить группу стержней на расчетной схеме и активизировать команду *конструктивные элементы* из меню *редактирование*. После активизации команды *конструктивные элементы* откроется диалоговое окно *конструктивные элементы*.

По умолчанию конструктивные элементы и унифицированные группы конструктивных элементов создаются для текущего варианта конструирования или для всех вариантов, если установлен флажок *для всех*.

С помощью счетчика можно изменить номер варианта конструирования, для которого будут создаваться конструктивные элементы или унифицированные группы конструктивных элементов.

Новый конструктивный элемент создается при нажатии кнопки *создать*. Удаление конструктивных элементов производится при нажатии кнопки *удалить* с учетом состоянию флажка *для всех*.

Унификация элементов предназначена для объединения выделенных элементов в унифицированные группы. Унификация элементов нужна для уменьшения количества расчетных сочетаний усилий (PCY) в элементах. Сокращение количества PCY в элементах расчетной схемы достигается за счет того, что при подборе арматуры элементов одной унифицированной группы учитываются не все PCY.

Унификация элементов позволяет автоматически получить только важнейшие РСУ в унифицированных элементах, беря на себя основную работу по их выборке. Другим положительным моментом унификации является возможность значительного сокращения продолжительности расчета арматуры и возможность подбирать одинаковую арматуру во всех элементах одной унифицированной группы.

Список уже существующих конструктивных элементов и унифицированных групп конструктивных элементов можно просмотреть в нижней части соответствующих диалоговых окон.

Результаты подбора арматуры могут быть представлены в графической и табличной форме.

После выполнения подбора арматуры формируются таблицы результатов. Таблицы могут быть сформированы для всех или только для выбранных элементов в текстовом формате.

Представление результатов подбора арматуры для стержневых и пластинчатых элементов расчетной схемы будут различно.

При расчете стержневых элементов определение усилий и подбор арматуры ведется для двух сечений по концам стержней. Наличие двух сечений в стержневом элементе оказывается достаточно для стержней-колонн.

Для стержней-балок необходимо предусмотреть дополнительное расчетное сечение в середине пролета балки.

Для подбора арматуры задается шаг арматурных стержней, например, $S=250$ мм (четыре стержня на один погонный метр). Затем, исходя из требуемой для обеспечения несущей способности плиты площади арматуры $AS1=1,52$ см²/м и $AS3=1,87$ см²/м, по сортаменту для армирования плиты в элементах 242 и 409, можно подобрать 4Ø8A400 ($A_s=2,01$ см²/м).

Расположение и обозначение арматуры в плите показано на рисунке 5.6 (AS1 - площадь арматуры в см² на погонный метр плиты по оси X у нижней грани; AS2 - площадь арматуры в см² на погонный метр плиты по оси X у

верхней грани; AS3 - площадь арматуры в см^2 на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани; AS4 - площадь арматуры в см^2 на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани).

По результатам подбора арматуры плиты (пластинчатого элемента), представленном в графической форме (рис.5.6), можно выполнить **анализ изополей армирования** (для стержневых элементов эпюр армирования).

На рисунке 5.6 показано армирование плиты перекрытия.

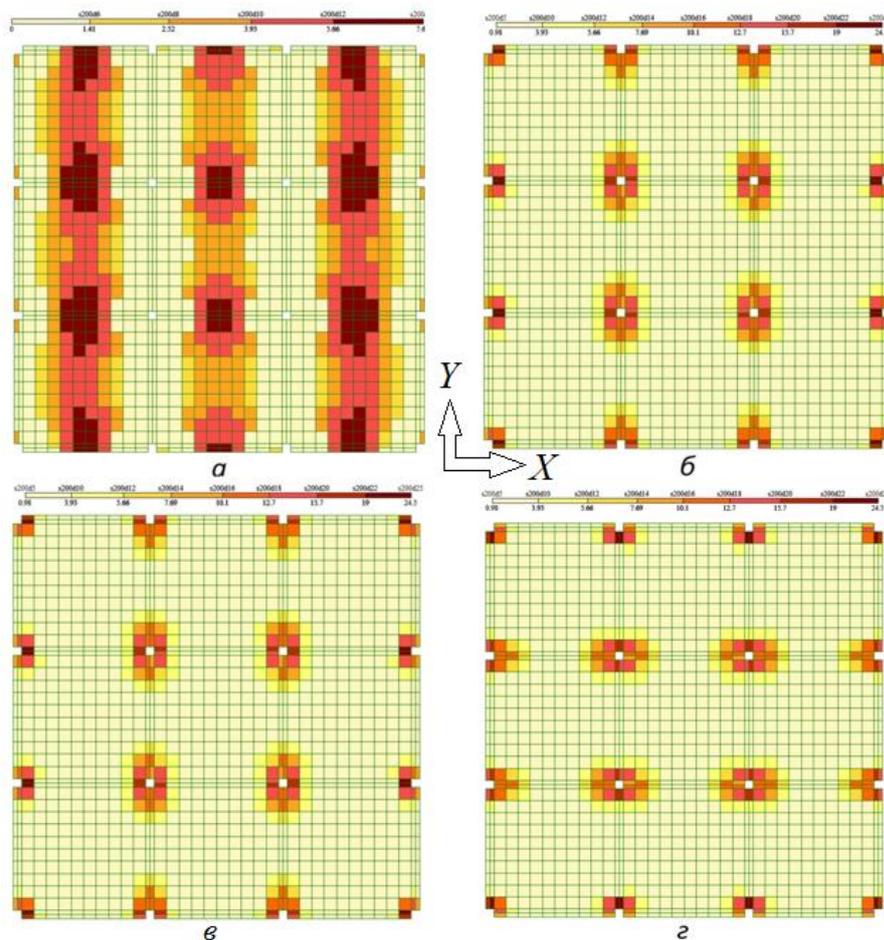


Рисунок 5.6. Результаты подбора арматуры плоской плиты перекрытия, опертой на колонны:

- а - площадь арматуры в см^2 на погонный метр плиты по оси X у нижней грани (AS1);
- б - площадь арматуры в см^2 на погонный метр плиты по оси X у верхней грани (AS2);
- в - площадь арматуры в см^2 на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани (AS3);
- г - площадь арматуры в см^2 на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани (AS4)

Приведена площадь арматуры в $\text{см}^2/\text{м}$, достаточная для обеспечения несущей способности плиты в разных ее зонах, а также подобрана арматура этих зон (диаметр и шаг арматурных стержней).

Армирование плоской монолитной плиты перекрытия производится продольной арматурой в двух направлениях (вдоль осей X и Y). Арматура располагается у верхней и нижней граней плиты.

При этом в необходимых в соответствии расчетом случаях может устанавливаться дополнительная поперечная арматура у колонн, стен и по площади плиты

Нижняя арматура плиты устанавливается одинаковой по всей площади плиты. Нижняя арматура плиты принимается - $\varnothing 14A400$ с шагом $S=200$ мм (смотри рис. 5.6а, в).

Основную верхнюю арматуру рекомендуется принимать такой же, как и нижнюю, а у колонн и стен рекомендуется устанавливать дополнительную верхнюю арматуру, которая в сумме с основной должна соответствовать требуемой площади арматуры в опорных зонах плиты.

Диалоговое окно *Железобетонные конструкции* содержит:

- кнопки формирования исходных данных: 1 - жесткости и материалы, 2 - конструктивные элементы, 3 - унификация элементов, 4 - варианты конструирования;
- кнопки выбора режимов: 1 - режим расчета арматуры, 2 - переход в локальный режим армирования (после выбора кнопки щелкнуть на элемент расчетной схемы для расчета или проверки подобранной арматуры);
- кнопки представления результатов в графической форме: 1 - результаты для стержней, 2 - результаты для пластин, 3 - параметры шкалы;
- кнопки симметричное и несимметричное армирование (1...4 - вывод на экран площади одного стержня продольной арматуры в см^2 AU1, AU2, AU3, AU4 в угловых зонах поперечного сечения стержня, 5...8 - распределенная арматура AS1, AS2, AS3, AS4, 9 - процент армирования, 10, 11 - поперечная арматура AW1, AW2, 12 - суммарная арматура);

- кнопки вывода на экран площади продольной арматуры в см^2 на погонный метр в двух направлениях у верхней и нижней граней пластины AS1, AS2, AS3, AS4,
- 5, 6, 7 - поперечная арматура в двух направлениях AW1, AW2 и на один квадратный метр, 8-отображение арматуры в виде отрезков (после выбора кнопки становится доступно отобразить верхнюю и нижнюю арматуру по двум направлениям раскладки арматурных пластин);
- кнопки конструирования: 1 - конструирование балки, 2 - конструирование колонны, а, б, в - кнопки *чертеж, расчетное армирование, расчетная записка* (кнопки становятся доступными после выбора кнопок конструирования);
- кнопки локального режима армирования: 1...4 - *исходные данные* (рассматриваемый элемент расчетной схемы, *характеристики бетона и арматуры, усилия и сочетания, расстановка арматуры в сечении*, 5, 6 - подбор арматуры, проверка на заданное армирование, 7 - вывод на экран пояснительной записки (два варианта).

При **формировании отчета** после выполнения численного расчета проектируемого здания с использованием ПК ЛИРА-САПР в него включается:

- *краткое описание возможности программного комплекса ПК ЛИРА-САПР.*

В программном комплексе ЛИРА возможна **проверка несущей способности железобетонных конструкций при заданном армировании** (локальный режим армирования). Для вызова *локального режима армирования* надо выбрать *Элементы расчетной схемы* и нажать кнопку перехода в локальный режим армирования из меню операций режима *железобетонные конструкции*, после чего возникает экран *локального режима армирования* со своим меню функций и кнопками меню операций. При этом *локальный режим армирования* автоматически настраивается на армирование выделенных элементов расчетной схемы.

На рисунке 5.7 представлено диалоговое окно элемента расчетной схемы (стержня-колонны). Геометрические характеристики в диалоговое окно для

выделенных элементов расчетной схемы 1, 2, 3 и т.д. вносятся автоматически, но их можно корректировать. Вызов диалогового окна *стержень* производится из меню функций (позиция *геометрия*).

Для описания армирования элементов расчетной схемы предусмотрены диалоговые окна команды *армирование* (*заданное армирование* и *расстановка арматуры*). В диалоговом окне *заданное армирование* устанавливается номер элемента и сечение элемента, для которого будет выполнена расстановка арматуры в одноименном диалоговом окне.

На рисунке 5.8 для элемента 2 (сечение 2) - стержня-колонны с размером сечения 30×30 см, задается расположение продольной арматуры $d_s=32$ мм с указанием привязки правых стержней нижнего ряда ($y=5$ см, $z=5$ см) и верхнего ряда ($y=5$ см, $z=30-5=25$ см).

Расстояние от наружной грани до центра тяжести поперечного сечения арматурного стержня принимается 5 см ($a=1.5d_s=32\times 1,5=4,8$ см).

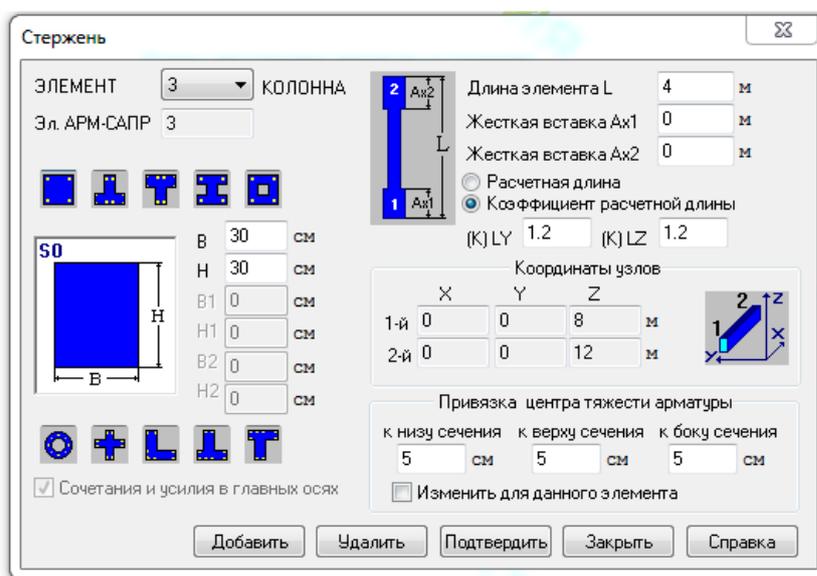


Рисунок 5.7 Диалоговое окно с описанием геометрических характеристик стержня-колонны (кнопка *подтвердить* - ввод данных)

После ввода диаметра продольных стержней в диалоговом окне появляется сообщение о проценте армирования колонны $\mu\%=3,8\%$. При проценте армирования $\mu\%>3\%$. поперечной арматуры принимается $S_w=10$

$d_s=320$ мм (принимается 300 мм), диаметр стержней поперечной арматуры принимается $0,25d_s=8$ мм.

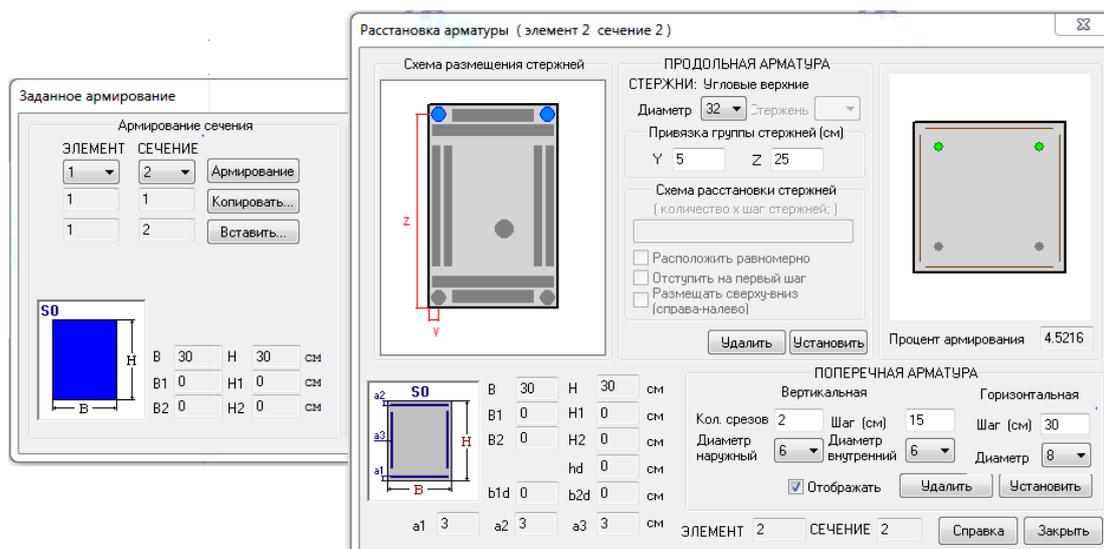


Рисунок 5.8. Диалоговые окна задания армирования элементов расчетной схемы

Последовательность работы в диалоговых окнах следующая:

- на счетчике элементов и счетчике сечений устанавливается: элемент №1, сечение 1;
- при нажатии кнопки *армирование* открывается второе окно, где задается армирование элемента №1 в сечении 1;
- после закрытия диалогового окна *расстановка арматуры*; необходимо выполнить *копирование*;
- на счетчике сечений устанавливается сечение 2 и нажимается кнопка *вставить*, сечению 2 присваивается армирование сечения 1.

В режиме локального армирования можно выполнить следующие расчеты: подбор теоретической арматуры, проверка на заданное армирование.

В отчете по результатам расчета содержится информация о том, подходит или не подходит сечение, а также указывается коэффициент запаса (недостачи) по прочности.

С использованием программного комплекса ЛИРА-САПР возможно выполнение чертежей схем расположения и армирования железобетонных конструкций, арматурных изделий и закладных деталей. Составление спецификации материалов, ведомостей деталей и расхода стали.

Конструирование колонн и балок с представлением результатов конструирования в виде чертежей выполняется после подбора арматуры в программе ЛИР-АРМ (режим *железобетонные конструкции*). После выбора команд необходимо указать на элемент расчетной схемы, конструирование которого предстоит выполнять. В открывающемся экране конструирования железобетонных конструкций (колонны, балки) можно задать параметры чертежа: изменять толщину линий и высоту букв надписей на чертеже, записи в таблицах и другое, а также выбрать цвет элементов чертежа.