

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

Кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»

ПРИМЕР

выполнения контрольной работы

по дисциплине

«САПР конструкций зданий и сооружений»

по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

по профилю подготовки

«Промышленное и гражданское строительство»

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2019

УДК 624.07

Составители: Н.Б. Аксенов, В.Н. Аксенов

Пример выполнения контрольной работы по дисциплине «САПР конструкций зданий и сооружений» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» по профилю подготовки «Промышленное и гражданское строительство» - Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2019, – 22 с.

Предназначено для студентов профиля подготовки «Промышленное и гражданское строительство»

УДК 624.07

© Донской государственный
технический университет,
2019

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Настоящий пример выполнения контрольной работы разработан для более детального освоения обучающимися методов составления конечно-элементных схем строительных конструкций. За дополнительными сведениями о рассматриваемом численном примере и конструировании монолитного ребристого перекрытия с балочными плитами следует обратиться к учебному пособию [1, 2] и методическим указаниям по выполнению курсового проекта №1 для студентов специальности "Промышленное и гражданское строительство". Учитывая то, что студентом уже выполнен курсовой проект и он осваивает дисциплину САПР, авторами уделено внимание основным этапам создания и расчёта конечно-элементной модели. Так же приведены материалы необходимые для получения исходных данных к контрольной работе.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Длина здания – 24 м, ширина – 22,4 м. Стены кирпичные 1-й группы кладки толщиной $t=51\text{ см}$. Сетка колонн $l_1 \times l_2=5,6 \times 6$ м. Нормативная временная нагрузка V_n , равная 25 кН/м^2 , по своему характеру является статической. Длительно действующая часть временной нагрузки составляет 15 кН/м^2 . Бетон тяжелый класса В30. Расчетные сопротивления бетона (при $\gamma_{b2}=0,9$) равны $R_b=15,5 \text{ МПа}$, $R_{bt}=1,1 \text{ МПа}$.

В качестве арматуры балок применяется стержневая арматурная сталь класса А-III ($R_s=365 \text{ МПа}$, $R_{sw}=290 \text{ МПа}$), плита армируется проволоочной арматурой класса Вр-I, ($R_s=360 \text{ МПа}$, $R_{sw}=260 \text{ МПа}$).

Здание промышленное, отапливаемое; влажность воздуха окружающей среды и внутреннего воздуха помещений – менее 75 %.

3. КОМПОНОВКА ПЕРЕКРЫТИЯ

Так как расстояние между поперечными стенами меньше 54 м [2, табл.27], здание имеет жесткую конструктивную схему и междуэтажные перекрытия, и покрытие являются несмещаемыми в горизонтальном направлении опорами для наружной стены [2, п.6.7]. Следовательно, железобетонные рамы (главные балки совместно с колоннами)

практически не участвуют в восприятии горизонтальной (ветровой) нагрузки. В этом случае не имеет значения, в каком направлении расположены главные балки. Важно образовать перекрытие с балочными плитами. Добиться этого легче всего, когда пролет второстепенных балок превосходит пролет главных балок.

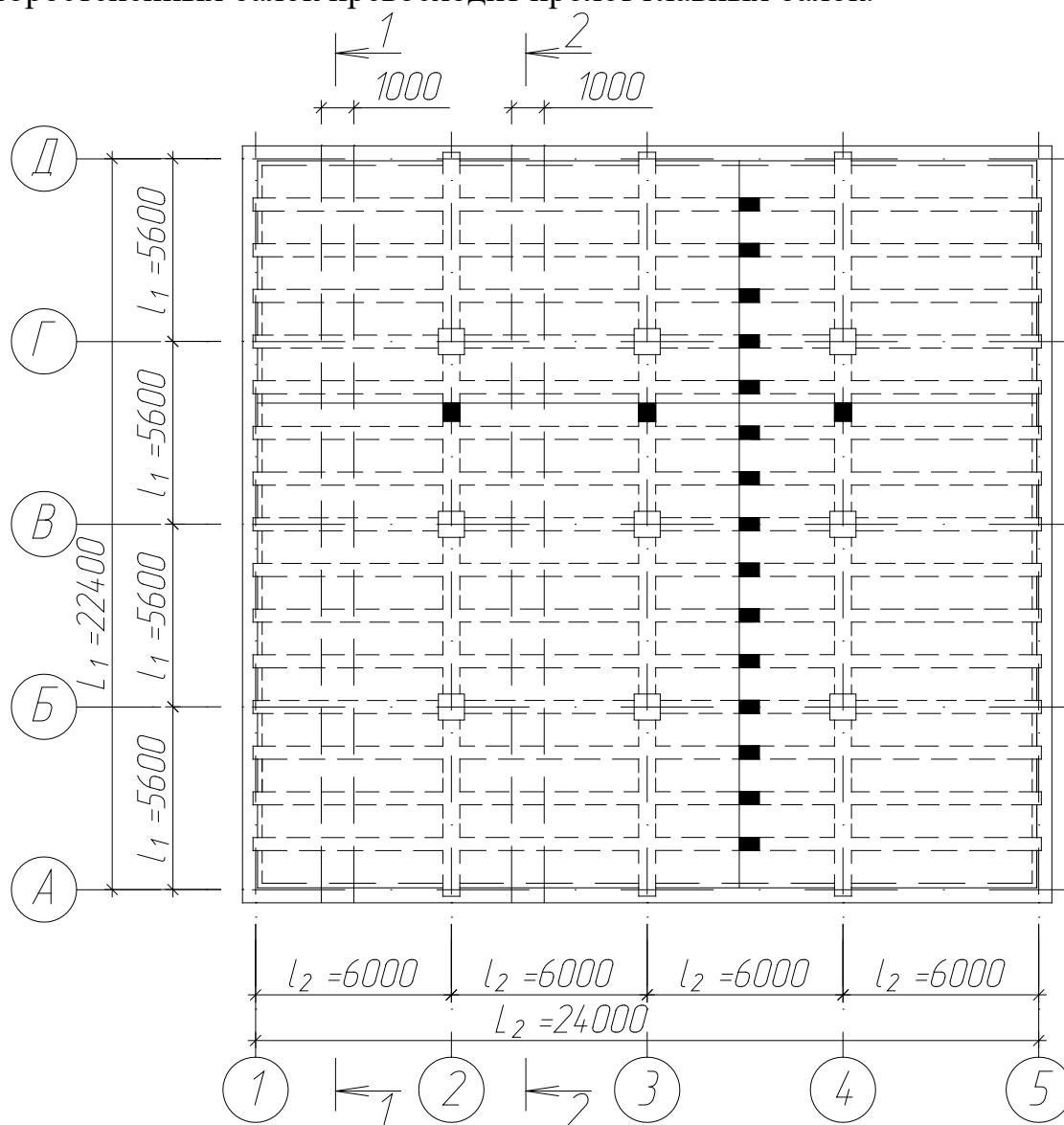


Рис.1. Схема расположения элементов перекрытия

Принимаем пролет второстепенной балки равным l_2 , а пролет главной балки равным l_1 (рис.1).

Рекомендуемые размеры сечения балок:

второстепенных $h = (1/12 \div 1/18)l_2$, $b = (1/2 \div 1/3)h$;

главных $h = (1/8 \div 1/12)l_1$, $b = (1/2 \div 1/3)h$.

Задаемся:

второстепенная балка

$$h = (1/15)l_2 = (1/15) \cdot 6 = 0,4 \text{ м}, b = 0,5h = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ м};$$

главная балка

$$h = (1/10)l_1 = (1/10) \cdot 6 = 0,6 \text{ м}, b = 0,3h = 0,3 \cdot 0,6 \approx 0,2 \text{ м}.$$

Толщину плиты принимаем минимально возможной $h'_f = 6 \text{ см}$ [3, п. 5.3.; 4, п. 5.4].

Полная расчетная нагрузка на 1 м^2 перекрытия $q = 32,55 \text{ кН/м}^2$ [1, п. 2.2.].

4. СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

Прежде всего требуется определить положение точек опирания элементов перекрытия на вертикальные несущие конструкции. Сделать это можно, рассмотрев условия опирания элементов перекрытия. По расчетным схемам плиты, второстепенной балки и балки главной [1] определяем, что от разбивочных осей точки опирания плиты расположены на расстоянии 220 мм, второстепенных балок – на расстоянии 125 мм, а главных балок – на расстоянии 60 мм (рис.2).

Габаритные размеры модели определяются расстояниями между крайними точками опирания её элементов. Так, в продольном направлении размер составляет $L = 5,875 + 6,0 + 6,0 + 5,875 = 23,75 \text{ м}$, а в поперечном $B = 5,54 + 5,6 + 5,6 + 5,54 = 22,28 \text{ м}$. Теперь следует назначить размеры конечных элементов. Рекомендуется, чтобы в пролете элемента было не менее 5-6 конечных элементов и размеры одного элемента отличались не более чем в 2 раза, а размеры разных элементов отличались не более чем в три раза друг от друга.

Наименьшая ширина у пристенной панели составляет 1,18 м, следовательно, ширина конечного элемента, моделирующего плиту, будет равна $1,18/5 = 0,236 \text{ м}$. Ширина рядовой панели равна 1,4 м. Для неё принимаем конечный элемент шириной $1,4/5 = 0,28 \text{ м}$. Чтобы не уменьшать пролет главной балки, приходится учесть ее участки, выступающие за грань плиты на 0,16 м (рис. 2).

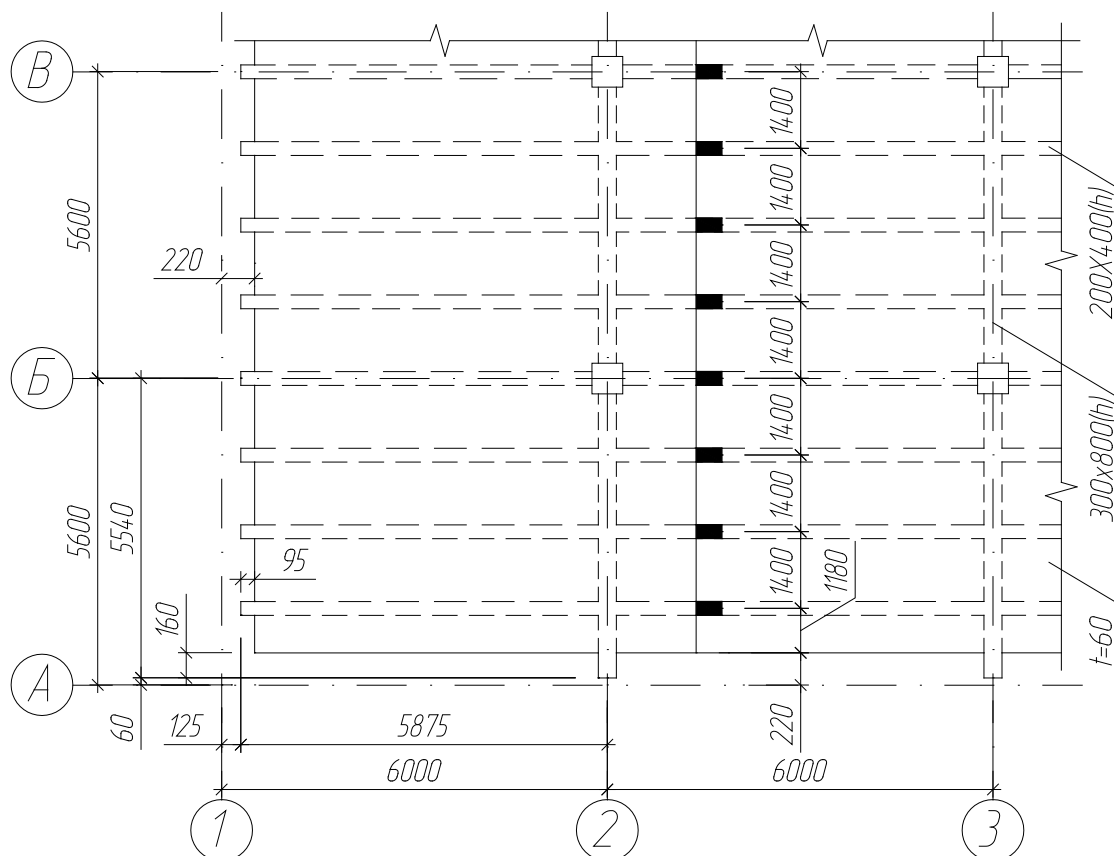


Рис.2. Основные размеры расчетной модели

Чтобы соблюсти ограничения на соотношение размеров конечных элементов плиты, в продольном направлении принимаем основной размер (длину конечного элемента плиты), равным 0,3 м. Следует отметить, что первый и последний пролеты второстепенной балки, равные 5,875 м, на 0,3 м нацело не делятся. Поэтому один элемент принимаем длиной 0,175 м, а остальные девятнадцать – 0,3 м. Для упрощения схемы смещаем левую и правую грани плиты на 95 мм до совпадения с узлами опирания второстепенных балок.

Задаем расчетные значения нагрузок:

- собственный вес ($\rho = 27,5 \text{ кН/м}^3$) учитывается автоматически;
- постоянная нагрузка $g = 0,902 \text{ кН/м}^2$ [1, п. 2.2];
- временная (полезная) нагрузка $v = 30,0 \text{ кН/м}^2$.

5. РАСЧЕТ ПЛИТЫ

Расчет выполним на действие двух загрузений:

Загружение 1 - постоянная нагрузка на всей площади перекрытия;

Загружение 2 – временная нагрузка на всей площади перекрытия.

В меню **файл** выбираем **Новый**. В диалоговом окне **Признак схемы** задаем имя задачи PLITA и выбираем пятый признак схемы (**Шесть степеней свободы**). Нажимаем кнопку **Подтвердить**.

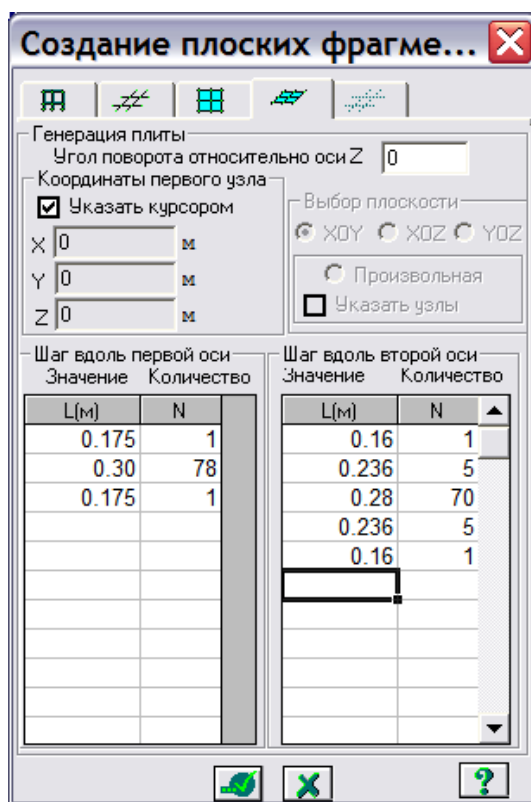


Рис.3. Диалоговое окно создания регулярных фрагментов и сетей

В меню последовательно выбираем пункты **Схема – Создание – Регулярные фрагменты и сети**. Выбираем закладку **Генерация плиты** и заполняем открывшуюся форму так, как показано на рис. 3, и нажимаем кнопку **Применить** (зеленая галочка внизу формы).

Для удобства работы на схеме размещаем оси - последовательно выбираем пункты меню **Схема – Строительные оси и отметки** и курсором отмечаем пары узлов, через которые должны пройти оси, при этом положение осей принимаем по рис.1 и рис.2.

Создаем типы жесткости, которые будут использованы для создания модели. Последовательно выбираем **Жесткости - Жесткости элементов** и задаем три типа жесткости: **1. Брус 20x40**; **2.Брус 30x80** и **3.Пластина Н6**. Принимаем $E_b = 32500000 \text{ кН/м}^2$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$, объемный вес железобетона $27,5 \text{ кН/м}^3$. Вид заполненной формы показан на рис. 4.

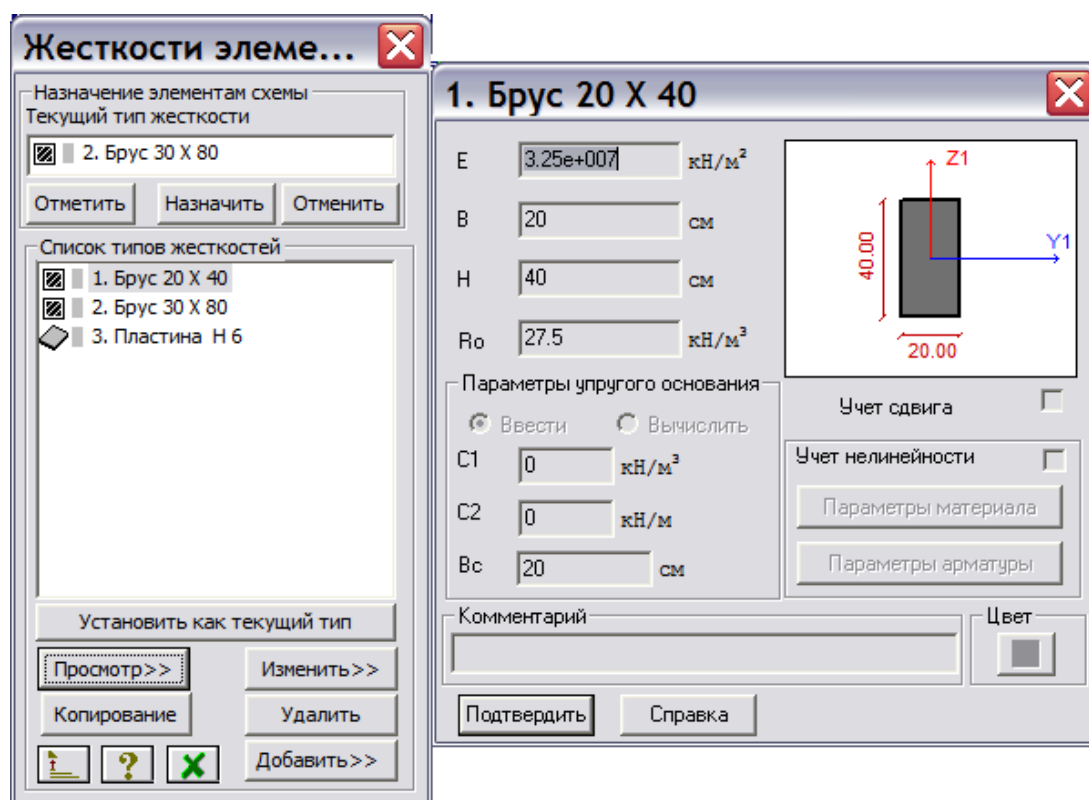


Рис.4. Окно за-
дания типов
жесткости

Текущим

типом жесткости выбираем **1.Брус 20х40** и размещаем на схеме второстепенные балки, принимая их шаг по рис. 1 и рис.2. Для этого последовательно выбираем пункты меню **Схема - Корректировка – Добавить элемент** и в появившемся окне активизируем первую закладку **Добавить стержень**. Затем курсором указываем сначала на первый, а затем на последний узлы ближайшей к оси А второстепенной балки (против надписи **"Учитывать промежуточные узлы"** обязательно должна стоять галочка).

Остальные второстепенные балки можно установить аналогично, но лучше воспользоваться копированием. Для этого выделяем второстепенную балку и принадлежащие ей узлы, затем в меню последовательно выбираем пункты **Схема – Корректировка – Копировать выбранные объекты**. В открывшемся окне выбираем первую закладку **Копирование по параметрам**, выбираем шаг копирования $dY = 1,4$ м (шаг второстепенных балок), указываем число копий $N = 14$ и нажимаем кнопку **Применить**.

Выбираем текущим типом жесткости **2.Брус 30х80** и аналогичным образом размещаем главные балки (окно **Жесткости элементов** пока не закрываем).

Выделяем все пластины. Для этого выбираем **Выбор - Полифильтр**, в новом окне переходим на вторую закладку, ставим галочку рядом с надписью **"По виду КЭ"**, в поле выбираем запись **"Четырехузловые КЭ (пластины)"** и нажимаем кнопку **Применить**.

Затем в окне **Жесткости элементов** делаем текущим типом жесткости **3.Пластина Н6** и нажимаем кнопку **Назначить**. Закрываем окно.

В нашей схеме присутствуют лишние элементы – пластины шириной 0,16 м, расположенные вдоль осей А и Д. Выделим их и удалим. Упакуем схему, для этого последовательно выбираем **Схема - Корректировка – Упаковка схемы** (отмечаем удаление "висячих узлов").

Выделяем все узлы, расположенные по периметру (в этих узлах элементы перекрытия опираются на стены), а также узлы, в которых перекрытие опирается на колонны (пересечения осей 2, 3 и 4 с осями Б, В и Г) и накладываем связь в направлении оси Z . Выделяем узлы, в которых второстепенные балки опираются на стены и накладываем связь вдоль оси Y , а на узлы, в которых на стены опираются главные балки, накладываем связь вдоль оси X (для наложения связей последовательно выбираем пункты меню **Схема – Связи**).

Создаем первое загружение. Последовательно выбираем **Нагрузки – Выбор загружения**. В поле вводим название загружения, например, "Постоянная", подтверждаем (зеленая галочка). Выделяем все пластины, В меню выбираем **Нагрузки – Нагрузка на узлы и элементы**, в открывшемся окне выбираем четвертую закладку, а затем верхнее правое изображение (распределенная по площади нагрузка). В новом окне вводим значение постоянной нагрузки $g = 0,902 \text{ кН/м}^2$ (рис.5).

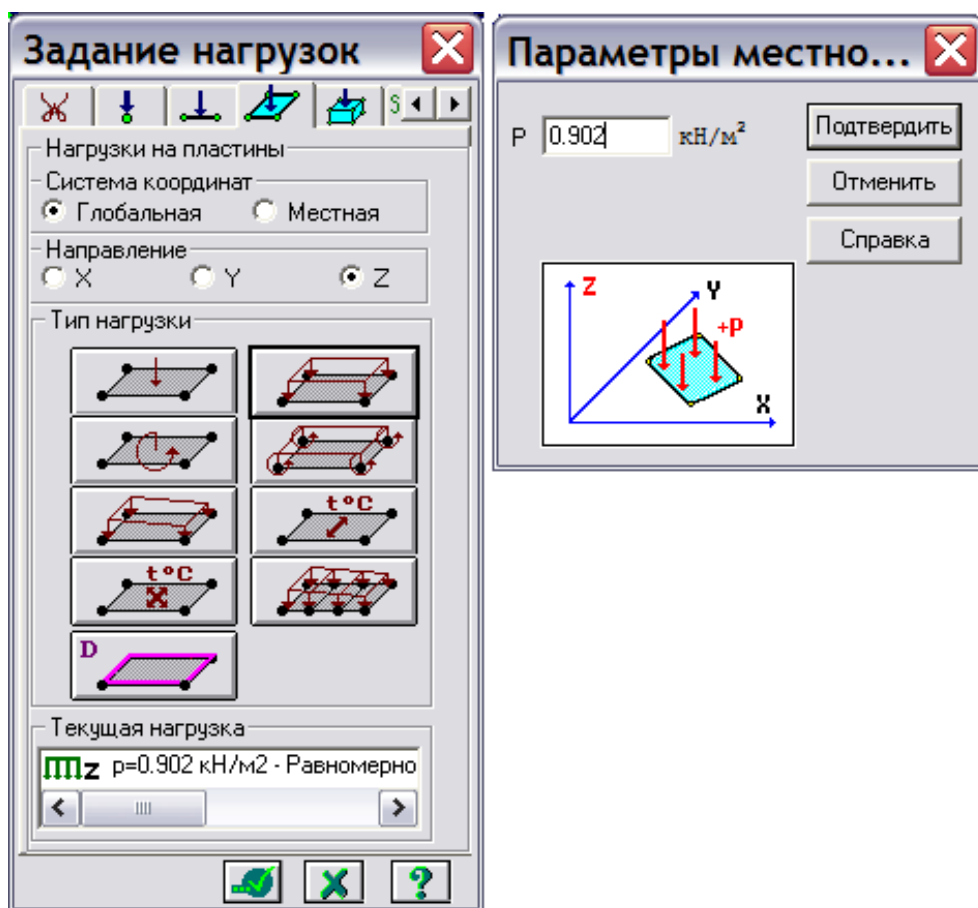


Рис.5. Диалоговые окна задания нагрузки

Добавляем собственный вес конструкций, для этого в меню последовательно выбираем пункты **Нагрузки – Добавить собственный вес**.

Создаем второе загрузение с именем, отражающим физический характер действующей нагрузки, например "Временная".

Выделяем все пластины и загружаем их нагрузкой $v = 30 \text{ кН/м}^2$.

Последовательно выбираем в меню пункты **Режим – Выполнить расчет**.

Переходим к просмотру результатов расчета (**Режим – Результаты расчета**).

Находясь в режиме просмотра результатов, создадим расчетное сочетание нагрузок (РСН). С этой целью в меню последовательно выбираем **Усилия – РСН**. В открывшемся окне указываем, что первое загрузение относится к постоянным нагрузкам, а второе – к кратковременным. Нажимаем кнопку **Сочетания пользователя**, и в появившийся столбец записываем для первого и второго загрузений коэффициенты сочетания, равные 1, поскольку в сочетании присутствует только одна временная нагрузка [5, п. 1.12]. Нажимаем кнопку **Расчет**.

Чтобы просмотреть результаты расчета по РСН, выбираем **Выбор – Выбор РСН**. На

панелях инструментов нужно нажать пиктограммы *Изополя перемещений*, *Изополя перемещений по Z* и отжать пиктограмму *Исходная схема*, на экране появится изображение деформированной схемы перекрытия (рис.6).

Нанесем на деформированную схему изолинии (*Флаги рисования*, четвертая закладка, галочка у предпоследней пиктограммы *Изолинии на изополях*).

Для просмотра усилий в плите нужно на горизонтальной панели инструментов нажать пиктограмму *Изополя напряжений* (или *Мозаика*), а на появившейся панели выбрать, M_x или M_y . Результаты в табличной форме можно просмотреть последовательно выбрав пункты меню *Окно – Стандартные таблицы*, либо *Окно - Интерактивные таблицы*.

Составим таблицу изгибающих моментов для первых двух пролетов плиты в сечении 1 – 1 (см. рис.1). Найдем и выделим конечные элементы с номерами от 721 до 730. Затем выбираем пункты меню *Окно - Интерактивные таблицы*. В открывшемся окне выбираем строку с надписью *Усилия (пластины)* и нажимаем кнопку *Таблицу на экран*. В открывшемся окне отмечаем галочкой *Для РСН* и выбираем радиокнопку *Для выбранных элементов* и нажимаем

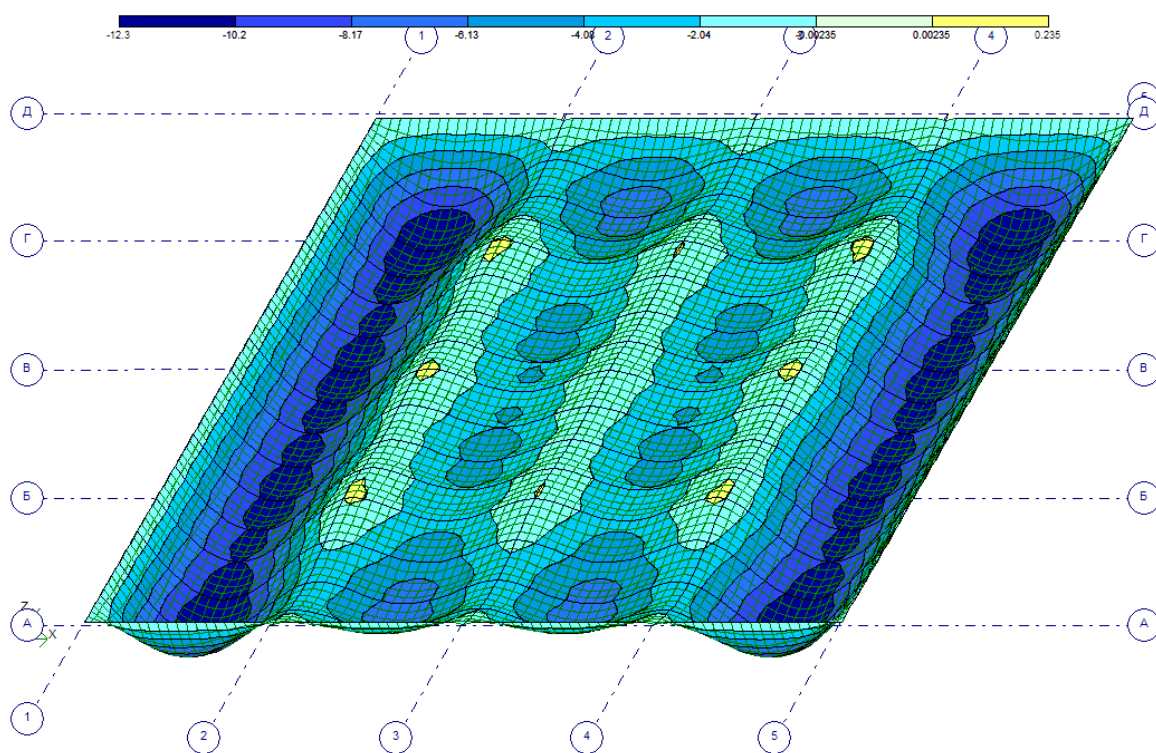


Рис.6. Деформированная схема перекрытия (РСН)

кнопку *Создать*. Появившуюся таблицу можно редактировать, например, убрать ненуж-

ные столбцы. Один из вариантов таблицы (оставлены пять столбцов и десять строк) показан на рис. 7. Сохраняем схему, последовательно выбрав пункты меню **Файл - Сохранить**.

№ элем	Усилия (напряжения)			
	Мх, (кН)	My, (кН)	Qx, (кН/м)	Qy, (кН/м)
721	0.664	2.156	-0.008	18.640
722	1.742	5.292	-0.073	11.128
723	2.432	6.711	-0.129	3.786
724	2.717	6.480	-0.204	-3.378
725	2.578	4.672	-0.297	-10.358
726	1.731	-0.192	-0.336	17.255
727	2.523	3.322	-0.312	8.372
728	2.810	4.360	-0.281	-0.482
729	2.589	2.936	-0.249	-9.302
730	1.855	-0.931	-0.221	-18.081

Рис. 7. Вид интерактивной таблицы внутренних усилий в плите

6. РАСЧЕТ ВТОРОСТЕПЕННЫХ БАЛОК

Второстепенная балка является неразрезной, и, следовательно, значения пролетных и опорных моментов в значительной степени зависят от положения временной нагрузки. Для того чтобы можно было получить моменты, соответствующие самому невыгодному положению временной нагрузки, поочередно прикладываем ее к каждому из пролетов. Таким образом, перекрытие следует рассчитать на действие пяти загрузений, а именно:

- загружение № 1 **"Постоянная"** – постоянная нагрузка $g = 0,902 \text{ кН/м}^2$ по всей площади перекрытия (это загружение уже было создано при расчете плиты);
- загружение № 2 **"Временная 1"** – временная нагрузка $\nu = 30 \text{ кН/м}^2$ в первом пролете балки (в осях 1 – 2);
- загружение № 3 **"Временная 2"** – временная нагрузка $\nu = 30 \text{ кН/м}^2$ во втором пролете балки (в осях 2 – 3);

загружение № 4 "**Временная 3**" – временная нагрузка $v = 30 \text{ кН/м}^2$ в третьем пролете балки (в осях 3 - 4);

загружение № 5 "**Временная 4**" – временная нагрузка $v = 30 \text{ кН/м}^2$ в четвертом пролете балки (в осях 4 - 5).

Переходим в режим создания расчетной схемы (**Режим - Расчетная схема**), выбираем второе загружение (**Нагрузки – Выбор загружения**), выделяем все элементы перекрытия и удаляем нагрузку (**Нагрузки – удаление нагрузок**).

Выбираем пункты меню **Нагрузки – Выбор загружения** и в поле открывшегося окна вписываем название загружения **Временная 1** и подтверждаем.

Выделяем пластины первого пролета второстепенных балок (все, что расположено в осях 1-2 между осями А и Д) и прикладываем к ним нагрузку $v = 30 \text{ кН/м}^2$ (**Нагрузки – Нагрузка на узлы и элементы**).

Аналогично создаем загрузки № 3, 4 и 5.

Создадим расчетное сочетание усилий (PCY). Для этого выбираем пункты меню **Нагрузки – PCY – Генерация таблицы PCY**. При заполнении полей окна таблицы PCY (рис.7) имеем в виду, что первое загружение относится к постоянным нагрузкам, а остальные к временным кратковременным, а также, что доля длительности временной нагрузки составляет 0,6.

Загружения со второго по пятое включаем в одну группу объединяемых перемещений, поскольку они в любой комбинации представляют собой с физической точки зрения одно загружение. Если этого не сделать, то эти загрузки будут считаться независимыми и в сочетание будут входить с понижающим коэффициентом 0,9, что приведет к неоправданному снижению нагрузки на перекрытие. После заполнения таблицы PCY выполняем расчет (**Режим – Выполнить расчет**). Для просмотра результатов расчета переходим в соответствующий режим (**Режим - Результаты расчета**).

Расчетные сочетания усилий

Номер загрузки: 1 Подтвердить Закреть

Название загрузки: Постоянная По умолчанию Отменить

Вид загрузки: Постоянное (0) Справка

N группы объединяемых временных нагрузений: 0

Учитывать знакопеременность: ☐

N группы взаимоисключающих нагрузений: 0

NN сопутствующих нагрузений: 0 0

Коэффициент надежности: 1.10

Доля длительности: 1.00

Ограничения для кранов и тормозов:

Кран ☐ Тормоз ☐

Коэффициенты для РСЧ

N за-гружения	1-е ос-новное сочета-ние	2-е ос-новное сочета-ние	Осо-бое сочета-ние
1 ->	1.00	1.00	0.90
2	1.00	0.90	0.50
3	1.00	0.90	0.50
4	1.00	0.90	0.50
5	1.00	0.90	0.50

Сводная таблица для вычисления РСЧ:

N назв.	Параметры РСЧ	Коэффициенты РСЧ
1 Постоянная	< 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00 >	< 1.00 > < 1.00 > < 0.90 >
2 Временная 1	< 2 1 0 0 0 0 1.20 0.60 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
3 Временная 2	< 2 1 0 0 0 0 1.20 0.60 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
4 Временная 3	< 2 1 0 0 0 0 1.20 0.60 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
5 Временная 4	< 2 1 0 0 0 0 1.20 0.60 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >

Рис. 7. Окно создания таблицы РСЧ

Теперь создадим расчетное сочетание нагрузок (*Усилия – РСЧ*). Все загрузки принимаем с коэффициентом сочетания, равным единице, то есть полагаем, что перекрытие загружено временной нагрузкой по всей площади. Выполняем расчет РСЧ (кнопка *Расчет*).

Для просмотра результатов расчета следует на горизонтальной панели инструментов активизировать пиктограмму *Эпюры усилий в стержнях* и в появившейся панели выбрать усилие, эпюры которого нас интересуют.

Для первых двух пролетов второстепенной балки, расположенной посередине между осями Б и В, составим таблицы усилий, полученных в расчетах по РСЧ и РСН.

Выделим конечные элементы с номерами от 6801 до 6840. В меню последовательно выбираем пункты *Окно - Интерактивные таблицы*.

В открывшемся окне *Редактор форм* (рис. 8) выбираем запись *РСЧ (стержни)*, нажимаем кнопку *Таблицу на экран*, затем в появившемся окне активируем радиокнопку *Для выбранных элементов* (если этого не сделать, то таблица будет составлена для

всех рассчитанных элементов) и нажимаем кнопку **Создать**.

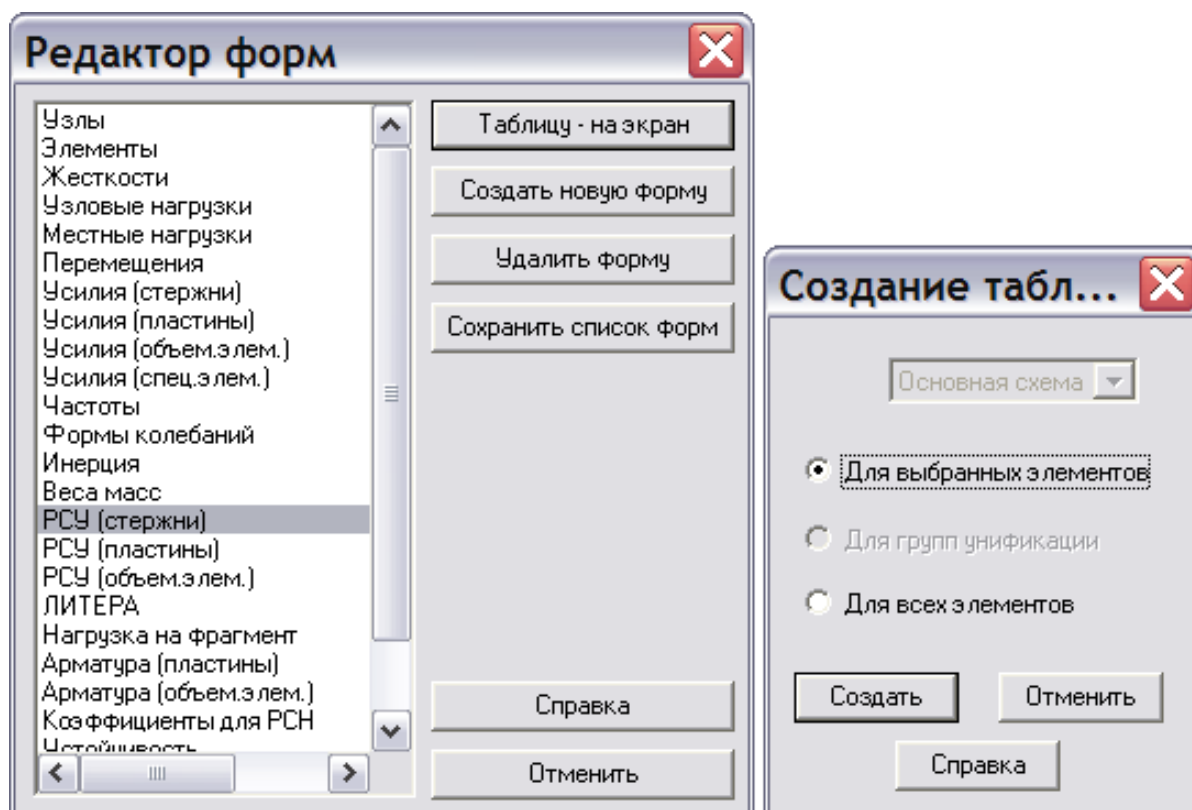


Рис. 8. Окна создания интерактивной таблицы результатов расчета по РСУ

Для создания интерактивной таблицы результатов расчета по РСН выполняем аналогичные действия, но в окне **Редактор форм** выбираем запись **Усилия (стержни)**, а затем в открывшемся окне указываем **Для РСН** и **Для выбранных элементов**.

Аналогично создаются и стандартные таблицы (**Окно - Стандартные таблицы**). От интерактивных таблиц стандартные отличаются внешним видом и отсутствием возможности регулировать число строк и столбцов. Сохраняем расчетную схему под другим именем, например "Второстепенная балка".

7. РАСЧЕТ ГЛАВНЫХ БАЛОК

Главная балка, как и второстепенная, в силу неразрезности весьма чувствительна к положению временной нагрузки. С целью определения изгибающих моментов, соответствующих наиболее неблагоприятному положению временной нагрузки, схему рассчитываем на действие следующих пяти загрузений:

загружение № 1 **"Постоянная"** – постоянная нагрузка $g = 0,902 \text{ кН/м}^2$ по всей площади перекрытия (это загружение уже было создано при расчете плиты);

загружение № 2 "**Временная 1**" – временная нагрузка $v = 30 \text{ кН/м}^2$ в первом пролете балки (в осях А - Б);

загружение № 3 "**Временная 2**" – временная нагрузка $v = 30 \text{ кН/м}^2$ во втором пролете балки (в осях Б - В);

загружение № 4 "**Временная 3**" – временная нагрузка $v = 30 \text{ кН/м}^2$ в третьем пролете балки (в осях В - Г);

загружение № 5 "**Временная 4**" – временная нагрузка $v = 30 \text{ кН/м}^2$ в четвертом пролете балки (в осях Г - Д).

Переходим в режим создания расчетной схемы (**Режим - Расчетная схема**), в загружениях со второго по пятое удаляем все нагрузки. Создаем новые загружения (со второго по пятое), руководствуясь указанным выше составом, входящих в них нагрузок.

Далее, следуя рекомендациям предыдущего раздела, создаем расчетное сочетание усилий (PCY).

Выполняем расчет и просматриваем результаты.

Для первых двух пролетов балки, расположенной по оси 3 (конечные элементы с номерами начиная с 7683 и заканчивая 7723), создаем таблицу усилий от PCY и просматриваем.

Сохранить результаты в графическом виде можно с помощью документатора. На форме графического контейнера (он расположен в правой части экрана, если его нет, то выбираем **Окно – Графический контейнер**) нажимаем пиктограмму с изображением фотоаппарата (**Добавить изображение**). В поле графического контейнера появляется уменьшенная копия содержимого рабочей области. Выделяем ее и в контекстном меню (правая кнопка мыши) выбираем **Копировать**. Затем вызываем документатор (**Окно – Документатор**), создаем лист и вставляем скопированное изображение.

Сохраняем схему под другим именем, например "Главная балка".

8. ПОДБОР АРМАТУРЫ

Подбор арматуры осуществляется в модуле ЛИР- АРМ, входящем в состав ПК Лира.

Плита В меню выбираем пункты **Файл – Импорт**. В диалоговом окне **Импорт** выбираем файл с именем **PLITA#00.PLITA** и нажимаем на кнопку **Открыть**. Затем вы-

деляем все пластины и назначаем им материал. С этой целью выбираем следующие пункты меню *Редактирование – Задание и выбор материала*. В открывшемся диалоговом окне *Материалы* требуется задать такие характеристики железобетонного элемента, как *Тип*, *Бетон* и *Арматура*. Для ввода каждой из характеристик предназначено свое окно, которое открывается после нажатия на кнопки *Добавить* (рис. 9). В нашем примере: тип элемента – оболочка; размеры $a_1 = a_2 = 1,5$ см; бетон В30 естественного твердения; кратковременное раскрытие трещин 0,4 мм; длительное раскрытие трещин 0,3 мм; арматура класса В_р – I диаметром 5 мм.

После задания параметров каждой из характеристик нужно нажать кнопку *Назначить текущим*. Когда все три поля вверху формы *Материалы* (прежде они были пустыми) будут заполнены (рис. 9), нажимаем кнопку *Назначить*. Теперь плите назначены материалы и можно выполнить расчет.

Последовательно выбираем в меню пункты *Режим – Расчет арматуры*. В появившемся окне активируем радиокнопку *Расчет по РСН* и нажимаем на кнопку *Выполнить расчет*.

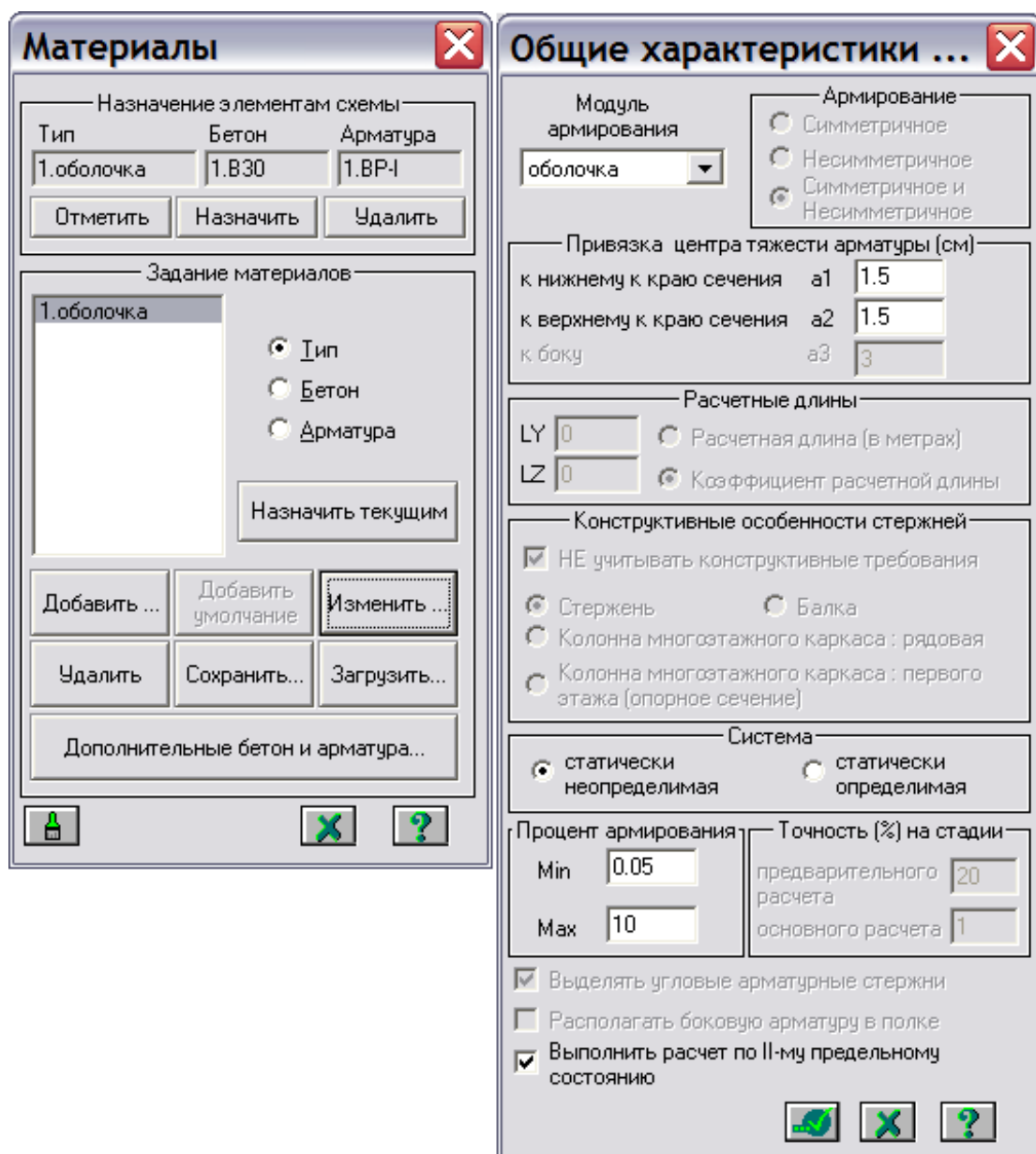


Рис. 9. Диалоговые окна задания материалов

Для визуализации результатов расчета выбираем пункты меню **Результаты – Результаты для пластин**, после чего в нижней части экрана появится новая панель инструментов, нажимая на пиктограммы которой, можно выбирать, какую из арматур (верхнюю, нижнюю, и т.д.) мы хотим просмотреть.

Составим таблицу полученной расчетом арматуры для первых двух пролетов плиты в сечении 1 – 1 .

Элемент	Продольная арматура				Шир. трещин	
	AS1	AS2	AS3	AS4	кратк	длит
721	0.41	0.3	1.37	0.3		
	0.41	0.3	1.37	0.3		
722	1.1	0.3	3.58	0.3	0.05	0.05
	1.1	0.3	3.58	0.3		
723	1.55	0.3	4.69	0.3	0.15	0.15
	1.55	0.3	4.69	0.3		
724	1.74	0.3	4.5	0.3	0.15	0.15
	1.74	0.3	4.5	0.3		
725	1.65	0.3	3.12	0.3	0.14	0.14
	1.65	0.3	3.12	0.3		
726	1.09	0.3	0.3	0.3		
	1.09	0.3	0.3	0.3		
727	1.61	0.3	2.16	0.3	0.11	0.11
	1.61	0.3	2.16	0.3		
728	1.81	0.3	2.89	0.3	0.13	0.13
	1.81	0.3	2.89	0.3		
729	1.66	0.3	1.89	0.3	0.09	0.09
	1.66	0.3	1.89	0.3		
730	1.17	0.3	0.3	0.58		
	1.17	0.3	0.3	0.58		

Рис. 10. Вид интерактивной таблицы

Найдем и выделим конечные элементы с номерами от 721 до 730. Затем выбираем пункты меню **Результаты – Таблицы результатов для выбранных элементов**. Таблица составлена, теперь ее можно просмотреть. В меню выбираем пункты **Результаты – Текстовые файлы – Результаты армирования** или **Результаты - Интерактивные таблицы**. После удаления не представляющих в настоящий момент интереса столбцов и строк таблица примет вид, показанный на рис.10.

Второстепенная балка

Рассмотрим процедуру подбора арматуры на примере первых двух пролетов второстепенной балки, расположенной по середине между осями Б и В.

В меню выбираем пункты **Файл – Импорт**. В диалоговом окне **Импорт** выбираем файл с именем **Второстепенная балка#00.второстепенная балка** и нажимаем на кнопку **Открыть**. Затем выделяем первый и второй пролеты балки, расположенной точно по середине расстояния между осями Б и В (КЭ № от 6801 до 6840). Затем в меню последовательно выбираем пункты **Редактирование – Задание и выбор материала**. В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.9) задаем необходимые для расчета характеристики: **Тип, Бетон** и **Арматура**. При заполнении диалогового окна **Тип** указываем, что рассчитываемый элемент - это стержень, армирование принимаем несимметричное, все размеры *a* принимаем равными 3 см, и отмечаем, что этот стержневой элемент **Балка**. Диалоговое окно **Бетон** заполняем так, как делали это для плиты. При заполнении диалогового окна **Арматура** выбираем класс рабочей арматуры А-III и указываем, что максимальный диаметр стержней 28 мм. Затем на форме **Материалы** нажимаем кнопку **Назначить**. Чтобы выполнить расчет, последовательно выбираем в меню пункты **Режим – Расчет арматуры**. В появившемся окне активируем радиокнопку **Расчет по РСУ** и нажимаем на кнопку **Выполнить расчет**.

Выделяем балку, для которой подобрали арматуру. Затем создаем текстовые файлы результатов подбора арматуры, для этого последовательно выбираем пункты меню **Результаты – Таблицы результатов для выбранных элементов**. Для просмотра таблицы с подобранной арматурой в меню выбираем, например, такие пункты **Результаты – Текстовые файлы – Результаты армирования в формате HTML**.

Имеется возможность просмотра результатов для любого конечного элемента схемы. В меню последовательно выбираем пункты **Результаты – Информация о подобранной арматуре**. Затем курсором выбираем интересующий нас элемент, появляющееся после этого окно с информацией об элементе показано на рис. 11.

PLITA-[Основная схема]

Элемент Сечение Угол соглас.
 6809 2 0

Тип: 10 Вид: С
 УГ: 0
 КОЭ: 0 УКОЭ: 0
 Уз.1: 2325 Уз.2: 2326

Жесткость, материалы Размеры сечения
 1. Брус 20 X 40
 Тип: 1.стержень
 Бетон: 1.В25
 Арматура: 1.А-III
 В = 0.20 Н = 0.40 м

Ц.т. арматуры Длина, расч. длины, ц.тяж.
 a1=0.03; a2=0.03 м. L=0.30; Ly=0; Lz=0 м
 cx=2.43; cy=8.34; cz=0 м

АРМАТУРА продольная

Арм...	AU1	AU2	AU3	AU4
Полная	6.16	6.16	0.44	0.44
Прочно...	6.16	6.16		

Арм...	AS1	AS2	AS3	AS4	%
Полная					1.65
Прочно...					1.54
Кручен...					

АРМАТУРА поперечная

Шаг 100...	ASW1	ASW2
Полная	0.061	0.052
Кручение *	0.000	0.000

Ширина трещин

Крат...	Длит...
0.37	0.22

Показать элемент Сочетания

Рис. 11. Вид открывшегося окна

Теперь подберем арматуру для всех второстепенных балок. С помощью инструмента **Полифилтр** по жесткости (**Брус 20x40**) выделяем все второстепенные балки и присваиваем им ранее созданные материалы (**Тип, Бетон и Арматура**). Затем последовательно выбираем в меню пункты **Режим – Расчет арматуры**. В появившемся окне активируем радиокнопку **Расчет по РСУ** и нажимаем на кнопку **Выполнить расчет**. Для просмотра полученного армирования выделяем все второстепенные балки, а затем выбираем пункты меню **Результаты – Результаты для стержней** и в появившейся в нижней части экрана панели инструментов активизируем пиктограммы арматур, которые нас интересуют (угловая, нижняя, верхняя или поперечная, и. т. д).

Главная балка

Подбор арматуры выполним для первых двух пролетов балки, расположенной по оси 3 (конечные элементы от № 7683 до № 7723).

В меню выбираем пункты **Файл – Импорт**. В диалоговом окне **Импорт** выбираем файл с именем **Главная балка #00. главная балка** и нажимаем на кнопку **Открыть**. Выделяем упомянутые пролеты.

Затем в меню последовательно выбираем пункты **Редактирование – Задание и выбор материала**. В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.9) задаем необходимые для расчета характеристики: **Тип, Бетон и Арматура**.

При заполнении диалогового окна **Тип** указываем, что рассчитываемый элемент - это стержень, армирование принимаем несимметричное, $a_1 = 6,3$ см, $a_2 = 8,9$ см, $a_3 = 3$ см, отмечаем что это **Балка**.

Диалоговое окно **Бетон** заполняем так, как делали это для плиты и второстепенной балки.

При заполнении диалогового окна **Арматура** выбираем класс рабочей арматуры А-III и указываем, что максимальный диаметр стержней 28 мм. Затем на форме **Материалы** нажимаем кнопку **Назначить**.

Для выполнения расчета следует последовательно выбирать в меню пункты **Режим – Расчет арматуры**. В появившемся окне активируем радиокнопку **Расчет по РСН** и нажимаем на кнопку **Выполнить расчет**.

Выделяем первый и второй пролеты балки по оси 3 (конечные элементы с номерами от 7683 до 7723), и создаем текстовые файлы результатов подбора арматуры (**Результаты – Таблицы результатов для выбранных элементов**).

При конструировании балок важно знать, как располагается арматура в сечении. В таблицах с результатами подбора арматуры приняты следующие обозначения:

AU1, AU2, AU3 и AU4 - площадь угловой продольной арматуры;

AS1, AS2, AS3 и AS4 - площадь продольной арматуры, расположенной у боковых граний элемента;

ASW1 и ASW2 – площадь поперечной арматуры – соответственно вертикальной и горизонтальной.

Кроме площадей подобранной арматуры в таблицах (стандартной и интерактивной) приведены значения ширины раскрытия трещин.

Положение арматур в сечении показано на рис. 11.

9. КОРРЕКТИРОВКА МОДЕЛИ

Ранее созданная модель отличается от реальной конструкции тем, что оси балок совпадают со срединной плоскостью плиты, тогда как фактически они располагаются под плитой. Это кажущееся несоответствие легко исправить – с помощью жестких вставок балки можно опустить. Размер жесткой вставки равен расстоянию между осью балки и срединной плоскостью плиты (рис. 12).

Для каждой из трех расчетных схем выполняем следующие действия. Выделяем все второстепенные балки, в меню последовательно выбираем пункты **Жесткости – жесткие вставки**. В открывшемся окне для первого и второго узлов в соответствующие поля вписываем размер вставки (по Z_1) – минус 0,17 м. Знак минус указывает на то, что вставка направлена вниз), и нажимаем кнопку **Применить**.

Выполняя аналогичные действия, разместим жесткие вставки на главных балках, учитывая, что здесь размер вставки равен минус 0,37 м. Повторим выполненные ранее расчеты.

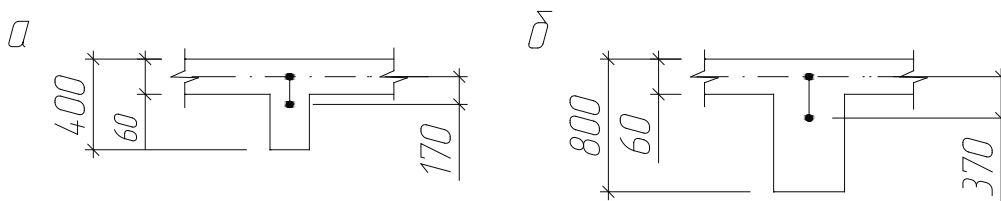


Рис. 12. К определению размеров жесткой вставки:

а – второстепенная балка; б - главная балка

Сопоставим полученные результаты. Рассмотрим, например, второстепенную балку. Сравнение полученных расчетом площадей рабочей арматуры свидетельствует о том, что введение в схему жестких вставок существенно уменьшило разницу между машинным и традиционным расчетом (табл.1).

Таблица 1

Арматура в характерных сечениях второстепенной балки, см²

Положение сечения	Ручной счет	ПК Лиры (по РСУ)	
		Без вставок	Со вставками
Первый пролет	10,8	15,17	12,32
Первая опора (В)	10,1	17,81	10,22
Второй пролет	8,5	12,54	10,44
Вторая опора (С)	8,51	15,25	8,38

При расчете главных балок улучшение решения наблюдается в пролете, а на опорах площадь арматуры уменьшается на 20 – 30 %, как по сравнению с традиционным расчетом, так и по сравнению с результатами расчета схемы без жестких вставок. Уместно заметить, что применение в схеме перекрытия жестких вставок приводит к появлению в балках значительных продольных сил – более 100 кН во второстепенных балках (табл. 2) и до 430 кН - в главных. Вследствие этого балка из изгибаемого элемента превращается либо в элемент внецентренно растянутый (в пролете), либо в элемент внецентренно сжатый (на опоре), что не соответствует реальной работе балок.

Таким образом, желая достичь геометрического сходства модели с фактической конструкцией перекрытия, мы кардинально изменили вид напряженного состояния его стержневых элементов.

Таблица 2

Внутренние усилия в характерных сечениях второстепенной балки

Положение сечения	Ручной счет	ПК Лиры (по РСУ)	
		Без вставок	Со вставками
Первый пролет	M=144,2	M=156,76	M=76,71 N=507,53
Первая опора (В)	M=-114,1	M=-186,39	M=-111,98 N=-344,84
Второй пролет	M=99,75	M=124,8	M=63,29 N=400,98
Вторая опора (С)	M=-99,75	M=-166,26	M=-102,59 N=-373,11
Примечания. 1. Высота жесткой вставки 0,17м. 2. Значения моментов в кН·м, продольных сил - в кН.			

ЛИТЕРАТУРА

1. Железобетонные перекрытия. Примеры расчета и конструирования. Учебное пособие: - Ростов н/Д: РГСУ, 1996.
2. Железобетонные и каменные конструкции: методические указания по выполнению курсового проекта №1 для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» по профилю подготовки «Промышленное и гражданское строительство» / Аксенов Н.Б., Аксенов В.Н., Коробкин А.П. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – 53 с.
3. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*. – М.: Минрегион России, 2011.
4. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Общие положения и требования. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2011.
5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Минрегион России, 2011.
6. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – М.: ФГУП ЦПП. 2011.
7. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям. –Монография. М.: Издательство АСВ, 2011.
8. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы. Е.Б Стрелец–Стрелецкий, А.В. Журавлев, Р.Ю. Водопьянов. Под ред. Академика РААСН, докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкого. – Издательство LIRALAND, 2019.– 154с.
9. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА-САПР®. Руководство пользователя. Обучающие примеры Ромашкина М.А.,Титок В.П. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2018г. – 254 с.
10. Городецкий В.С. и др. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. – Киев; Харьков : НТУ "ХПИ", 2003.
11. Городецкий В.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – Киев: Факт, 2003.