

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	6
Практическое занятие 1 по разделу дисциплины «Теоретические основы, нормативные требования и практические методы расчета железобетонных конструкций» (4 ч) .....	7
Практическая работа 1-1. Аналитический и численный расчет кессонного перекрытия .....	7
Практическая работа 1-2. Конструирование кессонного перекрытия с выполнением схемы и узлов армирования со спецификацией материалов .....	16
Практическое занятие 2 по разделу дисциплины «Автоматизированное проектирование железобетонных конструкций с использованием ПК ЛИРА» .....	19
Практическая работа 2-1. Построение и редактирование расчетных схем с использованием команд ПК ЛИРА: генерация регулярных фрагментов и сетей и перемещение и вращение образующей .....	19
Практическая работа 2-2. Построение и редактирование расчетных схем с использованием команд ПК ЛИРА: жесткие вставки стержней (пластин) и абсолютно жесткое тело (АЖТ) .....	22
Практическое занятие 3 по разделу дисциплины «Железобетонные конструкции монолитных зданий» (4 ч) .....	27
Практическая работа 3-1. Средства программного комплекса ЛИРА для структурирования расчетной схемы здания монолитной КС .....	27
Практическая работа 3-2. Компьютерный расчет на продавливание плоской монолитной плиты перекрытия в зоне ее опирания на колонну .....	29
Практическое занятие 4 по разделу дисциплины «Железобетонные конструкции сборных зданий» (4 ч) .....	31
Практическая работа 4-1. Расчет податливости горизонтального платформенного стыка крупнопанельных зданий .....	31
Практическая работа 4-2. Моделирование жесткости шарнирного стыка многоэтажного каркасного здания при выполнении компьютерного расчета .....	34
Практическое занятие 5 по разделу дисциплины «Организация процесса проектирования и экспертизы проектной документации по разделу КР проекта» (6 ч) .....	36
Практическая работа 5-1. Описание конструктивного решения здания в пояснительной записке раздела КР, выполнение арматурных чертежей со спецификацией материалов .....	37
Практическая работа 5-2. Знакомство с составом и содержанием комплекта рабочих чертежей марки КЖ (АС). Выполнение арматурных чертежей со спецификацией материалов .....	39
Практическая работа 5-3. Виды перекрытий и оценка рациональности их применения при проектировании монолитных каркасных зданий .....	41
Практическое занятие 6 по разделу дисциплины «Экспериментальные и компьютерные исследования железобетонных конструкций» (6 ч) .....	43
Практическая работа 6-1. Экспериментальные исследования многопустотной плиты сборного перекрытия .....	43
Практическая работа 6-2. Компьютерные исследования в ПК ЛИРА напряженно-деформированного состояния железобетонной балки .....	46

Практическая работа 6-3. Определение оптимальных конструктивных параметров для плоского перекрытия монолитного каркасного здания с использованием компьютерной модели ячейки перекрытия.....	49
Практическое занятие 7 по разделу дисциплины «Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений» (6 ч) .....	51
Практическая работа 7-1. Описание дефектов и повреждений железобетонных и каменных конструкций при визуальном обследовании их технического состояния (рис. 7.1–7.5).....	51
Практическая работа 7-2. Определение категории технического состояния железобетонных конструкций по результатам их натурных обследований .....	52
Практическая работа 7-3. Использование модуля локального режима армирования ПК ЛИРА при выполнении поверочных расчетов .....	56
Практическое занятие 8 по разделу дисциплины «Восстановление и усиление железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружений» (6 ч) .....	59
Практическая работа 8-1. Усиление сборных железобетонных многопустотных и ребристых плит перекрытий (рис. 8.1, а) .....	60
Практическая работа 8-2. Усиление сборных железобетонных ригелей перекрытий (рис. 8.2, а, б) .....	64
Практическая работа 8-3. Усиление сборных железобетонных колонн.....	66
Контрольные вопросы и задания для оценки освоения материала практических занятий .....	69
Библиографический список .....	72

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проведение практических занятий по дисциплине «Проектирование строительных конструкций», осуществляемое преподавателями кафедры железобетонных и каменных конструкций, направлено на получение студентами практических знаний и навыков по проектированию и усилению железобетонных конструкций, организации процесса проектирования, обследованию технического состояния конструкций, их лабораторным испытаниям и компьютерным исследованиям.

Учебно-методическое пособие предназначено для проведения практических занятий по указанной выше дисциплине в течение двух семестров в соответствии с тематикой восьми разделов дисциплины. В первом семестре предусмотрено восемь практических занятий по четырем разделам дисциплины. Во втором семестре — двенадцать практических занятий также по четырем разделам дисциплины. При выполнении практических работ используется программный комплекс ЛИРА.

В учебно-методическом пособии приведены общие рекомендации по выполнению практических работ, содержатся нормативные требования и алгоритмы расчета железобетонных конструкций при проектировании и усилении, приведены примеры выполнения заданий, а также содержатся таблицы с вариантами исходных данных, необходимых для выполнения практических заданий.

Практические задания выполняются студентами в соответствии с вариантами исходных данных, оформляются и передаются преподавателю после их коллективного обсуждения в рамках каждого раздела дисциплины. Пропущенные студентами практические занятия должны быть ими проработаны по настоящему УМП самостоятельно, задания выполнены, оформлены и предъявлены преподавателю для зачета.

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1 ПО РАЗДЕЛУ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ» (4 Ч)

## Практическая работа 1-1.

### Аналитический и численный расчет кессонного перекрытия

При проектировании многоэтажных зданий монолитной конструктивной системы для зальных помещений с пролетами  $L = 12 \dots 15$  м в соответствии с [14] рекомендуется применять кессонные перекрытия. Помещения, перекрываемые ими, могут быть квадратными в плане или прямоугольными при соотношении сторон не более 1:1,5. При этом шаг балок выбирается равным 1...2 м. Для кессонных перекрытий назначается класс бетона не ниже В25. Классы ненапрягаемой рабочей арматуры в соответствии с [15] рекомендуется принимать А400, А500, А600. Статический расчет кессонных перекрытий может выполняться численными и аналитическими методами. Статический расчет предшествует расчету конструктивных элементов перекрытия (плиты и ребер-балок), которые проектируются в соответствии с требованиями к расчету и конструированию железобетонных конструкций и изложены в [15].

В табл. 1.1 представлены варианты исходных данных для выполнения практических работ по первому разделу дисциплины.

Таблица 1.1

Номер варианта исходных данных и размеры перекрытия на плане в координатных осях для численного и аналитического расчетов																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10,8 × 10,8 м				11,4 × 11,4 м				12,6 × 12,6 м				10,8 × 10,8 м				10,8 × 10,8 м			
9,6 × 9,6 м			9,0 × 9,0 м			10,2 × 10,2 м			10,0 × 10,0 м			9,5 × 9,5 м			10,5 × 10,5 м				

На рис. 1.1 представлена схема монолитного кессонного перекрытия с размерами в плане  $12 \times 12$  м, опертого по четырем сторонам на стены, по которым установлены контурные балки. Толщина перекрытия составляет 35 см. Балки-ребра перекрытия имеют шаг 2 м. Ширина балок-ребер — 20 см. Толщина плиты составляет 160 мм. Класс бетона по прочности на сжатия — В35, класс арматуры — А500.

### Численный расчет монолитного кессонного перекрытия

Последовательность компьютерного (численного) расчета кессонного перекрытия монолитной плиты следующая.

Признак расчетной схемы — 5.

Толщина стен и контурных балок, с которыми сопрягается кессонное монолитное перекрытие, составляет 200 мм. Сопряжение монолитного кессонного перекрытия и контурных балок — жесткое. Расчетные пролеты перекрытия в двух направлениях составляют  $l_{01} = l_{02} = 12\,000 - 200 = 11\,800$  мм = 11,8 м.

Геометрия плиты монолитного кессонного перекрытия строится с использованием команды *регулярные фрагменты и сети (плита)* из пластинчатых конечных элементов (КЭ). Разбивка плиты кессонного перекрытия на КЭ выполняется с ориентацией на размеры конечных элементов  $0,5 \times 0,5$  м (стандартная разбивка), а также с учетом того, что по узлам пластинчатых КЭ необходимо будет прокладывать стержневые КЭ для моделирова-

ния балок-ребер кессонного перекрытия. Размеры пластинчатых конечных элементов (кроме крайних) приняты  $0,5 \times 0,5$  м, размеры КЭ по периметру расчетной модели кессонного перекрытия приняты  $0,4 \times 0,5$  м и  $0,4 \times 0,4$  м — в угловых зонах периметра.

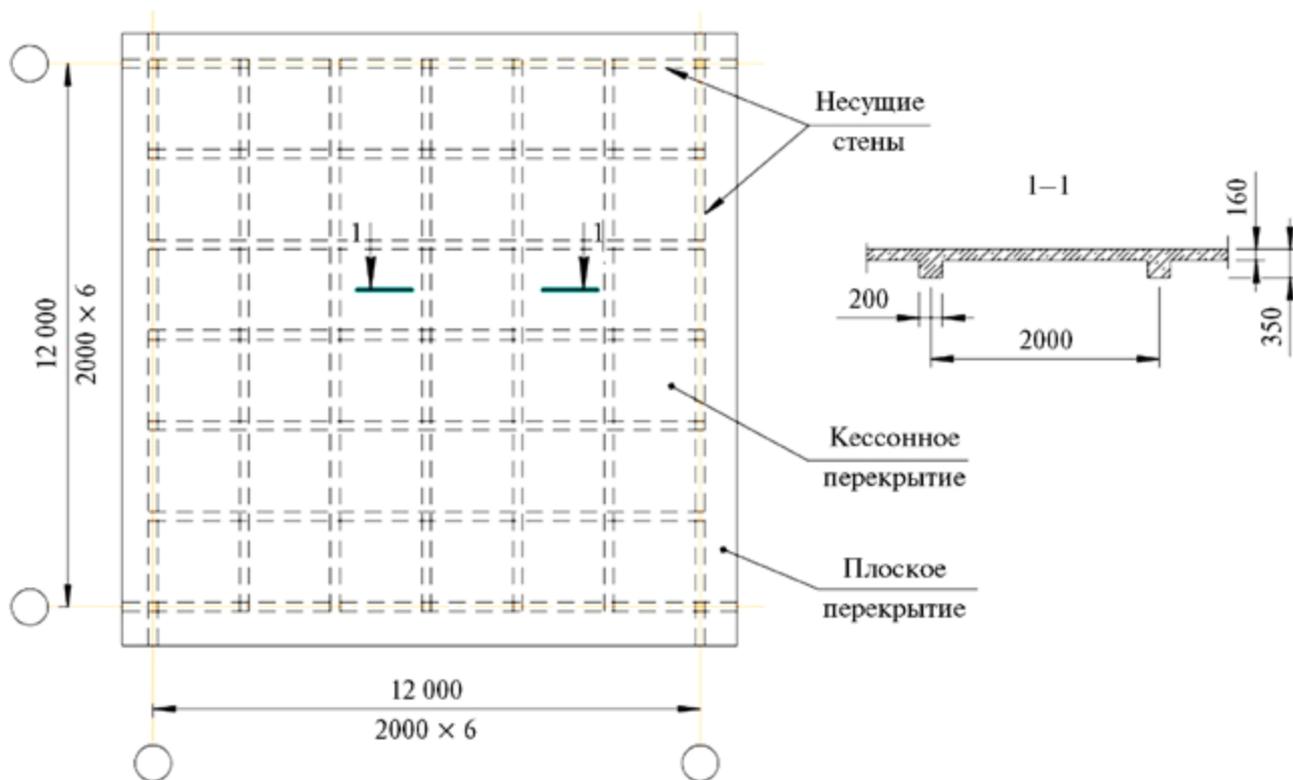


Рис. 1.1. Схема кессонного перекрытия с размерами в плане  $12 \times 12$  м и шагом балок-ребер 2000 мм

Балки моделируются стержнями с использованием команды *добавить элемент* (стержень). Для совмещения верхних граней плиты и балок-ребер используется команда *жесткие вставки стержней*. Узлы конструктивных элементов по контуру монолитного кессонного перекрытия (плиты и балок) закрепляются по направлениям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $UX$ ,  $UY$ ,  $UZ$ .

Расчетная нагрузка на верхнюю грань монолитного кессонного перекрытия (без учета собственного веса) составляет: вес пола —  $1,2 \cdot 1,25 = 1,5$  кПа, временная нагрузка на перекрытие —  $4,0 \cdot 1,2 = 4,8$  кПа. Всего  $1,5 + 4,8 = 6,3$  кПа — расчетная,  $1,2 + 4 = 5,2$  кПа — нормативная,  $1,2 + 4 \cdot 0,35 = 2,8$  кПа — нормативная длительная. Собственный вес с учетом приведенной толщины перекрытия  $16 + 3 = 19$  см (16 см — толщина плиты, 3 см — приведенная толщина балок-ребер, считая от нижней грани плиты), составляет:  $25 \cdot 0,19 = 4,75$  кПа. Расчетное значение —  $4,75 \cdot 1,1 = 5,2$  кПа.

Расчетная нагрузка —  $6,3 + 5,2 = 11,5$  кПа, нормативная нагрузка —  $5,2 + 4,75 = 9,95$  кПа, нормативная длительная нагрузка —  $2,8 + 4,75 = 7,55$  кПа.

Коэффициент надежности по нагрузке принят  $11,5 / 9,95 = 1,16$  (среднее значение); доля длительности составляет  $7,55 / 9,95 = 0,76$ .

### Результаты статического расчета и подбора арматуры

Результаты статического расчета плиты кессонного перекрытия приведены на рис. 1.2, а, где показаны изополя напряжений в плите кессонного перекрытия по  $M_x$  (изополя напряжений по  $M_y$  будут аналогичными). На рис. 1.2, б приведена мозаика перемещений по  $Z$ , мм. Прогиб кессонного перекрытия — в пределах допустимых значений:  $5,14 / 1,16 = 4,43$  см,  $4,43 \cdot 0,76 = 3,36$  см  $< f_{ult} = 11,8 / 250 = 4,7$  см. На рис. 1.2, в приведена площадь арматуры ( $\text{см}^2/\text{м}$ ) по оси  $X$  у нижней грани плиты кессонного перекрытия, на

рис. 1.2,  $\varepsilon$  — площадь арматуры ( $\text{см}^2/\text{м}$ ) по оси  $X$  у верхней грани. Плита кессонного перекрытия армируется двумя сетками, расположенными у верхней и нижней грани полки. По результатам расчета выполнено армирование. У нижней и верхней грани плиты устанавливаются сетки из стержней 8-A500 (основное армирование). Процент армирования составляет  $\mu \% = \frac{2,52 \cdot 100}{13 \cdot 100} = 0,19 \% > 0,1 \%.$

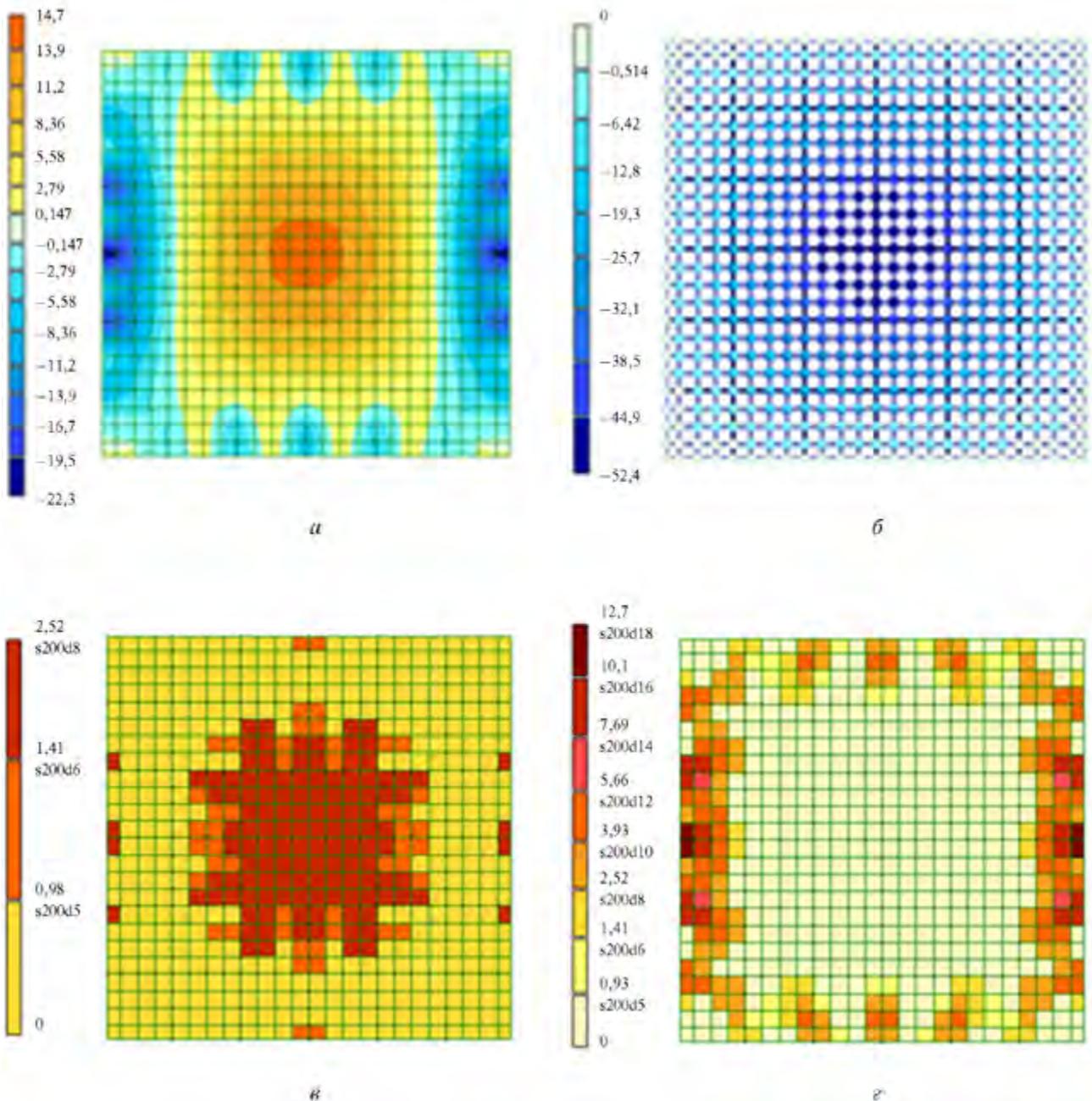


Рис. 1.2. Результаты статического расчета (а, б) и подбора арматуры (в, г) плиты монолитного кессонного перекрытия

Максимальное армирование плиты требуется на опоре перекрытия. Здесь устанавливаются дополнительные стержни армирования. Процент армирования возрастает и составляет  $\mu \% = \frac{12,7 \cdot 100}{13 \cdot 100} = 0,98 \% (8\text{-A500} + 16\text{-A500}).$

На рис. 1.3 приведены результаты статического расчета балок-ребер монолитного кессонного перекрытия, а на рис. 1.4 — результаты подбора арматуры.

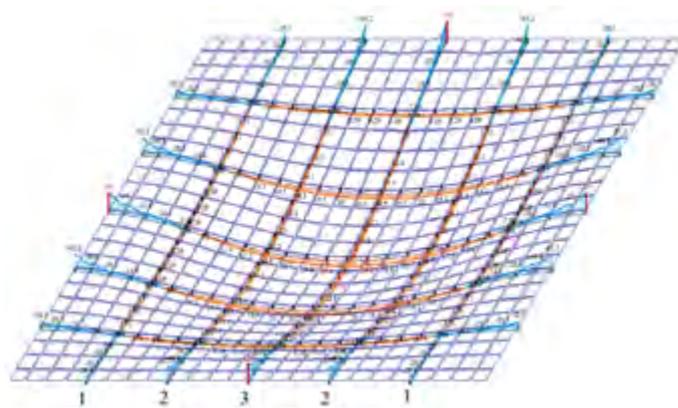


Рис. 1.3. Результаты статического расчета балок-ребер кессонного перекрытия на деформированной схеме. Эпюры изгибающих моментов в балках-ребрах перекрытия (1, 2, 3 — позиции ребер-балок)

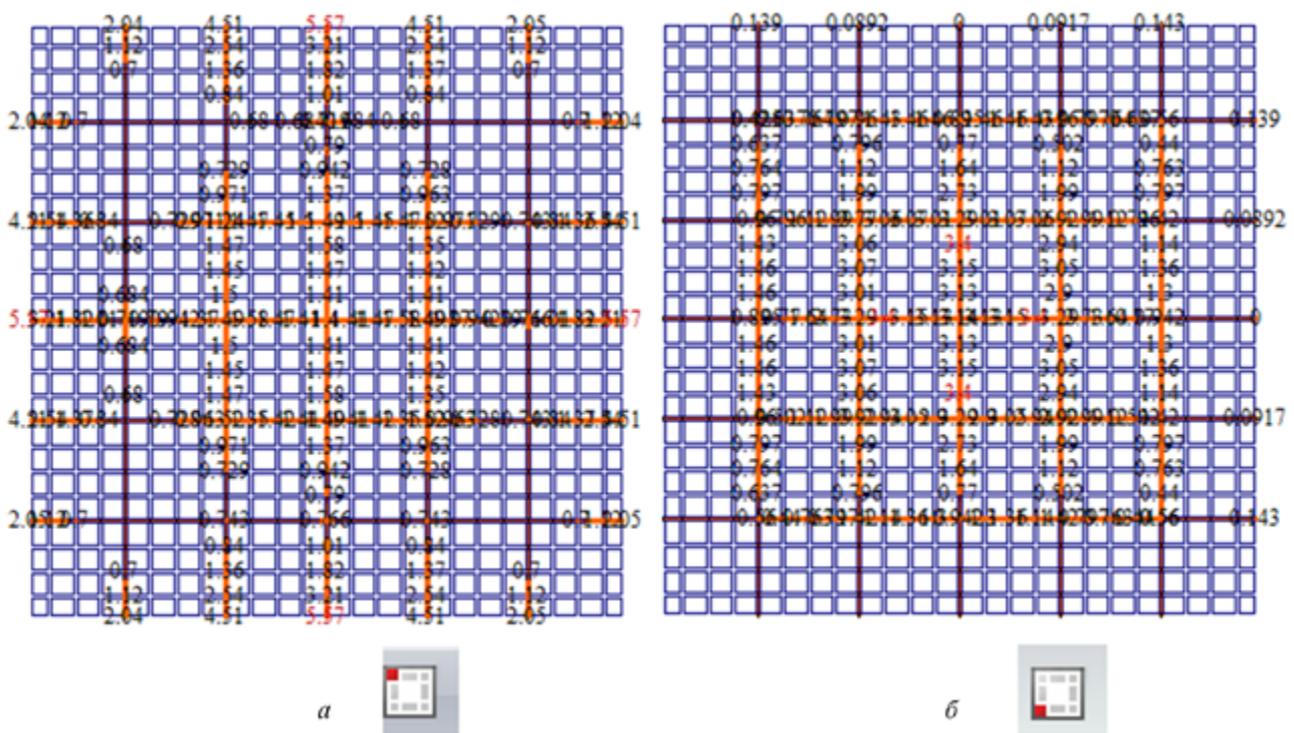


Рис. 1.4. Результаты подбора площади продольной арматуры пересекающихся ребер-балок кессонного перекрытия (см<sup>2</sup>) у верхней грани (а); у нижней грани (б)

В табл. 1.2 представлено армирование для трех балок-ребер кессонного перекрытия, позиции которых даны на рис. 1.3. Класс бетона кессонного перекрытия — В35, класс арматуры — А400. В табл. 1.2 приведены диаметр и шаг арматурных стержней для армирования плиты и ребер кессонного перекрытия, а также процент армирования для конструктивных элементов перекрытия.

Таблица 1.2

плита				балки-ребра (о-опора, п-пролет)					
основная		дополнительная		1		2		3	
верх	низ	верх	низ	верх	низ	верх	низ	верх	низ
8 $S = 200$	8 $S = 200$	16 + 8 $S = 200$	—	2 × 16-о	2 × 12	16 + 18-о 16-п	2 × 20	16 + 25-о 16-п	2 × 20

μ % армирования для элементов кессонного перекрытия 12 × 12 м с шагом пересекающихся балок-ребер 2,0 м из бетона класса В35, арматура класса А500									
плита				балки-ребра (о-опора, п-пролет)					
основная		дополнительная + основная		1		2		3	
верх	низ	верх	низ	верх	низ	верх	низ	верх	низ
0,19	0,19	0,98	—	0,63	0,35	0,71-о 0,31-п	0,98	1,56-о 0,31-п	0,98

На рис. 1.5 приведен узел армирования плиты и балки-ребра позиции 1 (рис. 1.3) кессонного перекрытия.

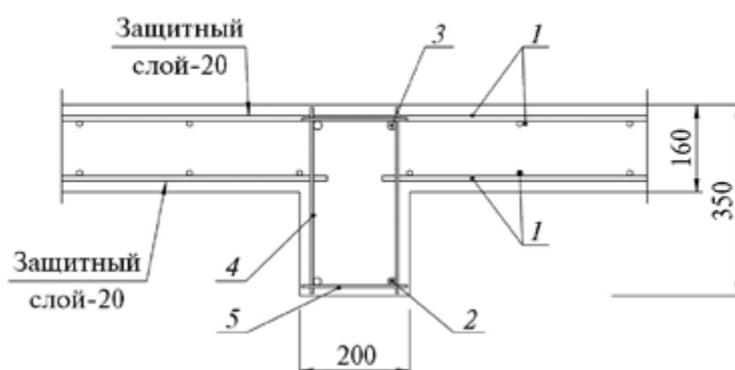


Рис. 1.5. Узел армирования кессонного перекрытия:

- 1 — 8-А500 с шагом 200 мм (стержни сеток у верхней и нижней грани плиты);  
 2 — 12-А500 (нижние продольные стержни каркаса армирования ребра); 3 — 16-А500  
 (верхние продольные стержни каркаса армирования ребра); 4 — 5-В500 (поперечные стержни каркаса);  
 5 — 5-В500 (шпилька каркаса армирования ребра кессонного перекрытия)

### Аналитический расчет монолитного балочного перекрытия

Аналитический расчет монолитного кессонного перекрытия выполняется для перекрытия с размерами плана в координатных осях  $10,8 \times 10,8$  с шагом пересекающихся балок в двух направлениях 1,8 м. Толщина плиты кессонного перекрытия составляет 160 мм, сечение балок —  $200 \times 400$  мм. Глубина опирания перекрытия на кирпичные стены принимается 200 мм. Опирание в расчетной схеме перекрытия рассматривается как шарнирное. Расчетная длина считается от середины площадки опирания конструктивного элемента перекрытия на стену. На рис. 1.6 приведена схема кессонного перекрытия. Алгоритм расчета приведен в [19].

Расчетная нагрузка на верхнюю грань монолитного кессонного перекрытия (без учета собственного веса) составляет: вес пола —  $0,85 \cdot 1,25 = 1,06$  кПа, временная нагрузка на перекрытие  $2,0 \cdot 1,2 = 2,4$  кПа. Всего  $1,06 + 2,4 = 3,46$  кПа — расчетная,  $0,85 + 2 = 2,85$  кПа — нормативная,  $0,85 + 2 \cdot 0,35 = 1,55$  кПа — нормативная длительная. Собственный вес с учетом приведенной толщины перекрытия  $16 + 3 = 19$  см (16 см — толщина плиты, 3 см — приведенная толщина ребер, считая от нижней грани плиты). Расчет приведенной толщины ребер перекрытия выполняется следующим образом:

- ребра перекрытия выступают от нижней грани плиты на  $0,5 - 0,16 = 0,34$  м;
- толщина ребер — 0,2 м, суммарная длина  $10,8 \cdot 5 + (10,8 - 0,2 \cdot 5) \cdot 5 = 79$  м;
- объем бетона —  $0,34 \cdot 0,2 \cdot 79 = 5,37$  м<sup>3</sup>;
- площадь перекрытия —  $10,8 \cdot 10,8 = 116,64$  м<sup>2</sup>;

– приведенная толщина —  $5,37 / 116,64 = 0,046$  м;

– собственный вес перекрытия составляет  $25 \cdot 0,206 = 5,15$  кПа,  $5,15 \cdot 1,1 = 5,6$  кПа.

Расчетная нагрузка —  $3,46 + 5,6 = 9,06$  кПа, нормативная нагрузка —  $2,85 + 5,15 = 8,0$  кПа, нормативная длительная нагрузка —  $1,55 + 5,15 = 6,7$  кПа.

Коэффициент надежности по нагрузке принят  $9,06 / 8,0 = 1,14$  (среднее значение); доля длительности составляет  $6,7 / 8,0 = 0,83$ .

Для балок-ребер, расположенных в середине каждого из расчетных пролетов,  $l_1 = 10,6$  м и  $l_2 = 10,6$  м с шагом балок в двух направлениях, соответственно,  $a = 1,8$  м и  $b = 1,8$  м изгибающие моменты равны:

$$M_{01} = \frac{q_1 \cdot a \cdot l_1^2}{8}, M_{02} = \frac{q_2 \cdot b \cdot l_2^2}{8}, M_{01} = M_{02},$$

где  $q_1, q_2$  — составляющие полной нагрузки  $q = q_1 + q_2$  на один квадратный метр перекрытия, передаваемые в двух направлениях. При этом  $q_1$  и  $q_2$  определяются из условия равенства прогиба в средней точке двух взаимно перпендикулярных полос перекрытия единичной ширины:

$$f_m = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_1 \cdot l_1^4}{E \cdot l_1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_2 \cdot l_2^4}{E \cdot l_2}.$$

При  $l_1 = l_2 = 10,6$  м и  $q_1 l_1^4 = q_2 l_2^4$ . При решении последнего уравнения совместно с уравнением для полной нагрузки  $q$  получается:

$$q_1 = q \frac{l_2^4}{l_1^4 + l_2^4}, q_2 = q \frac{l_1^4}{l_1^4 + l_2^4}.$$

Чем дальше балка отстоит от стены-опоры, тем больший изгибающий момент в ней возникает  $M_1 = k_1 \cdot M_{01}$ ,  $M_2 = k_2 \cdot M_{01}$ ,  $M_3 = k_3 \cdot M_{01}$ , где  $M_{01}$  — изгибающий момент для балки в середине пролета перекрытия, через который вычисляются изгибающие моменты для других балок кессонного перекрытия, он является базовым моментом;  $k_1, k_2, k_3$  — коэффициенты, которые вычисляются через определение прогиба следующим образом.

На рис. 1.6 приведена схема монолитного кессонного перекрытия и показаны  $x_1, x_2, x_3$  — расстояния от середины площадки опирания перекрытия на несущую стену до оси, соответственно, балок-ребер позиций 1, 2, 3.

Если обозначить  $a_i = \frac{x_i}{l_i}$ , то прогиб определяется по формуле

$$f = \frac{16}{5}(a_i - 2a_i^3 + a_i^4)f_m = k_i f_m, \text{ откуда } k_i = \frac{16}{5}(a_i - 2a_i^3 + a_i^4).$$

Если по осям симметрии плана перекрытия балок нет, то изгибающие моменты вычисляются для условных балок, расположенных по осям симметрии.

Для рассматриваемого монолитного кессонного перекрытия:

– перекрываемая площадь (в координатных осях) —  $10,8 \times 10,8$  м;

– материалы: бетон класса В35, арматура класса А500;

– расчетная длина балок перекрытия  $l_1 = l_2 = 10,8 - 0,2 = 10,6$  м (расчетная длина определяется между внутренними гранями стены);

– расстояние от края перекрытия до балки-ребра поз. 1:  $x_1 = 1,7$  м, до балки-ребра поз. 2:  $x_2 = 1,7 + 1,8 = 3,5$  м, до балки-ребра поз. 3:  $x_3 = 5,3$  м (рис. 1.6); соответственно  $a_1 = 1,7 / 10,6 = 0,16$ ,  $a_2 = 3,5 / 10,6 = 0,33$ ;  $a_3 = 5,3 / 10,6 = 0,5$ ;

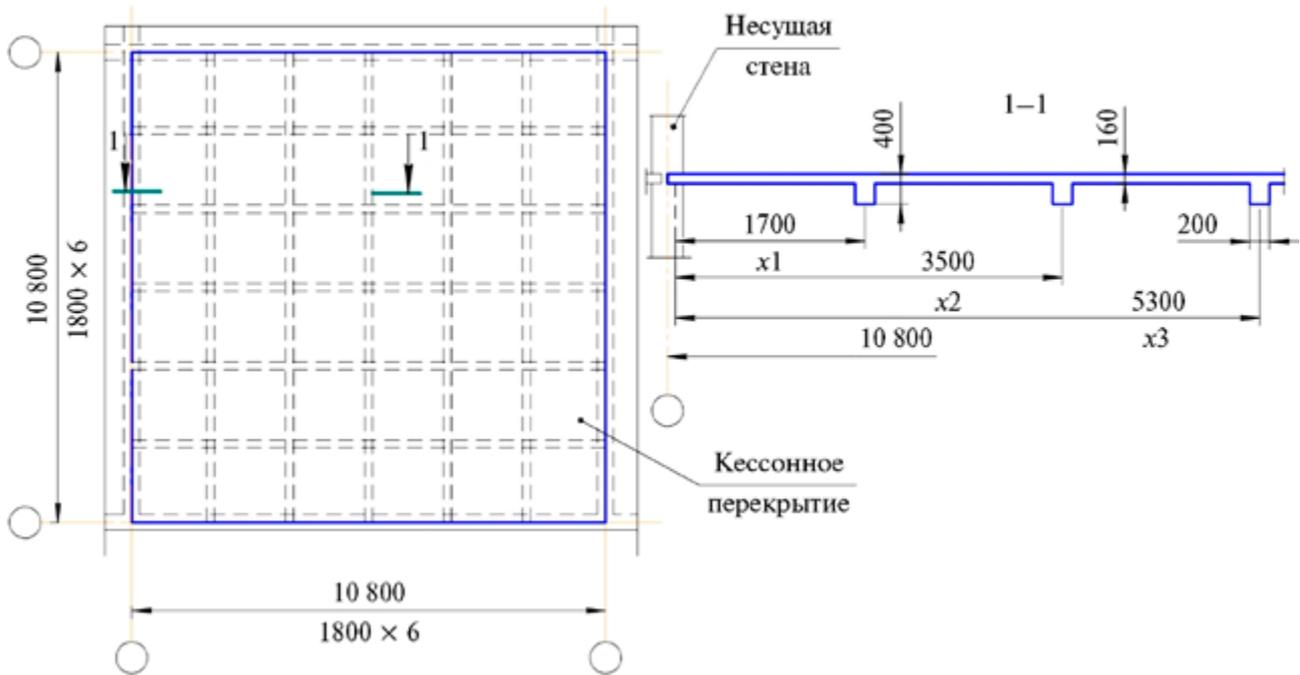


Рис. 1.6. Схема кессонного перекрытия с определением значений  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  для балок-ребер кессонного перекрытия

– коэффициенты пропорциональности в распределении моментов:

$$k_1 = \frac{16}{5}(a_i - 2a_i^3 + a_i^4) = 3,2 \cdot (0,16 - 0,008 + 0,0007) = 0,49,$$

$$k_1 = \frac{16}{5}(a_i - 2a_i^3 + a_i^4) = 3,2 \cdot (0,33 - 0,072 + 0,012) = 0,86,$$

$$k_1 = \frac{16}{5}(a_i - 2a_i^3 + a_i^4) = 3,2 \cdot (0,5 - 0,25 + 0,0625) = 1;$$

– равномерно распределенная нагрузка по верхней грани кессонного перекрытия —  $q = 9,06$  кПа,  $q_1 = q_2 = 4,53$  кПа;

– изгибающие моменты в балках-ребрах:

$$M_{01} = \frac{q_1 \cdot b \cdot l_1^2}{8} = \frac{4,53 \cdot 1,8 \cdot 10,6^2}{8} = \frac{942,4}{8} = 117,8 \text{ кН},$$

$$M_1 = k_1 \cdot M_{01} = 0,49 \cdot 117,8 = 57,7 \text{ кНм}, \quad M_2 = k_2 \cdot M_{01} = 0,86 \cdot 117,8 = 101,3 \text{ кНм},$$

$$M_3 = k_3 \cdot M_{01} = 1 \cdot 117,8 = 117,8 \text{ кНм};$$

– подбор нижней продольной арматуры:

по  $M_3 = 161,5$  кНм, бетон класса В35, арматура класса А500, рабочая высота сечения  $h_0 = 0,37$  м,  $b = 0,2$  м

$$A_0 = \frac{M}{\gamma_{bl} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{117,8}{0,9 \cdot 19\,500 \cdot 0,2 \cdot 0,47^2} = \frac{117,8}{775,36} = 0,15 < A_R = 0,39,$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)