

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ

Терешко А.Ю., Поливко А.Г.

(Научный руководитель – Нестеренко В.В.)

Аннотация

В качестве настила балочных клеток перекрытий, например в многоэтажных транспортных зданиях, применяются монолитные железобетонные плиты. Толщину железобетонной плиты настила рекомендуется назначать в зависимости от расчетного пролета плиты и значения временной нормативной нагрузки.

Армируют плиту сетками. Стержни рабочей арматуры сетки принимают диаметром 3...10 мм и располагают на расстоянии (с шагом) 100...200 мм один от другого. Защитный слой бетона для рабочей арматуры принимают не менее 10 мм, в особо толстых плитах (толще 100 мм) не менее 15 мм. Поперечные стержни сеток (распределительную арматуру) принимают меньшего диаметра общим сечением не менее 10% сечения рабочей арматуры, поставленной в месте наибольшего изгибающего момента, и размещают с шагом 250...300 мм, но не реже чем через 350 мм.

Расчет плиты перекрытия на прочность по нормальному сечению производится обычно как для прямоугольного сечения с одиночной арматурой и условной шириной сечения $b = 1000 \text{ мм}$ (Рис. 1).

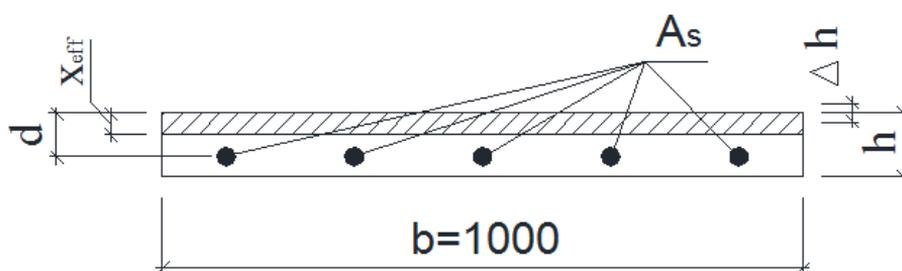


Рисунок 1 – Плита перекрытия

Рабочая высота сечения d определяется в зависимости от толщины плиты (высоты сечения h).

В результате расчетного анализа установлено, что рабочая высота сечения d для изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного и таврового сечений имеет наибольшую весомость при расчете этих элементов на прочность по нормальному сечению.

Точность изготовления железобетонных элементов характеризуют допусками и предельными отклонениями их линейных размеров по СТБ 1941–2009 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски». Допуски линейных размеров принимают по таблице 1 СТБ 1941–2009 в зависимости от номинального значения размера, точность которого нормируют.

Условие прочности для изгибаемого железобетонного элемента имеет вид:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd},$$

где:

M_{Ed} – расчетное значение изгибающего момента от внешних воздействий;

M_{Rd} – прочность нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента.

Для прямоугольного сечения с одиночной арматурой имеем:

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5 \cdot x_{eff}); \quad x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{f_{cd} \cdot b}.$$

$$M_{Rd} = f_{yd} \cdot A_s \cdot d - \frac{(f_{yd} \cdot A_s)^2}{2 \cdot f_{cd} \cdot b},$$

где:

x_{eff} – высота сжатой зоны бетона сечения;

f_{cd} – расчетное сопротивление бетона на сжатие;

f_{yd} – расчетное сопротивление арматуры на растяжение;

b – ширина сечения;

A_s – площадь сечения арматуры;

$d = h - c$ – рабочая высота сечения;

h – высота сечения (толщина плиты);

$c = a_{з.цл.} + \frac{d_s}{2}$ – расстояние от центра тяжести рабочей арматуры до крайнего растянутого волокна бетона сечения;

d_s – диаметр продольной рабочей арматуры.

Средние значения проектной (*not*) и фактической (*act*) несущей способности соответственно будут определяться выражениями:

$$\bar{M}_R^{not} = \bar{f}_y^{not} \cdot A_s^{not} \cdot d^{not} - \frac{\left(\bar{f}_y^{not} \cdot A_s^{not}\right)^2}{2 \cdot \bar{f}_c^{not} \cdot b^{not}};$$

$$\bar{M}_R^{act} = \bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act} \cdot \bar{d}^{act} - \frac{\left(\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act}\right)^2}{2 \cdot \bar{f}_c^{act} \cdot \bar{b}^{act}},$$

где:

\bar{f}_y^{not} – среднее проектное значение сопротивления арматуры;

A_s^{not} – площадь арматуры по проекту;

d^{not} – рабочая высота сечения по проекту;

\bar{f}_c^{not} – среднее проектное значение прочности бетона;

b^{not} – проектное значение ширины сечения элемента;

\bar{f}_y^{act} – среднее фактическое значение сопротивления арматуры;

\bar{A}_s^{act} – среднее фактическое значение площади арматуры;

\bar{d}^{act} – среднее фактическое значение рабочей высоты сечения;

\bar{f}_c^{act} – среднее фактическое значение прочности бетона;

\bar{b}^{act} – среднее фактическое значение ширины сечения элемента.

Для нахождения среднего квадратического отклонения несущей способности плиты перекрытия использовались положения теории вероятностей, в соответствии с которыми среднее квадратическое

отклонение функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$, при известных

значениях аргументов x_i и их средних квадратических отклонений, можно определять, используя метод линеаризации, по формуле

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2}.$$

Частные производные выше приведенных функций по всем параметрам имеют следующий вид (верхние индексы при параметрах для простоты опущены):

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_R}{\partial f_y} &= A_s \cdot d - \frac{f_y \cdot A_s^2}{f_c \cdot b}; & \frac{\partial M_R}{\partial A_s} &= f_y \cdot d - \frac{f_y^2 \cdot A_s}{f_c \cdot b}; \\ \frac{\partial M_R}{\partial f_c} &= \frac{f_y^2 \cdot A_s^2}{2 \cdot f_c^2 \cdot b}; & \frac{\partial M_R}{\partial b} &= \frac{f_y^2 \cdot A_s^2}{2 \cdot f_c \cdot b^2}; & \frac{\partial M_R}{\partial d} &= f_y \cdot A_s. \end{aligned}$$

Проектное минимальное значение прочности нормального сечения с одиночной арматурой (критерий надежности) определяется по формуле:

$$M_{R, \min}^{not} = f_{yd}^{not} \cdot A_s^{not} \cdot d^{not} - \frac{(f_{yd}^{not} \cdot A_s^{not})^2}{2 \cdot f_{cd}^{not} \cdot b^{not}}.$$

Проектный стандарт прочности сечения

$$\sigma_{M_R}^{not} = \sqrt{\left[A_s^{not} \cdot d^{not} - \frac{\bar{f}_y^{not} \cdot (A_s^{not})^2}{\bar{f}_c^{not} \cdot b^{not}} \right]^2 \cdot (\sigma_{f_y}^{not})^2 + \left[\frac{(\bar{f}_y^{not} \cdot A_s^{not})^2}{2 \cdot (\bar{f}_c^{not})^2 \cdot b^{not}} \right]^2 \cdot (\sigma_{f_c}^{not})^2}.$$

Фактический стандарт прочности сечения:

$$\begin{aligned} \sigma_{M_R}^{act} &= \sqrt{\left[\bar{A}_s^{act} \cdot \bar{d}^{act} - \frac{\bar{f}_y^{act} \cdot (\bar{A}_s^{act})^2}{\bar{f}_c^{act} \cdot \bar{b}^{act}} \right]^2 \cdot (\sigma_{f_y}^{act})^2 + \left[\frac{(\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act})^2}{2 \cdot (\bar{f}_c^{act})^2 \cdot \bar{b}^{act}} \right]^2 \cdot (\sigma_{f_c}^{act})^2 +} \\ &+ \frac{\left[(\bar{f}_y^{act})^2 \cdot (\bar{A}_s^{act})^2 \right]^2}{2 \cdot \bar{f}_c^{act} \cdot (\bar{b}^{act})^2} \cdot (\sigma_b^{act})^2 + \left[\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{d}^{act} - \frac{(\bar{f}_y^{act})^2 \cdot \bar{A}_s^{act}}{\bar{f}_c^{act} \cdot \bar{b}^{act}} \right]^2 \cdot (\sigma_{A_s}^{act})^2 +} \\ &\quad + \frac{(\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act})^2 \cdot (\sigma_d^{act})^2}{(\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act})^2 \cdot (\sigma_d^{act})^2}. \end{aligned}$$

В этих формулах: $\sigma_{f_y}^{not}$ – проектный стандарт сопротивления арматуры; $\sigma_{f_c}^{not}$ – проектный стандарт сопротивления бетона; $\sigma_{f_y}^{act}$ – фактический стандарт сопротивления арматуры; $\sigma_{f_c}^{act}$ – фактический стандарт сопротивления бетона

Количество стандартов, на которое отстоит проектное среднее значение несущей способности от проектной минимальной:

$$n^{not} = \frac{\overline{M}_R^{not} - M_{R, \min}^{not}}{\sigma_{M_R}^{not}}.$$

Фактическое количество стандартов, на которое отстоит средняя фактическая несущая способность от проектной минимальной:

$$n^{act} = \frac{\overline{M}_R^{act} - M_{R, \min}^{not}}{\sigma_{M_R}^{act}}.$$

По правилу трех сигм n^{not} и n^{act} должны быть не менее 3.

Исходные данные для расчета.

Бетон класса С20/25.

По проекту и фактически приняты одинаковые значения следующих характеристик бетона: $f_{ck} = 20 \text{ МПа}$; $f_{cd} = 13,3 \text{ МПа}$; $f_{cm} = 28 \text{ МПа}$; среднеквадратическое отклонение прочности бетона $\sigma_{f_c} = 5 \text{ МПа}$.

Арматура класса S400.

По проекту и фактически приняты одинаковые значения следующих характеристик: $f_{yk} = 400 \text{ МПа}$; $f_{yd} = 365 \text{ МПа}$; $f_{ym} = 457,4 \text{ МПа}$; среднеквадратическое отклонение прочности арматуры $\sigma_{f_y} = 35 \text{ МПа}$.

Высота сечения (толщина плиты перекрытия) h .

Принимаем по проекту и фактически $h = 100 \text{ мм}$.

Заключение

1. В результате вероятностных расчетов установлено, что обеспеченность по прочности нормального сечения монолитной железобетонной плиты перекрытий многоэтажных транспортных

зданий, с учетом точности изготовления железобетонных элементов по СТБ 1941–2009, не менее 95%.

2. Допуски линейного размера по толщине монолитной железобетонной плиты перекрытий многоэтажных транспортных зданий для классов точности 1...9 по СТБ 1941–2009, при номинальной толщине плиты 90...130 мм, могут быть менее «жесткими», чем по СТБ 1941–2009.
3. Значения допусков линейного размера по толщине монолитной железобетонной плиты перекрытий многоэтажных транспортных зданий для классов точности 1...9 по СТБ 1941–2009 рекомендуется принимать равными 16 мм.

Таблица 1 – Результаты вероятностных расчетов при $n^{not} = 2,64$ (обеспеченность 0,95)

Показатель	Класс точности (допуск, мм)								
	1 (0,4)	2 (0,6)	3 (1,0)	4 (1,6)	5 (2,4)	6 (4,0)	7 (6,0)	8 (10,0)	9 (16,0)
	<i>Толщина плиты 90 мм</i>								
n^{act}	3,02	3,02	3,01	3,01	3,01	2,99	2,96	2,86	2,66
$h^{mp} \cdot (\delta^{mp})$	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,2	88,4	88,8	90,0
	<i>Толщина плиты 100 мм</i>								
n^{act}	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,95	2,92	2,87	2,70
$h^{mp} \cdot (\delta^{mp})$	98,1	98,1	98,1	98,1	98,1	98,2	98,4	98,6	99,7
	<i>Толщина плиты 110 мм</i>								
n^{act}	2,88	2,88	2,88	2,88	2,87	2,86	2,84	2,79	2,67
$h^{mp} \cdot (\delta^{mp})$	108,4	108,4	108,4	108,4	108,4	108,5	108,6	108,9	110,0
	<i>Толщина плиты 120 мм</i>								
n^{act}	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,85	2,84	2,79	2,70
$h^{mp} \cdot (\delta^{mp})$	118,3	118,3	118,3	118,3	118,4	118,4	118,5	118,8	120,0
	<i>Толщина плиты 130 мм</i>								
n^{act}	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,84	2,83	2,79	2,71
$h^{mp} \cdot (\delta^{mp})$	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,4	128,7	129,0

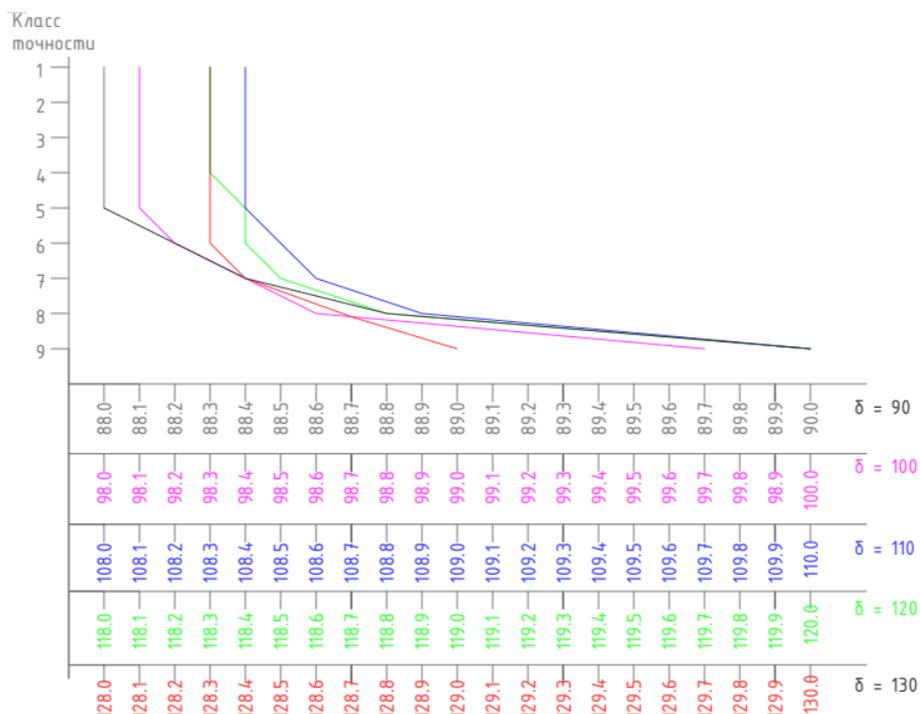


График 1 – Зависимости требуемой толщины плиты от класса точности

Литература

1. Стрелецкий Н. С. Основы статического учета коэффициента запаса прочности сооружений.– М.: Стройиздат, 1947. – 92 с.
2. Стрелецкий Н. С. К вопросу развития методики расчета по предельным состояниям / Развитие методики по предельным состояниям. – М.: Стройиздат, 1971. – С. 5–37.
3. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
4. Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
5. Авиром А. С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений – М.: Стройиздат, 1971.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд-во «Наука». – М.1969.
7. Сорин Я., Лебедев А. Беседы о надежности. – М., изд-во стандартов.,1969.
8. Райзер В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.
9. Основные вопросы теории и практики надежности: Сб. тр. семинара по проблемам надежности/ АН БССР, отделение физико-техн. наук. – Мн.: Наука, 1982.–280 с.