Компьютерный практикум

Введение

Методические указания составлены в соответствии с перечнем практических занятий в компьютерном классе (далее по тексту: компьютерный практикум) рабочей программы дисциплины «Методы проектирования железобетонных и каменных конструкций» (бакалавриат) для студентов заочной дистанционной формы обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство» и включают в себя восемь компьютерных практикумов по 2 академических часа на каждый.

В приложении П7 методических указаний содержатся материалы для самостоятельного углубленного изучения расчетов железобетонных и каменных конструкций с использованием программного комплекса ЛИРА-САПР.

Справочный материал, необходимый для выполнения компьютерных практикумов приводится в описательной части каждой раздела, а также дается в таблицах приложения методических указаний.

В рамках рабочей программы дисциплины по завершению обучения преподавателем проводится текущий контроль студентов с целью проверки уровня приобретенных ими навыков основного уровня.

В рамках каждого второго практического занятия студентами выполняются практические работы. Номер варианта практической работы определяется по последним двум цифрам зачетной книжки (см. таблицу 1). Например, студент с номеров зачетной книжки оканчивающемся на 61 должен выполнить вариант 2.

Таблица 1

Две последние цифры зачетнои книжки									
00	12	24	36	48	60	72	84	96	1
01	13	25	37	49	61	73	85	97	2
02	14	26	38	50	62	74	86	98	3
03	15	27	39	51	63	75	87	99	4
04	16	28	40	52	64	76	88		5

05	17	29	41	53	65	77	89	6
06	18	30	42	54	66	78	90	7
07	19	31	43	55	67	79	91	8
08	20	32	44	56	68	80	92	9
09	21	33	45	57	69	81	93	10
10	22	34	46	58	70	82	94	11
11	23	35	47	59	71	83	95	12

Раздел 1. Общие сведения и подходы к численным методам расчета несущих систем и конструкций

Занятие 1.1. Знакомство со структурой и отработка управления программой при выполнении готовых тестовых примеров в программном комплексе

Содержание практикума. Знакомство со структурой и отработка управления программой при выполнении готовых тестовых примеров в программном комплексе. Самостоятельная отработка управления изучаемым программным комплексом с использованием готовых тестовых примеров.

При выполнении расчетов железобетонных конструкций с использованием ЛИРА-САПР программного комплекса пользователь осуществляет необходимые действия в различных режимах работы программного комплекса. Режим расчетная схема используется для ввода исходных данных. После моделирования расчетной схемы пользователь обращается к режиму выполнить расчет. При благополучном выполнении расчета пользователю становится доступен режим результаты расчета. В этом режиме можно в графической и табличной форме получить результаты статического расчета. Для подбора арматуры конструктивный элементов расчетной пользователю схемы необходимо перейти в режим железобетонные конструкции. Кроме того, пользователь может работать в режиме начальной загрузки задачи, в режимах документатора, 3D-графики, конструктора сечений.

Управление единой графической средой программного комплекса ЛИРА-САПР пользователь осуществляет с использованием меню функций (позиции обозначены словами) и кнопочного меню операций в экранах (окнах) режимов: экрана начальной загрузки задачи, экрана формирования расчетной схемы, экрана визуализации результатов расчета, экрана документатора и других.

При выборе пользователем одной из кнопок меню операций на экране соответствующего режима появляется диалоговое окно, в котором устанавливаются необходимые для вызванной операции параметры.

<u>Режим начальной загрузки задачи.</u> В этом режиме необходимо описать моделируемую расчетную схему (см. рис.1), а именно присвоить ей имя (шифр, описание) и признак. Задание <u>признака схемы</u> настраивает программу на моделирование вполне определенных расчетной схемы (1...3 - плоской, 4 и 5 - объемной).

В режиме начальной загрузки можно выполнить настройку единиц измерения удобных для пользователя. Следует отметить, что в нормативных проектированию железобетонных документах по конструкций [1,2] деформационные характеристики бетона и прочностные И арматуры указываются в МПа ($1M\Pi a = 1000 \text{ кH/m}^2$), а в основном нормативном документе, регламентирующем нагрузки и воздействия на строительные конструкции зданий и сооружений [3], например, равномерно распределенная по площади нагрузка указывается в кПа (1кПа=1 кН/м²). С учетом этих единиц измерения геометрические размеры при формировании расчетной схемы задаются в метрах. Но размеры поперечного сечения конструктивных элементов расчетной схемы - в см. Площадь арматуры задают вычислить в см². Диаметр арматуры, как и перемещения, ширину раскрытия трещин задают получить в мм, учитывая малые размеры этих величин.

Признак схемь		٦
3 - Три степен	и свободы в узле (Z,Ux,Uy) ХОҮ 🔹 🔹	
Имя задачи пл Шифр задачи пл	лита1 лита1	
Описание задачи (до 255 символов)	плита на отм.+3,300; наименование объекта; адрес объекта	*

Рис. 1. Диалоговое окно описание схемы Назначение признака при моделировании плоских расчетных схем: 1 – для фермы и стенки, 2 – для балки и рамы, 3 – для плиты.

На рисунке 2а показано диалоговое окно <u>единицы измерения</u>. Диалоговое окно содержит три закладки: схема, результаты и арматура. Это позволяет настройку на требуемые единицы измерения может выполнять независимо - для расчетной схемы и для результатов расчета, в том числе результатов подбора арматуры конструктивных элементов расчетной схемы. Смена единиц измерения может быть выполнена на любом этапе работы с моделируемой расчетной схемой.

Точность представления данных (количество значащих цифр после запятой) назначается в диалоговом окне <u>форматы чисел и шрифты</u> (смотри рисунок 26). Для вызова диалогового окна необходимо выполнить следующие действия: <u>опции</u> \Rightarrow среда \Rightarrow формат чисел и шрифты в режиме <u>расчетная схема</u>.



Рис.2. Диалоговые окна задания единиц измерения (а) и формата чисел и шрифты (б)

На рисунке 3 приведено диалоговое окно <u>каталоги</u>. Это диалоговое окно доступно при работе с моделируемой расчетной схемой при разных режимах работы (<u>опции</u> ⇒ <u>каталоги</u>).

Работа программного комплекса ЛИРА-САПР предполагает использование семи каталогов. Базовый каталог, устанавливается при инсталляции и изменять этот каталог пользователь не может. Остальные шесть каталогов могут быть изменены пользователем.

Шесть изменяемых каталогов содержат следующие файлы:

• файлы параметров настроек – каталог хранения файлов, содержащих параметры настроек.

• файлы сортаментных баз – каталог хранения бинарных файлов баз сортаментов стального проката.

• файлы исходных данных – каталог хранения бинарных файлов исходных данных.

• текстовые файлы – каталог хранения текстовых файлов исходных данных.

• файлы документации – каталог хранения файлов, подготовленных для документирования.

• файлы результатов – каталог хранения бинарных и текстовых файлов результатов расчета и временные файлы.

Пользователь может создать папку (папки) и включить ее в каталог. В папку будут помещаться файлы, формируемые при выполнении расчетов в программном комплексе ЛИРА-САПР.



Рис.3. Диалоговое окно каталоги

Перечень и назначение кнопок меню операций (режим - расчетная схема) приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Кнопки	Наименование	Примечание
1	 Q. Q. Q. Q. 1 2 3 4 Q. №. № 1 5 6 7 ∇ ↓ 8 9 	 1 - отметка узлов, 2 - отметка элементов, 3 - отметка вертикальных элементов, 4 - отметка горизонтальных элементов, 5 - отметка блоков, 6 - отметка узлов, принадлежащих отмеченным элементам, 7 - отмена выбора, 8 - полифильтр, 9 - полигональная отметка 	Позиция 9 становиться доступной после выбора кнопок 1-4.
2	 ✓ [▲] 1 2 	 информация об узлах и элементах, информация о размерах 	
3		1 - увеличение, 2 - исходный размер	
4	1 2 3 4	Представление расчетной схемы: 1 - в изометрической проекции, 2, 3, 4 - проекция на соответствующую плоскость	По умолчанию позиция 1

Кнопки меню операций (режим - расчетная схема)

5	¥ 🗳 🗭 놖 1 2 3 4	 удалить выделенные элементы (узлы, блок), упаковать расчетную схему, добавить элемент, добавить узел 	Для удаления выделенных элементов расчетной схемы можно также воспользоваться клавишей <delete></delete>
6	1 2	1 - шарниры, 2 - флаги рисования	

Занятие 1.2. Изучение на тестовых примерах представления результатов статического расчета плоской поперечной рамы в табличной форме

Содержание практикума. Изучение на тестовых примерах представления результатов статического расчета плоской поперечной рамы в табличной форме. Графическое представление исходной и деформированной расчетной схемы, а также эпюр усилий N, Q, M с использованием документатора. Представление расчетной модели в режиме 3D-графики. Представление результатов расчета с использование операции отчет. Знакомство с возможностями импортирования задач для расчетов в программном комплекс. Информация о выполнении расчета в протоколе расчета. <u>Данное занятия</u> 2.1 !

После удачного завершения расчета при выборе позиции <u>результатов</u> <u>расчета</u> открывается третье окно графической среды – <u>экран визуализации</u> <u>результатов расчета</u>.

Перечень и назначение кнопок меню операций (режим - результаты расчета) приведены в таблице 4.

Таблица 4

№ п/п	Кнопки	Наименование	Примечание
1	1 2	 1 - переход в окно документатора, 2 - копирование 	Экран документатора позволяет: - открывать листы для последующего размещения на них результатов расчета (<i>редактировать</i> ⇒ ввести новый лист);

Кнопки меню операций (режим - результаты расчета)

		для документатора,	 размещать на листе скопированную для документатора информацию (<i>редактировать</i> ⇒ <i>разместить копию</i>). Копию можно двигать по листу, уменьшать или увеличивать ее размеры; выполнять следующие действия: заполнять или убирать штамп; на листах размещать текст (<i>редактировать</i> ⇒ <i>текст</i>); сохранять и выводить на печать созданные в графическом редакторе листы.
2	B (8) 3 4 5	 - интерактивные таблицы, 2 - пояснительная записка, 3 - отчет 	Кроме интерактивных таблиц можно вызвать стандартные таблицы: <i>окно ⇒ стандартные таблицы ⇒</i> выбрать, например, <i>усилия</i> . Пояснительная записка формируется автоматически
3	∏ ∰ 1 2 ⊾ <u>⊀</u> 3 4	 исходная исходная и исходная и деформированная схемы, форма перемещений, - масштаб перемещений 	
4	†† ₽ û œ 1 2 3	 эпюры усилий с стержнях, изополя напряжений в пластинчатых элемента, эпюра по сечению пластинчатого элемента 	После обращения к кнопке, например, эпюры усилий в стержнях можно для расчетной схемы построить эпюры N, Q, M. Затем можно распечатать эпюры через документатор или использую стандартные программы Paint и Ножницы сформировать графические файлы

При выполнении компьютерного практикума в пояснительной записке необходимо представить:

• исходную и деформированную схему (таблица 4, поз.3). На исходной схеме через кнопку <u>флаги рисования</u> необходимо указать номера узлов и элементов расчетной схемы, что позволяет связывать графическое и табличное представление результатов расчета. На деформированной схеме привести количественные значения перемещений через позицию меню функций: <u>деформации</u> \Rightarrow <u>в глобальной системе</u> \Rightarrow <u>узловые перемещения</u> \Rightarrow <u>мозаика</u> <u>перемещений по оси Z (по оси X)</u>,

• исходную расчетную схему как пространственную модель (пример пространственном изображении расчетной схемы и вызов режима 3D-графики смотри рис.12). Следует отметить, что вращение пространственной модели плиты на поле экрана 3D графики осуществляется курсором-стрелкой, который можно двигать по экрану вне красной рамки управления, возникающей на экране. При этом, чем ближе располагается курсор к красной рамке, тем на меньший угол поворачивается расчетная модель. Приближение и удаление пространственной модели управляется вращением колесика мышки.



Рис.12. Расчетная схема рамы в режиме 3D-графики (вид ⇒ пространственная модель ⇒ опции ⇒ флаги рисования (показать сечение элементов))

• эпюры N, Q, M для исходной схемы (таблица 4, поз.4). С использованием флагов рисования (таблица 1, поз.6) на исходной схеме должна быть убрана нагрузка, номера узлов и элементов и установлен флаг рисования - значения на эпюрах (смотри рисунок 13)

Графическое представление результатов статического расчета поперечной рамы следует выполнить в режиме документатора: перейти в режим документатора, сформировать графические листы и вывести их на печать.

Для табличного представления результатов статического расчета в программном комплексе ЛИРА-САПР предусмотрены стандартные таблицы (смотри рисунок 14) и интерактивные таблицы.



Puc.13. Диалоговое окно кнопки меню операций флаги рисования (четвертая закладка, отметка позиции значения на эпюрах)

Стандартные табли	цы
⊚ TXT	 НТМL RPT Параметры таблиц
Протокол решен Перемещения Усилия	ния
Просмотр	

Рис.14. Диалоговое окно стандартные таблицы (окно ⇒ стандартные таблицы)

В диалоговом окне <u>стандартные таблицы</u> производится выбор нужной таблицы из списка сформированных (таблицы перемещений и усилий) Если перед генерацией стандартной таблицы на расчетной схеме отмечены какиелибо узлы и элементы, то в таблицу будет внесена информация только по ним. Перед просмотром таблицы устанавливается один из трех форматов вывода, обозначенные в диалоговом окне ТХТ, HTML, RPT/ По умолчанию таблицы формируются в текстовом формате. Также возможно изменять параметры таблиц. В список диалогового окна стандартные таблицы помещен протокол решения задачи.

При просмотре стандартных таблиц их можно сохранять и выводить на печать, а также редактировать (изменять шрифты и параметры страницы).

Другим видам таблиц программного комплекса ЛИРА-САПР. являются интерактивные таблицы (<u>окно</u> ⇒ <u>интерактивные таблицы</u>). Эти таблицы могут быть включены в <u>отчет</u> в том случае, если в режиме <u>интерактивные таблицы</u> была выполнена их пересылка в отчет.

Кнопка меню операций <u>отчет</u> (таблица 4, поз.3) будет доступна только при наличии в отчете таблицы (таблиц). В отчет может быть включена также пояснительная записка (таблица 4, поз. 3).

В диалоговом окно <u>отчета</u> можно: просматривать, корректировать, удалять таблицы списка, а также заполнять штамп на страницах отчета

Выполняемое задание: представить результаты статического расчета плоской поперечной рамы многоэтажного здания, выполненного в рамках практической работы №1. Графическое представление исходной и деформированной расчетной схемы, а также эпюр усилий N, Q, M выполнить с использованием документатора. Пространственную модель рамы вывести в режиме 3D-графики. Табличное представление результатов статического выполнить с использованием операции <u>отчет</u>.

Раздел 2. Реализация технологии компьютерного моделирования при построении несущих систем и конструкций зданий

Занятие 2.1. Моделирование плоских расчетных схем стенки, плиты,

рамы

Содержание практикума. Моделирование плоских расчетных схем стенки, плиты, рамы. Выполнение статического расчета плоской поперечной рамы многоэтажного здания. Последовательность и состав действий при формирования расчетной схемы. Генерация таблицы и расчет РСУ. Выполнение практического задания.

Моделирование (формирование) расчетной схемы, в том числе плоской, можно разделить на четыре этапа:

- задание геометрии расчетной схемы;
- закрепление опорных узлов;
- назначение жесткости элементам расчетной схемы;
- приложение нагрузок к узлам и элементам.

Для создания геометрии расчетной схемы можно воспользоваться регулярными фрагментами рамы, стенки, плиты (<u>создание</u> ⇒ <u>регулярные</u> <u>фрагменты и сети</u>).

На рисунке 4а показано заполнение диалогового окна при создании геометрии плоской расчетной схемы плиты с размерами 6 м × 3 м (признак 3). Для вызова диалогового окна можно воспользоваться кнопкой меню операций, представленной на рисунке 4б. На рисунке 4в 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 4г. 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.



Рис.4. Создание геометрии расчетной схемы:

а - диалоговое окно создание плоских фрагментов и сетей (первая закладки - генерация рамы, третья закладка - генерация стенки, четвертая закладка - генерация плиты),

б - кнопка генерация регулярных фрагментов и сетей,

в - геометрия расчетной схемы плиты

г - глобальные координатные оси.



Рис.5. К созданию геометрии расчетных схем: а - геометрия расчетной схемы стенки, б - глобальные координатные оси для ориентации расчетных схем, в - геометрия плоской

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

Формирование геометрии расчетной схемы стенки (признак 1) выполняется аналогично формированию расчетной схемы плиты. Но в отличие от плиты, которая располагается в плоскости ХОУ, стена располагается в плоскости ХОZ. Геометрия расчетной схемы стенки приведена на рисунке 5а.

Задание геометрии расчетной схемы плоской рамы (признак 2) отличается от создания плоских фрагментов плиты и стенки.

Например, при генерации многопролетной многоэтажной рамы, которая имеет шесть пролетов по шесть метров и восемь этажей, первый из которых имеет высоту 4,2 м, последующие - 3 м, задание геометрии расчетной схемы будет выглядеть следующим образом:

- по оси X задается пролет (L = 6 м) и количество пролетов (N = 6);

по оси Z задается высота первого этажа (L = 4,2 м), количество этажей (N = 1);

- по оси Z задается высота 2-го...8-го этажей (L = 3 м), количество этажей (N = 7).

Расчетная схема рамы приведена на рисунке 5в. Описание ее геометрии приведено в таблице 2.

Таблица 2

Шаг вдо	оль оси Х	Шаг вдоль оси Z				
Значение L, м	Количество N	Значение L, м	Количество N			
6	6	4.2	1			
		3	7			

Описание геометрии плоской рамы при ее генерации

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.4). 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.

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

Плоские фрагменты (рамы, стенки, плиты) создаются как блоки, которые включают в себя элементы и принадлежащие им узлы.

Из плоских фрагментов можно собрать объемную расчетную модель.

Сгенерированная расчетная схема плиты, стенки или рамы может существенно отличаться от планируемой. Для придания расчетной схеме нужной геометрии необходимо выполнить ее корректировку, которая может быть связана, например, с удалением элементов первоначально созданной расчетной схемы. Выделение (отметка) элементов или узлов расчетной схемы производится указанием на выделяемый элемент (элементы) или путем использования прямоугольной или полигональной рамки. Отметка будет невозможна без обращения к следующим позициям меню функций: <u>выбор</u> ⇒ <u>отметка узлов</u> (элементов и другое) или к кнопкам меню операций (смотри табл.1).

При необходимости можно разместить на экране не всю расчетную схему, а только ее часть: <u>вид</u> ⇒ <u>фрагментация</u> (инверсная фрагментация).

При первоначальной генерации рамы соединение элементов в узлах задается жестким. Для врезки шарниров необходимо выполнить следующие действия: выбрать (отметить) элемент, например, стержень-ригель плоской рамы; выбрать в меню функций <u>жесткости</u> ⇒ <u>шарниры</u>; затем в диалоговом окне <u>шарниры</u> для 1-го и 2-го узла отмеченного стержня-элемента убрать (снять) жесткость в направлении поворота вокруг оси Y (uy = 0), после чего в

узлах элемента моделируются шарниры и их можно видеть на расчетной схеме. Освобождение связей в направлениях X, Y, Z предполагает проскальзывания (ползуны), а не собственно шарниры.

В процессе формирования расчетной схемы может возникнуть необходимость в увеличении расчетной схемы на экране компьютера, а также в получении информации, что возможно с помощью кнопок: <u>увеличение</u>, <u>информация об узлах и элементах</u>, <u>информация о размерах</u>.

Перечень и назначение кнопок меню операций (режим - расчетная схема) приведены в таблице 1.

По умолчанию графическое представление расчетной схемы на экране компьютера имеет минимальные атрибуты. Их можно дополнить, задав в открывающемся диалоговом окне (<u>опции</u> \Rightarrow <u>флаги рисования</u>) вывод номеров узлов и (или) элементов, величины нагрузок и другое.

После формирования геометрии расчетной схемы необходимо выполнить закрепление опорных узлов схемы (<u>схема</u> \Rightarrow <u>связи</u>). В открывающемся диалоговом окне (смотри рис.6) 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.



Рис. 6. Диалоговое окно назначение связей

Закрепить узел шарнирно – это значить указать для этого узла связи, препятствующие его смещению вдоль координатных осей X, Y, Z. Если требуется жестко закрепить опорный узел, то дополнительно вводится запрет на поворот вокруг координатных осей UX, UY, UZ.

Например, для жесткого закрепления опорного узла плоской рамы необходимо указать – X, Z, UY; для шарнирного закрепления опорного узла плоской фермы - X, Z.

Следующим этапом формирования расчетной схемы является назначение жесткости элементам схемы. На рисунке 7 показано диалоговое окно, которое отрывается после обращения к следующим позициям меню функций: <u>жесткости</u> ⇒ жесткости и материалы.

В диалоговом окне на рисунке 7 список типов жесткости сформирован для стержневых элементов многоэтажной рамы - колонн и ригелей. Для описания жесткости стержневых элементов расчетной схемы указывается: <u>добавить</u> \Rightarrow первая закладка (<u>стандартные типы сечений</u>) \Rightarrow <u>брус</u> \Rightarrow параметры жесткости <u>-</u> <u>модуль</u> упругости Е; геометрические размеры сечения В, Н; плотность <u>железобетона R₀</u>. Для назначения жесткости элементам расчетной схемы их необходимо выделить. Затем назначить текущим, например, колонну из списка жесткости и присвоить выбранную жесткость соответствующим элементам расчетной схемы.

Для описания жесткости пластинчатых элементов расчетной схемы указывается: <u>добавить</u> \Rightarrow третья закладка (<u>пластинчатые</u>, <u>объемные</u>, <u>численные</u>) \Rightarrow <u>пластина</u> \Rightarrow <u>параметры жесткости - модуль упругости E; коэффициент</u> <u>Пуассона v; толщина пластины H; плотность железобетона R₀.</u>

Размеры поперечного сечения стержневых элементов расчетной схемы обозначаются в диалоговом окне <u>жесткости</u> В и Н. Причем ширина колонн и ригелей для плоской расчетной схемы считается по оси Y.

В таблицу П4 Приложения включены сведения, необходимые для задания размеров поперечного сечения конструктивных элементов расчетной схемы.



Рис.7. Назначение жесткости элементам расчетной схемы: а - диалоговое окно жесткости и материалы (материалы могут быть назначены позднее при подборе арматуры железобетонных конструкций), б - кнопка меню операций жесткости и материалы

После назначения класса бетона по прочности на сжатие для элементов расчетной схемы при задании жесткости указываются значение модуля упругости бетона E_b и коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона) v_{b,P}.

Значения начального модуля бетона E_b для тяжелого бетонов класса В15...В30 приведены в таблице П4 Приложения. Значение коэффициента поперечной деформации бетона принимается v_{b.P} = 0,2.

На начальных стадиях проектирования рекомендуется [5] корректировать значение начального модуля упругости бетона путем введения понижающих коэффициентов: для вертикальных несущих конструкций - 0,6; для плит

перекрытий (покрытий) при наличии трещин - 0,2 или при отсутствии трещин - 0,3.

На последующих стадиях расчета для определения модуля упругости бетона рекомендуется пользоваться диаграммами состояния материалов.

Объемный вес железобетона принимается 25 кН/м3. Объемный вес в диалоговом окне жесткости обозначается R₀.

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 полифильтр (см. рис. 8).

Приложение нагрузок завершает формирование расчетной схемы. Для приложения нагрузок необходимо выбрать следующие позиции меню функций: <u>нагрузки</u> ⇒ <u>нагрузки на узлы и элементы</u>. В отрывающемся диалоговом окне <u>задание нагрузок</u> указать вид и численное значение нагрузки (смотри рис. 9). Предварительно должен быть выделен узел (элемент), к которому прикладывается нагрузка. Направление нагрузки может быть вдоль осей X, Y, Z.

Фильтр для элементов
H 👭 🎢 🏄 📕 🕩
По номерам КЭ
По виду КЭ
· · · ·
По типу КЭ
· · · · ·
По жесткости
🗹 1. Брус 30 X 30 (колонна) 🛛 🔻
Пс 1. Брус 30 X 30 (колонна)
2. Тавр_L 30 X 45 (ригель)
OIIXOY O/ OIIY
🗆 😙 🗖 🗣 🗖 🕌
🔲 Угол согласов. 🔲 Оси ортотропии
🗌 Учитывать объекты СЭ
🛔 📈 🗸 Инверсно 🗙 ?

Рис.8. Выделение элементов расчетной схемы с использованием диалогового окна фильтр для элементов (после выбора из списка жесткости колонн они выделятся на расчетной схеме)

Расчеты железобетонных конструкций выполняются по двум группам предельных состояний. Расчеты по первой группе предельных состояний являются прочностными расчетами и ведутся по расчетным значениям усилий. Расчеты по второй группе предельных состояний включают в себя расчеты: по трещиностойкости, по ширине раскрытию трещин и по прогибу. Для расчетов по второй группе предельных состояний востребованными являются нормативные (полные и пониженные) значения нагрузок.

При выполнении компьютерных расчетов к узлам и элементам расчетной схемы прикладываются расчетные нагрузки, для которых затем с учетом заданных коэффициентов надежности по нагрузкам автоматически вычисляются нормативные значения (см. рис.9). Для автоматического вычисления пониженного значения временных нормативных нагрузок задаются доли длительности. На последнем этапе формирования расчетной схемы (приложение нагрузок к узлам и элементам) каждому загружению присваивается номер и имя. На рисунке 10а представлен фрагмент панели (меню) операций: смена номера загружения, на рисунке 10б - присвоение (удаление) имени активного загружения. Коэффициенты надежности по нагрузкам и доля длительности для каждого загружения указывается в таблице РСУ. Вызов таблицы РСУ: <u>нагрузки</u> \Rightarrow <u>РСУ</u> \Rightarrow <u>генерация</u> таблицы РСУ. После заполнения таблицы - <u>выполнить расчет РСУ</u>.



Рис.9. Приложение нагрузок к расчетной схеме:

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), г - глобальные координатные оси.

Положительное значение силы - действие против оси.

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



Рис.10. Присвоение номера и имени активному загружению: а - фрагмент панели (меню) операций: смена номера загружения, б - присвоение (удаление) имени активного загружения

Если все нагрузки на узлы и элементы расчетной схемы прикладываются в рамках одного загружения, то формирование расчетной схемы завершено. Теперь надо упаковать расчетную схему (см.таб.1) и выполнить расчет.

Выполняемое задание: выполнить статический расчет поперечной рамы многоэтажного здания. Описать последовательность и состав действий при формирования расчетной схемы. Выполнить генерацию таблицы и расчет РСУ Результаты расчета представить в табличной форме. Расчетную схема смотри на рисунке 11, исходные данные - в таблице 3.

Таблица З

N⁰	L	P 14	10	P_{d1} ,	$P_{\scriptscriptstyle d2}$,	$P_{t, \ cher}$,	Р _{t, врем} ,	W_{l} ,	W_2 ,	Дополнительные
п/п	<i>L</i> , <i>М</i>	D , <i>M</i>	n	кН/м²	кН/м²	кН/м²	кН/м²	кН/м²	кН/м²	сведения
1	5,7	6,8	1	7,25	5,1	0,8	2,4	1,1	1,3	
2	5,8	6,7	2	7,00	5,2	1,2	2,6	1,2	1,5	
3	5,9	6,6	3	6,75	5,3	1,8	2,8	1,3	1,8	
4	6,0	6,5	4	6,50	5,4	2,4	3,0	1,4	2,1	Класс бетона для
5	6,1	6,4	1	6,25	5,5	3,2	3,2	1,5	2,3	колонн В15, для
6	6,2	6,3	2	6,00	5,6	0,8	3,4	1,6	2,6	ригеля В25.
7	6,3	6,2	3	5,75	5,7	1,2	3,6	1,1	1,3	Арматура класса
8	6,4	6,1	4	5,50	5,8	1,8	3,8	1,2	1,5	A400
9	6,5	6,0	1	5,25	5,9	2,4	4,0	1,3	1,8	
10	6,6	5,9	2	5,00	6,0	3,2	4,2	1,4	2,1	
11	6,7	5,8	3	4,75	6,1	0,8	4,4	1,5	2,3	

Таблица исходных данных для выполнения практической работы №1





Рис.11. Расчетная схема для выполнения практической работы №1

Раздел 2. Реализация технологии компьютерного моделирования при построении несущих систем и конструкций зданий

Занятие 2.2. Изучение технологии построения объемных расчетных схем с использованием диалогового окна операции создание плоских фрагментов и сетей, операции объекты, заданные перемещением и вращением образующей, а также с использованием операций перемещения

и копирования

Содержание практикума. Изучение технологии построения объемных расчетных схем с использованием диалогового окна операции создание плоских фрагментов и сетей, операции объекты, заданные перемещением и

вращением образующей, а также с использованием операций перемещения и копирования. Выполнение практических заданий.

Построение плоских расчетных схем выполняется с использованием диалогового окна операции <u>создание плоских фрагментов и сетей</u>. Из плоских фрагментов в этом же диалоговом окне собирается объемная расчетная модель. Признак объемной расчетной схемы - 5.

В комментариях к рисунку 15 приводится последовательность построения расчетной модели чаши прямоугольно заглубленного в грунт бассейна. Расчетная схема составлена из плиты днища 6×12 м и стен 6×3 м, 12×3 м. Размеры конечных элементов 0,5×0,5 м.

Построить объемную расчетную модель можно также из плоских фрагментов, использую команды копирования и перемещения (<u>редактирование</u> ⇒ копировать (переместить) выбранные объекты) схожие по действию с аналогичными командами графических редакторов.



Рис.15. Последовательность построения объемной расчетной модели с использованием диалоговое окно создание плоских фрагментов и сетей:

- построение плиты днища;

- построение стены по оси X (координаты первого узла X = 0, Y = 0);

- построение стены параллельной оси X (координаты первого узла X = 0, Y = 6 м);

- построение стены по оси Y (координаты первого узла X = 0, Y = 0 с углом поворота относительно оси $Z = 90^{\circ}$);

- построение стены параллельной оси Y (координаты первого узла X = 12 м, Y = 0 с углом поворота относительно оси Z = 90°)

При построении объемных расчетных схем можно воспользоваться операцией <u>объекты</u>, <u>заданные перемещением или вращением образующей</u> (создание ⇒ объекты, заданные перемещением или вращением образующей).

Примером использования операции <u>объекты</u>, <u>заданные вращением</u> <u>образующей</u>, может служить расчетная модель плиты балкона. На рисунке 16 показан план плиты балкона. Плита опирается на стену и колонны.

Для создания геометрии плиты балкона с использованием опции <u>объект</u>, <u>созданный вращением образующей</u>, необходимо выполнить следующие операции:

– предварительно должна быть построена образующая AB – составной стержень (создание \Rightarrow регулярные фрагменты и сети, рама, шаг вдоль первой оси: L = 0,5 м, N = 10). Задание отрезка стержня AB длиной 0,5 м определяет один из размеров конечного элемента плиты. Второй размер задается в диалоговом окне (рис.17) и является одним из параметров (n) объекта, заданного вращением образующей AB (n = 12 - полуокружность разбивается на 12 частей). При назначении размеров конечных элементов плиты необходимо учитывать расположение опор (колонн) плиты. После выполнения построений геометрии плиты стержень AB остается выделенным. Он должен быть удален.

– образующая АБ будет вращаться вокруг оси, проходящей через точку А. Ось образующей перпендикулярна плоскости, в которой идет построение плиты. Для описания положения оси указываются координаты точки А - точки 1 (x1 = 0, y1 = 0, z1 = 0) и другой точки на оси вращения, например, расположенной выше на один метр - точка 2 (x2 = 0, y2 = 0, z2 = 1). Задается поворот образующей на fi = 180°, тип элементов – пластины, параметр hi при построении плиты не указывается (рис.17).

– после окончания построения плиты необходимо проверить направления местных осей элементов (<u>флаги рисования</u>⇒ <u>показать местные оси пластин</u>).
 Направление местной оси Z1 всех пластинчатых конечных элементов плиты должно совпадать с направлением глобальной оси Z. Если возникает

необходимость изменить направление Z1, то выбираются следующие позиции меню функций: <u>редактирование</u> \Rightarrow <u>местные оси пластин</u> и для отмеченных элементов плиты доступны команды <u>сонаправить</u> и <u>инверсно</u>.



Рис.16. Последовательность построения плиты балкона полукруглого очертания: построение образующей АБ (составного стержня), создание плиты вращением образующей



Рис.17. Диалоговое окно опции объект, созданный вращением образующей (перемещением образующей): а - для плиты балкона; б - для колонн; в - для стены

Примером использования операции <u>объекты</u>, <u>заданные перемещением</u> <u>образующей</u>, может служить построение стены и колонн моделируемой объемной расчетной схемы (рис.18).



Рис. 18. Объемная расчетная модель, построенная с использованием перемещением (вращением) образующей. Для плиты и стены образующей является составной стержень, для колонны - узел.

Выполняемое задание: в соответствии с заданными геометрическими размерами (таблица 5) построить объемную расчетную модель чаши бассейна, опертой на колонны, назначить размеры и материалы для элементов расчетной схемы, приложить нагрузку (гидростатическое давление воды на днище и стены чаши бассейна). Выполнить статический расчет и представить результаты статического расчета в графическом и табличном виде.

На рисунке 19 приведена схема для определения гидростатического давления воды на стены бассейна. Коэффициент надежности уf для этой нагрузки принимается равным 1.



Рис. 19. Нагрузка на стены и днище чаши бассейна $q_w = \gamma_w H_{cm} - гидростатическое давление воды; \gamma_w - объемный вес воды (10 кH/м³)$

Таблица 5

T C		U	~ \	^
	Ζ ΠΠΟ ΡΕΙΠΛΠΙΑΡΙΙΟ	Πηρντμμερνομ	nanotii N	407
Ι αυμήμα μελυμπρίλ μαππρί		HDARTHACCROM		122
- ··· · ···		r	F	

№ п/п	Разм	иеры чаши ба	ссейна	Характеристика опор-колонн		
	длина, м	ширина, м	высота, м			
1	6,0	4,0	3,0			
2	6,5	4,2	3,0			
3	7,0	4,4	3,0			
4	7,5	4,6	3,0			
5	8,0	4,8	3,0			
6	8,5	4,9	3,0	-		
7	9,0	5,0	3,0	Высота колонн принимается 2,2 м,		
8	9,5	5,2	3,0	расстояния центральнои оси		
9	10,0	5,4	2,5	колонны до края оассеина - 0,5 м,		
10	10,5	5,6	2,5	шаг колонн по длине оассеина - не более двух метров		
11	11,0	5,8	2,5	облее двух метров		
12	11,5	5,9	2,5			
13	12,0	6,0	2,5			
14	6,2	5,7	2,5			
15	6,4	5,1	2,5			
16	6,6	4,5	2,5			

Раздел 2. Реализация технологии компьютерного моделирования при построении несущих систем и конструкций зданий Занятие 2.3. Изучение технологии построения объемных расчетных схем с использованием диалогового окна операции создание плоских фрагментов и сетей, операции объекты, заданные перемещением и вращением образующей, а также с использованием операций перемещения

и копирования

Содержание практикума. Изучение технологии построения объемных расчетных схем с использованием диалогового окна операции создание плоских фрагментов и сетей, операции объекты, заданные перемещением и вращением образующей, а также с использованием операций перемещения и копирования.

Объемные расчетные схемы в программном комплексе ЛИРА-САПР можно построить путем генерации поверхностей вращения, использовать для построения объемных моделей поверхности, описываемые формулой z = f(x,y), а также команду <u>геодезический купол</u>.

Объемные расчетные схемы поверхностей вращения (цилиндр, конус, сфера, тор) можно построить в диалоговом окне, открываемого командой <u>создание</u> \Rightarrow <u>поверхности вращения</u>.

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 n1 = 6 и по окружности n2 = 24, угол раскрытия fi = 360°). Пространственная модель цилиндра представлена на рисунке 20а.

Для моделирования конуса задаются параметры конуса (малый радиус r = 0,5 м (для усеченного конуса), радиус основания R = 2 м, высота H = 3 м, количество элементов по высоте n1 = 6 и по окружности n2 = 24, угол раскрытия fi = 360°). Пространственная модель конуса представлена на рисунке 206.



Рис.20. Пространственные модели цилиндра (а), конуса (б)

При формировании расчетных схем используются операции с блоками (<u>редактирование</u> ⇒ <u>операции с блоками</u>). Следует отметить, что при построении плоской расчетной схемы с использованием диалогового окна <u>создание плоских фрагментов и сетей</u>, 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 <u>создать блок</u> из меню <u>редактирование</u>.

На рисунке 21 показано диалоговое окно <u>операции с блоками</u>. Окно содержит поле списка с номерами блоков в порядке их создания. Окно имеет две закладки: <u>блоки</u> и <u>пересечь</u>

С блоками можно произвести следующие действия (рис.21а):

• 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



Рис.21. Диалоговое окно операции с блоками b1, b2, b3, b4: а - закладка блоки, б - закладка пересечь

При выполнении команды <u>объединить</u> блоки можно установить флажок <u>Все отмеченное</u>, 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 <u>Сшивка</u>, то совпадающие узлы объединяемых блоков заменяются одним узлом (сшиваются).

Если установить флажок <u>Расшивка</u>, то узлы нового блока, совпадающие с узлами, не входящими в этот блок, дублируются (расшиваются).

Операция <u>пересечь блоки</u> (рис.21б) приведет к появлению новых блоков с новыми номерами в списке и согласование сети конечных элементов в местах пересечения блоков. Так пересечение блока b1 (плиты) и блока b2 (цилиндра) привело к появлению в плите пяти блоков b5-b9, а в левом поле списка обозначение блока b1 заменилось на <u>пиктограмму портфеля</u>. Портфель разворачивается двойным щелчком левой кнопки мыши. При этом в правом поле списка появляется перечень всех содержащихся в нем блоков. Для портфеля 1 - блоки b5-b9. Для портфеля 2 - блок b10.

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 b3-b10.

• установленный флажок Просмотр открывает окно визуализации отмеченного блока (в данном случае блоков портфеля 1).

• установленный флажок Масштаб регулирует масштаб отображения просматриваемого блока.

На рисунке 22 представлена объемная расчетная модель, построенная с использованием операций с блоками.

В программном комплексе ЛИРА-САПР можно моделировать пространственные рамы (см. рис 23). В диалоговом окне <u>пространственная</u> <u>рама</u> (создание → <u>пространственная</u> рама) можно в пространственной раме задать плиты перекрытия, если в диалоговом окне установлен флажок <u>создавать</u> <u>элементы пластин.</u>



Рис.22. Объемная расчетная модель, построенная с использованием операций с блоками



Рис. 23. Диалоговое окно моделирования пространственной рамы

Выполняемое задание: в соответствии с заданными геометрическими размерами (таблица 6) построить объемную расчетную модель резервуара,

разделенного перегородкой посередине на отсеки. Описать построение расчетной схемы.

Таблица б

	Размеры резервуара			Размеры резервуара		Толщины	
<u>у</u> № П/П	диаметр. м	высота, м	№ п/п	диаметр. м	высота, м	элементов резервуара	
1	8,0	4,2	11	8,0	3,6		
2	8,2	4,2	12	8,2	3,6		
3	8,4	4,2	13	8,4	3,6		
4	8,6	4,2	14	8,6	3,6	Стены -500 мм.	
5	9,0	4,2	15	9,0	3,6	Днище - 500 мм	
6	9,2	4,0	16	9,2	4,6	Перегородка -	
7	9,4	4,0	17	9,4	4,6	300 мм	
8	9,6	4,0	18	9,6	4,6		
9	9,8	4,0	19	9,8	4,6		
10	10,0	4,0	20	10,0	4,6		

Таблица исходных данных для выполнения практической работы №3

Раздел 3. Подготовка исходных данных для выполнения компьютерных расчетов. Представление результатов Занятие 3.1. Определение нагрузок для нагружения монолитного многоэтажного здания и сборного одноэтажного здания

Содержание практикума. Определение нагрузок для нагружения монолитного многоэтажного здания и сборного одноэтажного здания. Постоянные нагрузки: собственный вес несущих конструкций, вес частей зданий, боковое давление грунта. Временные нагрузки: на покрытие и перекрытия, снеговая, ветровая (статическая и динамическая составляющие). крановые. Формирование таблицы редактора загружений Выполнение практических заданий по расчеты многоэтажного и одноэтажного здания по усилиям, по РСУ и РСН. Процесс задания нагрузок аналогичен описанному ранее в практикуме «Моделирование плоских расчетных схем стенки, плиты, рамы». В качестве постоянных нагрузок учитываются собственный вес несущих конструкций, вес частей зданий, боковое давление грунта; в качестве временных: полезная на покрытие и перекрытия, снеговая, ветровая (статическая и динамическая составляющие). Метод вычисления собственного веса конструкций и определения полезной и снеговой нагрузки подробно разобраны на лекционных занятиях. Ниже представлены правила определения снеговой нагрузки.

В соответствии с указаниями, приведенными в [3], нормативное значение ветровой нагрузки w определяется как сумма средней w_m и пульсирующей w_p составляющих $w = w_m + w_p$.

В свою очередь нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$W_m = W_0 \times K_{Z_p} \times C$$

Нормативное значение ветрового давления для Москвы (І-й ветровой район) составляет $w_0 = 0,23$ кН/м². Аэродинамические коэффициенты – c = 0,8 с наветренной стороны, c = -0,5 с подветренной стороны.

В таблице 7 приведены значения коэффициента k_{ze} для высоты 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80 м. На рисунке 24а показаны результаты графического определения значений коэффициента k_{ze} на уровне перекрытий здания. Эквивалентная высота z_e определяется нормами в зависимости от соотношения размеров здания.

Таблица 7

Значения коэффициента k, учитывающего изменение ветрового давления по высоте здания z_e для типа местности В

Ze, M	0	5	10	20	40	60	80
k _{Ze}	0,5	0,5	0,65	0,85	1,1	1,3	1,45

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки для сооружений, у которых первая частота свободных колебаний f_i больше предельных значений частоты собственных колебаний f_i определяется по формуле:

$$W_p = W_m \times \zeta_{Ze} \times V$$

Если первая, вторая собственная частота и предельное значение частоты связаны зависимостью $f_1 < f_2 < f_2$, то по формуле:

$$W_p = W_m \times \zeta_{Ze} \times \xi \times \nu.$$

Пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать при расчете многоэтажных зданий высотой до 40 м и одноэтажных производственных зданий высотой до 36 м при отношении высоты к пролету менее 1,5. При этом здания должны быть размещены в местности типа A и B.

Нормативное значение ветровой нагрузки с учетом пульсационной составляющей определяется по формуле:

 $W = W_0 \times k_{Ze} \times C \times (1 + \varsigma_{Ze} \times \nu)$ ИЛИ $W = W_0 \times k_{Ze} \times C \times (1 + \varsigma_{Ze} \times \xi \times \nu)$

Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления v определяется для расчетной поверхности сооружения или отдельной конструкции, для которой учитывается корреляция пульсаций. Если расчетная поверхность сооружения близка к прямоугольной и лежит в плоскости ZOY, ZOX, XOY(смотри рис.25), то параметры р, х для табличного определения коэффициента пространственной корреляции v принимают следующие значения:

- плоскость ZOY - $\rho = b, \chi = h;$

- плоскость ZOX - $\rho = 0,4a, \chi = h;$

- плоскость XOY - $\rho = b, \chi = a.$

Расчетная поверхность включает в себя те части наветренных и подветренных поверхностей, боковых стен, кровли и подобных конструкций, с которых давление ветра передается на рассчитываемый элемент сооружения.
В таблице 8 приведены значения коэффициента пульсации давления ветра ζ_{z_e} для высоты 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80 м. На рисунке 246 приведены результаты графического определения значений коэффициента ζ_{z_e} на уровне перекрытий здания.

Таблица 8

Значение коэффициента пульсаций давления ветра ζ по высоте здания (z_e) для типа местности В (городские территории и другие местности с

равномерными препятствиями H > 10м)

Ze, M	0	5	10	20	40	60	80
ζ _{Ze}	1,22	1,22	1,06	0,92	0,80	0,74	0,70

Коэффициент динамичности ξ определяется в [3] графически с зависимости от параметра логарифмического декремента колебаний δ (для железобетонных конструкций δ = 0,3) и параметра ε₁.

Параметр определяется по формуле:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{W_0 \times k_{(\mathfrak{s}\kappa)} \times \gamma_f}}{940 \times f_1}$$

где $\gamma_f = 1,4$ -коэффициент надежности по ветровой нагрузке,

 $k_{(s\kappa)}$ - коэффициент, учитывающий изменение давления ветра по высоте здания (при расчете зданий и сооружений). $k_{(s\kappa)}$ определяется для высоты Z равном 0,7 высоты здания; при расчете конструктивных элементов здания высота Z соответствует высоте расположения рассчитываемого элемента.

*f*₁- 1-я собственная частота.

Предельное табличное значение частоты собственных колебаний f_i (Гц) для железобетонных сооружений при логарифмической декременте колебаний $\delta = 0,3$ для І-го ветрового района составляет 0,95.



Рис.24. Графическое определение коэффициентов kze и вычисленные расчетные значения средней составляющей ветровой нагрузки wm в уровне перекрытий здания (а) и коэффициентов ζ_{ze} и вычисленные расчетные значения пульсационной составляющей ветровой нагрузки wp в уровне перекрытий здания (размеры приведены в см)



Рис.25. Основная система координат при определении коэффициента корреляции v

При проведении компьютерного расчета здания последовательно прикладываются сначала вертикальные нагружения (для простоты примера рассмотрено три нагружения):

• нагружение №1 - собственный вес поперечной диафрагмы;

• нагружение №2 - постоянная от перекрытий, вес конструкций и частей (пол, кровля и другое) здания;

нагружение №3 - временная нагрузка от перекрытий;

Затем должна быть приложена горизонтальная ветровая нагрузка. Может иметь место два варианта:

1-й вариант

Если пульсационную составляющую ветровой нагрузки при проведении расчета допускается не учитывать, то прикладывается:

• нагружение №4 - средняя (статическая) ветровая нагрузка w_m (см. рис 24а). При составлении таблицы РСУ нагружение №4 объявляется кратковременным с нулевой долей длительности.

2-й вариант

Если пульсационную составляющую ветровой нагрузки необходимо учитывать, то прикладываются:

• нагружение №4 - средняя (статическая) ветровая нагрузка w_m (см.рис 24а). При составлении таблицы РСУ нагружение №4 объявляется <u>статическим</u> <u>ветровым для пульсации</u>.;

• нагружение№5 является собственно пульсационным. Это нагружение вызывает квазистатическую реакцию здания, которая зависит от турбулентной структуры ветрового потока и корреляции давления по поверхности, с которой давление ветра передается на конструктивные элементы здания, а также динамическую реакцию здания, обусловленную действием вещественных инерционных сил. Мнимые (квази) инерционные силы учитываются при определении перемещений узлов и напряжений в элементах расчетной схемы.

При составлении таблицы РСУ нагружение №5 указывается как <u>мгновенное</u>.

Сначала для нагружения №5 должны быть собраны массы из вертикальных статических нагружений №1, №2 и №3, для чего вызывается диалоговое окно: <u>нагрузки \Rightarrow динамика \Rightarrow учет статических нагружений (см. рис.26).</u> В диалогом окне формирования динамических нагружений из статических указывается номер динамического нагружение (№5) и последовательно с использованием кнопки <u>добавить</u> перечисляются вертикальные статические нагружения (№1 - №3). При этом для нагружения №1 необходимо указать код 2, так как собственный вес диафрагмы вычислялся в программе (<u>нагрузки</u> \Rightarrow <u>добавить</u> собственный вес) после описания жесткости пластинчатых элементов диафрагмы. Для других нагружений указывается код 1.

Затем для нагружения №5 составляется таблица динамических нагружений (<u>нагрузки</u> \Rightarrow <u>динамика</u> \Rightarrow <u>таблица</u> <u>динамических</u> <u>нагружений</u>). На рисунке 27 приведены диалоговые окна формируемой таблицы динамических нагружений. В диалоговом окне указываются номер динамического нагружения - №5; наименование динамического воздействия - пульсационное; номер соответствующего статического нагружения - 4.

иирование ди	намических	загружени	й из стат 🤇
Сформироват	ъ матрицу ма	сс на основ	ании:
🧿 - загружені	ия (код 1)		
🔘 - плотности	і элементов (і	код 2)	
N≗дин	№ динамического загружения 5		
№ соот	ветствующег	0	3
статиче	еского загруж	сения	
Kooop.r	преобразован	ия	<u> </u>
одная таблица	a:		
№ дин. з	№ стат	Козфф.	Код
5		1	2
5	2	1	1
Добавить	удал	ить	Ізменить
	Γ	✓ X	?

Рис.26. Диалоговое окно формирования динамического нагружения №5 из вертикальных статических нагружений №1, №2, №3

После объявления нагружения №5 <u>пульсационным</u> и обращения к кнопке <u>параметры</u> в открывающемся диалоговом окне задаются исходные данные для

определения расчетного значения пульсационной составляющей ветровой нагрузки *w_p* (см. рис.27).

Вычисленные расчетные значения пульсационной составляющей ветровой нагрузки *w_p* приведены на рис.24б

При назначении количества учитываемых форм колебаний принимается во внимание, что нормами регламентируется предельное табличное значение собственных колебаний $f_i = 0.95$ Гц (железобетонные сооружения при логарифмическом декременте колебаний $\delta = 0.3$ для І-го ветрового района). По [10] предельное табличное значение частоты собственных колебаний трактуется как предел, при котором реакцией здания на частоты выше предельного табличного значения можно пренебречь, поэтому при проведении компьютерных расчетов учитываются только те формы колебаний, частота которых на превышает $f_i = 0.95$ Гц и количество учитываемых пульсационных составляющих вычисляется автоматически.



Рис.27. Диалоговые окна таблицы динамического нагружения №5

После проведения расчета здания на пульсационное ветровое воздействие в диалоговом окне <u>стандартные</u> таблицы становиться доступной информация о периоде, частоте и форме колебания для каждого тона. Результатами расчета

являются также инерционные силы и соответствующие им перемещения узлов и напряжения в элементах.

цартные таблицы			Σ
TXT			RPT
	Параметрі	ы таблиц	
Эсилия РСУ расчетны РСУ нормати РСУ нормати РСУ нормати Периоды коле Инерционные Распределен	ые ые (длительноде) вные вные (длительно ебаний баний э силы ие весов масс	йствующие) действующие)
	111		
•			

Рис.28. Диалоговое окно стандартные таблицы с перечнем состава информации по результатам расчета здания на ветровое воздействие с учетом пульсации

В соответствии с [10] при оценке комфортности пребывания людей в здании (динамическая комфортность) максимальное ускорение этажа здания не должно превышать величины $a_{c,max} = 0,08 \text{ м/c}^2$. При этом расчетные значения ветровой нагрузки w_c принимаются равными w_c = 0,7 w_p.

Помимо вышеописанных нагрузок необходимо учитывать несущую способность и деформации основания. Фундамент передает нагрузку от здания на грунтовое основание. При проведении расчета фундаментов необходимо обеспечить условие: среднее давление по подошве проектируемого фундамента не должно превышать расчетного сопротивления основания R. В соответствии с нормами [11] расчетное сопротивление грунта основания может быть вычислено технического заключения об на основании инженерногеологических условиях участка строительства, а также для начальных этапов расчета допускается использования табличного (справочного) значения расчетного сопротивления основания R₀ (смотри табл.9,10).

Сопротивление грунтового основания вертикальным перемещениям характеризуется коэффициентом постели С1, а сдвигу - коэффициентом постели С2. В отличие от коэффициента постели С2, коэффициент постели С1 должен быть задан обязательно.

При выполнении компьютерного расчета, например фундаментной плиты, необходимо задать параметры жесткости для пластинчатых элементов плиты и коэффициенты жесткости (коэффициенты постели) для грунтового основания.

Значение коэффициента C1 зависит от упругих свойств грунта основания; среднего давления под подошвой фундамента p (кH/м²); размеров l,b подошвы фундамента ($F = l \times b$) и других. Используя значения коэффициента C₀, приведенного в таблице 11, приняв $\Delta_1 = 1$, можно вычислить коэффициент C1 по формуле Савинова O.A.[16]:

$$C1 = C_0 \left[1 + \frac{2(l+b)}{\Delta_1 F} \right] \sqrt{\frac{p}{p_0}}$$

Коэффициент постели C1 также можно вычислить, определив среднее давление под подошвой фундамента p (кH/м²) и вычислив с учетом физикомеханических свойств грунта осадку основания S (м²). Осадка основания определяется в соответствии с рекомендациями, приведенными в [17,18]. Коэффициент постели C1=p/S (кH/м³).

Таблица 9

	Значения R_0 (МПа) в зависимости от		
Пески	плотности сложения песков		
	плотные	средней плотности	
Крупные	0,60	0,50	
Средней крупности	0,50	0,40	

Расчетные сопротивления R₀ песчаных грунтов

Мелкие:		
маловлажные	0,40	0,30
влажные и насыщенные водой	0,30	0,20
Пылеватые:		
маловлажные	0,30	0,25
влажные	0,20	0,15
насыщенные водой	0,15	0,10

Таблица 10

Расчетные сопротивления R₀ пылевато-глинистых грунтов

Пылевато-	Коэффициент	Значение R ₀ (МПа) при показателе		
глинистые	пористости е	текучести грунта		
грунты	1	$I_L = 0$	$I_L = 1$	
Супеси	0,5	0,30	0,30	
-)	0,7	0,25	0,20	
	0,5	0,30	0,25	
Суглинки	0,7	0,25	0,18	
	1,0	0,20	0,10	
	0,5	0,60	0,40	
Глини	0,6	0,50	0,30	
1 ЛИНЫ	0,8	0,30	0,20	
	1,1	0,25	0,10	

Таблица 11

Значение коэффициента жесткости упругого основания при удельном

давлении $p_0 = 20 \ \kappa H/m^2$

Наименование грунта	С ₀ , кН/м ³
---------------------	------------------------------------

Пески:	
пылеватые, очень влажные и насыщенные	8000-10000
водой;	
мелкие, независимо от плотности и влажности;	10000-12000
средней крупности, крупные и гравелистые,	12000-1600
независимо от плотности и влажности.	12000 1000
Глины, суглинки и супеси:	
находящиеся в пластическом состоянии,	
близком к границе текучести;	5000-10000
пластичные;	10000-20000
твердые.	20000-30000

Коэффициенты постели C1, C2 могут вычисляться в программе автоматически (<u>жесткости</u> ⇒ <u>вычисление коэффициентов C1 и C2</u>), для чего в открывающиеся диалоговые окна необходимые внести данные.

В диалоговом окне <u>конструктивное решение</u> необходимо указать вертикальную нагрузку Р (кН); глубину заложения, форму и размеры фундамента; удельный вес грунта выше подошвы; соотношение напряжений для ограничения сжимаемой толщи (0,2), а также выбрать <u>схему расчета</u> для вычисления коэффициентов постели С1 и С2.

При этом коэффициенты C1 и C2 вычисляются для точки в центре площади загружения F, в предположении действия равномерно распределенной нагрузки p = P / F (кH/м²) и одинаковых грунтовых условий под подошвой плиты.

В диалоговом окне <u>геология</u> необходимо назначить количество слоев; для каждого слоя указать толщину, модуль деформации, коэффициент Пуассона и удельный вес грунта; сделать отметку о виде грунта (глинистые или песчаные) и указать является ли описываемый слой водонасыщенным (водоупорным). Удельный вес грунтов, залегающий ниже уровня подземных вод, но выше

водоупора, при проведении расчета принимается с учетом взвешивающего действия воды.

Таблица 12 содержит данные для диалогового окна <u>геология</u> характеристики грунта, залегающие непосредственно под подошвой фундамента.

Таблица 12

Толщин а слоя, м	Наименование грунта	Удельный вес ү, кН/м ³	Модуль деформаци и Е, МПа	Коэффи циент Пуассо на v
2,1	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

Характеристики слоев грунта под подошвой фундамента

При этом суммарная толщина слоев должна согласовываться с толщиной линейно-деформируемого слоя H, для нижней границы которого выполняется условие: $\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}$ (σ_{zp} - дополнительное вертикальное напряжение на глубине H, σ_{zg} - вертикальное напряжение от собственного веса грунта).

Толщина слоев при ширине фундамента *b* более 10 м и среднем значении модуля деформации грунта более 10 МПа вычисляется по формуле:

- для оснований, сложенных песчаными грунтами - $H_n = (6 + 0, 1b) \times k_p$,

- для оснований, сложенных пылевато-глинистыми грунтами - $H_e = (9 + 0.15b) \times k_p$,

- для комбинированных оснований $H = H_n + H_c / 3$.

Коэффициент k_p равен 0,8 при среднем давлении под подошвой фундамента 0,1МПа и 1,2 - при среднем давлении под подошвой фундамента 0,5 МПа. При промежуточных значениях - по интерполяции.

Глубина сжимаемой толщи *H* в программе вычисляется автоматически. Если *H* > суммарной толщины слоев, то не все слои будут востребованы для вычисления осадки основания. В противном случае программа затребует ввода дополнительных сведений о грунтах сжимаемой толщи.

После внесения данных в диалоговые окна <u>конструктивное</u> <u>решение</u> и <u>геология</u> необходимо выполнить следующие действия: <u>Вычислить</u> значения коэффициентов C1 и C2 (не покидая диалогового окна указать на результаты расчета с использованием одного из трех методов) \Rightarrow <u>Применить</u> \Rightarrow назначить коэффициенты C1 и C2 для выделенных элементов фундаментной плиты.

После выполнения расчета фундаментной плиты (<u>режим</u> ⇒<u>выполнить</u> <u>расчет</u>) и перехода в окно результатов расчета (<u>режим</u> ⇒ <u>результаты</u> <u>расчета</u>) можно познакомится с изополями напряжений M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y, R_z.

Фундаментная плита может рассчитываться в составе объемной расчетной модели здания. При расчете фундаментной плиты отдельно для более реальной имитации жесткости здания желательно кроме фундаментной плиты включать в расчетную схему два-три этажа здания.

Уточнения напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты можно добиться, уточняя размеры площадок передачи нагрузок от вертикальных несущих конструкций на фундаментную плиту. При определении размеров площадок рассматриваются площадки на срединном по высоте фундаментной плиты уровне с учетом того, что нагрузка от вертикальных несущих конструкций распространяется под углом 45° (см. рис. 29). Так площадка под колонну 500×500 мм будет иметь размеры 1200×1200 мм.



Рис.29. К определению площадок передачи вертикальных нагрузок на фундаментную плиту

Наложение связей для фундаментной плиты имеет свои особенности. В ряде случаев функцию связи успешно выполняет упругое основания, в других - требуется дополнительное закрепление улов расчетной схемы фундаментной плиты, например так, как это показано на рисунке 30. Однако наложение связей такого рода приводит к возникновению дополнительных усилий в местах закрепления плиты, поэтому другим способом наложения связей является добавление в каждый узел плиты одноузлового конечного элемента КЭ51, который позволяет моделировать упругую связь по направлению одной из глобальных или локальных осей координат узла. Так, для степеней свободы X, Y, Z конечный элемент К51 позволяет моделировать работу пружины (упругого основания). Усилие, полученное в таком элементе, является реакцией в узле по заданному направлению. Одноузловой конечный элемент КЭ56 объединяет в себе шесть КЭ типа 51.



Рис.30. Пример закрепления узлов угловых элементов расчетной схемы фундаментной плиты Для наложения связей с использованием одноузловых конечных элементов КЭ51 необходимо выполнить следующие действия:

• после выделения всех узлов расчетной схемы фундаментной плиты создать ⇒ добавить элемент ⇒ добавить КЭ51 (четвертая закладка);

после выделения всех элементов КЭ51 <u>жесткости</u> ⇒ <u>жесткости и</u>
 <u>материалы</u> ⇒ <u>добавить</u> (третья закладка) ⇒ <u>выбрать КЭ51</u> (R=1 кH/м - первоначально задается, после расчета уточняется; направление связи - Y).



Рис.31 Пример закрепления узлов расчетной схемы фундаментной плиты путем установки одноузловых конечных элементов КЭ51 по полю фундаментной плиты Затем снова добавить в узлы расчетной схемы одноузловые конечные элементы КЭ51, но с направлением связей Х.

На рисунке 31 показана установка КЭ51 в узлы по полю фундаментной плиты.

Раздел 3. Подготовка исходных данных для выполнения компьютерных расчетов. Представление результатов

Занятие 3.2. Выполнение практических заданий по формированию сечений произвольного профиля для железобетонных конструкций

Содержание практикума. Выполнение практических заланий ПО формированию сечений произвольного профиля для железобетонных конструкций. Вычисление геометрических характеристик сечений произвольного профиля., определение распределения напряжений по сечениям при их нагружении.

Формирование железобетонных сечений произвольного профиля, определение геометрических характеристик, нагружение и расчет сечений с

визуализаций распределения напряжений можно производить в программе КС-САПР (конструктор сечений) программного комплекса ЛИРА-САПР.

Переход в программу КС-САПР возможен из окна режима расчетная схема выполняется следующим образом: <u>жесткости</u> ⇒ <u>конструктор сечений</u>.

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

Созданный в программе КС-САПР файл хранится в папке LData программного комплекса ЛИРА-САПР. Затем для элементов расчетной схемы, формируемой В режиме расчетная схема, можно задать жесткость нестандартных сечений следующим образом: жесткости элементов ⇒ добавить ⇒ нестандартные сечения ⇒ указать на созданный файл из папки LData, установить его в как качестве текущего, назначить сформированное нестандартное сечение для выделенного элемента расчетной схемы.

Перед началом работы в программе КС-САПР необходимо установить:

• единицы измерения (<u>сервис</u> ⇒ <u>единицы измерения</u> ⇒ <u>исходные данные</u> (размеры сечения - см (м); нагрузки и параметры материалов - кH, м) ⇒ <u>результаты расчета</u> (напряжения и усилия - кH, м));

• масштаб изображения (<u>сервис</u> \Rightarrow <u>настройка</u> \Rightarrow <u>единицы</u> - см (м).

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

Кнопки <u>меню операций</u> скомпонованы в три инструментальные панели: <u>главная, редактирование, результаты</u>.

Кнопки главной инструментальной панели (таб.13) интуитивно понятны.

Таблица 13

№ п/п	Кнопки панели	Наименование	Примечание	

Главная панель

1	1?	Показать таблицу результатов расчета геометрических характеристик сечений	Например, площади, моменты инерции, положение центров тяжести и другие
2		Показать (убрать) триангуляцию сечений	
3		Показать (убрать) главные оси, эллипс инерции и ядро сечений	

С инструментальной помощью кнопки сетка на панели можно программы убрать/показать сетку окна КС-САПР. Можно также сгущать/разреживать шаг сетки по горизонтали и вертикали с использование клавиш +/- на дополнительном цифровом блоке клавиатуре. О текущем шаге сетки можно судить по делениям линейки.

Перечень и назначение кнопок панели инструментов редактирования приведены в таблице 14.

Таблица 14

Панели инструментов редактирования

№ п/п	Кнопки панели	Наименование
1	Диалоговое окно Диалоговое окно 1 2 3 4 1 2 3 4 5 6 7 8	База железобетонных сечений: 1 - брус, 2 - тавр, 3 - тавр (перевернутый), 4 - двутавр, 5 - швеллер, 6 - коробка, 7 - кольцо, 8 - балка. Создание элементов формируемого сечения
2		1 - прямоугольник, 2 - эллипс, 3 – полигон
3		выделить изображение (изображения)

4	Работа с элементами формируемого сечения: 1 - пересечение, 2 - разность, 3 - объединение, 4 – исключение
5	Работа с выделенным элементами: 1 - отразить, 2 – повернуть
6	Выделение и преобразование: 1 - контур, 2 - преобразование в полигон
7	 установочный репер, придвинуть полигоны

После моделирования нестандартного сечения переходят к расчету геометрических (жесткостных) характеристик сечения, а после нагружения - к определению изополей напряжений и эпюр по сечениям. Перечень и назначение кнопок панели инструментов приведены в таблице 15.

Таблица 15

№ п/п	Кнопки панели	Назначение	Примечание
1		Показать таблицу результатов расчета геометрических характеристик сечений	Например, площади, моменты инерции, положение центров тяжести и другие
2		Показать (убрать) триангуляцию сечений	
3	ZY	Показать (убрать) главные оси, эллипс инерции и ядро сечений	
4	σ_x , τ_{xy} , τ_{xz} , σ_1 , σ_2 , σ_{sc} , σ_0	Визуализация изополей нормальных σ _x , касательных τ _{xy} , τ _{xz} , главных напряжений σ ₁ , σ ₂ , напряжений по теории прочности σ _{sc} , а также	Для определения напряжений оов точке она указывается на изополях

Панель инструментов представления результатов



Демонстрация возможностей программы КС-САПР при формировании нестандартного сечения и расчете его геометрических характеристик, а также напряжений приведена на двух примерах.

Пример 1. Рассмотрено формирование и определение геометрических характеристик поперечного сечения многопустотной железобетонной плиты. Поперечное сечение плиты представлено на рисунке 32а. Для удобства формирования геометрии поперечного сечения многопустотной железобетонной плиты оно предварительно разбивается на блоки (см. рис.326).

Последовательность построения блока 1 следующая (см. рис. 32в):

• с помощью кнопок <u>прямоугольник и эллипс</u> + 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 <u>свойства</u>, в диалоговом окне зададим уточненные размеры фигур и координаты центра обоих 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 - 0,035х0,22 м;

• выделяем прямоугольник и преобразуем его в полигон.

Для компоновки поперечного сечения плиты используются следующие кнопки редактора сечений: <u>установочный репер</u>, <u>объединение</u>, <u>контур</u>.

Последовательность компоновки поперечного сечения из блоков следующая:

• с помощью кнопок копировать и вставить тиражируем блоки 1 и 2;

• после выделения двух блоков, предназначенных для объединения, вызываем <u>установочный репер</u>, указываем на стыкуемые узлы (см. рис. 32г) и в диалоговом окне установочного репера задаем проекции на координатные оси у 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. 32a и 32д). 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 <u>свойства</u>; а в диалоговом окне зададим новые координаты узла, изменив их по отношению к текущим.

Для удобства работы при построении поперечного сечения плиты можно воспользоваться кнопками меню операций, позволяющими <u>увеличивать</u> <u>изображения</u> и <u>возвращаться к исходному изображению, просматривать</u> <u>отдельные части увеличенного изображения, выделять изображение</u>.



Рис.32. К определению геометрических характеристик сечения: а) – поперечное сечение многопустотной плиты; б) – разбиение сечения на блоки; в)...д) – последовательность выполнения построений при формировании сечения.

Пример 2. Рассмотрены формирование, определение геометрических характеристик И распределение напряжений В поперечном сечении железобетонных опор трубопровод. Поперечное под сечение опоры представлено на рисунке 33.

Последовательность формирования сечения следующая:

• с помощью кнопок <u>прямоугольник и эллипс</u> + Shift рисуем на поле, соответственно прямоугольник и круг, ориентируясь на размеры прямоугольника 1,28х0,65 м и круга радиусом R = 0,54 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 <u>свойства</u>, в диалоговом окне зададим уточненные размеры фигур и координаты центра обоих фигур: y = 0, z = 0);

• затем смещаем вверх центр круга у = 0,404 м

• объединяем прямоугольник и круг, используя кнопку <u>разность</u> (предварительно выделяем фигуры).

После того, как сформировано поперечное сечение, можно приступать к расчету его геометрических характеристик.

Последовательность выполнения расчета геометрических характеристик (класс бетона В30, начальный модуль упругости бетона E_b = 32500 МПа) :

• выбираем в меню функций расчет, в открывающемся диалоговом окне необходимо задать: модуль упругости бетона E_b в соответствии с классом бетона по прочности на сжатие (учет неупругих свойств бетона - через введение коэффициентов к = 0,6 для сжатых элементов, к = 0,2...0,3 для изгибаемых элементов); коэффициент Пуассона $v_{b,P} = 0,2$ (для бетонов всех классов); плотность материала (для железобетона - 25 кH/м3);

• уточняем размеры фигур и размещаем центры фигур в начало координат (щелкаем правой кнопкой мыши на построенной фигуре, выберем в открывающемся меню пункт <u>свойства</u>, в диалоговом окне зададим уточненные размеры фигур и координаты центра обоих фигур: y = 0, z = 0).



Рис.33. Размеры сечения опоры



Рис.34. Изополя касательных и главных напряжений сечения опоры: а) - $\tau_{xy} = -3,7 M\Pi a, 6$) - $\tau_{xz} = \pm 2,8 M\Pi a, 6$) - $\sigma_1 = +3,7M\Pi a, c$) - $\sigma_3 = -3,7M\Pi a$ при приложении по оси Y нагрузки 378,3 кH, по оси Z нагрузки 123,3 кH

Выполняемое задание: в соответствии с конструктивными размерами многопустотной плиты перекрытия в плане (таблица 16) выполнить компоновку поперечное сечение плиты При выполнении компоновки плиты перекрытия, например, для ширины плиты B_{nn} . = 1,7 м. Ширина плиты понизу для свободной укладки плит при монтаже составляет 1700 - 10 = 1690 мм, поверху – 1690 - 30 = 1660 мм. Стандартными для многопустотных плит является высота поперечного сечения 220 мм, диаметр круглых пустот 159 мм и расстояние между центрами круглых пустот 185 мм. Кроме того, от центра крайних пустот до края плиты понизу должно быть не менее 132,5мм.

Количество пустот n = ([1690 - 2 * 132,5]/185) + 1 = 7,7 + 1 = 8,7 - принимается 8-м пустот. Пересчитывается расстояние от центра крайних пустот до края плиты понизу [1690 – (n – 1) * 185]/2 = 197,5 (вместо 132,5 мм).

Определить геометрические характеристики сечения. Описать построение нестандартного сечения и привести результаты расчета.

Таблица 16

№ варианта	Размеры плиты в плане $L_{\text{плиты}} \times B_{\text{плиты}}$, мм	
1	6500×800	
2	6400×900	
3	6300×1000	
4	6200×1100	
5	6100×1200	
6	6000×1300	
7	5900×1400	
8	5800×1500	
9	5700×1600	
10	5600×1700	
11	6000×1800	
12	6200×1900	

Таблица исходных данных для выполнения практической работы №4

Раздел 4. Конструктивные системы, несущие элементы и расчетные

схемы зданий

Занятие 4.1. Выполнение практического задания: по построению расчетной схемы монолитного многоэтажного здания колонной

конструктивной системы

Содержание практикума. Выполнение практического задания: по построению расчетной схемы монолитного многоэтажного здания колонной конструктивной системы, с выбором конструктивных параметров несущих элементов расчетной схемы; определением нагрузок и их приложением к узлам и элементах расчетной схемы; вычислением коэффициентов постели по заданной геологии; выполнением расчетов по усилиям, РСУ и РСН; анализом результатов расчета. Графическое представление исходной и деформированной расчетной схемы, а также эпюр усилий N, Q, M с использованием документатора. Представление расчета с использование операции отчет для выполненного расчета монолитного многоэтажного здания.

Построение расчетной схемы. При выполнении расчета плиты принята плоская расчетная схема с пластинчатыми конечными элементами (признак расчетной схемы - 3). Построение расчетной схемы перекрытия на отметке +3,900 проводится в следующей последовательности: создание и корректировка геометрии, закрепление опорных узлов, задание жесткости, приложение нагрузок.



Рис.35. Расчетная схема плиты, созданная как регулярный фрагмент (по оси X: 0,25×2; 0,55×2; 0,55×10; 0,25×2; 0,85×2; 0,55×2; 0,85×4; 0,25×2; 0,55×2; 0,6; 0,85×4; 0,25×2; 0,5×10; 0,55×2; 0,65×4; 0,25×2; 0,5×6; 0,25×2; no ocu Y: 0,25×2; 0,61×10; 0,25×2; 0,8×2; 0,9×5; 0,25×2; 0,9×5; 0,25×2; 0,6×2; 0,7×3; 0,6×2; 0,8×2; 0,25×2)

Для создания геометрии расчетной схемы плиты в меню выбирается схема \Rightarrow *создание* \Rightarrow *регулярные фрагменты* \Rightarrow *плита*. Разбивка плиты на конечные образом, чтобы обеспечивалась элементы выполняется таким затем возможность корректировки геометрии плиты (изменение контура, выполнение отверстий), наложение связей и приложение нагрузок. Считается, что оптимальный шаг разбиения плиты равен 0,5...0,6 м. Для удобства работы с расчетной схемой наносятся координационные оси (*схема* \Rightarrow *строительные* На рисунке 35 представлена расчетная схема плиты как регулярный ocu). фрагмент, на рисунке 36 показана расчетная схема плиты после корректировки, на рисунке 37 приведена пространственная модель рассчитываемой плиты перекрытия



Рис.36. Расчетная схема плиты после корректировки и установки связей



Рис. 37. Пространственная модель плиты (вид ⇒ пространственная модель ⇒ опции ⇒ флаги рисования (убрать сеть, показать сечение элементов))

Вращение пространственной модели плиты на поле экрана осуществляется курсором-стрелкой, который можно двигать по экрану вне красной рамки, возникающей на экране. При этом, чем ближе располагается курсор к красной рамке, тем на меньший угол поворачивается расчетная модель. Приближение и удаление пространственной модели управляется вращением колесика мышки.

Для расчетной схемы с признаком 3 доступно наложение связей Z, UX, UY. Расчетная модель плиты расположена в плоскости XOY. При жестком сопряжении плиты перекрытия с колоннами и стенами лестничных клеток и лифтовой шахты после открытия диалогового окна (*схема* \Rightarrow *связи*) в нем выполняется закрепление опорных узлов от вертикальных перемещений по оси Z и наложение связей, препятствующих повороту опорных узлов расчетной схемы вокруг осей X и Y (UX и UY).

Толщина монолитной плиты перекрытия принята равной 200 мм. Согласно [5] толщина плиты принимается приблизительно 1/30 расчетной длины плиты (*l*₀). При пролетах плиты до 6-8 м перекрытия рекомендуется выполнять плоскими. Минимальная толщина плоских плит перекрытия обычно принимается в диапазоне 16...25 см.

Класс бетона по прочности на сжатие принят B25 (начальный модуль упругости бетона E_b=30000 МПа по таблице [1].

Для задания жесткости пластинчатых элементов расчетной схемы выполняются следующие действия: *жесткость* элементов \Rightarrow *добавить* \Rightarrow *пластинчатые* элементы \Rightarrow в открывшимся диалоговом окне задаются: модуль упругости E=6000000 кH/м² (для бетона класса B25 с учетом понижающего коэффициента 0,2); коэффициент поперечной деформации v=0,2 (для бетонов всех классов); толщина плиты H=20 см; плотность R₀=25 кH/м³ \Rightarrow *установить как текущий тип* \Rightarrow *назначить*.

Нагрузки на плиту перекрытия. Нагрузка на монолитную плиту перекрытия собирается в соответствии с рекомендациями, изложенными в [3].

Нагрузка на монолитную плиту перекрытия представлена: собственным весом плиты (*нагрузка* ⇒ *добавить собственный вес*); постоянной нагрузкой по полю плиты перекрытия (вес пола, вес перегородок); постоянной нагрузкой по контуру плиты от веса наружных стен, устанавливаемых на перекрытие; временной нагрузкой по полю перекрытия. В таблице 17 приведены нагрузки на перекрытие здания. При сборе нагрузок учитывались: коэффициенты надежности по нагрузки γ_f и коэффициент надежности по ответственности γ_n=1. Проектируемое здание согласно [6] относится ко второму (нормальному) уровню ответственности (жилые здания высотой менее 75 м)

При расчете плиты временная нагрузка на перекрытие снижается в соответствии с площадью помещения. Площадь офисных помещений - A=6,5×6,5=42,25 м² (площадь A₁=9 м²). Временная нагрузка снижается путем умножения на коэффициент φ_1 :

$$\varphi_1 = 0.4 + \frac{0.6}{\sqrt{A_1}} = 0.4 + \frac{0.6}{2.17} = 0.4 + 0.28 = 0.68$$

При выполнении расчета плиты с использованием программного комплекса ЛИРА нормативное (расчетное) значение собранных нагрузок задается в диалоговом окне, которое открывается после обращения к позициям меню: *нагрузки* \Rightarrow *нагрузки на узлы и элементы* \Rightarrow *нагрузки на пластины* (система координат – глобальная; нагрузка по оси Z, положительное направление нагрузки – к началу координат) \Rightarrow *равномерно распределенная нагрузка*.

При выполнении прочностных расчетов железобетонных конструкций используются расчетные значения нагрузок. Определение трещиностойкости, ширины раскрытия трещин и прогиба ведется на нормативные значения нагрузок.

Нагрузки (нормативное значение) можно приложить к соответствующим элементам расчетной схемы под номерами:

- 1 собственный вес монолитной плиты перекрытия,
- 2 вес пола,
- 3 вес перегородок,
- 4 вес наружных стен,

5 – временная нагрузка на перекрытие.

Затем можно составить таблицу расчетного сочетания нагрузок (РСН), в которой указать коэффициенты надежности по нагрузке γ_f (для перехода к расчетным значениям), коэффициенты перехода от полного значения временной нагрузки к пониженному значению (доля длительности).

Таблица 17

Таблица нагрузок				
<u>№</u> п/п	Наименование и значение нагрузки, кН/м ²	Нормативное значение, кН/м ²	γf	Расчетное значение, кН/м ²
	Постоянная нагрузка – P _d			
1	Вес пола 1:			
	ламинат – 0,08	0,08	1,2	0,10
	выравнивающая стяжка (керамзитобетон) – 12×0,1=1,2	1,2	1,3	1,56
	всего	1,28	1,3	1,66
2	Вес пола 2:			
	керамическая плитка – 0,24	0,24	1,2	0,29
	выравнивающая стяжка (керамзитобетон) – 12×0,1=1,2	1,2	1,3	1,56
	всего	1,44		1,85
3	Собственный вес монолитной плиты перекрытия (δ=200 мм, γ=25 кH/м ³) - 25×0,2=5	5,0	1,1	5,5
4	Вес перегородок – 0,5	0,5	1,2	0,6
5	Вес наружных стен (H _{стены} =3,7 м), устанавливаемых на перекрытие:	7,7 кН/м	1,2	9,24 кН/м
	$D600 - 6 \times 0.2 \times 1 \times 3.7 = 4.44$			

	кH/м;			
	минераловатные плиты (δ=100 мм, γ=2 кH/м ³ ,δ=50 мм, γ=8 кH/м ³) – (2×0,1+8×0,05)×1×3,7=2,22 кH/п.м.;			
	навесной фасад – 0,28×3,7=1,04/м кН/п.м.			
	всего (без учета оконных проемов) 7,7 кН/п.м.			
	Временная нагрузка			
	Офисы, санузлы:		1,2	
6	полное значение – $P_t = 2$,	2,0		2,4
6	пониженное значение <i>P</i> _l =0,35×2=0,7	0,7		0,84
7	Поз.6 с учетом коэффициента <i>ф</i> ₁ =0,68:			
	полное значение – 2×0,68=1,36;	1,36	1,2	1,63
	пониженное значение – 0,7×0,68=0,48	0,48	1,2	0,58
	Коридоры, лестницы:			
8	полное значение – $P_t = 3$,	3,0		3,6
0	пониженное значение – <i>P</i> _l = 0,35×3=1,05	1,05		1,26
	Всего (поз. 1, 3, 4, 7)	8,14		9,39
	Всего (поз. 2, 3, 4, 8)	9,94		11,55
	Всего (поз. 1, 3, 4, 7 пониженное)	7,26		8,34

Всего (поз. 2, 3, 4, 8	7.99	9.21
пониженное)	,,,,,,	, - 1

Последовательность выполнения расчета РСН из окна результатов расчета (*режим* \Rightarrow *результаты расчета*) следующая: *усилия* \Rightarrow *РСН* \Rightarrow *сочетания пользователя* (заполнение таблицы) \Rightarrow *расчет*

Так как все перечисленные в таблице 17 нагрузки прикладываются к плите перекрытия одновременно, то можно приложить к плите все собранные нагрузки (расчетные значения) под одним номером, затем выполнить расчет, а корректировку, например, прогиба плиты выполнять с учетом соотношения расчетного (полного) и нормативного (пониженного) значения нагрузок.

Результаты статического расчета. На рисунке 38 представлена форма перемещений монолитной плиты перекрытия под действием приложенной нагрузки (полное расчетное значение). На рисунке 39 - мозаика узловых перемещений по оси Z. Максимальное значение узловых перемещений (прогибов) при приложении к плите перекрытия полного расчетного значения нагрузок по оси Z составляет 40,1 мм. При приложении к плите перекрытия нагрузок по оси Z составляет 40,1 мм. При приложении к плите перекрытия к прогиб к по к к прогиб к к по к к паке к прогимение к плите перекрытия к прогимение к плите перекрытия к прогимение к прогимение

Предельное значение прогиба 6100/200=30,5 мм>29,7 мм

На рисунке 40 и 41 представлены изополя напряжений по M_x и изополя напряжений по M_y .



Рис. 38. Форма перемещений монолитной плиты перекрытия под действием приложенной нагрузки

Подбор арматуры. После выполнения статического расчета монолитной плиты перекрытия для подбора арматуры из окна результатов статического расчета выполняется переход в окно армирования (*режим* \Rightarrow *железобетонные конструкции*). Предоставляется возможность задать исходные данные в нескольких вариантах. При выполнении компьютерного подбора арматуры монолитной плиты перекрытия осуществляется следующая последовательность действий: *редактирование* \Rightarrow *варианты конструирования основной схемы* (рассматривается только один вариант) \Rightarrow *нормы для расчета железобетонных конструкций* (СНиП 52-01-2003) \Rightarrow *вид расчета* (по усилиям, другие варианты по РСУ или по РСН), \Rightarrow *коэффициенты к усилиям* (значение коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_{f.cp.}=1,15$; средняя доля длительности - 0,35). Затем: *редактирование* \Rightarrow *жесткости и материалы* (тип - плита, бетон - B25, арматура - А500). Можно также изменять параметры жесткости, заданные при выполнении статического расчета плиты.

Результаты подбора арматуры представлены на рисунках 42... 45.



Рис. 39. Мозаика узловых перемещений по оси Z в мм



Рис. 40. Изополя напряжений по М_х, единицы измерения кНм/м



Рис. 41. Изополя напряжений по Му, единицы измерения кНм/м



Рис. 42. Площадь продольной рабочей арматуры у нижней грани по оси X в см² на один погонный метр (подобранный диаметр при шаге арматуры S=200 мм)



Рис. 43. Площадь продольной рабочей арматуры у верхней грани по оси X в см² на один погонный метр (подобранный диаметр при шаге арматуры S=200 мм)



Рис. 44. Площадь продольной рабочей арматуры у нижней грани по оси Y в см² на один погонный метр (подобранный диаметр при шаге арматуры S=200 мм)



Рис. 45. Площадь продольной рабочей арматуры у верхней грани по оси Y в см² на один погонный метр (подобранный диаметр при шаге арматуры S=200 мм)

По результатам расчета арматуры плита перекрытия армируется двумя вязанными сетками.

У нижней грани стержни сетки С1:

вдоль цифровых осей - Ø14А500 с шагом S=200 мм,

вдоль буквенных осей - Ø12А500 с шагом S=200.

У верхней грани укладывается такая же сетка С1 (вдоль цифровых осей укладываются стержни Ø14А500 с шагом S=200 мм, стержни сетки вдоль буквенных осей - Ø12А500 с шагом S=200).

Сетки дополнительного армирования устанавливаются в надопорной зоне плиты арматурные стержни принимаются следующие:

вдоль цифровых осей -Ø16А500,

вдоль буквенных осей - Ø14А500.

Конструирование монолитной плиты перекрытия. Чертежи монолитной железобетонной плиты перекрытия включают в себя общего вида плиты, схему и узлы армирования, а также спецификацию арматуры [11,12].

Конструирование монолитной плиты перекрытия включает в себя:

назначение толщины защитного слоя (для конструкций, эксплуатируемых в закрытых помещениях, принимается 20 мм);

раскладку арматурных стержней ($l_{max} = 11700$ мм) с учетом длины перепуска арматуры l_l при выполнении стыка стержней. Стержни арматурных стержней стыкуются в разбежку (см. рис.46). В отсутствии запаса по арматуре $\frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 1$, при коэффициенте $\alpha = 1,2$, длина перепуска арматуры для $d_s = 10$ мм

составляет соответственно 500 мм, d_s=12 мм - 600 мм, d_s=14мм - 700 мм, d_s=16 мм - 800 мм Длина перепуска вычисляется по формуле:

$$I_{I} = \alpha \times \frac{R_{s}}{10 \times R_{bt}} \times d_{s} \times \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}},$$

- конструирование стальных фиксаторов вязаной сетки из арматурных стержней у верхней грани монолитной плиты перекрытия (рис.47);

- установку П-образных элементов у свободного края плиты (рис.48);

- усиление поперечной арматурой зоны сопряжения плиты и колонны (рис.49);

- обрамление отверстий в плите (рис.50);

- анкеровка арматуры плиты в стене (рис.51);

- определение длины анкеровки арматуры l_{an} для организации сопряжения монолитной плиты перекрытия со стенами лестнично-лифтовой шахты. Длина анкеровки арматуры l_{an} определяется аналогично определению длины перепуска арматуры l_l с назначением коэффициента $\alpha=1$ для сжатой арматуры и $\alpha=0,75$ для сжатой арматуры.



Рис. 46. Перепуск арматурных стержней при стыковании



Рис.47. Стальной фиксатор для верхней сетки армирования плиты: 1 - нижняя сетка армирования плиты, 2 - верхняя сетка армирования плиты, 3 - стальной фиксатор


Рис.48. Усиление П-образными хомутами краевых зон плоской плиты перекрытия

При конструировании плиты должен вычерчиваться узел армирования в зоне сопряжения колонны и плоской плиты перекрытия. На рисунке 49 представлен узел сопряжения плоской плиты перекрытия и колонны. На участке плиты непосредственно вокруг колонны могут появляться трещины в следствии продавливания плиты перекрытия.



Рис.49. Армирование плиты в зоне сопряжения колонны и плоской плиты перекрытия: а — условная модель стыка (С1 - сетка верхнего армирования плиты, С2 - сетка нижнего армирования плиты), б — установка поперечной арматуры в зоне сопряжения колонны и плиты

Продавливание возникает из-за сдвига плиты относительно нагруженной F области Продавливающая непосредственно вокруг колонны. сила принимается равной нагрузке, передаваемой от перекрытия на колонну(рис.49а). На рисунке 156 приведена схема расположения поперечной

арматуры в зоне стыка колонны с плоской плитой перекрытия. Продавливающая плиту перекрытия сила F воспринимается бетоном плиты $F_{b,ult}$ и установленной в зоне стыка поперечной арматурой $F_{s,ult}$. Если условие прочности плиты по непродавливанию не выполняется, то на верхней поверхности плиты в зоне стыка с колонной по периметру продавливания возникают трещины (рис.49, вид A).

Плиты перекрытий обычно имеют отверстия разнообразного назначения и различных размеров. В соответствии с конструктивными требованиями [8] отверстия в плитах перекрытия следует обрамлять. Исключение составляют отверстия размером до 300 мм, которые не требуют обрамления.

Общие конструктивные требования к обрамлению отверстий в плитах перекрытия здания, следующие:

- по сторонам отверстия должны быть разложены стержни рабочей арматуры, которые требовались по расчету плиты как сплошной и были вырезаны отверстием;

- обрамляющие стержни укладываются с шагом S=50 мм, минимальное количество стержней у противоположных граней отверстия – по два стержня;

- дополнительные стержни обрамления отверстий должны быть заведены за края отверстия на длину стыковочного перепуска арматуры, которая для растянутых стержней из арматуры классов А400, А500 может быть определена по формуле $l_t = \frac{0.12 \times R_s}{R_{bt}} d_s$ (R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению , R_{bt} - расчетное сопротивление бетона растяжению , d_s – диаметр обрамляющих отверстие стержней);

- у края плиты по периметру отверстия должна быть установлена поперечная арматура, которая может быть выполнена либо из разрезанных по месту в пределах отверстия стержней, отогнутых в тело плиты, либо в виде специально установленной поперечной арматуры, в том числе П-образных или замкнутых хомутов; - отверстия в плитах значительных размеров могут обрамляться балкамиребрами, размеры и армирование которых определяются на основании расчета.



Рис.50. Обрамление отверстий в плите перекрытия

На рисунке 51 показан узел примыкания плоской плиты перекрытия к внутренней стене лестничной клетке здания. Для конструирования стыка плиты со стеной необходимо определить длину анкеровки l_{an}.

Загиб концов анкеруемых стержней необходимо выполнять по специальной оправке, минимальный диаметр d_{оп} которой принимается в зависимости от диаметра арматурного стержня d_s не менее:

- для гладких стержней *d*_{on}=2,5 *d*_s (при *d*_s<20 мм), *d*_{on}=4 *d*_s (при *d*_s≥20 мм),

для стержней периодического профиля d_{on}=5 d_s (при d_s<20 мм), d_{on}=8 d_s
 (при d_s≥20 мм).



Диаметр оправки может также устанавливаться в соответствии с техническими условиями на конкретный вид арматуры. Уменьшение диаметра оправки может привести к раскалыванию бетона внутри загиба или разрушению самого стержня при его загибе.

Раздел 5. Армирование железобетонных конструкций и подбор арматуры для элементов расчетной схемы Занятие 5.1. Отработка навыков работы в программе конструирования железобетонных конструкций

Содержание практикума. Отработка навыков работы в программе конструирования железобетонных конструкций. Задание параметров для подбора арматуры железобетонных конструкций – элементов расчетной схемы (стержня, стенки, плиты, оболочки). Представление результатов в табличной и графической формах. Выполнение практического задания.

После моделирования расчетной схемы, выполнения статического расчета и анализа результатов статического расчета можно перейти в режим <u>железобетонные конструкции</u> и выполнить подбор арматуры. Выбор позиции меню <u>железобетонные конструкции</u> приводит к открытию окна-экрана подбора арматуры. Подбор арматуры выполняется через позицию меню функций <u>расчет</u> \Rightarrow <u>расчет арматуры</u>. Расчет может выполняться по <u>PCV</u> и <u>по усилиям</u>. Перед подбором арматуры железобетонных конструкций должны быть назначены материалы (<u>редактирование</u> \Rightarrow <u>жесткости и материалы</u>, закладка ж/б). Материалы (точнее параметры для железобетонных конструкций) можно задать в режиме <u>расчетная схема</u>. Однако востребованной информация о материалах становится только в режиме подбора арматуры. Поэтому задать параметры материалов можно также в окне подбора арматуры через позицию меню <u>редактирование</u> \Rightarrow <u>жесткости и материал</u>, 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: <u>тип, бетон, арматура</u>.

Первая группа параметров <u>тип</u> включает в себя:

• <u>модуль армирования</u>. При назначении модуля армирования необходимо выбрать из списка стержень, балку-стенку, плиту, оболочку. На рисунке 52 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, τ_{xy}.

• <u>вид армирования</u>. 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.



Рис. 52. Расположение и обозначение арматуры в стержне (а), плите и оболочке (б), балке-стенке (в)

• <u>привязка центра арматуры</u>, <u>процент армирования</u>. Для определения расстояния от грани железобетонного элемента до центра тяжести арматуры (а) необходимо определить (в зависимости от условий эксплуатации конструкций)

толщину защитного слоя (таб.11) и предварительно назначить диаметр арматуры. В колоннах может быть установлена арматура диаметром до 40 мм, в балках - до 32 мм. При проектировании железобетонных конструкций стремятся к уменьшению размеров поперечного сечения, что приводит к диаметра рабочей арматуры увеличению И процента армирования. Минимальный процент армирования необходимо соблюдать, например, для зон плиты перекрытия с небольшими усилиями М, 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 группамипучками без зазора между стержнями. Расстояние между пучками - не менее приведенного диаметра стержня, эквивалентного площади сечения пучка арматуры. Поэтому определение значения <u>а</u> может носить более сложный характер.

• <u>конструктивные</u> особенности стержней. Указывается вид конструктивного элемента: <u>балка</u>, <u>колонна-пилон</u>, <u>колонна рядовая</u>, <u>колонна</u> <u>первого этажа</u>.

• <u>длина элемента</u>, <u>расчетная длина</u>. При расчете сжатых элементов необходимо указать длину элемента l, а также коэффициент расчетной длины k или расчетную саму длину l₀. Расчетная длина определяется в зависимости от заделки концов элемента (таб.19)

Таблица 18

Конструктивные требования к толщине защитного слоя бетона при выполнении армирования железобетонных конструкций

слоя бетона, мм

В закрытых помещениях при нормальной или пониженной влажности	20
В закрытых помещениях при повышенной влажности (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	25
На открытом воздухе (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	30
В грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий) в фундаментах при наличии бетонной подготовки	40

Таблица 19

Правила назначения расчетной длины сжатых стержней

Характер закрепления	Расчетная длина l ₀ = k×l
1) шарнирное опирание на двух концах	1,0×l
2) жесткая заделка на одном конце при незакрепленном другом конце	2,0×l
3) шарнирное опирание на одном конце и жесткой заделке другого конца	0,7×l
или при податливой заделке другого конца	0,9×l
4) податливое шарнирное опирание на одном конце и жесткой заделке – на другом	1,5×l
или при податливой заделке – на другом	2,0×l
5) несмещаемые заделки на двух концах:	
жесткие	0,5×l
податливые	0,8×l
6) ограниченно смещаемые заделки на двух концах:	
жесткие	0,8×1
податливые	1,2×1

• <u>выбор системы</u> (СО - статически определимая, СНО - статически неопределимая)

• <u>выбор расчетов II-й группы предельных состояний</u> 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, в том числе, 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. В диалоговом окне можно задать <u>шаг и диаметр стержней</u>. В таблицах П2 и П6 Приложения можно найти рекомендации по назначению шага и диаметра стержней арматурных сеток.

Вторая группа параметров бетон включает в себя:

• класс бетона,

• диаграмма состояния. Выбор 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 скатию 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 γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он вводится к расчетному значению сопротивления бетона γ_{b3} . Он

• случайные эксцентриситеты. Случайный эксцентриситет е_а принимается не менее:1/600 длины элемента 1 или расстояния между его сечениями,

закрепленными от смещения; 1/30 высоты сечения h; 10 мм. Случайный эксцентриситет учитывается при расчете статически определимых конструкции. Для статически неопределимых конструкций он принимается во внимание, если эксцентриситет e₀= M / N приложения продольной силы N окажется меньше случайного эксцентриситета e_a.

Третья группа параметров <u>арматура</u> 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 (<u>редактирование</u> ⇒ <u>варианты</u> конструирования основной схемы). Варианты конструирования обычно формируются в режиме <u>расчетная схема</u>, а дополняются и корректируются в режиме <u>железобетонные конструкции</u>.

Варианты конструирования дают возможность в одной задаче получить результаты по схеме с различными конструктивными характеристиками, рассчитанной согласно разным нормативным документам (например, по СНиП 52-01-2003) и вариантами расчета по РСУ или по усилиям. Причем при проведении расчета по усилиям требуется задание среднего значения коэффициента надежности по нагрузке и среднего значение доли длительности. Для двух других вариантов расчета они задаются при составлении таблиц РСУ. Среднее значение коэффициента надежности по нагрузке у_f принимается равное 1,15. Доля длительности имеет место для временных нагрузок. Для большинства временных перекрытие нагрузок на 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-САПР при формировании расчетной схемы к элементам схемы прикладываются нормативные расчетной нагрузки. В режиме железобетонные конструкции арматура подбирается по расчетным усилиям, для определения которых требуется коэффициент у_f, В режиме <u>железобетонные</u> конструкции также определяется ширина раскрытия трещин (их продолжительное и непродолжительное раскрытие). При выполнении расчетов продолжительному трещин востребована по раскрытию средняя лоля 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 колоннэлементов также в единый конструктивный элемент (балка КК1, КК2...) производится при обращении к следующим позициям меню функций: редактирование ⇒ конструктивные элементы.

• унифицированные конструктивные элементы. Для унификации конструктивных элементов (балка УКБ1, УКБ2...., колонна УКК1, УКК2....) необходимо обратится к следующим позициям меню функций: <u>редактирование</u> ⇒ <u>унификация элементов</u>.

С помощью кнопки <u>флаги рисования</u> 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 <u>балка</u>, то на схеме он будет обозначаться КБ. Если конструктивный элемент состоит из элементов типа <u>колонна</u>, то на схеме он будет обозначен КК. Тип конструктивного элемента расчетной схемы предварительно определяется в диалоговом окне опции <u>жесткости и материалы</u>.

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 <u>конструктивные</u> элементы из меню <u>редактирование</u>. После активизации команду конструктивные элементы откроется диалоговое окно <u>конструктивные</u> элементы.

По умолчанию конструктивные элементы и унифицированные группы конструктивных элементов создаются для текущего варианта конструирования или для всех вариантов, если установлен флажок<u>для всех</u>. 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 <u>создать</u>. Удаление конструктивных элементов производится при нажатии кнопки <u>удалить</u> 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 (РСУ) в элементах. Сокращение количества РСУ в элементах расчетной схемы достигается за счет того, что при подборе арматуры элементов одной унифицированной группы учитываются не все РСУ. Унификация элементов позволяет автоматически получить только важнейшие РСУ в унифицированных элементах, беря на себя основную работу по их выборке. Другим положительным моментом унификации возможность является 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 для выбранных элементов в текстовом формате.

Таблица 20 является таблицей результатов расчета плиты для выбранных элементов (242, 409). Расположение и обозначение арматуры в плите показано на рисунке 526 (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 см² на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани; AS4 - площадь арматуры в см² на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани; AS4 - площадь арматуры в см² на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани).

																,	Габли	iya 20
21 Oct	14					п	лита-пр	имер-ар	(СНиП	52-01-2	003)							
Э	С	ПРОДОЛЬНАЯ АРМАТУРА										поп	ЕРЕЧНА	я арма	атура		ПИРИНА	
л Е Н Т	L U E H		Угл (с	овая м2)			У граней сечения (см2)					АSW1 (см2) при шаге (см)			ASW2 (см2) при шаге (см)		РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН (MM)	
	и Е	AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	8	15	20	30	15	20	30	крат	длит
						PACUET	по усил	иям или	PCH (CHOBHAS	I CXEMA	<u>, </u>						
							БАЛКА-	СТЕНКА Н	H = 0.20) (м)								
				BETOH	:B20 ; 1	APMATYPA	: ПРОДО	льная х	A400 ,	Y A400	; ПОП	ЕРЕЧНА	A A400	r i i i				
242						1.52	1.00	1.04	1.00									
						1.52	1.00	1.04	1.00									
409						1.00	1.00	1.87	1.00									
			į. į			1.00	1.00	1.87	1.00									

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 (табл.П1 Приложения) для армирования плиты в элементах 242 и 409, можно подобрать 4Ø8A400 (A_s = 2,01 см²/м).

На рисунке 53 показаны результаты подбора арматуры плиты перекрытия, представленные в графической форме. Приведена площадь арматуры в см²/м,

достаточная для обеспечения несущей способности плиты в разных ее зонах, а также подобрана арматура этих зон (диаметр и шаг арматурных стержней).





г - площадь арматуры в см² на погонный метр плиты по оси Y у нижней грани

Армирование плоской монолитной плиты перекрытия производится продольной арматурой в двух направлениях (вдоль осей X и Y), располагаемой у верхней и нижней граней плиты. При этом в необходимых в соответствии расчетом случаях может устанавливаться поперечная арматура у колонн, стен и по площади плиты.

В соответствии с рекомендациями в [4], нижняя арматура плиты устанавливается одинаковой по всей площади плиты. Нижняя арматура плиты принимается - Ø14A400 с шагом S = 200 мм (смотри рис.53а, 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.

В надколонной зоне плиты по расчету требуется установить арматурные стержни \emptyset 25A400 с шагом S = 200 мм с требуемой площадью арматуры A_s = 24,54 см². В этой зоне плиты уже установлены стержни основной арматуры \emptyset 14A400 с шагом S = 200 мм (A_s = 7,69 см²). Требуемая площадь стержней дополнительной арматуры A_s = 24,54 - 7,69 = 16,85 см² (\emptyset 22A400 с шагом S = 200 мм).

Длина стержней дополнительной арматуры определяется с учетом анкеровки дополнительных стержней l_{an} в бетоне плиты, начиная с сечения, где дополнительная арматура не требуется по расчету:

$$I_{an} = \alpha \times I_{0,an} \times \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = \alpha \times \frac{R_s}{10 \times R_{bt}} d \times \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 1 \times \frac{350}{10,5} \times 22 \times 1 = 733,5 \text{MM}$$

где $\alpha = 1$ (растянутая арматура), $R_s = 350$ МПа (A400), $R_{bt} = 1,05$ МПа (B25), d = 22 мм, $A_{s,cal} / A_{s,ef} = 1$ (запас по арматуре).

Таблица 21 является таблицей результатов расчета колонн рамы для выбранного элемента (4) в сечениях 1 и 2. Расположение и обозначение арматуры в колонне показано на рисунке 52а. Площадь одного стержня продольной арматуры в см² AU1 = AU2 = AU3 в угловых зонах поперечного сечения колонны.

Таблица 21

23 Oct	14						рам	a-1 (CH	иП 52-01	1-2003)	_							
Э	С			20 H	ПРОДОЛЬНАЯ АРМАТУРА							ПОПЕРЕЧНАЯ АРМАТУРА					IIIII IIII IIIII IIIII IIIIIIIIIIIIIII	
Л Е Н Т	L V E H N E		Угл (с	овая м2)		У праней сечения (см2)				АSW1 (см2) при шаге (см)			АSW2 (см2) при шаге (см)		ТРЕЩИН (№М)			
		AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	8	15	20	30	15	20	30	крат	длит
			•			PACUET	по усил	ИЯМ ИЛИ	PCH (OCHOBHAS	I CXEM	4						
								CTEPM	ŒНЬ									
						ПРЯМО	оугольни	ИК В = 3	0.0 H =	= 30.0 (см)							
				1	BETOH: H	320 ; AI	РМАТУРА:	продол	ЬНАЯ А4	100 ; ПО	перечн	АЯ А40	0					
		201					KO3=	= з, вид	(= КОЛОН	IHA					12			
4	1 C	1.35	1.35	1.35	1.35					0.60								
		1.35	1.35	1.35	1.35					0.60								
	2 C	1.68	1.68	1.68	1.68					0.75								
		1.68	1.68	1.68	1.68					0.75					1			



Рис.54. Результаты подбора арматуры колонн рамы (симметричное армирование, площадь одного стержня продольной арматуры в см² AU1 = AU2 = AU3 = AU4 в угловых зонах поперечного сечения колонны)

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. Так как по умолчанию для стержней назначается два сечения, то для назначения добавочных сечений необходимо в режиме <u>расчетная схема</u> обратиться к позициям меню: <u>схема</u> ⇒ <u>расчетные сечения</u> <u>стержней</u> \Rightarrow в открывающемся диалоговом окне задать <u>количество сечений N =</u> <u>3...7.</u>

Перечень и назначение кнопок меню операций (режим - железобетонные конструкции) приведены в таблице 22

Выполняемое задание: по результатам выполненного в практических работах №1 и№2 статического расчета компьютерной модели подобрать рабочую арматуру конструктивных элементов, описать последовательность подбора арматуры, представить результаты подбора в табличной и графической форме.

Таблица 22

Кнопки меню операций (режим - железобетонные конструкции)

№ п/п	Кнопки	Наименование
1	S 2 3 4	 Кнопки формирования исходных данных; 1 - жесткости и материалы, 2 - конструктивные элементы, 3 - унификация элементов, 4 - варианты конструирования.
2	学 范 1 2	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)
3	∎∕	Кнопка представления результатов подбора арматуры в табличной форме
4	1 2 3	Кнопки представления результатов в графической форме: 1 - результаты для стержней, 2 - результаты для пластин 3 - параметры шкалы
5	a 1 2 3 4 a 1 2 3 4 a 5 6 7 8 6 5 6 7 8 9 10 11 12	 а, б - симметричное и несимметричное армирование 14 - вывод на экран площади одного стержня продольной арматуры в см² AU1, AU2, AU3, AU4 в угловых зонах поперечного сечения стержня, 58 - распределенная арматура AS1, AS2, AS3, AS4, 9 - процент армирования, 10, 11 - поперечная арматура AW1, AW2, 12 - суммарная арматура
6	 1 2 3 4 6 7 8 	 14 - вывод на экран площади продольной арматуры в см² 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 - отобразить арматуру в виде отрезков (после выбора кнопки

		становится доступно отобразить верхнюю и нижнюю арматуру по двум направлениям раскладки арматурных пластин)
7	12 a 6 6	Кнопки конструирования: 1 - конструирование балки, 2 - армирование колонны. а, б, в - кнопки чертеж, расчетное армирование, расчетная записка (кнопки становятся доступными после выбора кнопок конструирования)
8	2 3 4 3 4 4 2 3 4 4 2? □ 2□ 5 6 7	Кнопки локального режима армирования: 14 - 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)

Раздел 5. Армирование железобетонных конструкций и подбор арматуры для элементов расчетной схемы Занятие 5.2. Изучение конструктивных требований к выполнению чертежей железобетонных конструкций; правил конструирования

железобетонных конструкций для выполнения чертежей железобетонных

конструкций в среде графического редактора

Содержание практикума. Изучение конструктивных требований к выполнению чертежей железобетонных конструкций; правил конструирования железобетонных конструкций для выполнения чертежей железобетонных конструкций в среде графического редактора.

После подбора арматуры в режиме <u>железобетонные конструкции</u> можно перейти к конструированию (смотри таб.14, поз.7), оформить результаты подбора арматуры колонны и балки в виде чертежей и пояснительной записки.

При выполнении комплекта чертежей марки КЖ в составе проектной документации по объекту строительства должны соблюдаться конструктивные требования, распространяющиеся на проектирование железобетонных конструкций, а также требования к составу и правила выполнения проектной документации [1,2,6,7]. Проектная документация обычно выполняется в среде графического редактора AutoCAD.

Чертежи конструктивных решений здания марки КЖ включают в себя схемы расположения элементов конструкций, детали и узлы, спецификации к схемам; схемы армирования, узлы армирования, арматурные изделии, спецификации арматуры.

Для успешного возведения железобетонных конструкций комплект чертежей марки КЖ должен быть полным и хорошо проработанным.

Конструктивные требования к армированию железобетонных конструкций приведены в нормативной литературе [1,2], а также в учебной литературе, посвященной вопросам конструирования железобетонных конструкций [8,9].

Правила конструирования колонн касаются:

• минимального количества продольных стержней в поперечном сечении колонны;

• диаметра и шага поперечных стержней;

• усиления концевых участков колонн;

На рисунке 55 приведены размеры поперечного сечения колонн и показано, какое количество продольных стержней рабочей арматуры должно быть установлено в сечении колонн для обеспечения надежной совместной работы арматуры и бетона.



Рис. 55. 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 (смотри рис.56, 57):

• 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.



Рис.56. Продольная и поперечная арматура колонны

При проведении расчета колонны считается, что напряжение сжатия по сечению колонны распределено равномерно, однако местное приложение нагрузки приводит к концентрации напряжений на концевых участках в местах стыков колонн или опирания стропильной конструкции. Сетки косвенного армирования стесняют поперечное расширение бетона, благодаря чему увеличивается прочность бетона при продольном сжатии. На рисунке 57 приведена схема установки сеток на концевых участках колонн.



Рис. 57. Схема установки сеток на концевых участках колонн

Стены наряду с колоннами являются вертикальными несущими конструкциями зданий. Стены армируются по другим конструктивным требованиям, чем колонны. Прямоугольные колонны (пилоны) с соотношением сторон >4 могут быть отнесены к стенам [5].

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 без сварки, как это показано на рисунке 58.

Конструктивные требования к армированию стен зависят от насыщенности поперечного сечения стен продольной рабочей арматурой, то есть от процента армирования µ% 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 μ% > 2% поперечные стержни должны располагаться на расстоянии по вертикали на более 15d и не более 500 мм, а по горизонтали не более 400 мм и не более 2-х шагов вертикальных стержне (d – диаметр вертикальных стержней).

Соединение (стыковка) арматуры внахлестку (без сварки) выполняется в соответствии с следующими указаниями:

стыки растянутой или сжатой арматуры (классы A400, A500) должны иметь длину перепуска не менее длины l_i:

$$I_{I} = \alpha \times I_{0,an} \times \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = \alpha \times \frac{R_{s}}{10R_{bt}} \times d \times \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$$

где:

• A_{s,cal}, A_{s,ef} – площадь поперечного сечения арматуры, требуемая, соответственно, по расчету и фактически установленная;

• коэффициент а для стержней периодического профиля с прямыми концами или гладких стержней с крюками или петлями без дополнительных анкерующих устройств принимается равным 1,2 для растянутых стержней и 0,9 для сжатых стержней. Приведенные значения коэффициентов а назначаются при стыковке арматурных стержней в разбежку (в одном расчетном сечении элемента стыкуется не более 50% арматурных стержней периодического профиля). Допускается стыкование в одном расчетном сечении элемента всех стержней, но коэффициент а в этом случае принимается равным 2,0. При этом минимальная длина перепуска принимается не менее $0,4\alpha \cdot l_{0,an}$, не менее 20d_s и не менее 250 мм.



Рис. 58. Схема армирования монолитных стен

Правила конструирования железобетонных балок (ребер монолитного балочного перекрытия) касаются требований (смотри рис. 59):

по установке минимального количества плоских каркасов К1 (1..3 штук)
 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 с шагом S не более 400 мм;

– по установке поперечной арматуры. В балках высотой $h \ge 150$ мм должна быть предусмотрена поперечная арматура в составе каркасов. Шаг поперечных стержней: $S_w = 0,5h_0$ (не более 300 мм) на приопорных участках балки, $Sw = 0,75h_0$ (не более 500 мм) на среднем участке при равномерно распределенной нагрузке на балку.



Рис. 59. Конструктивные требования по количеству каркасов в поперечном сечении балки и дополнительных продольных стержней в каркасах по высоте балки

Армирование монолитных плит перекрытия, а также фундаментных плит здания производится сетками, расположенными у верхней и нижней граней плиты. Сетки составлены из стержней основной рабочей арматуры. Стержни дополнительного армирования также включаются в состав сеток: при армировании плит перекрытия - в верхнюю сетку зоны сопряжения плиты и колонн; при армировании фундаментных плит - в нижнюю сетку зоны сопряжения колонн и фундаментной плиты.

Нижние сетки армирования плит фиксируются в проектном положении с бетонных использованием или пластмассовых фиксаторов, которые подбираются с учетом требуемой толщины защитного слоя бетона. Для фиксации верхних разрабатываются фиксаторы сеток стальные И поддерживающие каркасы (рис.60, рис.61)

На концевых участках плит устанавливается поперечная арматура в виде П-образных хомутов, обеспечивающих восприятие крутящих моментов у края плиты и необходимую анкеровку концевых участков продольной арматуры (рис. 61).

Для обеспечения непродавливания плит поперечная арматура устанавливается в зонах сопряжения плит и колонн (рис.62, рис.63). Конструктивные требования к шагу поперечных стержней и длине их расстановки приведены на рисунке 63.



Рис.60. Стальной фиксатор для верхней сетки армирования плиты: 1 - нижняя сетка армирования плиты, 2 - верхняя сетка армирования плиты, 3 - стальной фиксатор



Рис.61. Конструктивное решение концевых участков фундаментной плиты: 1 - нижняя и верхняя сетки армирования плиты; 2 - поддерживающий каркас; 3 - П-образный хомут концевых участков плиты



Рис.62. Поперечная арматура в зоне сопряжения плиты перекрытия и колонны: 1 - плита с сетками армирования, 2 - колонна, 3 - поперечная арматура в зоне продавливания



Puc.63. Поперечная арматура в зоне сопряжения колонны и фундаментной плиты (зона продавливания)

Выполняемое задание: по результатам выполненного в практических работах №1 статического расчета компьютерной модели и последующего подбора рабочей арматуры, распечатать чертежи колонны и балки, скомпонованные в режиме железобетонные конструкции, выполнить узлы армирования в среде графического редактора AutoCAD.

Приложение

Таблица ПІ

Диаметр		LΠ	ющадь по	перечного	о сечения	[см²] при ч	числе стер	жней		Macca,
MM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KΓ
3	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64	0,055
4	0,13	0,25	0,36	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	0,098
5	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	0,154
6	0,28	0,57	0,86	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	0,222
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	0,395
10	0,79	1,57	3,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	0,617
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	0,888
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85	1,208
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	1,578
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	1,998
20	3,142	6,28	9,41	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,28	2,466
22	3,801	7,60	11,04	15,02	19,00	22,81	26,61	30,41	34,21	2,984
25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,13	3,853
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	4,834
32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	6,313
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,08	71,26	81,44	91,62	7,990
40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,80	75,36	87,92	100,48	113,04	9,805

Сортамент арматуры

Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий

				Диаметр	Шаг с	стержней
Вид сетки	Тип сетки	Ширина сетки (b)	Длина сетки (L)	стержней $\frac{d}{d_1}$	продольных S	поперечных S1
тяжелая	1 (рабочая арматура в продольном направлении)	6503050	8509000	$\frac{12-40}{6-16}$	200	600
тяжелая	2 (рабочая арматура в обоих направлениях)	6503050	8505950	$\frac{12-25}{6-16}$	200	200
тяжелая	3 (рабочая арматура в поперечном направлении)	8503050	8506250	$\frac{6-16}{12-25}$	200 400	200
легкая	4 (поперечная арматура на всю ширину сетки)	6503800	8509000 или до длины рулона	$\frac{3-10}{3-10}$	100(150), 200, 300, 400, 500	100(75), 150(125), 200(125), 250,300,400
легкая	5 (со смещенными поперечными стержнями)	6503800	39509000 или до длины рулона	$\frac{3-5}{5-10}$	100(150), 200, 300, 400, 500	100(75), 150(125), 200(125), 250,300,400
Размеры	выпусков стержней (попер	ечных – а, прод	(ольных – a ₁ и a ₂) – 25	били кратно 25	. В легких сетках в	ыпуски продольных
стержней	допускается принимать 30.	200 мм (кратн	о 5 мм), выпуски пог	теречных стеря	кней – 15,20 и 30 мм	и, а также 25100 мм
			(кратно 25 мм)			

Таблица ПЗ

Классификация арматуры для железобетонных конструкций

	Стержневая	[Проволочная арматурная сталь					
горяче	екатаная	термомеханически упрочненная	холоднодеф обыкновенная	ормированная высокопрочная	арматурные канаты спиральные			
гладкая	периодиче	еского профиля	периодичес	кого профиля				
A240 Ø640	A400 Ø640 A500 Ø1040	A600 Ø1040 A800A32	B500 Ø316 Bp-500 Ø35	BP1200, Ø8 BP1300, Ø7 BP1400, Ø4,5,6 BP1500, Ø3 BP1500, Ø3-5	K1400 Ø15 K1500 Ø6-18 K1600 Ø6-15 K1700 Ø6-9			

Таблица П4

Прочные и	деформационные	характеристики	бетона, МПа
-----------	----------------	----------------	-------------

	Сопротивление бетона МПа					Начальный модуль упругости бетона E _b ×10 ⁻³ при							
Вид сопротивления			Comp	отивло	сние о	стона,	IVIIIa	классе бетона по прочности на сжатие, МПа					
				B20	B25	B30	B35	B15	B20	B25	B30	B35	
Сжатие	расчетное	Rb	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5						
	нормативное	$R_{b,n}$ 11 (11.0	15,0	18,5	22,0	25.5	24.0	27.5	30.0	32.5	34.5	
		$R_{\text{b,ser}}$	11,0				25,5						
Растяжение	расчетное	R_{bt}	0,75	0,90	1,05	1,15	1,30	24,0	27,5	50,0	52,5	54,5	
	нормативное	$R_{\mathrm{bt,n}}$	1 10 1 25	1 5 5	1 75	1 05							
		$R_{\rm bt,ser}$	1,10	1,35	35 1,55	1,75	1,95						

Таблица П5

класс арматуры	нормативные	расчетные				
	растяжение					
	R _{sn}	Rs	\mathbf{R}_{sw}	R _{sc}		
A240	240	215	170	215		
A300	300	270	215	270		
A400	400	355	285	355		
A500	500	435	300	400		
A600	600	520		400		
A800	800	695	в качестве поперечной	400		
A1000	1000	830	арматуры не используется	400		
B500	500	415	300	360		

Прочные характеристики арматуры, МПа

Таблица Пб

T					
Гехнические	характе	ристики	apmatvi	оных	сеток
		P P			

Диаметр	Класс	Шаг,	A _s ,	Расход арматуры, кг
арматуры, мм	арматуры	ММ	$\mathbf{C}\mathbf{M}^2$	на 1 м ² сетки
	B500	100	0,71	0,55
		200	0,35	0,27
3		250	0,28	0,22
		300	0,23	0,18
	B500	100	1,26	0,99
		150	0,84	0,66
4		200	0,63	0,50
		250	0,50	0,40
		300	0,42	0,33
	A400	100	2,83	2,22
		150	1,89	1,45
6		200	1,41	1,11
		250	1,13	0,89
		300	0,94	0,74

П7. Дополнительный материал для самостоятельного изучения компьютерных расчетов железобетонных конструкций

Учет физической нелинейности. При выполнении автоматизированного расчета железобетонных конструкций с использованием программного

комплекса ЛИРА-САПР, при назначении жесткости элементов расчетной схемы (при отметке <u>учет нелинейности</u> и выборе <u>параметры материала</u>) из библиотеки законов деформирования материалов можно выбрать вид зависимости и указать параметры.

Например, при назначении для элемента расчетной схемы класса бетона B30 И выборе библиотеки законов деформирования ИЗ материалов криволинейной расчетной диаграммы состояния (№15 - экспоненционный железобетона) закон деформирования для нужно указать следующие параметры:

начальный модуль упругости при сжатии и растяжении - E_b = 32500000 кH/м²,

• предельное значение напряжения при сжатии - $\sigma^2 = R_{bn} = -22000 \text{ kH/m}^2$,

• предельное значение напряжения при растяжении - $\sigma^{+} = R_{bn} = 1750 \text{ кH/m}^2$,

• предельные деформации на сжатие - ε = ε_{b0} = -0,002 при непродолжительном действии нагрузки (ε = ε_{b0} = - 0,0034 при продолжительном)

• предельные деформации на растяжение - $\varepsilon^+ = \varepsilon_{bt0} = 0,0001$ - при непродолжительном действии нагрузки ($\varepsilon^+ = \varepsilon_{bt0} = 0,00024$ при продолжительном).

Если значение обобщенной деформации превысит предельную деформацию материала, то он выключается из работы.

Можно также выбрать из библиотеки законов деформирования материалов кусочно-линейную (трехлинейную) расчетную диаграмму состояния (№14). Параметры трехлинейной расчетной диаграммы определяются в соответствии с указаниями, изложенными в [1].

Так как прочностные и деформационные характеристики задействованных в программном комплексе классов бетонов хранятся в базе данных, то для некоторых законов деформирования (№21, №25, №26) параметры могут задаваться автоматически после указания класса бетона, типа бетона (Т - тяжелый или Л - легкий бетон).

Отметка <u>учет ползучести</u> требует выбора одного из двух законов ползучести: №41 - степенной закон ползучести; №44 - кусочно-линейный закон ползучести.

В качестве примера выполнен расчет плиты перекрытия. Расчетная схема плоской монолитной плиты перекрытия в здании колонной конструктивной системы представлена на рисунке П7.1.



Рис.П7.1. Расчетная схема монолитной плиты перекрытия

При построении расчетной схемы (признак системы - 5) применены следующие позиции меню функций:

• создание геометрии, позиции: <u>создание</u> \Rightarrow <u>регулярные фрагменты и сети</u> \Rightarrow закладка <u>плита</u> \Rightarrow *N*×*L* по оси X и по оси Y (0,2м×2; 0,6м×10; 0,2м×2; 0,6м×10; 0,2м×2; 0,6м×10; 0,2м×2). Следует отметить, что расчетная схема создается из конечных элементов KЭ11;

• редактирование геометрии, позиции: <u>выбор</u> ⇒ <u>отметка узлов</u> (внутри сечения колонны), <u>редактирование</u> ⇒ <u>удаление</u>;

• закрепление опорных узлов расчетной схемы, позиции: <u>схема</u> ⇒ <u>связи в</u> <u>узлах</u> (отмечаются все связи X, Y, Z, UX, UY, UZ);

• задание жесткости;

приложение нагрузки, позиции: <u>нагрузки</u> ⇒ <u>нагрузки на узлы и элементы</u>,
 в открывающемся диалоговом окне <u>задание нагрузок</u> четвертая закладка
 <u>нагрузка на пластины</u> (по оси Z, равномерно распределенная p=10 кH/м²).

При проведении расчета плиты с учетом физической нелинейности необходимо в рамках задания жесткости задать диаграммы состояний бетона и арматуры.

В диалоговом окне <u>жесткости и материалы</u> при выборе флажка <u>жесткость</u>, затем <u>добавить</u> \Rightarrow <u>закладка</u> <u>EF</u> \Rightarrow <u>пластина</u> во вложенном диалоговом окне <u>задание</u> <u>жесткости</u> <u>для</u> <u>пластин</u> указываются: коэффициент поперечной деформации бетона v = 0,2; толщина плиты H = 20 см и устанавливается флажок <u>учет</u> <u>нелинейности</u>, после чего становится доступной кнопка <u>параметры</u> <u>материалов</u>. После задания параметров материалов можно обратиться к кнопке <u>параметры</u> <u>арматуры</u>.

Выбор кнопки <u>параметры материалов</u> открывает вложенное диалоговое окно <u>законы нелинейного деформирования материалов</u>. Для основного материала (бетона) из имеющегося списка выбирается закон №21 (рис. П7.2а) с автоматическим вводом параметра при указании класса бетона В25 и его вида - тяжелый бетон. Для <u>армирующего материала</u> выбирается закон №14 (кусочно-линейный закон деформирования) и вводятся параметры зависимости σ-є (рис. П7.2б).

Выбор кнопки <u>параметры</u> арматуры открывает диалоговое окно <u>тип</u> арматурных включений. Для армирования принята стержневая арматура в виде арматурных сеток. Для верхней сетки: номер слоя - 1, привязка верхней сетки по оси z_0 от начала координат z = 7см, процент армирования для стержней верхней сетки по оси x_0 и по оси y_0 N_x = N_y = 0,6%. Для нижней сетки: номер слоя - 2, привязка верхней сетки по оси z_0 от начала координат сетки по оси z_0 от начала координат сетки по оси z_0 от начала координат сетки по оси y_0 N_x = N_y = 0,6%. Для нижней сетки: номер слоя - 2, привязка верхней сетки по оси z_0 от начала координат сетки: номер слоя - 2, привязка верхней сетки по оси z_0 от начала координат сетки начала координа координа

армирования для стержней нижней сетки по оси x_0 и по оси y_0 $N_x = N_y = 0,6\%$ (рис. П7.2в).

В соответствии с [1] диаграммы состояния арматуры при растяжении и сжатии принимают одинаковыми, с учетом нормируемых расчетных сопротивлений арматуры растяжению и сжатию.

В качестве расчетной диаграммы состояния (деформирования) арматуры, устанавливающей связь между напряжениями σ_s и относительными деформациями ε_s для арматуры с физическим пределом текучести классов A400, A500, B500, используется двухлинейная диаграмма без учета упрочнения за площадкой текучести. На рисунке П7.26 приведена трехлинейная диаграмма. Для сближения трехлинейной и двухлинейной диаграммы задаются $\sigma_1 \approx \sigma_2$ и $\sigma_3^+ \approx \sigma_4^+$, и вводятся следующие параметры диаграммы состояния арматуры на рисунке П7.26: $\sigma_1^- = -400000 \text{ kH/m}^2$, $\varepsilon_1^- = -0,025$; $\sigma_2^- = -395000 \text{ kH/m}^2$, $\varepsilon_2^- = -0,002$; $\sigma_3^+ = 395000 \text{ kH/m}^2$, $\varepsilon_3^+ = 0,002$; $\sigma_4^+ = 400000 \text{ kH/m}^2$, $\varepsilon_4^- = 0,025$.



Рис. П7.2. Диаграммы состояний материалов и схема расположения арматуры в поперечном сечении плиты: а - экспоненциальный закон деформирования бетона, б - кусочно-линейный закон деформирования арматуры, в - схема расположения арматурных сеток в поперечном сечении плиты

При выполнении нелинейного расчета пластин можно получить эпюры главных напряжений и оценить условия разрушения пластин, для чего устанавливается флажок <u>теории прочности</u>. После этого становится доступным список допускаемых теорий прочности (выбирается расчет по теории наибольших главных напряжений при R_{b,n} = 18500 кH/м², R_{bt,n} = 1550 кH/м²).

Как уже отмечалось, созданная расчетная схема составлена из конечных элементов КЭ11. Однако жесткость с учетом нелинейности может быть присвоена только конечным элементам определенного типа. Конечный элемент К241 является физически нелинейным конечным элементом и применим только в составе объемных расчетных моделей. Для замены КЭ11 на КЭ241: редактирование ⇒ смена типа конечного элемента.



Рис. П7.3. Схема распределения главных напряжений в плите перекрытия

Сборка расчетных схем. Расчетную схему можно создать (собрать) из предварительно созданных в отдельных файлах расчетных схем. Одна расчетная схема объявляется базовой. На базовой расчетной схеме будет производиться сборка. Другая расчетная схема считается присоединяемой. При этом необходимо, чтобы собираемые схемы располагались на экране одновременно (окно \Rightarrow упорядочить все). На рисунке П7.4 приведены две расчетные схемы, предназначенные для сборки финальной расчетной схемы.

При сборке к базовой расчетной схеме (раме) будут присоединены три стены для моделирования диафрагмы жесткости рамы.



Рис. П7.4. Расчетные схемы, подготовленные для сборки финальной расчетной схемы

На рисунке П7.5а показано диалоговое окно сборки финальной расчетной схемы (<u>схема</u> \Rightarrow <u>сборка</u> \Rightarrow <u>сборка</u> <u>схемы</u>).

Для выполнения операции <u>сборки</u>, находясь в окне текущей расчетной схемы при помощи радио-кнопок необходимо определить схему как присоединяемую или базовую, а также указать тип сборки – на плане или в пространстве. При этом для сборки на плане необходимо указать два узла, для сборки в пространстве - три узла. Первые два узла являются узлами сборки. Эти узлы окрашиваются, соответственно, в розовый и желтый цвета. Третий узел служит для определения плоскости стыковки и окрашивается в голубой цвет. Для отметки узлов сборки (стыковки) должен быть установлен флажок <u>указать узлы</u>.



Рис. П7.5. Сборка расчетной схемы: а - диалоговое окно сборка схемы, б - кнопка диалогового окна сборка схемы, б - собранная (финальная) расчетная схема

После указания всех параметров сборки становится доступной кнопка <u>собрать</u> в диалоговом окне <u>сборка</u> <u>схемы</u>. Собранную расчетную схему необходимо <u>упаковать</u>.

На рисунке П7.56 показана финальная расчетная схема плоской рамы с диафрагмой жесткости.

В программном комплексе ЛИРА-САПР расчетная схема может включать в себя также суперэлементы, которые объединяются с основной схемой при помощи суперузлов. В качестве суперэлемента может выступать, например, плита перекрытия здания. В качестве основной схемы - колонны здания. В этом случае суперузлы - это узлы сопряжения плиты перекрытия с колоннами. При этом три узла из числа суперузлов объявляются базисными. С помощью базисных узлов задается ориентация суперэлемента на основной схеме. Базисные узлы суперэлемента не должны лежать на одной прямой.

На рисунке П7.6 представлено диалоговое окно <u>суперузлы</u> (<u>схема</u>⇒ <u>суперузлы</u>), позволяющее назначить суперузлы и объявить узлы базисными.
	**		-
Назна	зчить суп	ерузлы	?
√ Ук	азать узл	ны курсором	

Рис. П7.6. Диалоговое окно суперузлы: первая закладка: назначение суперузлов с предварительным их выделением (узлы изменяют цвет на серый), вторая закладка: отмена статуса суперузлов, третья закладка: назначение трех базисных суперузлов с указанием на них мышкой (узлы изменяют цвет на фиолетовый, желтый и голубой)

Создание основной расчетной схемы с суперэлементами осуществляется в следующей последовательности:

- создание основной схемы,
- создание суперэлементов в отдельном файле,
- назначение суперузлов для суперэлементов,
- установка суперэлемента в основную расчетную схему.

На рисунке П7.7а показана расчетная схема, моделирующая колонны и плиту перекрытия здания. Основная расчетная схема включает в себя четыре колонны. Для колонн-элементов задается жесткость и закрепляются опорные узлы. Затем задается и сохраняется в отдельном файле суперэлемент-плита. Для суперэлемента задаются геометрия, жесткость и нагрузка. При этом необходимо также назначить суперузлы и объявить базисные узлы.

Затем выполняется установка суперэлемента в основную расчетную схему. По команде <u>создание</u> ⇒ <u>добавить</u> <u>суперэлемент</u> в основную расчетную схему из четырех стержней-колонн вставляется суперэлемент-плита.

На рисунке П7.8 представлено диалоговое окно добавить суперэлемент.



Рис. П7.7. Расчетная схема с суперэлементом: а - суперэлемент (плита) в развернутом виде, б - суперэлемент в собранном виде

Диалоговое окно содержит команду <u>выбрать</u>, при обращении к которой открывается каталог, содержащий файлы с расширением .lir . Из каталога выбирается файл с требуемым для присоединения к основной схеме суперэлементом.

Установленный в диалоговом окне флажок <u>указать</u> <u>базовые</u> <u>узлы</u> <u>суперэлемента</u> позволяет отметить на основной схеме три базовых узла, которые после команды <u>подтвердить</u> будет совмещены с базисными узлами суперэлемента-плиты.

После завершения формирования основной расчетной схемы с суперэлементом выполняется команда <u>упаковать</u>.

Другой вариант введения в расчетную схему суперэлемента: плита перекрытия может быть объявлена суперэлементом (<u>редактирование</u>⇒ <u>преобразовать фрагмент</u> схемы в суперэлемент).

На рисунке 54б суперэлемент показан в свернутом виде. Суперэлемент в свернутом виде на основной расчетной схеме изображается в виде трехлучевой звезды с центром в геометрическом центре суперэлемента и лучами между центром и базисными узлами.

Операции для визуализации суперэлемента входит в меню *вид*. Суперэлемент может быть представлен в составе расчетной схемы в свернутом или развернутом виде (<u>вид \Rightarrow показать отмеченный суперэлемент</u> в свернутом (<u>развернутом</u>) виде).



Рис. П7.8. Диалоговое окно добавить суперэлемент

Следует отметить, что нагрузка на суперэлемент была задана еще до включения суперэлемента в основную расчетную схему. После того, как основная расчетная схема будет сформирована, назначаются нагрузки в основной схеме с перечислением номеров загружения. В первом загружении описывается нагрузка на суперэлемент, для чего следует обратиться к пунктам меню: <u>нагрузки</u> \Rightarrow <u>нагрузки</u> на узлы и элементы \Rightarrow диалоговое окно <u>задание</u> <u>нагрузок</u> (шестая закладка - *super*).

В открывающемся диалоговом окне необходимо указать номер загружения (№1) для текущего (выделенного) суперэлемента и коэффициент, с которым должна учитываться нагрузка (супернагрузка). На рисунке П7.9 представлено Номер диалоговое супернагрузка. заданного для суперэлемента окно соответствует супернагрузке. суперэлемента загружения Тип является условным цифровым кодом.

Активизируя следующие номера загружения, прикладываются другие нагрузки на основную расчетную схему. Затем составляется таблица РСУ и выполняется расчет.



Рис. П7.9. Супернагрузка для основной расчетной схемы

Использование суперэлементов считается целесообразным, когда размеры задачи превосходят возможности компьютера, прежде всего, по объему памяти и быстродействию выполнения операций или когда расчетная схема включает в себя много повторяющихся элементов, а также конструктивных элементов, которые уже встречались в составе ранее выполненных задач.