

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра промышленного и гражданского строительства

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ.  
РАСЧЕТ ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ МНОГОПУСТОТНОЙ  
ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ**

Методические указания для выполнения курсового проекта №1  
и курсовой работы

Факультет: инженерно-строительный, ЗДО  
Специальность: 270102 «Промышленное и гражданское строительство»;  
270105 «Городское строительство и хозяйство»  
Направление 270100 «Строительство»

Вологда  
2011

УДК 624.013

**Железобетонные конструкции. Расчет преднапряженной многопустотной плиты перекрытия:** методические указания для выполнения курсового проекта № 1 и курсовой работы. - Вологда: ВоГТУ, 2011, с.

В методических указаниях содержатся основные рекомендации по проектированию сборной плиты перекрытия, приведены необходимые справочные материалы, таблицы, схемы армирования.

Изложена методика расчета по первой и второй группам предельных состояний в соответствии с СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции».

Утверждены редакционно-издательским Советом ВоГТУ

Составители: Е.Н. Шахова, ст. преподаватель каф. ПГС  
Н.В. Михалевич, канд. техн. наук, доцент каф. ПГС

Рецензент: И.А. Рахимова, канд. техн. наук, доцент каф. АД

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания разработаны для выполнения курсового проекта №1 по дисциплине «Железобетонные конструкции» для студентов специальностей 270102 и 270105 и курсовой работы студентов по направлению 270100.

Данные указания содержат рекомендации по расчету и конструированию многопустотных предварительнонапряженных сборных плит перекрытия. Приведены примеры расчета, необходимые справочные данные из свода правил по расчету и конструированию железобетонных конструкций с преднапряжением (СП 52-102-2004).

### **РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МНОГОПУСТОТНОЙ ПРЕДНАПРЯЖЁННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ**

#### **1.Компоновка сборного перекрытия**

В состав сборного балочного междуэтажного перекрытия входят плиты и ригели, опирающиеся на колонны. Направление ригелей может быть продольным и поперечным. При временной нагрузке до  $7 \text{ кН/м}^2$  применяют многопустотные плиты, преимущественно предварительно напряженные.

Количество типоразмеров плит должно быть минимальным: рядовые шириной  $1 \dots 2,4 \text{ м}$ ; связевые плиты –  $1,2 \dots 1,8 \text{ м}$ .

В курсовом проекте принят неполный каркас с несущими наружными кирпичными стенами и поперечным расположением ригеля.

Привязка к продольным осям  $0 \dots 250 \text{ мм}$ . Опираие плит на несущие стены –  $120 \text{ мм}$ . Опираие ригеля  $250; 380 \text{ мм}$ .

Для расчета выбирают рядовую плиту в соответствии с раскладкой по заданной сетке колонн (рис.1).

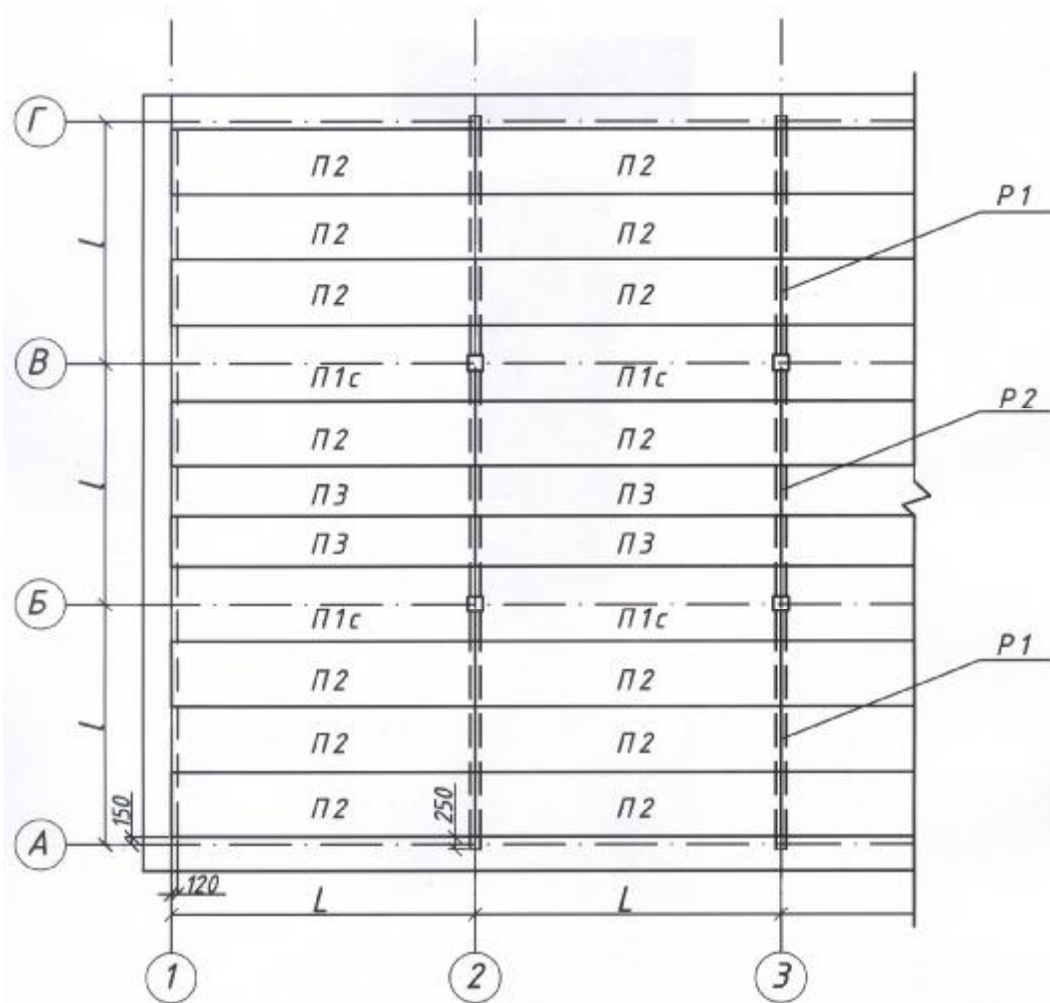
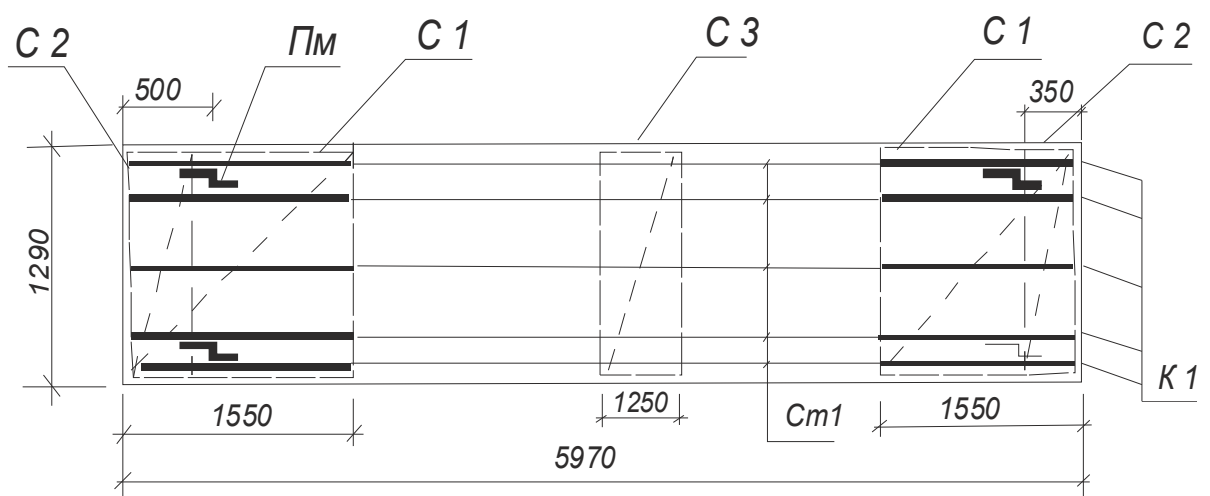


Рис. 1. Конструктивная схема перекрытия

## 2. Исходные данные для проектирования



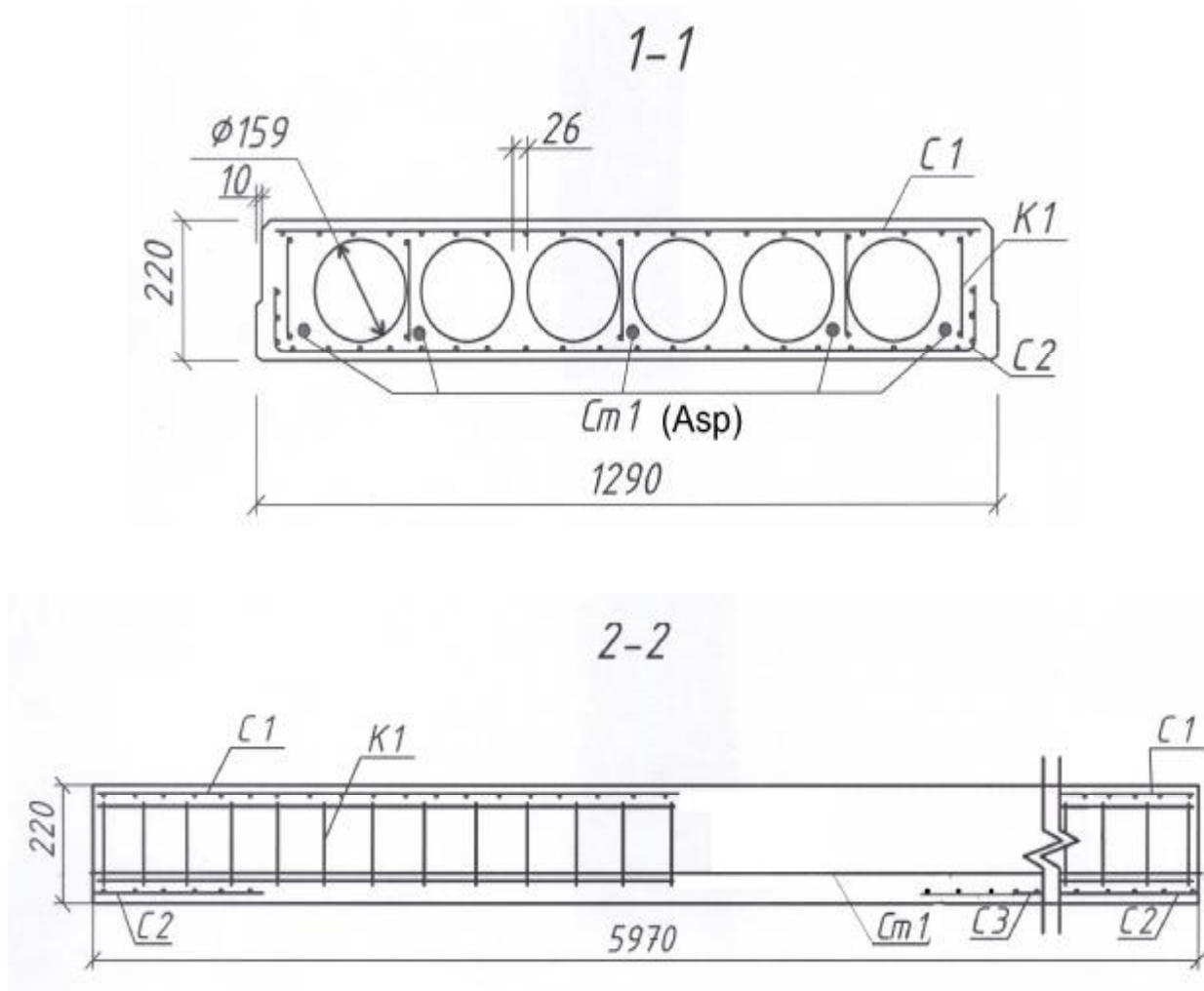


Рис. 2. Схемы плиты с размещением арматуры

Сетка колонн в примере расчета  $\ell \times L = 4,8 \times 6$  м.

Номинальные размеры плиты:  $1,3 \times 6$  м; конструктивные с учетом швов  $1290 \times 5970$  мм.

На рис. 2 показано размещение рабочей и конструктивной арматуры:  
*C1*, *C2*, *C3* - сетки конструктивные.

*C1* - устанавливаются в верхней зоне на  $\frac{1}{4}$  длины плиты и необходимы на период монтажа плиты;

*C2* - устанавливаются в нижней зоне плиты для равномерного распределения напряжений на опоре размером  $(0,05 \dots 0,1) \ell_{нл}$  по длине;

*C-3* – устанавливается в нижней зоне плиты в середине пролета для сдерживания образования трещин в зоне максимальных моментов размером  $0,2 \ell_{нл}$  по длине;

*Cm1* - рабочая стержневая напрягаемая арматура,

*K1* – каркасы, длиной  $\frac{1}{4}$  пролета плиты;

$P_m$  – монтажные петли.

б) Классы материалов

Для сборных плит рекомендуются классы бетона не ниже  $B20$ , арматуры  $A600$ ,  $A800$ , с учетом данных приложения 1.

Принимаем класс бетона:  $B25$ ,

класс рабочей арматуры  $A600(АIV)$ ,

класс ненапрягаемой продольной в каркасах  $A240(АI)$  – верхней,  $A400(АIII)$  – нижней;

класс поперечной арматуры каркасов  $A240(АI)$ ,  $B500(Bp-I)$ ;

конструктивные сетки  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  – из проволочной арматуры  $B500$ .

### 3. Сбор нагрузок на плиту

Таблица 1

Сбор нагрузок на  $1 \text{ м}^2$  перекрытия

| Вид нагрузки  | Нормативное значение, $\text{кН/м}^2$ | $\gamma_f$ | $\gamma_n$ | Расчетное значение, $\text{кН/м}^2$ |
|---|---------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------|
| 1. Постоянная   |                                       |            |            |                                     |
| а) от веса пола:  |                                       |            |            |                                     |
| - линолеум,<br>$\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ , $\delta = 4 \text{ мм}$ ;               | 0,064                                 | 1,2        | 0,95       | 0,073                               |
| - стяжка $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ , $\delta = 20 \text{ мм}$ ;                    | 0,36                                  | 1,3        |            | 0,445                               |
| - звукоизоляционный слой,<br>$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , $\delta = 40 \text{ мм}$ . | 0,32                                  | 1,3        |            | 0,395                               |
| б) от собственного веса<br>$\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ , $\delta = 120 \text{ мм}$ ; | 3                                     | 1,1        |            | 3,135                               |
| Итого:  | $g^n = 3,744$                         |            |            | $g = 4,048$                         |
| 2. Временная  |                                       |            |            |                                     |
| полная (полезная)   | 2,0                                   | 1,2        | 0,95       | 2,28                                |
| в том числе длительная  | 1,0                                   | 1,2        |            | 1,14                                |
| Итого:  | $p^n = 2,0$                           |            |            | $p = 2,28$                          |
| Всего   | $q^n = 5,744$                         |            |            | $q = 6,328$                         |

Определяем нагрузки на 1 погонный метр плиты при номинальной ширине 1,3м:

а) Нормативные: постоянная  $g^n = g_{табл.}^n \cdot b = 3,744 \cdot 1,3 = 4,87 \text{ кН/м}$

полная временная  $p^n = p_{табл.}^n \cdot b = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ кН/м}$

длительная временная  $p_l^n = p_{l,табл.}^n \cdot b = 1 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ кН/м}$

полная  $q^n = g^n + p^n = 4,87 + 2,6 = 7,47 \text{ кН/м}$

- б) Расчётные: постоянная  $g = g_{табл.} \cdot b = 4,048 \cdot 1,3 = 5,26 \text{ кН/м}$   
 временная  $p = p_{табл.} \cdot b = 2,28 \cdot 1,3 = 2,964 \text{ кН/м}$   
 полная  $q = g + p = 5,26 + 2,96 = 8,22 \text{ кН/м}$

### Определение внутренних усилий

Плита рассчитывается как однопролетная шарнирно-опертая балка, нагруженная равномерно - распределенной нагрузкой.

От равномерно распределённой нагрузки возникают М и Q. Расчетный пролет плиты в соответствии с рис. 3а:  $l_0 = L - \frac{b_{риг.}}{2}$ ; для 3б:  $l_0 = L - b_{риг.} + l_{он}$

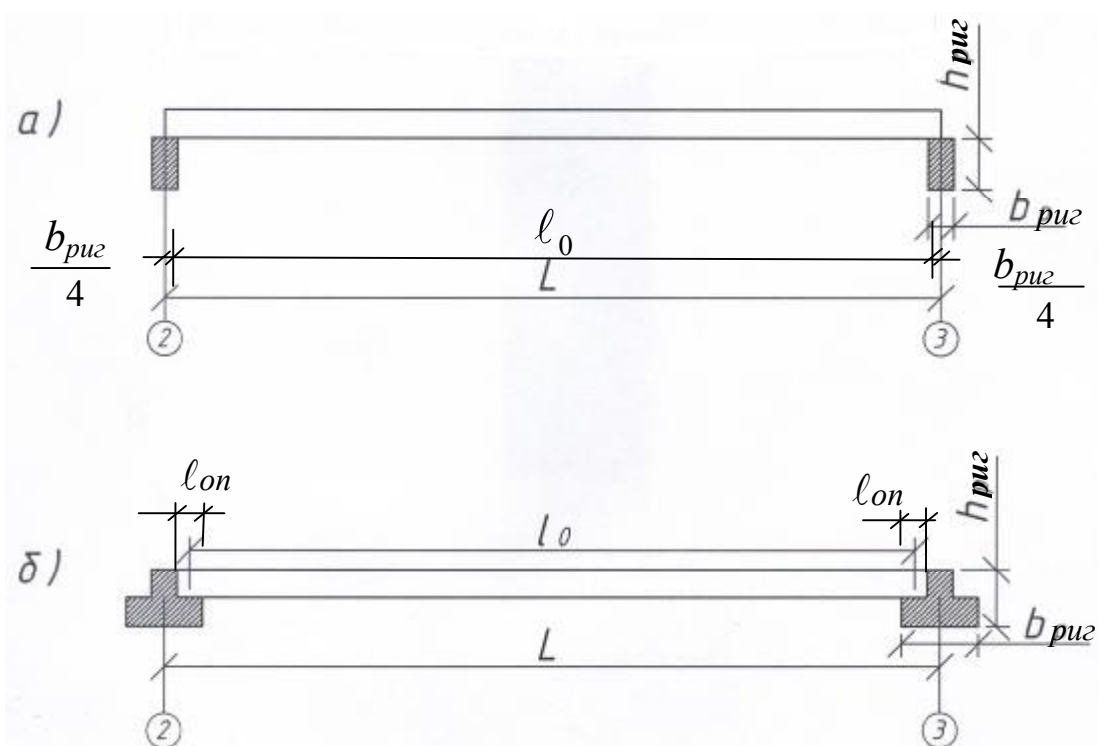


Рис. 3. Схема опирания плиты  
 а) на прямоугольный ригель; б) на тавровый ригель

Высота прямоугольного ригеля принимается из условия  $h_{риг} = \left(\frac{1}{10} \dots \frac{1}{15}\right) l_{риг}$  и кратно 50мм. При длине ригеля 4,8 м; шаге вдоль здания – 6м;  $\frac{1}{10} l_{риг} = 480 \text{ мм}$ ;  $\frac{1}{15} l_{риг} = 320 \text{ мм}$ ; принимаем  $h_{риг} = 400 \text{ мм}$ .

Ширина ригеля принимается из условия  $b_{риг} = (0,3 \dots 0,5) h_{риг}$ , кратно 50мм и  $\geq 150 \text{ мм}$ ;  $0,3 h_{риг} = 120 \text{ мм}$ ,  $0,5 h_{риг} = 200 \text{ мм}$ , принимаем  $b_{риг} = 200 \text{ мм}$ .

Тогда  $l_0 = 6000 - \frac{200}{2} = 5900 \text{ мм} = 5,9 \text{ м}$ .

Для таврового ригеля размеры могут быть приняты:  $h_{\text{риг.}} = 450 \text{ мм}$ ,  
 $b_{\text{риг.}} = 400 \text{ мм}$ ,  $\ell_{\text{опирания}} = 100 \text{ мм}$ .

Момент от полной нормативной нагрузки

$$M^n = \frac{q^n \cdot l_0^2}{8} = \frac{(g^n + p^n) \cdot l_0^2}{8} = \frac{7,47 \cdot 5,9^2}{8} = 32,5 \text{ кНм}$$

Момент от постоянной и длительной нагрузки

$$M_l^n = \frac{(q^n + p_n^l) l_0^2}{8} = \frac{(4,87 + 1,3) 5,9^2}{8} = 26,85 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Момент от полной расчётной нагрузки

$$M = \frac{q l_0^2}{8} \cdot \frac{(g + p) l_0^2}{8} = \frac{(5,26 + 2,964) 5,9^2}{8} = 35,77 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Поперечная сила от полной расчётной нагрузки

$$Q = \frac{(g + p) l_0}{2} = \frac{(5,26 + 2,964) \cdot 5,9}{2} = 24,25 \text{ кН}$$

#### 4. Расчёт плиты по предельным состояниям первой группы

##### 4.1 Расчёт прочности нормальных сечений. Подбор продольной арматуры

Переходим от фактического сечения к расчетному двутавровому, заменяя круглые пустоты эквивалентными квадратными (рис.4), при этом сторона квадрата равна:

$$h_{\text{отв.}} = 0,9 \cdot d = 143 \text{ мм}$$

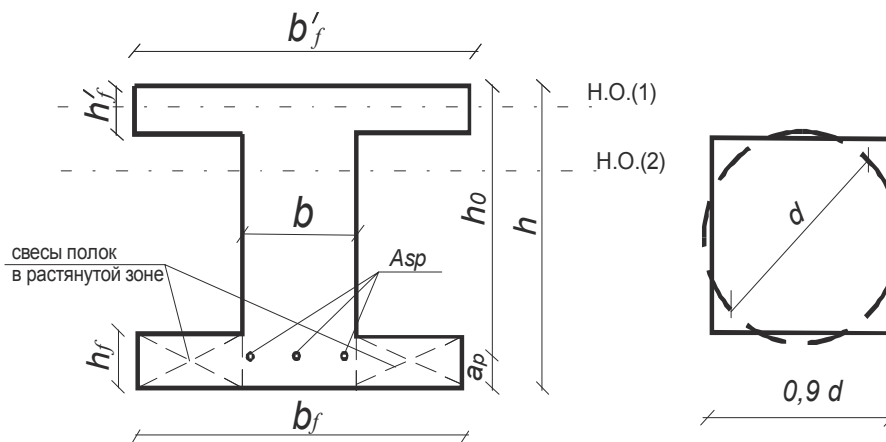


Рис.4. Расчетное поперечное сечение плиты  
 1 - нейтральная ось в полке сечения;  
 2 - нейтральная ось в ребре сечения.



Ширина полки в растянутой зоне  $b_f = b_{пл} = 1290 \text{ мм}$ ;

Ширина полки в сжатой зоне  $b'_f = b_f - 2 \cdot 10 \text{ мм} = 1270 \text{ мм}$ ;

Расстояние от центра тяжести рабочей арматуры до ближайшей грани  $a_p = 30 \dots 35 \text{ мм}$ ;

Рабочая высота  $h_0 = 220 - 30 = 190 \text{ мм}$ ;

Суммарная ширина ребер:

$$b = b'_f - n \cdot h_{отв.} = 1270 - 6 \cdot 143 = 412 \text{ мм};$$

где  $n$  - количество пустот в плите, см рис. 2 сечение 1-1.

$$h = 220 \text{ мм}; h_f = h'_f = \frac{220 - 143}{2} = 38,5 \text{ мм}.$$

При расчете по прочности сечение принимают тавровым с полкой в сжатой зоне (свесы полки в растянутой зоне не учитываются, см. рис. 4).

Определяем расчётный случай таврового сечения. Если изгибающий момент от полной расчётной нагрузки

$$M \leq \gamma_{bl} R_b \cdot b'_f \cdot h'_f \cdot (h_0 - 0,5h'_f),$$

то нейтральная ось проходит в полке, рис. 4 (1). Здесь  $R_b$  – расчётное сопротивление бетона сжатию (табл. 5.2. [3] или по прил. 4), для класса  $B25 R_b = 14,5 \text{ МПа}$ ;  $\gamma_{bl} = 0,9$  коэффициент условий работы бетона (п. 2.1.2.3 [4]).

Если условие не выполняется, то нейтральная ось в ребре, рис. 4 (2), в этом случае расчет производят по [5].

$$35,77 \text{ кНм} < 0,9 \cdot 14,5 \cdot 10^6 \cdot 1,27 \cdot 0,039 \cdot (0,19 - \frac{1}{2} \cdot 0,039) = 110,2 \text{ кНм}$$

Условие выполняется, граница сжатой зоны проходит в полке и расчёт ведём как для прямоугольного сечения шириной  $b'_f$ .

Найдём коэффициент  $\alpha_m (A_0)$ :

$$\alpha_m = \frac{M}{0,9 \cdot R_b \cdot b'_f \cdot h_0^2} = \frac{35,77}{0,9 \cdot 14,5 \cdot 10^3 \cdot 1,27 \cdot 0,19^2} = 0,0598$$

Для изгибаемых элементов должно выполняться условие  $\xi \leq \xi_R$ ;

где  $\xi$  - относительная высота сжатой зоны бетона;

$\xi_R$  - граничная относительная высота сжатой зоны бетона (ф.32 [4] или по прил.11).

Для арматуры класса А600 и при отношении  $\frac{\sigma_{sp}}{R_s} = 0.6$  значение коэффициента  $\xi_R = 0.43$ , тогда

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0.0598} = 0.062 < 0,43$$

Если выполняется условие  $\xi \leq \xi_R$ , то сжатой арматуры не требуется.

Коэффициент условий работы высокопрочной арматуры при напряжениях выше условного предела текучести

$$\gamma_{S3} = 1.25 - 0.25 \frac{\xi}{\xi_R} \leq 1.1$$

Если  $\frac{\xi}{\xi_R} < 0,6$ , то можно принимать  $\gamma_{S3} = 1.1$

Находим  $\frac{\xi}{\xi_R} = \frac{0.062}{0.43} = 0.144$ , а это  $< 0.6 \Rightarrow \gamma_{S3} = 1.1$ .

Сопротивление арматуры растяжению для класса А600  $R_s = 520$  МПа (табл.8 [4] или прил. 6). Площадь сечения рабочей преднапряженной арматуры (см. рис. 2, сечение 1-1):

$$A_{SP} = \frac{\xi \cdot R_b \cdot \gamma_{bl} \cdot b'_f \cdot h_0}{R_s \cdot \gamma_{S3}} = \frac{0,062 \cdot 14,5 \cdot 0,9 \cdot 1,27 \cdot 0,19 \cdot 0,9}{520 \cdot 0,9 \cdot 1,1} = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 3,41 \text{ см}^2$$

По сортаменту (приложение 10) подбираем диаметр и количество стержней, принимаем 5 Ø 10 А600;  $A_{sp} = 3.93 \text{ см}^2$  и располагаем симметрично через 1...2 пустоты (на расстоянии не более 400мм между ними по п. 8.3.6 [3]).

## 4.2 Расчет прочности наклонных сечений. Подбор сечений арматуры

*Прочность по сжатой бетонной полосе между наклонными сечениями проверяют из условия:*

$$Q \leq 0,3 \cdot R_b \cdot \gamma_{bl} \cdot b_{\min} \cdot h_0 = 0,3 \cdot 0,9 \cdot 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,336 \cdot 0,19 = 249,93 \text{ кН}$$

$$b_{\min} = b_{\text{пл}} - n \cdot d_{\text{отв.}} = 1,29 - 6 \cdot 0,159 = 0,336 \text{ м}$$

$$Q = 24,25 \text{ кН} < 249,93 \text{ кН} \Rightarrow \text{первое условие выполняется.}$$

*Прочность изгибаемых элементов по наклонному сечению допускается определять из условия:*

$$Q \leq Q_{bl} + Q_{sw1},$$

где  $Q$  – поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки (п.3);

$Q_{bl}$  – поперечная сила, воспринимаемая бетоном

$$Q_{bl} = Q_{bl, \min} = 0,5 \cdot R_{bt} \cdot \gamma_{bl} \cdot b_{\min} \cdot h_0 = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 10^3 \cdot 0,336 \cdot 0,19 = 30,16 \text{ кН}$$

Для В25  $R_{bt} = 1,05 \cdot 10^6$  Па (табл. 2 [4] или приложение 4)

$Q_{swl}$  – поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в нормальном сечении

$$Q_{swl} = Q - Q_b = 24,25 - 30,16 = -5,91 \text{ кН}$$

Т.к.  $Q_{swl} < 0$ , то поперечная арматура по расчету не требуется и принимается конструктивно.

Конструктивные требования для поперечного армирования (п.8.3.П [3]:

- на участках, где поперечная сила не может быть воспринята только бетоном (приопорная зона)  $S_w \leq \frac{h_0}{2}$  и  $S_w \leq 300 \text{ мм}$  ;

- при высоте балок менее 150 мм и плит менее 300 мм поперечную арматуру в средней части пролета можно не устанавливать.

$$S_w = \frac{h_0}{2} = \frac{190}{2} = 95 \text{ мм} .$$

Арматура класса В500, диаметром 4...5мм или А240  $\varnothing$  6мм.

Принимаем шаг поперечных стержней  $S = 95 \text{ мм}$ ,  $\varnothing 4 \text{ В500}$  и конструируем каркасы, размещая их в приопорных зонах через 1...2 пустоты по сечению плиты (рис.2).

## 5. Расчёт плиты по предельным состояниям второй группы

### 5.1. Геометрические характеристики приведённого сечения

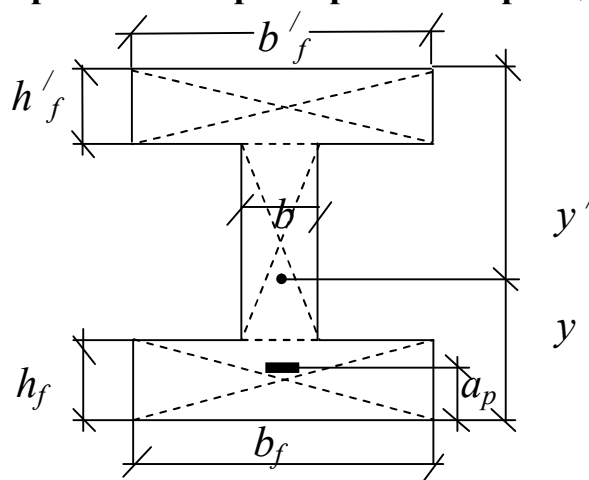


Рис. 5 Схема к расчёту приведенного сечения

Если модуль упругости стали  $E_s=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  (п. 2.2.2.6 [4] или прил.8), а модуль упругости бетона класса  $B25 E_b=30 \cdot 10^3 \text{ МПа}$  (табл.4 [4] или прил. 5), то коэффициент приведения

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{2 \cdot 10^5}{30 \cdot 10^3} = 6,67$$

**Площадь приведённого сечения  $A_{red}$ :**

$$A_{red} = \sum A_{bi} + \alpha \cdot A_{sp} = b'_f \cdot h'_f + b \cdot h_{омв.} + b_f \cdot h_f + \alpha \cdot A_{sp},$$

где  $\sum A_{bi}$  – площадь сечения бетона;

$A_{sp}$  – фактическая площадь рабочей арматуры (по сортаменту)

$$A_{red} = 127 \cdot 3,9 + 41,2 \cdot 14,3 + 129 \cdot 3,8 + 6,67 \cdot 3,93 = 1600,87 \text{ см}^2$$

**Статический момент приведенного сечения относительно нижней грани:**

$$S_{red} = \sum A_{bi} \cdot y_{bi} + \alpha \cdot A_{sp} \cdot \alpha_p = b'_f \cdot h'_f \left( h - \frac{h'_f}{2} \right) + b \cdot h_{омв.} \cdot \frac{h}{2} + b_f \cdot h_f \cdot \frac{h_f}{2} +$$

$$+ \alpha \cdot A_{sp} \cdot \alpha_p = 127 \cdot 3,9 \left( 22 - \frac{3,9}{2} \right) + 41,2 \cdot 14,3 \cdot \frac{22}{2} + 129 \cdot 3,8 \cdot \frac{3,8}{2} + 6,67 \cdot 3,93 \cdot 3 = 17421,54 \text{ см}^3$$

**Расстояние от нижней грани до центра тяжести приведённого сечения:**

$$y = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{17421,54}{1600,87} = 10,88 \text{ см}$$

**Момент инерции относительно центра тяжести приведённого сечения:**

$$J_{red} = J_b + \sum A_{bi} \cdot y_{bi}^2 + \alpha \cdot A_{sp} \cdot y_p^2 = \frac{b'_f \cdot h'^3_f}{12} + b'_f \cdot h'_f \left( y' - \frac{h'_f}{2} \right)^2 + \frac{b \cdot h^3_{омв.}}{12} +$$

$$+ b \cdot h_{омв.} \left( \frac{h}{2} - y \right)^2 + \frac{b_f \cdot h^3_f}{12} + b_f \cdot h_f \cdot \left( y - \frac{h_f}{2} \right)^2 + \alpha \cdot A_{sp} \cdot (y - a_p)^2 = \frac{127 \cdot 3,9^3}{12} +$$

$$+ 127 \cdot 3,9 \left( 11,12 - \frac{3,9}{2} \right)^2 + \frac{41,2 \cdot 14,3^3}{12} + 41,2 \cdot 14,3 \left( \frac{22}{2} - 10,88 \right)^2 + \frac{129 \cdot 3,8^3}{12} +$$

$$+ 129 \cdot 3,8 \cdot \left( 10,88 - \frac{3,9}{2} \right)^2 + 6,67 \cdot 3,93 \cdot (10,88 - 3)^2 = 93633,8 \text{ см}^4$$

**Момент сопротивления приведенного сечения:**

$$W_{red} = \frac{J_{red}}{y} = \frac{93633,8}{10,88} = 8606,05 \text{ см}^3$$

## 5.2. Расчёт потерь предварительного напряжения арматуры

Величина преднапряжения за счёт целого ряда факторов с течением времени снижается. Плита при изготовлении подвергается тепловой обработке при атмосферном давлении. Натяжение осуществляется на упоры электротермическим способом.

Предварительное напряжение  $\sigma_{sp}$  принимают не более  $0,9R_{s,n}$  для горячекатаной и термомеханически упрочненной арматуры и не более  $0,8R_{s,n}$  для холоднодеформированной и канатной, ( $R_{s,n}$  – нормативное сопротивление арматуры растяжению, по табл.7 [4]). Для класса  $A600$  принимаем

$$\sigma_{sp} = 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ МПа}$$

Первые потери (до передачи усилия обжатия на бетон) включают:

1) потери от релаксации напряжений в арматуре. Для принятого в проекте вида арматуры и способа натяжения в соответствии с п. 2.2.3.3. [4]

$$\Delta\sigma_{sp1} = 0,03 \cdot \sigma_{sp1} = 0,03 \cdot 480 = 14,4 \text{ МПа}$$

2) потери от температурного перепада при поточно-агрегатной технологии не учитывают

$$\Delta\sigma_{sp2} = 0$$

3) потери от деформации формы или упоров, при электротермическом способе не учитывают

$$\Delta\sigma_{sp3} = 0$$

4) потери от деформации анкеров при электротермическом способе не учитывают

$$\Delta\sigma_{sp4} = 0$$

Усилие обжатия с учетом первых потерь

$$\begin{aligned} P_{(1)} &= A_{sp} \cdot (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp1} - \Delta\sigma_{sp2} - \Delta\sigma_{sp3} - \Delta\sigma_{sp4}) = \\ &= 3,93 \cdot 10^{-4} (480 - 14,4 - 0 - 0) = 0,183 = 183 \text{ кН} \end{aligned}$$

Напряжение в бетоне на уровне центра тяжести продольной арматуры от усилия натяжения

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} + \frac{P_{(1)} \cdot e_{op}^2}{I_{red}},$$

где  $e_{op}$  – эксцентриситет усилия  $P_{(l)}$  относительно центра тяжести приведенного сечения,  $e_{op} = y - a_p = 0,1088 - 0,03 = 0,0788 \text{ м}$ ;

$$\sigma_{bp} = \frac{183}{1600,87} + \frac{183 \cdot 7,88^2}{93633,8} = 0,235 \text{ кН/см}^2 = 2,35 \text{ МПа}$$

Вторые потери (после передачи усилия натяжения на бетон) включают:  
5) потери от усадки бетона

$$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh} \cdot E_s$$

где  $\varepsilon_{b,sh}$  – деформации усадки бетона, принимаются в зависимости от класса бетона по [5]. Для классов В35 и ниже  $\varepsilon_{b,sh} = 0,0002$ ;  $E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

$$\Delta\sigma_{sp5} = 0,0002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 40 \text{ МПа}$$

б) потери от ползучести бетона.

Потери от ползучести бетона

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0,8 \cdot \alpha \cdot \varphi_{b,cr} \cdot \sigma_{bp}}{1 + \alpha \cdot \mu_{sp} \cdot \left(1 + \frac{y_s^2 \cdot A_{red}}{I_{red}}\right) \cdot (1 + 0,8 \cdot \varphi_{b,cr})},$$

где  $\alpha = 6,67$  – был найден ранее;

$\varphi_{b,cr}$  – коэффициент ползучести бетона, принимается в зависимости от влажности среды и от класса бетона. Для В25 и влажности в пределах нормы ( $w=40-75\%$ ),  $\varphi_{b,cr} = 2,5$  табл. 5 [4] или прил. 14);

$\mu_{sp}$  – коэффициент армирования напрягаемой арматурой

$$\mu_{sp} = \frac{A_{sp}}{A} = \frac{3,93}{127 \cdot 3,9 + 14,3 \cdot 41,2 + 129 \cdot 3,8} = 0,00249$$

$y_s$  – это расстояние между центрами тяжести сечения напрягаемой арматуры и приведённого сечения,  $y_s = e_{op} = 0,0788 \text{ м}$ .

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0,8 \cdot 6,67 \cdot 2,5 \cdot 2,35}{1 + 6,67 \cdot 0,00249 \cdot \left(1 + \frac{0,0788^2 \cdot 0,16}{9,3633 \cdot 10^{-4}}\right) \cdot (1 + 0,8 \cdot 2,5)} = 28,43 \text{ МПа}$$

Полное значение первых и вторых потерь:

$$\Delta\sigma_{sp(2)} = \sum_{i=1}^6 \Delta\sigma_{spi} = 14,4 + 40 + 28,43 = 82,83 \text{ МПа}$$

Суммарные потери следует принимать не менее 100МПа п. 2.2.3.9 [4]), поэтому

$$\Delta\sigma_{sp(2)} = 100 \text{ МПа}$$

Усилие в напрягаемой арматуре с учётом полных потерь:

$$P_{(2)} = A_{sp} \cdot (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(2)}) \cdot \gamma_{sp} = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot (480 - 100) \cdot 10^3 \cdot 0,9 = 134,4 \text{ кН},$$

где  $\gamma_{sp}$  - коэффициент, учитывающий возможные отклонения преднапряжений,  $\gamma_{sp} = 0,9$ .

### 5.3. Расчёт по образованию нормальных трещин

Трещины не образуются, если

$$M^n < M_{crc} = W_{pl} \cdot R_{bt,ser} + P_{(2)} \cdot (e_{op} + r),$$

где  $W_{pl} = y \cdot W_{red} = 1,25 \cdot 0,008606 = 0,01076 \text{ м}^3$  - для двутаврового симметричного сечения;

$$R_{bt,ser} = 1.6 \text{ МПа для } B25 \text{ (табл. 1[4] или прил.3);}$$

$$r = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{8606,05}{1600,87} = 5,38 \text{ см} = 0,0538 \text{ м} - \text{расстояние от центра тяжести}$$

приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны;

$$M_{crc} = 0,01076 \cdot 1,6 + 0,134 \cdot (0,0788 + 0,053) = 0,035 \text{ МН} \cdot \text{м} = 35 \text{ кНм},$$

$M^n = 32,5 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{crc} = 35 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , т.е. трещины в растянутой зоне от эксплуатационных нагрузок не образуются и расчёт по раскрытию трещин не требуется.

Если трещины образуются, то расчет их раскрытия и расчет прогиба (см. п.6 МУ).

### 5.4. Расчёт прогиба плиты без трещин

Расчет изгибаемых элементов по деформациям производят из условия:

$$f \leq f_{ult},$$

где  $f$  – прогиб от внешней нагрузки,

$f_{ult}$  – предельно допустимый прогиб для балок и плит при длине от 3 до 12 м не должен превышать  $\frac{1}{200}$  пролета.

Для свободно опертой балки максимальный прогиб

$$f = S \cdot l_0^2 \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{\max},$$

где  $S$  – коэффициент, зависящий от расчетной схемы и вида нагрузки; при равномерно распределенной нагрузке  $S = 5/48$ ; при равных моментах по концам балки от силы обжатия  $S = 1/8$ .

Полная кривизна сечения для участков без трещин в растянутой зоне

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4,$$

Полный прогиб  $f = f_1 + f_2 - f_3 - f_4$

Прогиб от непродолжительного действия кратковременной нагрузки:

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot l_0^2 \cdot \frac{M^n - M_\ell^n}{0,85 \cdot E_b \cdot I_{red}} = \frac{5}{48} \cdot 5,9^2 \cdot \frac{32,5 - 26,85}{0,85 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 9,3633 \cdot 10^{-4}} = 8,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Прогиб от продолжительного действия постоянных и длительных временных нагрузок:

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot l_0^2 \cdot \frac{M_\ell^n}{E_{b1} \cdot I_{red}} = \frac{5}{48} \cdot 5,9^2 \cdot \frac{26,85}{8,57 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 9,3633 \cdot 10^{-4}} = 0,0121 \text{ м} = 12,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$E_{b1} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} = \frac{30 \cdot 10^6}{1 + 2,5} = 8,57 \cdot 10^6 \text{ кПа}$$

Выгиб, обусловленный непродолжительным действием предварительного обжатия бетона:

$$f_3 = \frac{1}{8} \cdot l_0^2 \cdot \frac{P_{(1)} \cdot e_{op}}{0,85 \cdot E_b \cdot I_{red}} = 0,125 \cdot 5,9^2 \cdot \frac{183 \cdot 0,0788}{0,85 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 9,3633 \cdot 10^{-4}} = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Выгиб от влияния усадки и ползучести бетона:

$$f_4 = \frac{1}{8} \cdot l_0^2 \cdot \frac{\Delta\sigma_{sp5} + \Delta\sigma_{sp6}}{E_s \cdot h_0} = 0,125 \cdot 5,9^2 \cdot \frac{(40 + 28,43)}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,19} = 7,84 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Полное значение прогиба



$$f = f_1 + f_2 - f_3 - f_4 = 0,000857 + 0,0121 - 0,00263 - 0,00784 = 0,00249 \text{ м} = 0,25 \text{ см}$$

Предельное значение  $f_{ult} = \frac{1}{200} \cdot 5.90 = 2.95 \text{ см}$

$$0.25 \text{ см} \leq 2.95 \text{ см}$$

Условие выполняется, жесткость плиты обеспечена.

## 6. Расчет плиты по II группе предельных состояний при наличии трещин

При условии, когда  $M^n > M_{crc}$  в сечении плиты образуются нормальные трещины и необходим расчет по определению ширины их раскрытия.

### 6.1. Расчет ширины раскрытия нормальных трещин в стадии эксплуатации

Пример расчета приведен в таблице 3

Таблица 3

| Формула   | $a_{crc1}$           | $a_{crc2}$         | $a_{crc3}$           |
|---|----------------------|--------------------|----------------------|
| 1. $\varphi_f = \frac{(b'_f - b) \cdot h'_f}{b \cdot h_0}$  | 0,51                 | 0,51               | 0,51                 |
| 2. $\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{E_s}{\frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}}} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,0015}{R_{b,ser}} = \frac{300}{R_{b,ser}}$ | 16,22                | 16,22              | 16,22                |
| 3. $\mu \cdot \alpha_{s1} = \frac{\alpha_{s1} \cdot A_{sp} + \alpha_{s1} \cdot A_s}{b \cdot h_0}$<br>( $A_s = 0$ в пустотной плите)                                 | 0,145                | 0,145              | 0,145                |
| 4. $M_s = M + P_{(2)} \cdot e_{sp}$ , кН м, где $e_{sp} = 0$  | $M = M_l^n$<br>45,66 | $M = M^n$<br>50,88 | $M = M_l^n$<br>45,66 |
| 5. $e_s = \frac{M_s}{P_{(2)}}$ , (м)  | 0,3                  | 0,33               | 0,3                  |
| 6. $\frac{e_s}{h_0}$  | 1,579                | 1,737              | 1,579                |
| 7. $\xi$ по прил. 15.   | 0,83                 | 0,83               | 0,83                 |
| 8. $z = \xi \cdot h_0$ , м – плечо внутренней пары усилий   | 0,158                | 0,158              | 0,158                |

| Формула  | $a_{crc1}$ | $a_{crc2}$ | $a_{crc3}$ |
|--|------------|------------|------------|
| $\sigma_s = \frac{\frac{M_s - P(2)}{z} - P(2)}{A_{sp}} \leq (R_{s,ser} - \sigma_{sp(2)}), \text{ МПа,}$ <p>9. где <math>\sigma_{sp(2)}</math> – предварительное напряжение с учетом полных потерь <math>\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(2)}</math></p>                                      | 184        | 208        | 184        |
| <p>10. <math>\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s};</math><br/>но допускается принимать равным 1</p>  | 1          | 1          | 1          |
| <p>Высота зоны растянутого бетона, м.<br/><math>y_1 = k \cdot y_0; k = 0,95</math> – для двутаврового сечения</p> <p>11. <math display="block">y_0 = \frac{S_{red}}{A_{red} + \frac{P(2)}{R_{bt,ser}}}</math><br/><math>0,5h \geq y_1 \geq 2 \cdot a_p</math></p>                          | 0,061      | 0,061      | 0,061      |
| <p>12. Площадь растянутого бетона, м<sup>2</sup><br/><math>A_{bt} = b \cdot y_1 + (b_f - b) \cdot h_f</math></p>   | 0,053      | 0,053      | 0,053      |
| <p>Длина базового расстояния между трещинами, м</p> <p>13. <math>l_s = 0,5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_{sp}} \cdot d_{sp}</math>, где <math>d_s</math> – диаметр напр.арматуры<br/><math>10d_{sp} \leq l_s \leq 40d_{sp}</math><br/><math>100 \text{ мм} \leq l_s \leq 400 \text{ мм}</math></p> | 0,4        | 0,4        | 0,4        |
| <p>14. <math>\varphi_1</math> – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки</p>   | 1,4        | 1          | 1          |
| <p>15. <math>\varphi_2</math> – коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры</p>   | 0,5        | 0,5        | 0,5        |
| <p>16. <math>\varphi_3</math> – коэффициент, учитывающий характер нагружения; для изгибаемых элементов равен 1.<br/>ширина раскрытия трещин, мм.</p>   | 1          | 1          | 1          |
| <p>17. <math>a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s</math></p>  | 0,257      | 0,208      | 0,184      |

Примечание: Если условие 9 не выполняется, необходимо увеличить площадь продольной рабочей арматуры.

Ширину раскрытия трещин принимают

- при продолжительном раскрытии  $a_{crc} = a_{crc1} \leq a_{crc,ult}$ ;

- при непродолжительном раскрытии  $a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} \leq a_{crc,ult}$ ;

где  $a_{crc1}$  - ширина раскрытия от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок;

$a_{crc2}$  - ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия полной нагрузки;

$a_{crc3}$  - ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок;

$a_{crc,ult}$  - предельно допустимая ширина раскрытия трещин, принимаемая из условия обеспечения сохранности арматуры по приложению 2.

Для арматуры А600:

- при продолжительном раскрытии  $a_{crc} = 0,257 \text{ мм} < a_{crc,ult} = 0,3 \text{ мм}$ ;

- при непродолжительном раскрытии

$a_{crc} = 0,257 + 0,208 - 0,184 = 0,281 \text{ мм} < a_{crc,ult} = 0,4 \text{ мм}$ .

## 6.2. Расчет прогиба плиты с трещинами в растянутой зоне

Для элементов постоянного сечения, работающих как свободно опертые балки, прогиб допускается определять по кривизне только наиболее напряженного сечения.

Кривизна в сечении с наибольшим изгибающим моментом:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{\max} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4,$$

где  $\left(\frac{1}{r}\right)_1$  - кривизна от непродолжительного действия всех нагрузок;

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$  - кривизна от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок;

т.к. прогиб ограничивается эстетико-психологическими требованиями,

$\left(\frac{1}{r}\right)_1, \left(\frac{1}{r}\right)_2$  можно не учитывать.

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$  - кривизна от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок;

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$  - выгиб от влияния усадки и ползучести.

При продолжительном действии нагрузки и нормальной влажности имеем:

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{18,5}{0,0028} = 6607,1 \text{ МПа}$$

Величины  $\varphi_f$ ;  $\frac{e_s}{h_0}$ ;  $\psi_s$  принимают из п. 6.1.

$$\alpha_{s2} = \frac{E_s}{\psi_s \cdot E_{b,red}}$$

По приложению 13 находим  $\varphi_c$ .

Тогда кривизна

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{M_\ell^n}{\varphi_c \cdot b \cdot h_0^3 \cdot E_{b,red}} = \frac{45,66}{0,53 \cdot 0,332 \cdot 0,19^3 \cdot 6607,1 \cdot 10^3} = 0,0057 \text{ м}^{-1}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\Delta\sigma_{sp5} + \Delta\sigma_{sp6}}{E_s \cdot h_0} = \frac{40 + 45}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,19} = 0,0022 \text{ м}^{-1}$$

Прогиб в середине пролета от постоянных и длительно действующих нагрузок:

$$f = f_3 - f_4 = \frac{5}{48} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_3 \cdot l_0^2 - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_4 \cdot l_0^2 \leq f_{ult};$$

$$f = f_3 - f_4 = 0,0057 \cdot \frac{5}{48} \cdot 5,9^2 - \frac{1}{8} \cdot 0,0022 \cdot 5,9^2 = 0,0207 - 0,0096 = 0,0111 \text{ м}$$

$$f_{ult} = \frac{1}{200} \cdot l_0 - \text{допустимый прогиб}$$

$$f_{ult} = \frac{1}{200} \cdot 5,9 = 0,0295 \text{ м}$$

$$f = 0,0111 \text{ м} < f_{ult} = 0,0295 \text{ м} \quad - \quad \text{условие удовлетворяется, т.е.}$$

жесткость плиты достаточна.

## 7. Пример расчёта на ЭВМ

### ЗАДАНИЕ

Определить расчетное армирование для многопустотной плиты перекрытия с пустотами 6 x 159 мм, толщина полки сжатой зоны плиты 30 мм, с габаритными размерами: 1.30 x 6.00 м, толщиной 220 мм. Длина расчетного пролета плиты 5.90 м.

Предельный прогиб плиты принят равным 29.8 мм.

Плита изготовлена с предварительным натяжением арматуры на упоры электротермическим способом.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Масса плиты 2.50 т.

Объем бетона 1.00 м<sup>3</sup>.

Плита изготовлена в горизонтальном положении. Бетон тяжелый класса В25.0 при марке по средней плотности D2400 с расчетными характеристиками МПа (1 МПа = 10.2 кгс/см<sup>2</sup>):

$R_b=13.0$ ;  $R_{bt}=0.94$ ;  $R_{b,ser}=18.5$ ;  $R_{bt,ser}=1.60$ ;  $E_b=27000$ .

Передаточная прочность бетона  $R_{bp}=12.5$  МПа.

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ (1 кПа = 102 кг/м<sup>2</sup>):

| Нормативные нагрузки (кПа):<br>(кПа):   | Коэф-т надежности по нагрузке: | Расчетные нагрузки |
|---|--------------------------------|--------------------|
| - от собственного веса<br>$G_w = 3,2$ , | $(\gamma_f = 1,1)$             | $G_w = 3,5$ ;      |
| - от веса перегородок<br>$P_s = 0,0$ ,  | $(\gamma_f = 0,0)$             | $P_s = 0,0$ ;      |
| - от конструкций пола<br>$P_r = 0,7$ ,  | $(\gamma_f = 1,3)$             | $P_r = 1,0$ ;      |
| - полная полезная<br>$P_n = 2,0$ ,      | $(\gamma_f = 1,2)$             | $P_n = 2,4$ ;      |
| - пониженная полезная<br>$P_\ell = 1,0$ |                                |                    |

### ИТОГО величины нагрузок:

1. Расчетная, для проверки прочности плиты в эксплуатационном состоянии и подбора арматуры:  $P_r = 6,9 \text{ кПа}$ ;
2. Нормативная, для проверки трещиностойкости плиты и ширины непродолжительного  $a_{crc1}$  раскрытия трещин:  $P_n = 5,9 \text{ кПа}$ ;
3. Длительная нормативная, для проверки прогиба  $f_{max}$  и ширины продолжительного  $a_{crc2}$  раскрытия трещин:  $P_l = 4,9 \text{ кПа}$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

| Класс арматуры | Кол-во, шт. | Диаметр, мм | Шаг, см   | Атреб., $\text{см}^2$            | Афакт., $\text{см}^2$ | $a_{crc1}$ , мм | $a_{crc2}$ , мм | $f_{max}$ , см |
|----------------|-------------|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| <b>A-IV</b>    | <b>5</b>    | <b>10</b>   | <b>31</b> | <b>3,77</b>                      | <b>3,93</b>           | <b>0,00</b>     | <b>0,00</b>     | <b>0,42</b>    |
|                |             |             |           | Сжатая арматура не требуется     |                       |                 |                 |                |
|                |             |             |           | Поперечная арматура не требуется |                       |                 |                 |                |

**Вывод:** результаты расчета плиты совпадают с результатами, компьютерного расчета. На ЭВМ так же, как и в проекте получено, что рабочей арматуры в сжатой зоне не требуется, а также не требуется поперечной арматуры. Значения по максимальному прогибу не совпадают, вследствие различия способов расчёта, но расхождение незначительно.

### 8. Подбор монтажных петель

В плите устанавливается 4 монтажные петли над вторыми от края пустотами. Для определения диаметра петли вес плиты делят на три монтажные петли, закладывая в расчет возможность обрыва одной петли в процессе монтажа. По массе на 1 петлю определяют по табл.2 диаметр петли. Класс арматуры монтажных петель A240 (A-I).

Таблица 2

| Диаметр, мм              | 6   | 8   | 10  | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 25   | 28   | 32   |
|--------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Масса на одну петлю в кг | 150 | 300 | 700 | 1100 | 1500 | 2000 | 2500 | 3100 | 3800 | 4900 | 6100 | 8000 |

$$\frac{G_n \cdot \gamma_d}{3} = \frac{2500 \cdot 1,4}{3} = 1166,7 \text{ кг}$$

где  $\gamma_d$  - коэффициент динамичности при подъеме и монтаже.

На одну петлю приходится 1167кг. Исходя из этого, принимаем петли Ø 14 А240.

## 9. Графическая часть курсового проекта

В графической части курсового проекта должны быть представлены на формате А3 или А2 следующие чертежи:

- вид плиты сверху со всеми арматурными изделиями и закладными деталями;
- продольный и поперечный разрезы с армированием;
- арматурный каркас;
- сетки С1, С2 и С3;
- спецификация на все арматурные изделия, преднапряженную арматуру и бетон.

Пример приведен в приложении 16.

## Библиографический список

1. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85\*: утв. Госстроем СССР: взамен СНиП гл. СНиП II-6-74: введ. 01.01.87. - М.: ФГУП ЦПП, 2004 . - 43 с.: ил.
2. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СНиП 52-01-2003: утв. и введ. в д. Гос. ком. РФ по стр-ву и жилищно-коммун. комплексу 30.06.2003 № 127: взамен СНиП 2.03.01-84 . - М.: ФГУП ЦПП , 2004 . - 24 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры = Concrete and Reinforced Concrete Structures Without Prestressing: СП 52-101-2003: введ. в действие 1 марта 2004 г. - СПб. : Dean , 2005 . - 127 с.: ил.
4. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [Электронный ресурс]: СП 52-102-2004: введ. в д. Госстроем России 24.05.2004 № ЛБ-473/9 // КонсультантПлюс: справочная правовая система

**Минимальный класс бетона элементов с предварительно напряженной арматурой**

| Характеристика напрягаемой арматуры                                     | Класс бетона не ниже |
|---|----------------------|
| Арматура классов:<br>A540-A800<br>A1000                                 | B20<br>B30           |
| Арматура классов:<br>Bp1200, Bp1300<br>Bp 1400, Bp 1500<br>K1400, K1500 | B30<br>B30<br>B30    |

**Предельно допустимая ширина раскрытия трещин –  $a_{cr,ult}$**

| Для элементов, к которым не предъявляются требования непроницаемости, значения $a_{cr,ult}$ принимают равными: |  |  |
|--|--|--|
| При арматуре классов   | При продолжительном раскрытии трещин, мм | При непродолжительном раскрытии трещин, мм |
| A240-A600<br>B500  | 0,3                                      | 0,4  |
| A800; A1000<br>Bp1200-Bp1400<br>K1400; K1500(K-19)<br>K1500(K-7)<br>диаметром 12 мм                            | 0,2                                      | 0,3  |
| Bp1500 K1500(K-7)<br>диаметром 6 и 9 мм  | 0,1                                      | 0,2  |



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Нормативные сопротивления бетона  $R_{b,n}$  и  $R_{bt,n}$

| Вид сопротивления                              | Нормативные сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$ и расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), при классе бетона по прочности на сжатие |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|--|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  | B10  | B15            | B20            | B25            | B30            | B35            | B40            | B45            | B50            | B55            | B60            |
| Сжатие осевое<br>$R_{b,n}$ и $R_{b,ser}$       | 7,5<br>(76,5)  | 11,0<br>(112)  | 15,0<br>(153)  | 18,5<br>(188)  | 22,0<br>(224)  | 25,5<br>(260)  | 29,0<br>(296)  | 32,0<br>(326)  | 36,0<br>(367)  | 39,5<br>(403)  | 43,0<br>(438)  |
| Растяжение осевое<br>$R_{bt,n}$ , $R_{bt,ser}$ | 0,85<br>(8,7)  | 1,10<br>(11,2) | 1,35<br>(13,8) | 1,55<br>(15,8) | 1,75<br>(17,8) | 1,95<br>(19,9) | 2,10<br>(21,4) | 2,25<br>(22,9) | 2,45<br>(25,0) | 2,60<br>(26,5) | 2,75<br>(28,0) |

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Расчетные сопротивления бетона  $R_b$  и  $R_{bt}$

| Вид сопротивления           | Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы $R_b$ и $R_{bt}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), при классе бетона по прочности на сжатие |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-----------------------------|---|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | B10   | B15           | B20           | B25            | B30            | B35            | B40            | B45            | B50            | B55            | B60            |
| Сжатие осевое, $R_b$        | 6,0<br>(61,2)   | 8,5<br>(86,6) | 11,5<br>(117) | 14,5<br>(148)  | 17,0<br>(173)  | 19,5<br>(199)  | 22,0<br>(224)  | 25,0<br>(255)  | 27,5<br>(280)  | 30,0<br>(306)  | 33,0<br>(336)  |
| Растяжение осевое, $R_{bt}$ | 0,56<br>(5,7)   | 0,75<br>(7,6) | 0,90<br>(9,2) | 1,05<br>(10,7) | 1,15<br>(11,7) | 1,30<br>(13,3) | 1,40<br>(14,3) | 1,50<br>(15,3) | 1,60<br>(16,3) | 1,70<br>(17,3) | 1,80<br>(18,3) |

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Значения начального модуля упругости бетона  $E_b$

| Значение начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10^3$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), при классе бетона по прочности на сжатие |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| B10   | B15           | B20           | B25           | B30           | B35           | B40           | B45           | B50           | B55           | B60           |
| 19,0<br>(194)   | 24,0<br>(245) | 27,5<br>(280) | 30,0<br>(306) | 32,5<br>(331) | 34,5<br>(352) | 36,0<br>(367) | 37,0<br>(377) | 38,0<br>(387) | 39,0<br>(398) | 39,5<br>(403) |

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Расчетные значения сопротивления арматуры растяжению  $R_s$  и  $R_{sc}$

| Арматура классов | Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа |              | Арматура классов | Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа |              |
|------------------|---|--------------|------------------|---|--------------|
|                  | растяжению $R_t$  | сжатию $R_c$ |                  | растяжению $R_t$  | сжатию $R_c$ |
| A240             | 215   | 215          | B500             | 415   | 415 (360)    |
| A300             | 270   | 270          | Bp1200           | 1000  | 500 (400)    |
| A400             | 355   | 355          | Bp1300           | 1070  | 500 (400)    |
| A500             | 435   | 435(400)     | Bp1400           | 1170  | 500 (400)    |
| A600             | 520   | 470(400)     | Bp1500           | 1250  | 500 (400)    |
| A800             | 695   | 500(400)     | K1400            | 1170  | 500 (400)    |
| A1000            | 830   | 500(400)     | K1500            | 1250  | 500 (400)    |

Примечание: Значения  $R_t$  в скобках используют только при расчете на кратковременное действие нагрузки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Расчетные сопротивления поперечной арматуры  $R_{sw}$

| Класс арматуры  | A240          | A300          | A400          | A500          | B500          |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Расчетное сопротивление поперечной арматуры $R_{sw}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) | 170<br>(1730) | 215<br>(2190) | 285<br>(2900) | 300<br>(3060) | 300<br>(3060) |

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Значения модуля упругости арматуры  $E_s$

| Класс арматуры                       | Значения модуля упругости $E_s$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|--|
| Арматура всех классов кроме канатной | 200000<br>(2000000)  |
| Канатная классов K1400;K1500         | 180000<br>(1800000)  |

Значения  $\xi$ ,  $\zeta$ ,  $\alpha_m$

| $\xi$ | $\zeta$ | $\alpha_m$ | $\xi$ | $\zeta$ | $\alpha_m$ | $\xi$ | $\zeta$ | $\alpha_m$ |
|-------|---------|------------|-------|---------|------------|-------|---------|------------|
| 0,01  | 0,995   | 0,01       | 0,26  | 0,87    | 0,226      | 0,51  | 0,745   | 0,38       |
| 0,02  | 0,99    | 0,02       | 0,27  | 0,865   | 0,234      | 0,52  | 0,74    | 0,385      |
| 0,03  | 0,985   | 0,03       | 0,28  | 0,86    | 0,241      | 0,53  | 0,735   | 0,39       |
| 0,04  | 0,98    | 0,039      | 0,29  | 0,855   | 0,248      | 0,54  | 0,73    | 0,394      |
| 0,05  | 0,975   | 0,049      | 0,30  | 0,85    | 0,255      | 0,55  | 0,725   | 0,399      |
| 0,06  | 0,97    | 0,058      | 0,31  | 0,845   | 0,262      | 0,56  | 0,72    | 0,403      |
| 0,07  | 0,965   | 0,068      | 0,32  | 0,84    | 0,269      | 0,57  | 0,715   | 0,407      |
| 0,08  | 0,96    | 0,077      | 0,33  | 0,835   | 0,276      | 0,58  | 0,71    | 0,412      |
| 0,09  | 0,955   | 0,086      | 0,34  | 0,83    | 0,282      | 0,59  | 0,705   | 0,416      |
| 0,10  | 0,95    | 0,095      | 0,35  | 0,825   | 0,289      | 0,60  | 0,7     | 0,42       |
| 0,11  | 0,945   | 0,104      | 0,36  | 0,82    | 0,295      | 0,62  | 0,69    | 0,428      |
| 0,12  | 0,94    | 0,113      | 0,37  | 0,815   | 0,302      | 0,64  | 0,68    | 0,435      |
| 0,13  | 0,935   | 0,122      | 0,38  | 0,81    | 0,308      | 0,66  | 0,67    | 0,442      |
| 0,14  | 0,93    | 0,13       | 0,39  | 0,805   | 0,314      | 0,68  | 0,66    | 0,449      |
| 0,15  | 0,925   | 0,139      | 0,40  | 0,8     | 0,32       | 0,70  | 0,65    | 0,455      |
| 0,16  | 0,92    | 0,147      | 0,41  | 0,795   | 0,326      | 0,72  | 0,64    | 0,461      |
| 0,17  | 0,915   | 0,156      | 0,42  | 0,79    | 0,332      | 0,74  | 0,63    | 0,466      |
| 0,18  | 0,91    | 0,164      | 0,43  | 0,785   | 0,338      | 0,76  | 0,62    | 0,471      |
| 0,19  | 0,905   | 0,172      | 0,44  | 0,78    | 0,343      | 0,78  | 0,61    | 0,476      |
| 0,20  | 0,9     | 0,18       | 0,45  | 0,775   | 0,349      | 0,80  | 0,6     | 0,48       |
| 0,21  | 0,895   | 0,188      | 0,46  | 0,77    | 0,354      | 0,85  | 0,575   | 0,489      |
| 0,22  | 0,89    | 0,196      | 0,47  | 0,765   | 0,36       | 0,90  | 0,55    | 0,495      |
| 0,23  | 0,885   | 0,204      | 0,48  | 0,76    | 0,365      | 0,95  | 0,525   | 0,499      |
| 0,24  | 0,88    | 0,211      | 0,49  | 0,755   | 0,37       | 1,00  | 0,50    | 0,50       |
| 0,25  | 0,875   | 0,219      | 0,50  | 0,75    | 0,375      |       |         |            |

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Расчетные площади поперечных сечений и масса арматуры, сортамент горячекатаной стержневой арматуры периодического профиля, обыкновенной и высокопрочной арматурной проволоки

| Диаметр, мм | Расчётные площади поперечных сечений, см при числе стержней |       |       |       |       |       |       |        |        |        | Масса кг/м | Диаметр, мм | Сортамент горячекатаной стержневой арматуры периодического профиля из стали класса |      |      |      |      |      |       | Сортамент арматурной проволоки |        |        |        |        |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------------|-------------|--|------|------|------|------|------|-------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|             | 1   | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9      | 10     |            |             | A300   | A400 | A500 | A540 | A600 | A800 | A1000 | B500                           | Bp1200 | Bp1300 | Bp1400 | Bp1500 |
| 3           | 0.07  | 0.14  | 0.21  | 0.28  | 0.36  | 0.43  | 0.50  | 0.57   | 0.64   | 0.71   | 0.052      | 3           | -  | -    | -    | -    | -    | -    | X     | -                              | -      | -      | X      |        |
| 4           | 0.12  | 0.25  | 0.38  | 0.50  | 0.63  | 0.76  | 0.88  | 1.01   | 1.13   | 1.26   | 0.092      | 4           | -  | -    | -    | -    | -    | -    | X     | -                              | -      | X      | -      |        |
| 5           | 0.196   | 0.39  | 0.59  | 0.78  | 0.98  | 1.18  | 1.37  | 1.57   | 1.76   | 1.96   | 0.144      | 5           | -  | -    | -    | -    | -    | -    | X     | -                              | -      | X      | -      |        |
| 6           | 0.28  | 0.57  | 0.85  | 1.13  | 1.42  | 1.70  | 1.98  | 2.26   | 2.55   | 2.83   | 0.222      | 6           | X  | X    | -    | -    | -    | -    | X     | -                              | -      | X      | -      |        |
| 7           | 0.38  | 0.77  | 1.16  | 1.54  | 1.93  | 2.31  | 2.69  | 3.08   | 3.47   | 3.85   | 0.302      | 7           | -  | -    | -    | -    | -    | -    | X     | -                              | X      | -      | -      |        |
| 8           | 0.50  | 1.01  | 1.51  | 2.01  | 2.52  | 3.02  | 3.52  | 4.02   | 4.53   | 5.03   | 0.395      | 8           | X  | X    | -    | -    | -    | -    | X     | X                              | -      | -      | -      |        |
| 9           | 0.63  | 1.27  | 1.91  | 2.54  | 3.18  | 3.82  | 4.45  | 5.09   | 5.72   | 6.36   | 0.499      | 9           | -  | -    | -    | -    | -    | -    | X     | -                              | -      | -      | -      |        |
| 10          | 0.78  | 1.57  | 2.36  | 3.14  | 3.93  | 4.71  | 5.50  | 6.28   | 7.07   | 7.85   | 0.617      | 10          | X  | X    | X    | -    | X    | X    | X     | X                              | -      | -      | -      | -      |
| 12          | 1.131   | 2.26  | 3.39  | 4.52  | 5.66  | 6.79  | 7.92  | 9.05   | 10.18  | 11.31  | 0.888      | 12          | X  | X    | X    | -    | X    | X    | X     | X                              | -      | -      | -      | -      |
| 14          | 1.539   | 3.08  | 4.62  | 6.16  | 7.70  | 9.23  | 10.77 | 12.31  | 13.85  | 15.39  | 1.208      | 14          | X  | X    | X    | -    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 16          | 2.011   | 4.02  | 6.03  | 8.04  | 10.06 | 12.07 | 14.08 | 16.09  | 18.10  | 20.11  | 1.578      | 16          | X  | X    | X    | -    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 18          | 2.54  | 5.09  | 7.64  | 10.18 | 12.73 | 15.27 | 17.82 | 20.36  | 22.91  | 25.45  | 1.998      | 18          | X  | X    | X    | -    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 20          | 3.142   | 6.28  | 9.43  | 12.57 | 15.71 | 18.85 | 21.9  | 25.14  | 28.28  | 31.42  | 2.466      | 20          | X  | X    | X    | X    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 22          | 3.801   | 7.60  | 11.40 | 15.2  | 19.01 | 22.81 | 26.61 | 30.41  | 34.21  | 38.01  | 2.954      | 22          | X  | X    | X    | X    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 25          | 4.90  | 9.82  | 14.73 | 19.64 | 24.55 | 29.45 | 34.3  | 39.27  | 44.18  | 49.09  | 3.853      | 25          | X  | X    | X    | X    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 28          | 6.15  | 12.32 | 18.47 | 24.6  | 30.79 | 36.95 | 43.11 | 49.26  | 55.42  | 61.58  | 4.834      | 28          | X  | X    | X    | X    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 32          | 8.04  | 16.08 | 24.1  | 32.1  | 40.21 | 48.25 | 56.2  | 64.34  | 72.38  | 80.42  | 6.313      | 32          | X  | X    | X    | X    | X    | X    | X     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 36          | 10.18   | 20.3  | 30.5  | 40.7  | 50.90 | 61.08 | 71.2  | 81.44  | 91.62  | 101.8  | 7.990      | 36          | X  | X    | X    | X    | X    | -    | -     | -                              | -      | -      | -      | -      |
| 40          | 12.56   | 25.12 | 37.68 | 50.24 | 62.80 | 75.36 | 87.92 | 100.40 | 113.04 | 125.60 | 9.870      | 40          | X  | X    | X    | X    | X    | -    | -     | -                              | -      | -      | -      | -      |

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

| $\frac{\sigma_{sp}}{R_s}$ | Значения $\xi_R$ при растянутой арматуре классов |      |      |       |        |        |        |        |       |       |
|---------------------------|--|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                           | A540   | A600 | A800 | A1000 | Bp1200 | Bp1300 | Bp1400 | Bp1500 | K1400 | K1500 |
| 1,2                       | 0,93   | 0,56 | 0,58 | 0,60  | 0,62   | 0,63   | 0,65   | 0,66   | 0,63  | 0,65  |
| 1,1                       | 0,86   | 0,53 | 0,54 | 0,55  | 0,56   | 0,56   | 0,57   | 0,57   | 0,55  | 0,56  |
| 1,0                       | 0,80   | 0,51 | 0,51 | 0,51  | 0,51   | 0,51   | 0,51   | 0,51   | 0,49  | 0,49  |
| 0,9                       | 0,75   | 0,49 | 0,48 | 0,47  | 0,47   | 0,46   | 0,46   | 0,46   | 0,44  | 0,44  |
| 0,8                       | 0,70   | 0,47 | 0,45 | 0,44  | 0,43   | 0,43   | 0,42   | 0,41   | 0,40  | 0,39  |
| 0,7                       | 0,66   | 0,45 | 0,43 | 0,42  | 0,40   | 0,39   | 0,39   | 0,38   | 0,36  | 0,36  |
| 0,6                       | 0,62   | 0,43 | 0,41 | 0,39  | 0,37   | 0,37   | 0,36   | 0,3    | 0,34  | 0,33  |
| 0,5                       | 0,59   | 0,41 | 0,39 | 0,37  | 0,35   | 0,34   | 0,33   | 0,32   | 0,31  | 0,30  |

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Соотношения между диаметрами свариваемых стержней и минимальные расстояния между стержнями в сварных сетках и каркасах, изготавливаемых с помощью контактной точечной сварки

| Диаметр стержня одного направления; мм                                       | 3  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18  | 20  | 22  | 25  | 28  | 32  | 36  | 40  |
|--|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Наименьший допустимый диаметр стержня другого направления, мм.               | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 5   | 5   | 6   | 8   | 8   | 8   | 10  | 10  |
| Наименьшее допустимое расстояние между осями стержней одного направления, мм | 50 | 50 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 100 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 |
| То же, продольных стержней при двухрядном их расположении, мм                | -  | 30 | 30 | 30 | 40 | 40 | 40 | 40  | 50  | 50  | 50  | 60  | 70  | 80  | 80  |

Значения  $\varphi_c$

| $\varphi_f$ | $\frac{e_s}{h_0}$ | Коэффициент $\varphi_c$ при значениях $\mu\alpha_{s2}$ равных |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             |                   | 0,03  | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 1,50 | 2,00 |
| 0,0         | 0,7               | 0,29  | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
|             | 0,8               | 0,18  | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,29 | 0,29 | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,32 |
|             | 0,9               | 0,12  | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,31 |
|             | 1,0               | 0,09  | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 |
|             | 1,1               | 0,07  | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,17 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,28 | 0,29 |
|             | 1,2               | 0,06  | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 |
|             | 1,3               | 0,05  | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,29 |
| 0,2         | 0,8               | 0,31  | 0,33 | 0,34 | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | 0,44 | 0,45 | 0,45 | 0,46 |
|             | 0,9               | 0,18  | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,31 | 0,33 | 0,34 | 0,36 | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,44 |
|             | 1,0               | 0,12  | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,29 | 0,30 | 0,33 | 0,34 | 0,36 | 0,37 | 0,39 | 0,40 | 0,42 | 0,43 |
|             | 1,1               | 0,09  | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 0,21 | 0,24 | 0,26 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,34 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,40 | 0,43 |
|             | 1,2               | 0,07  | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,39 | 0,41 |
|             | 1,3               | 0,07  | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,17 | 0,20 | 0,22 | 0,24 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,32 | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,40 |
| 0,4         | 0,8               | 0,46  | 0,47 | 0,48 | 0,50 | 0,51 | 0,53 | 0,54 | 0,54 | 0,56 | 0,57 | 0,57 | 0,58 | 0,59 | 0,59 | 0,60 | 0,60 |
|             | 0,9               | 0,23  | 0,27 | 0,30 | 0,34 | 0,38 | 0,41 | 0,43 | 0,44 | 0,47 | 0,49 | 0,50 | 0,52 | 0,53 | 0,55 | 0,56 | 0,58 |
|             | 1,0               | 0,14  | 0,18 | 0,22 | 0,25 | 0,30 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,41 | 0,44 | 0,46 | 0,47 | 0,50 | 0,52 | 0,54 | 0,55 |
|             | 1,1               | 0,10  | 0,14 | 0,17 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,32 | 0,34 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,44 | 0,47 | 0,50 | 0,52 | 0,54 |
|             | 1,2               | 0,10  | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,26 | 0,29 | 0,31 | 0,35 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,48 | 0,50 | 0,52 |
|             | 1,3               | 0,11  | 0,10 | 0,13 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,27 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,46 | 0,49 | 0,51 |
| 0,6         | 0,8               | 0,61  | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,75 |
|             | 0,9               | 0,28  | 0,33 | 0,37 | 0,41 | 0,46 | 0,50 | 0,52 | 0,54 | 0,58 | 0,60 | 0,62 | 0,63 | 0,62 | 0,68 | 0,69 | 0,71 |
|             | 1,0               | 0,16  | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,45 | 0,50 | 0,53 | 0,55 | 0,57 | 0,60 | 0,63 | 0,65 | 0,68 |
|             | 1,1               | 0,13  | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,29 | 0,33 | 0,37 | 0,40 | 0,44 | 0,48 | 0,51 | 0,53 | 0,56 | 0,60 | 0,62 | 0,65 |
|             | 1,2               | 0,14  | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,41 | 0,44 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,57 | 0,60 | 0,63 |
|             | 1,3               | 0,15  | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,33 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,47 | 0,51 | 0,55 | 0,58 | 0,62 |
| 0,8         | 0,8               | 0,79  | 0,80 | 0,80 | 0,81 | 0,83 | 0,84 | 0,85 | 0,85 | 0,86 | 0,87 | 0,87 | 0,88 | 0,88 | 0,89 | 0,90 | 0,90 |
|             | 0,9               | 0,33  | 0,38 | 0,43 | 0,48 | 0,54 | 0,58 | 0,62 | 0,64 | 0,68 | 0,71 | 0,73 | 0,75 | 0,78 | 0,80 | 0,82 | 0,84 |
|             | 1,0               | 0,17  | 0,23 | 0,27 | 0,33 | 0,40 | 0,45 | 0,49 | 0,52 | 0,57 | 0,61 | 0,64 | 0,66 | 0,70 | 0,74 | 0,77 | 0,80 |
|             | 1,1               | 0,16  | 0,16 | 0,20 | 0,25 | 0,32 | 0,37 | 0,41 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,58 | 0,61 | 0,65 | 0,70 | 0,73 | 0,76 |
|             | 1,2               | 0,17  | 0,16 | 0,17 | 0,21 | 0,27 | 0,32 | 0,36 | 0,40 | 0,46 | 0,50 | 0,54 | 0,57 | 0,61 | 0,66 | 0,70 | 0,74 |
|             | 1,3               | 0,19  | 0,17 | 0,15 | 0,19 | 0,24 | 0,29 | 0,33 | 0,37 | 0,42 | 0,47 | 0,50 | 0,54 | 0,58 | 0,64 | 0,67 | 0,72 |
| 1,0         | 0,8               | 0,97  | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 1,03 | 1,04 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,05 |
|             | 0,9               | 0,37  | 0,44 | 0,49 | 0,55 | 0,62 | 0,67 | 0,71 | 0,74 | 0,78 | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 0,89 | 0,93 | 0,95 | 0,97 |
|             | 1,0               | 0,18  | 0,24 | 0,29 | 0,36 | 0,44 | 0,50 | 0,54 | 0,58 | 0,64 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,88 | 0,91 |
|             | 1,1               | 0,19  | 0,18 | 0,22 | 0,27 | 0,34 | 0,40 | 0,46 | 0,49 | 0,56 | 0,61 | 0,65 | 0,69 | 0,73 | 0,79 | 0,83 | 0,87 |
|             | 1,2               | 0,21  | 0,19 | 0,18 | 0,22 | 0,29 | 0,35 | 0,37 | 0,43 | 0,50 | 0,55 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,79 | 0,84 |
|             | 1,3               | 0,23  | 0,21 | 0,19 | 0,20 | 0,26 | 0,31 | 0,36 | 0,39 | 0,46 | 0,51 | 0,56 | 0,59 | 0,65 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |

Коэффициент ползучести бетона

| Относительная влажность воздуха окружающей среды, % | Значения коэффициента ползучести $\varphi_{h,cr}$ при классе бетона на сжатие |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | B15   | B20 | B25 | B30 | B35 | B40 | B45 | B50 | B55 | B60 |
| Выше 75   | 2,4   | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 40-75   | 3,4   | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 |
| Ниже 40   | 4,8   | 4,0 | 3,6 | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |

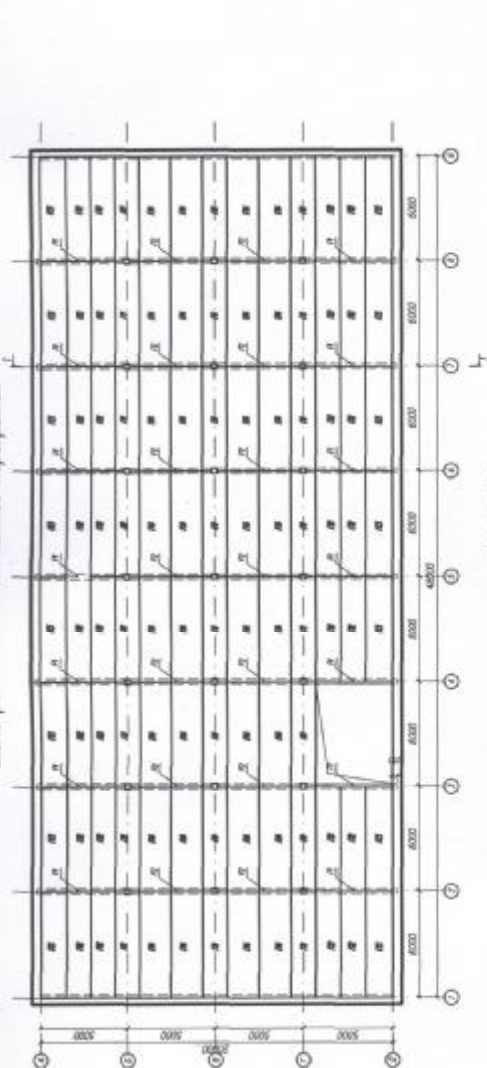
Примечание — Относительную влажность воздуха окружающей среды принимают по СНиП 23-01 как среднюю месячную относительную влажность наиболее теплого месяца для района строительства.

Коэффициент  $\zeta$

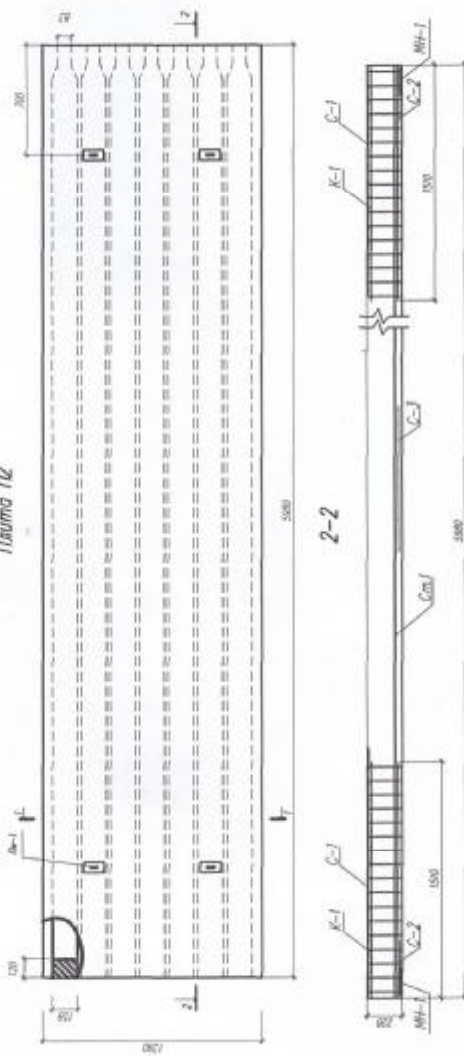
| $\varphi_f$ | $\frac{e_s}{h_0}$ | Коэффициенты $\zeta = \frac{z}{h_0}$ при значениях $\mu\alpha_{s1}$ , равных |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             |                   | 0,02   | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| 0,0         | 0,7               | 0,70   | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,68 | 0,68 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
|             | 0,8               | 0,77   | 0,76 | 0,74 | 0,73 | 0,72 | 0,70 | 0,69 | 0,68 | 0,68 | 0,67 | 0,66 |
|             | 0,9               | 0,82   | 0,80 | 0,77 | 0,76 | 0,74 | 0,71 | 0,70 | 0,68 | 0,67 | 0,66 | 0,64 |
|             | 1,0               | 0,84   | 0,82 | 0,78 | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,66 | 0,64 | 0,62 |
|             | $\geq 1,2$        | 0,85   | 0,83 | 0,79 | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,68 | 0,66 | 0,65 | 0,62 | 0,60 |
| 0,2         | 0,7               | 0,7  | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
|             | 0,8               | 0,79   | 0,79 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,76 | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,74 | 0,73 |
|             | 0,9               | 0,85   | 0,84 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,78 | 0,77 | 0,76 | 0,75 | 0,74 | 0,73 |
|             | 1,0               | 0,87   | 0,86 | 0,84 | 0,83 | 0,81 | 0,79 | 0,77 | 0,76 | 0,75 | 0,74 | 0,72 |
|             | $\geq 1,2$        | 0,88   | 0,87 | 0,85 | 0,83 | 0,81 | 0,79 | 0,77 | 0,75 | 0,74 | 0,72 | 0,70 |
| 0,4         | 0,7               | 0,70   | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
|             | 0,8               | 0,80   | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
|             | 0,9               | 0,87   | 0,86 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,78 | 0,77 |
|             | 1,0               | 0,89   | 0,88 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,79 | 0,78 | 0,77 |
|             | $\geq 1,2$        | 0,88   | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,79 | 0,77 | 0,76 |
| 0,6         | 0,8               | 0,80   | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |
|             | 0,9               | 0,87   | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,80 |
|             | 1,0               | 0,89   | 0,88 | 0,87 | 0,87 | 0,86 | 0,84 | 0,83 | 0,83 | 0,82 | 0,81 | 0,80 |
|             | $\geq 1,2$        | 0,90   | 0,88 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,79 |
| $\geq 0,8$  | 0,8               | 0,80   | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
|             | 0,9               | 0,88   | 0,87 | 0,86 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,84 | 0,83 | 0,83 | 0,82 | 0,82 |
|             | 1,0               | 0,89   | 0,89 | 0,88 | 0,87 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,83 | 0,82 |
|             | $\geq 1,2$        | 0,90   | 0,88 | 0,87 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,81 |

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \alpha_{s1}A'_{sp} + \alpha_{s1}A'_s}{bh_0}; e_s = \frac{M_s}{P}; \mu\alpha_{s1} = \frac{\alpha_{s1}A_{sp} + \alpha_{s1}A_s}{bh_0}$$

Схема расположения элементов перекрытия

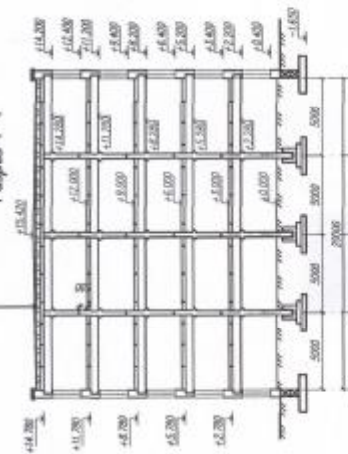


Плита П2



Условные обозначения:  
 1 - для верхней и нижней  
 стороны плиты и стержни;  
 2 - для верхней и нижней  
 стороны стержней;  
 3 - для стержней;  
 4 - для стержней;  
 5 - для стержней;  
 6 - для стержней;  
 7 - для стержней;  
 8 - для стержней;  
 9 - для стержней;  
 10 - для стержней;  
 11 - для стержней;  
 12 - для стержней;  
 13 - для стержней;  
 14 - для стержней;  
 15 - для стержней;  
 16 - для стержней;  
 17 - для стержней;  
 18 - для стержней;  
 19 - для стержней;  
 20 - для стержней;  
 21 - для стержней;  
 22 - для стержней;  
 23 - для стержней;  
 24 - для стержней;  
 25 - для стержней;  
 26 - для стержней;  
 27 - для стержней;  
 28 - для стержней;  
 29 - для стержней;  
 30 - для стержней;  
 31 - для стержней;  
 32 - для стержней;  
 33 - для стержней;  
 34 - для стержней;  
 35 - для стержней;  
 36 - для стержней;  
 37 - для стержней;  
 38 - для стержней;  
 39 - для стержней;  
 40 - для стержней;  
 41 - для стержней;  
 42 - для стержней;  
 43 - для стержней;  
 44 - для стержней;  
 45 - для стержней;  
 46 - для стержней;  
 47 - для стержней;  
 48 - для стержней;  
 49 - для стержней;  
 50 - для стержней;

Разрез 1-1



Спецификация арматуры на плиту П-2

| Группа                     | Обозначение                | Количество        | Кол-во                     | Примечание |
|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|------------|
| С-1                        | ГОСТ 23279-85              | 3 Ø300 - 100      | 2                          | 6,47       |
| С-2                        | ГОСТ 23279-85              | 3 Ø300 - 100      | 2                          |            |
| С-3                        | ГОСТ 23279-85              | 3 Ø300 - 100      | 2                          |            |
| К-1                        | ГОСТ 5781-82               | Ø 10 А400, L=1500 | 8                          | 2,18       |
| К-2                        | ГОСТ 5781-82               | Ø 10 А400, L=1500 | 1                          |            |
| К-3                        | ГОСТ 5781-82               | Ø 10 А400, L=1500 | 1                          |            |
| С-1                        | ГОСТ 5781-82               | Ø 10 А600, L=200  | 17                         | 0,02       |
| С-2                        | ГОСТ 5781-82               | Ø 10 А600, L=200  | 17                         |            |
| С-3                        | ГОСТ 5781-82               | Ø 10 А600, L=200  | 17                         |            |
| М-1                        | ГОСТ 8510-75               | Ø 10 А600, L=500  | 6                          | 3,69       |
| М-2                        | ГОСТ 8510-75               | Ø 10 А600, L=500  | 6                          |            |
| М-3                        | ГОСТ 8510-75               | Ø 10 А600, L=500  | 6                          |            |
| Нарезаемая арматура        |                            |                   |                            |            |
|                            |                            | Настыжные стержни |                            |            |
| Железобетонные конструкции |                            |                   |                            |            |
| Железобетонная конструкция | Железобетонные конструкции |                   | Железобетонные конструкции |            |
| Сорт                       | Лист                       | Лист              |                            | Лист       |
| У                          | 2                          | 3                 |                            | 3          |
| Всего, Ст-31               |                            |                   |                            |            |



## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Введение .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Расчёт и конструирование многопустотной преднапряжённой плиты<br/>перекрытия.....</b> | <b>3</b>  |
| 1. Компоновка сборного перекрытия.....   | 3         |
| 2. Исходные данные для проектирования .....  | 4         |
| 3. Сбор нагрузок на плиту.....   | 6         |
| 4. Расчёт плиты по предельным состояниям первой группы.....                              | 8         |
| 4.1 Расчёт прочности нормальных сечений. Подбор продольной арматуры.....                 | 8         |
| 4.2. Расчет прочности наклонных сечений. Подбор сечений арматуры.....                    | 10        |
| 5. Расчёт плиты по предельным состояниям второй группы.....                              | 11        |
| 5.1. Геометрические характеристики приведённого сечения.....                             | 11        |
| 5.2. Расчёт потерь предварительного напряжения арматуры.....                             | 13        |
| 5.3. Расчёт по образованию нормальных трещин.....  | 15        |
| 5.4. Расчёт прогиба плиты без трещин.....  | 15        |
| 6. Расчет плиты по II группе предельных состояний при наличии трещин.....                | 17        |
| 6.1. Расчет ширины раскрытия нормальных трещин<br>в стадии эксплуатации.....             | 17        |
| 6.2. Расчет прогиба плиты с трещинами в растянутой зоне.....                             | 19        |
| 7. Пример расчёта на ЭВМ.....  | 21        |
| 8. Подбор монтажных петель .....   | 22        |
| 9. Графическая часть курсового проекта.....  | 23        |
| Библиографический список.....  | 23        |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>   | <b>24</b> |