УДК 05.23.01

ПРИБЛИЖЁННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРОГИБОВ ЗАЩЕМЛЕННЫХ ПО КОНТУРУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С ТРЕЩИНАМИ

Эльдхаиби Мухамед Мустафа (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры)*

В статье рассматривается приближенная методика расчета прогибов защемленных по контуру железобетонных прямоугольных плит с трещинами.

В защемленных по контуру железобетонных плитах трещинообразование, нелинейность деформаций бетона и арматуры приводит к некоторому (до 30%) перераспределению усилий и значительному – в 2-3 раза увеличению прогибов; при длительном действии постоянной нагрузки прогибы увеличиваются, по сравнению с кратковременными в 1,5…3 раза[1], [2],[3],, это следует принимать во внимание при проектировании плит.

Предлагаемая приближённая методика оценки предельных длительных прогибов плит основывается на следующих предпосылках. Распределение усилий в железобетонной плите не зависит от физической нелинейности и не отличается от «упругого». Деформирование плиты может быть описано дифференциальным уравнением изогнутой поверхности упругой изотопной пластинки кусочно-постоянной жёсткости.

Жёсткость при кратковременном действии нагрузки вычисляется по формуле [4]:

$$B_0 = F_a E_a h_0 \left(h_0 - \frac{x_0}{3} \right) \eta_0 , \tag{1}$$

где $$\eta_0 = \frac{1}{\left(1 + \dfrac{2 F_a n_c}{b x_0}\right) \psi_{a0}} ; \quad x_0 = \xi_0 h_0$$

Величина ξ_0 определяется по формуле:

$$\xi_0 = n_c \mu_0 \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n_c \mu_0}}\right) \tag{2}$$

$$\text{где} \quad n_c = \frac{1}{\psi_{a0}} n_a ; \quad n_a = \frac{E_a}{E_0} \quad \mu_0 = \frac{F_a}{b h_0}, \tag{3}$$

где: F_a - площадь поперечного сечения растянутой арматуры, E_a - модуль упругости арматуры, E_0 - модуль упругости бетона, b - ширина сжатой зоны бетона, h_0 - полезная высота поперечного сечения, x_0 - высота сжатой зоны бетона в сечении с трещиной, ψ_{S0} - коэффициент, учитывающий влияние бетона растянутой зоны на деформации арматуры при кратковременном загружении,

$$\psi_{a0} = 1 - 0{,}7 \frac{M_{бt}}{M}, \tag{4}$$

где $M_{бt}$ - величина изгибающего момента, вызывающего трещины;

M - максимальный изгибающий момент при кратковременном или длительном действии нагрузки.

Жёсткость при длительном действии нагрузки, в любой момент времени t после загружения, определяется из выражения [4]

$$B(t) = F_a E_a h_0 \left(h_0 - \frac{x_0}{3}\right) \eta_t \tag{5}$$

$$\eta_t = \frac{1}{\left[1 + \frac{2 F_a n_a (1 + \varphi_t)}{b x_0 \psi_{at}}\right] \psi_{at}}, \quad (6)$$

где: ψ_{at} - коэффициент, учитывающий влияние бетона растянутой зоны при длительном действии нагрузки;

φ_t - характеристика ползучести бетона, т.е. отношение деформации ползучести к начальной упругой деформации.

Для вычисления минимальной жёсткости, при которой определяется наибольший прогиб, в формуле (6) подставляется предельное значение характеристики ползучести.

Рассмотрим защемленную по контуру круглую плиту, загруженную равномерно распределенной нагрузкой (рис. 1). Предположим, что изгибающие моменты $M_r^И$ таковы что средняя зона плиты, радиусом $r \le b_0$ и зона на крае плиты, где $r > a - b_1$ - с трещинами.

Жесткость этих зон D_0 и D_1. Зона плиты на участке $b_0 < r < b_1$ - без трещин; жесткость D. Установим приближенное значение предельного прогиба w_{max} [6]. Общим решением дифференциального уравнения, задачи симметричного изгиба поперечно нагруженной упругой, круглой пластинки постоянной толщины h, в полярных координатах будет

$$w^0 = \frac{qr^4}{64D} + C_3 r^2 + C_4 \quad (7)$$

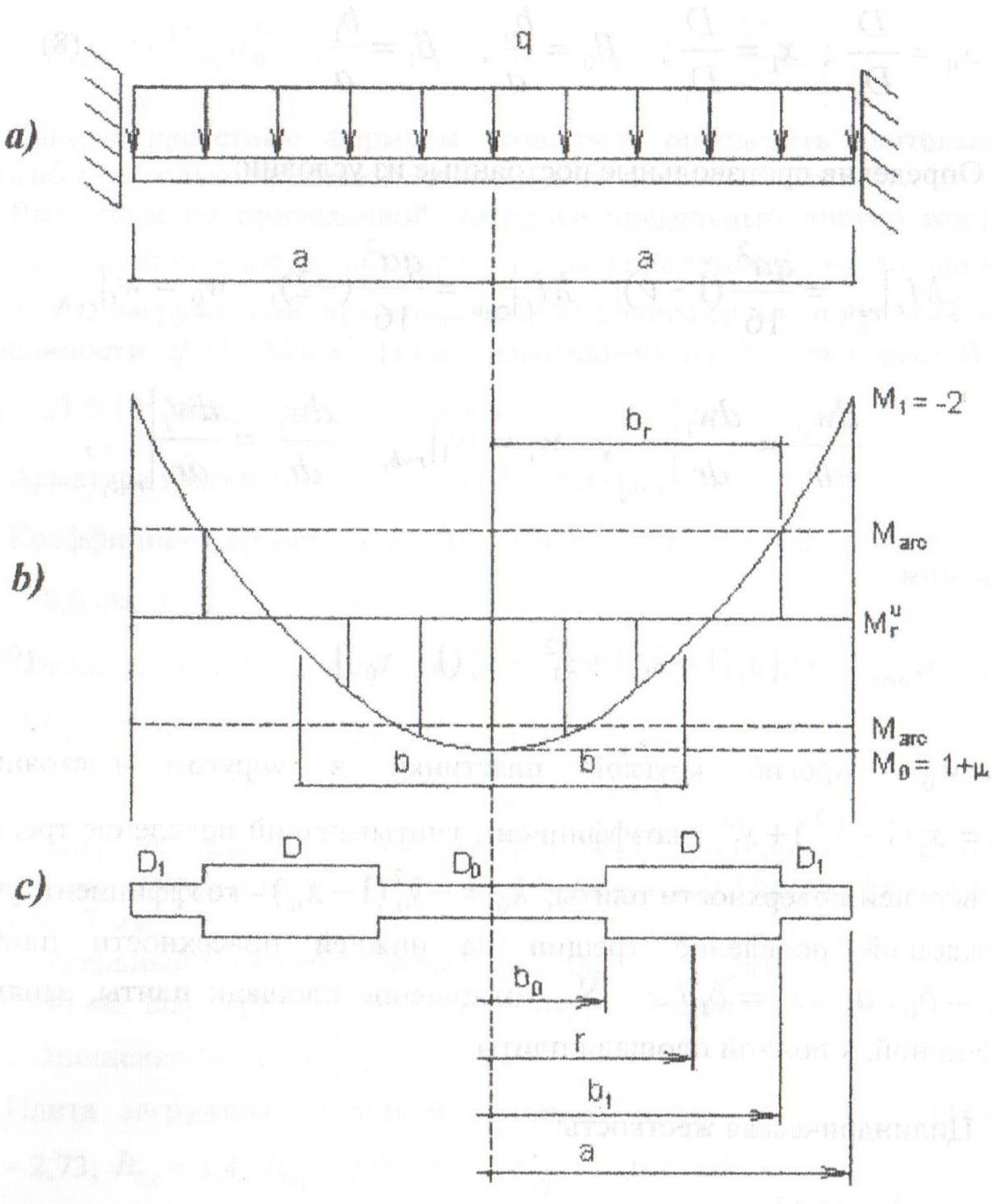

Рис. 1. Круглая плита: а) схема опирания. и загружения;
в) эпюра изгибающих моментов; с) эпюра жесткостей

Для упрощения работы введем такие обозначения:

$$x_0 = \frac{D}{D_0}\ ;\ x_1 = \frac{D}{D_1};\quad \beta_0 = \frac{b_0}{a};\quad \beta_1 = \frac{b_1}{a}. \qquad (8)$$

Определив произвольные постоянные из условий:

$$M_r\big|_{r=0} = \frac{qa^2}{16}(1-\nu);\quad M_r\big|_{r=0} = \frac{qa^2}{16}(-2);\quad w_0 = w_i\big|_{r=b_0}$$

$$\frac{dw_0}{dr} = \frac{dw_i}{dr}\bigg|_{r=b_0};\quad w_i = w_1\big|_{r=b_1}\quad \frac{dw_i}{dr} = \frac{dw_i}{dr}\bigg|_{r=b_1},$$

получим

$$w_{\max} = w_0[x_1(1-\bar{s}_1^2)+\bar{s}_1^2-\bar{s}_0^2(1-x_0)], \qquad (9)$$

где: w_0^{el} - прогиб круглой пластинки в упругом состоянии; $k_1 = x_1(1-\bar{s}_1^2)+\bar{s}_1^2$ - коэффициент, учитывающий появление трещин на верхней поверхности плиты; $k_0 = -\bar{s}_0^2(1-x_0)$ - коэффициент, учитывающий появление трещин на нижней поверхности плиты; $\bar{s}_0 = b_0/a;\quad \bar{s}_1 = b_1/a.$ S - отношение площади плиты, занятой трещиной, к полной площади плиты.

Цилиндрическая жесткость:

$$D = \frac{E_b h^3}{12(1-\nu^2)}; \qquad (10)$$

$$K_{crc}^* = (1+1{,}5\varphi_t)(k_1+k_0).$$

Множитель $(1+1{,}5\varphi_t)$ учитывает ползучесть бетона.

$$w^*_{\max} = K^*_{crc} w^{el}_0 \tag{11}$$

Данные расчетные формулы позволяют определять длительные прогибы не только круглых плит, но и плит другой формы.

Вычислим по приведенной методике предельный прогиб жестко защемленной по контуру квадратной плиты пролетом l =3м; толщиной h =10см, загруженной кратковременной равномерной нагрузкой интенсивности q =33 kH/м^2. Плита изготовлена из бетона класса B25: E_b = 23.5·10^3 МПа; $R_{bt,ser}$ = 1,5 МПа.

Арматура класса А-III, $E_a = 2\cdot10^5$ МПа.

Коэффициент армирования μ_0 = 0,005 и μ_1 = 0,003. h_{01} = 8,6 см, h_{02} = 8,6 см. D = 2003 кНм^2.

Согласно табл. 13.1 справочника [7], упругий прогиб w^{el}_0 = 1,7 мм.

$M_{\max}$ = 5,13 кНм; $M_{\min}$ = 10,53 кНм; M_{crc} = 3,45 кНм; x_1 = 0,234; $\bar{s}^2_0$ = 0,107; $\bar{s}^2_1$ = 0,596; x_0 = 2,79; $w_{\max}$ = 5,5 мм.

Экспериментальный прогиб центров двух плит марки 2Y702, подкрепленных рандбалками, из опытов Х.Амаса и В.Геллера [8] составляет 5…7 мм.

Длительный прогиб квадратной плиты с размером стороны a = 140 см, шарнирно опертой по контуру, согласно опытным данным Онищенко М.М., $w^*_{\max}$ = 3,22 мм.

Плита загружена нагрузкой интенсивностью q = 0,13 кН/м^2. φ_t = 2,73; h_{0x} = 3,4; h_{0y} = 2,9; $F_{ax} = F_{ay}$ = 0,013 см^2.

Бетон класса В30. E_b = 3,36 ·10^5. R_{bt} = 1,8 МПа.

Арматура класса А-III. $E_a = 2\cdot10^5$ МПа. Коэффициент армирования μ = 0,0044.

D = 33,474 кНм^2. w^{el}_0 = 0,699 мм. K_{crc} = 5,43, $w^*_{\max}$ = 3,31 мм, погрешность 2,79 %.

Вывод

Как видно из приведенного примера расчета, предлагаемая методика, учитывающая трещинообразование и ползучесть бетона, может применяться для оценки предельных длительных прогибов прямоугольных плит, опертых и защемленных по контуру. Правомочность применения методики для плит другой формы и способов закрепления должна быть проверена дополнительно.

Литература

1. Королев А.Н., Крылов С.М. Способ расчета прогибов железобетонных плит, опертых по контуру, и безбалочных перекрытий при действии кратковременной нагрузки. – Тр. НИИЖБ, вып. 26, 1962, с. 59-119.
2. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976.-208 с.
3. Яременко А.Ф. Известия высших учебных заведений строительства и архитектуры №11-1987
4. Улицкий И. И. Метелюк Н. С. Реминец Г. М. Жесткости изгибаемых железобетонных элементов 1963
5. Прокопович И. Е., Зедгенидзе Е. А. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1980.
6. Тимошенко С. П., Войновский – Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Физматгиз, 1963.
7. Справочник проектировщика промышленных, общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. I, II. Под ред. проф. А.А.Уманского. – М., 1973. – 415 с.
8. Gehler W., Amos H. Versuchemit Kreizweise. bewehrten Platten. Heft. 70. Berlin (1932).