

Астраханский колледж строительства и экономики

Порядок расчета
предварительно напряженной многопустотной плиты
на прочность

для специальности 270103
«Строительство зданий и сооружений»

1. Задание для проектирования

Класс бетона по прочности

Класс рабочей предварительно напрягаемой арматуры

Способ натяжения арматуры

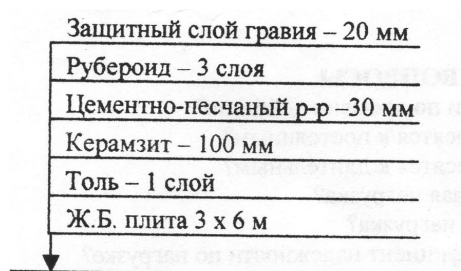
Размеры плиты (длина, ширина, размеры поперечного сечения)

2. Сбор нагрузок на покрытие (перекрытие)

Сбор нагрузок на 1 м^2 покрытия (перекрытия) выполняется по методике подсчета нагрузок (см. практическую работу №1) в табличной форме.

Пример

Подсчитать нагрузку на 1 м^2 покрытия. Район строительства – гор. Астрахань



Наименование нагрузок	Формула подсчета	Нормативная нагрузка, н/м^2	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f	Расчетная нагрузка, н/м^2
<u>Постоянные</u>				
От веса гравия $\delta = 20 \text{ мм};$ $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$	$0,02 \cdot 2200 \cdot 10$	440	1,3	572
От веса рубероида – 3 слоя	$30 \cdot 3$	90	1,2	108
От веса цементно-песчаного раствора $\delta = 30 \text{ мм}$ $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$	$0,03 \cdot 1800 \cdot 10$	540	1,3	702
От веса керамзитового гравия	$0,1 \cdot 500 \cdot 10$	500	1,3	650

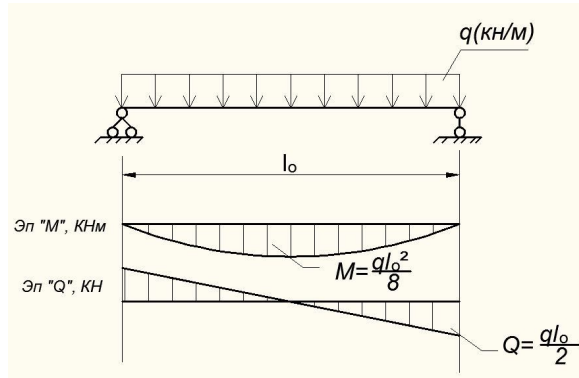
$\delta = 100 \text{ мм};$ $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$				
От веса толя – 1 слой	$30 \cdot 1$	30	1,2	36
От веса железобетонной плиты 3х6 м Масса плиты 2300 кг	$\frac{2300}{3 \cdot 6} \cdot 1,15 \cdot 10$	1469	1,1	1616
Итого		$g_n = 3069$		$g = 3684$
<u>Временные</u>				
Снеговая	По СНиП	560		800
Итого		$p_n = 560$		$g = 800$
Всего		$q_n = 3629$		$q = 4484$

3. Статический расчет плиты.

Определяем расчетный пролет плиты (расстояние между центрами площадок опирания):

$$l_0 = l - 20 \text{ мм} - 2 \frac{l_{\text{оп}}}{2}$$

Расчетная схема



Расчетная нагрузка на 1 погонный метр плиты с учетом коэффициента надежности по ответственности $\gamma_n = 0,95$:

$$q' = q \cdot B \cdot \gamma_n \text{ (кН/м)},$$

где q - полная расчетная нагрузка на 1 м^2 покрытия (перекрытия), кН/м^2 ;

B - ширина плиты, м.

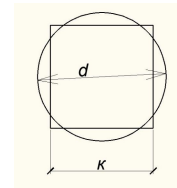
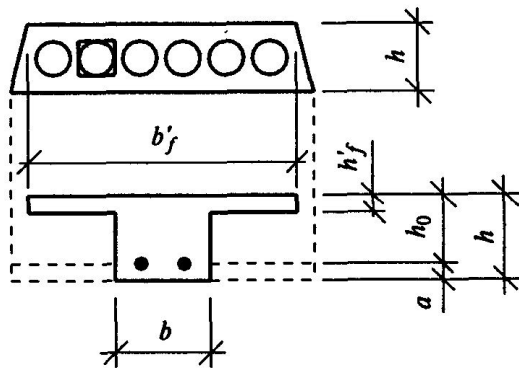
Расчетные усилия:

изгибающий момент $M = \frac{q' l_0^2}{8} \text{ (кНм)};$

поперечная сила $Q = \frac{q' l_0}{2} \text{ (кН)}.$

4. Расчетное сечение

Приводим фактическое сечение многопустотной плиты к расчетному тавровому с полками вверх. Бетон между пустотами условно собран в ребро. Считаем, что растянутая полка плиты в работе не участвует вследствие образования в ней трещин. Круглые отверстия при определении размеров приведенного сечения заменяем равновеликими квадратными.



$$k = \sqrt{\frac{\pi d^2}{4}} \approx 0,9d \approx 143 \text{ мм}$$

$$h'_f = \frac{h - k}{2}$$

$$b = b'_f - nk,$$

здесь n - число пустот в поперечном сечении.

5. Исходные данные для расчета

$M = \dots$ (кНм) – максимальный изгибающий момент;

$Q = \dots$ (кН) - максимальная поперечная сила,

$b = \dots$ (м) - ширина ребра расчетного сечения;

$h = \dots$ (м) - высота расчетного сечения;

$h'_f = \dots$ (м) - толщина полки расчетного сечения;

$l = \dots$ (м) - длина плиты;

$R_b = \dots$ (МПа)- расчетное сопротивление бетона сжатию, таб.13 СНиП 2.03.01-84;

$R_{bt} = \dots$ (МПа)- расчетное сопротивление бетона растяжению, таб.13 СНиП 2.03.01-84;

$R_s = \dots$ (МПа) - расчетное сопротивление арматуры растяжению для расчета по первой группе предельных состояний, таб.22,23 СНиП 2.03.01-84;

$R_{s,ser} = \dots$ (МПа) - расчетное сопротивление арматуры растяжению для расчета по второй группе предельных состояний, таб.19,20 СНиП 2.03.01-84;

$E_s = \dots$ (МПа) – модуль упругости арматурной стали, таб.29 СНиП 2.03.01-84;

$E_b = \dots$ МПа - начальный модуль упругости бетона, таб. 18 СНиП 2.03.01-84.

6. Расчет прочности нормальных сечений продольных ребер

Расчет прочности нормальных сечений продольных ребер проводим с учетом первых потерь предварительного натяжения арматуры.

6.1. Максимально допустимое значение предварительного напряжения без учета потерь:

- для механического способа натяжения $\sigma_{sp} = 0,95R_{s,ser}$

- для электротермического способа натяжения $\sigma_{sp} = R_{s,ser} - p$,

где $p = 30 + \frac{360}{l}$ (МПа) - допустимое отклонение предварительного натяжения.

6.2. Коэффициент точности натяжения арматуры $\gamma_{sp} = 1 - \Delta\gamma_{sp}$

где $\Delta\gamma_{sp} = 0,1$ при механическом способе натяжения арматуры

$\Delta\gamma_{sp} = 0,5 \frac{p}{\sigma_{sp}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}} \right)$ при электротермическом способе натяжения арматуры

n - число натягиваемых стержней.

6.3. Первые потери напряжений.

6.3.1. Релаксация напряжений арматуры σ_1 (МПа).

Механический способ натяжения арматуры

а) проволочная арматура $\sigma_1 = \left(0,22 \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0,1 \right) \sigma_{sp}$

б) стержневая арматура $\sigma_1 = 0,1\sigma_{sp} - 20$

Электротермический способ натяжения арматуры

а) проволочная арматура $\sigma_1 = 0,05\sigma_{sp}$

б) стержневая арматура $\sigma_1 = 0,03\sigma_{sp}$

6.3.2. Деформации анкеров, расположенных у натяжных устройств σ_3 (МПа).

Механический способ натяжения арматуры $\sigma_3 = \frac{\Delta l}{l} E_s$

где $\Delta l = 2$ мм – обжатие опрессованных шайб, сжатие головок и т.д.

Электротермический способ натяжения арматуры

$\sigma_3 = 0$

6.3.3. Деформация стальных форм σ_5 (МПа).

Механический способ натяжения арматуры $\sigma_5 = 30$ МПа

Электротермический способ натяжения арматуры $\sigma_5 = 0$

6.4. Напряжения в арматуре с учетом первых потерь

$$\sigma_{sp1} = \sigma_{sp} \gamma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_3 - \sigma_5 \text{ (МПа)}$$

6.5. Напряжение $\Delta\sigma_{sp} = 1500 \frac{\sigma_{sp1}}{R_s} - 1200 \geq 0$

Если $\Delta\sigma_{sp} > 0$, то принять $\Delta\sigma_{sp} = 0$

6.6. Предельное значение предварительного напряжения в арматуре

$$\sigma_{sR} = R_s + 400 - \sigma_{sp1} - \Delta\sigma_{sp}$$

6.7. Предельное значение напряжения в арматуре сжатой зоны $\sigma_{sc,u} = 500$ (МПа)

6.8. Характеристика сжатой зоны бетона $\omega = \alpha - 0,008R_b$,

здесь α - коэффициент, принимаемый равным:

для тяжелого бетона $\alpha = 0,85$;

для тяжелого бетона, подвергнутого автоклавной обработке $\alpha = 0,8$

R_b - в МПа

6.9. Предельно допустимое отношение высоты сжатой зоны бетона и рабочей высоты

сечения $\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}$

6.10. Рабочая высота сечения $h_0 = h - a$. Принять $a = (1,5...2)$ см

6.11. Определяем положение нейтральной оси.

Проверка: $M \leq R_b b'_f h'_f (h_0 - 0,5h'_f)$

При выполнении неравенства нейтральная ось проходит в полке. Это первый расчетный случай. Сечение рассчитываем как прямоугольное с шириной b'_f .

6.12. Коэффициент $\alpha_m = \frac{M}{R_b b'_f h_0^2}$

6.13. Вычислить $\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}$ или определить по таблице.

6.14. Проверка: $\xi \leq \xi_R$. Если неравенство не выполняется, то следует увеличить класс прочности бетона.

6.15. Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_{s\sigma} = \eta - (\eta - 1) \left(\frac{2\xi}{\xi_R} - 1 \right)$

здесь η - коэффициент, принимаемый равным для арматуры классов:

A600 (A-IV)1,20

A800(A-V), B-II, B_p-II1,15

A1000(A-VI), A1200(A_T-VII)1,10

6.16. Проверка: $\gamma_{s\sigma} \leq \eta$. Если неравенство не выполняется, то принять $\gamma_{s\sigma} = \eta$.

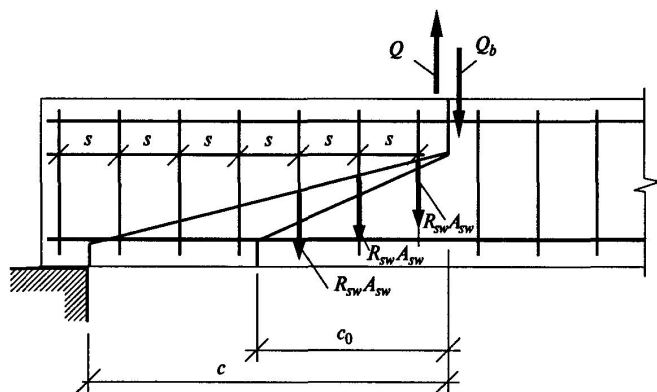
6.17. Вычислить $\zeta = 1 - 0,5\xi$ или определить по таблице.

6.18. Требуемая площадь сечения рабочей напрягаемой арматуры

$$A_{sp}^{мреб} = \frac{M}{\gamma_{s\sigma} R_s \zeta h_0}$$

6.19. По сортаменту назначить рабочую арматуру с $A_{sp} \geq A_{sp}^{мреб}$.

7. Расчет наклонных сечений продольных ребер.



7.1. Коэффициент φ_{b2} , учитывает влияние вида бетона, для тяжелого бетона

$$\varphi_{b2} = 2$$

Коэффициент $\varphi_{b4} = 1,5$ для тяжелого бетона.

Коэффициент $\varphi_{b3} = 0,6$ для тяжелого бетона.

7.2. Коэффициент, учитывающий влияние сжатых полок $\varphi_f = \frac{0,75(b'_f - b)h'_f}{bh_0} \leq 0,5$

При этом b'_f должно быть не более $(b - 3h'_f)$.

7.3. Коэффициент, учитывающий влияние продольных сил $\varphi_n = \frac{0,1P}{R_{bt}bh_0} \leq 0,5$

здесь $P = \gamma_{s\sigma} \sigma_{sp1} A_{sp}$

7.4. Минимальная величина поперечной силы, воспринимаемая бетоном:

$$Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0$$

7.5. Проверка: $Q < Q_{b,min}$. Если неравенство выполнено, то поперечная арматура по расчёту не нужна и ставим её конструктивно (см. п. 7.11.). Если неравенство не выполняется, то требуется расчет поперечной арматуры.

7.6. Длина проекции наклонной трещины на продольную ось элемента $c = \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}} h_0$

Наименьшая длина проекции наклонной трещины на продольную ось элемента $c_0 = 2h_0$

7.7. Усиление в хомутах на единицу длины элемента q_{sw} (кН/м) определим в зависимости от величины

$$\chi = \frac{Q - Q_{b,min}}{Q_{b,min}}$$

Если $\chi < 1$, то $q_{sw} = \frac{Q - Q_{b,min}}{2c_0}$

Если $\chi > 1$ и $\chi \leq \frac{c}{c_0}$, то $q_{sw} = \frac{Q - Q_{b,min}}{c_0}$

Если $\chi > \frac{c}{c_0}$ и $\chi \leq \frac{c}{h_0}$, то $q_{sw} = \frac{Q - Q_{b,min}}{M_b}$, где $M_b = \varphi_{b2} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0$

Если $\chi > \frac{c}{c_0}$, то $q_{sw} = \frac{Q - Q_{b,min}}{h_0}$

7.8. Назначаем класс и диаметр поперечных стержней. Площадь сечения одного стержня $A_{sw1} = \dots \text{см}^2$, расчетное сопротивление поперечных стержней $R_{sw} = \dots \text{МПа}$.

7.9. Требуемый шаг поперечных стержней $s_{реб} = \frac{R_{sw} n A_{sw1}}{q_{sw}} \text{ (м)}$,

где n - число стержней в поперечном сечении.

7.10. Максимально допустимый шаг поперечных стержней $s_{max} = \frac{\varphi_{b4} (1 + \varphi_n) R_{bt} b h_0}{Q} \text{ (м)}$

7.11. Конструктивный шаг поперечных стержней:

$$\text{при } h \leq 450 \text{ мм} \quad s_k \leq \frac{h}{2} \leq 150 \text{ мм},$$

$$\text{при } h > 450 \text{ мм} \quad s_k \leq \frac{h}{3} \leq 500$$

7.12. Из значений $s_{\text{реб}}, s_{\text{max}}, s_k$ выбираем меньшее и назначаем шаг поперечных стержней s на пролетном участке. Шаг стержней должен быть кратен 50 мм.

Т.к. многопустотная плита является часторебристой конструкцией с высотой $h \leq 300$ мм, то поперечная арматура в средней части пролета не требуется (в случае, если по расчету поперечная арматура не нужна).

В верхней части сечения плиты конструктивно устанавливается сетка, воспринимающая монтажные и транспортные нагрузки.