

5. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций / СО Стальмонтаж, ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПСК им. Мельникова. – М., 1988. – 83с.

6. NCCI: Design models for splices in structural hollow sections // Access Steel. – 2010. – 10p.

7. Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading / J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte and Y. Kurobane // CIDECT. – 2009. – P. 83-89.

8. Надольский, В.В. Расчет и конструирование фланцевого соединения элементов прямоугольного сечения, подверженных центральному растяжению / В. В. Надольский // Вестник Полоцкого государственного университета. – Серия F: Прикладные науки. Строительство. – 2018. – № 16. – С. 121–130.

УДК 624.073.2

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ИХ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Семенюк С. Д., Кумашов Р. В.

Введение.

Применение сборно-разборных покрытий дорог из железобетонных плит позволяет избежать чрезмерного расхода материалов и средств. Будучи надежными в эксплуатации, эти дороги отвечают требованиям, выдвигаемым нуждами народного хозяйства. Такие дороги можно строить в любое время года, на любом грунте и сразу же эксплуатировать; строительство их поддается полной механизации, не требуется специального оборудования и машин. Сборные плиты могут изготавливаться как в заводских, так и в полигонных условиях без применения специального оборудования.

Однако неравномерные деформации основания и несимметричность приложения нагрузки приводят к возникновению в сечениях дорожных плит изгибающих и крутящих моментов, что пагубно сказывается на эксплуатационных характеристиках данных плит. В общем случае плиты работают на поперечный изгиб с кручением, в частности – на поперечный изгиб. Поэтому требуется учитывать влияние каждого из воздействий на несущую способность железобетонных плитных конструкций при их проектировании и изготовлении.

Способ Жемочкина. Статический расчет плиты на упругом полупространстве выполняем способом Жемочкина. Данный подход позволяет рассчитывать плиты на произвольном линейно-упругом деформируемом основании любой формы в плане и загруженные произвольной нормальной к срединной плоскости плиты внешней нагрузкой [1].

Алгоритм статического расчета железобетонной плиты на упругом полупространстве предусматривает шаговый метод последовательных приближений с использованием итерационного метода упругих решений для вычисления относительных деформаций в элементарных площадках.

Плита разбивается на *mхп* прямоугольных участков (рисунок 1). В середине каждого участка ставится связь, через которую осуществляется контакт плиты с

упругим основанием, а в центре плиты вводится защемление. Принимается, что усилие в каждой связи вызывает равномерное распределение реактивных давлений в пределах участка [2].

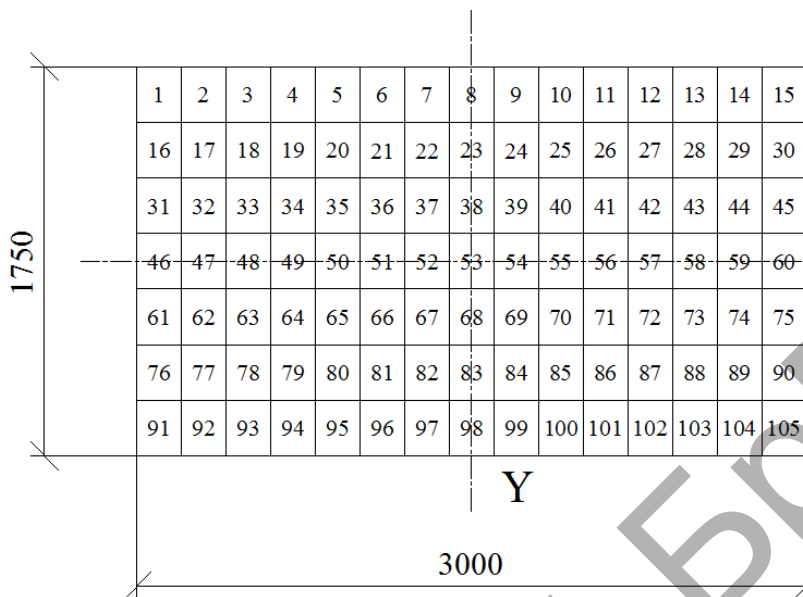


Рисунок 1 – Пример разбивки плиты на прямоугольные участки

Система канонических уравнений способа Жемочина имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^n \delta_{ik} R_k + \varphi_{0x} y_i + \varphi_{0y} x_i + u_0 + \Delta_{ip} = 0 \right); \\ - \sum_{k=1}^n R_k y_k + M_{px} = 0; \\ - \sum_{k=1}^n R_k x_k + M_{py} = 0; \\ - \sum_{k=1}^n R_k + Q = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где u_0 , φ_{0x} , φ_{0y} – линейное и угловые перемещения введенного защемления на плите; Q , M_{px} , M_{py} – равнодействующая внешних сил, действующих на плиту, и ее моменты относительно координатных осей; R_k – реактивные усилия.

Коэффициенты при неизвестных усилиях в связях в системе зависят от прогибов плиты в основной системе смешанного метода и осадок упругого основания и определяются формулой:

$$\delta_{ik} = w_{ik} + V_{ik} \quad (2)$$

где w_{ik} – прогиб плиты в точке x_i в основной системе от действия $R_k = 1$;

V_{ik} – перемещение точки приложения R_i на границе основания от действия равномерно распределенного по участку $b \times c$ усилия $R_k = 1$.

В свою очередь каждый участок рассматривается как совокупность элементарных площадок, в пределах которых деформации считаются равномерно распределенными, а по высоте сечения элемента – связанные гипотезой плоских сечений [3].

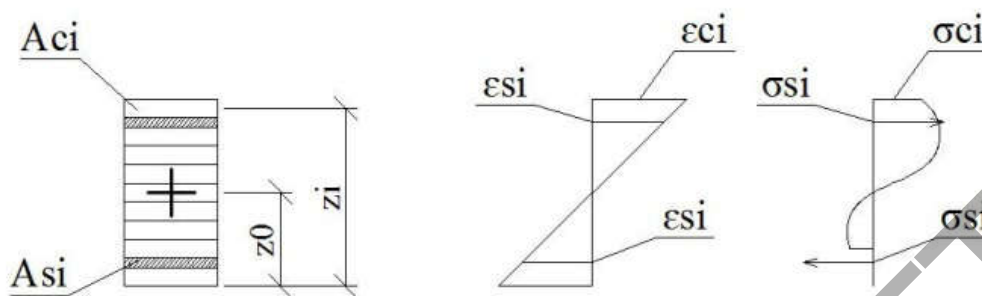


Рисунок 2 – Расчетное поперечное сечение плиты и распределение деформаций и напряжений

В качестве диаграммы бетона, устанавливающей зависимость между напряжениями и деформациями, принимаем нелинейную диаграмму состояния бетона с ниспадающей ветвью, рекомендованную ТКП EN 1992-1-1-2009:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2) \cdot \eta};$$

$$\frac{\sigma_{ct}}{f_{ctm}} = \frac{k_t \eta_t - \eta_t^2}{1 + (k_t - 2) \cdot \eta_t},$$
(3)

где $\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$; $\eta_t = \frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_{ct1}}$;

$\varepsilon_{c1}, \varepsilon_{ct1}$ – относительная деформация при максимальном значении напряжения при сжатии и растяжении;

$$k = 1,05 E_{cm} \cdot \frac{|\varepsilon_{c1}|}{f_{cm}}; \quad k_t = 1,05 E_{cm} \cdot \frac{|\varepsilon_{ct1}|}{f_{ctm}}.$$

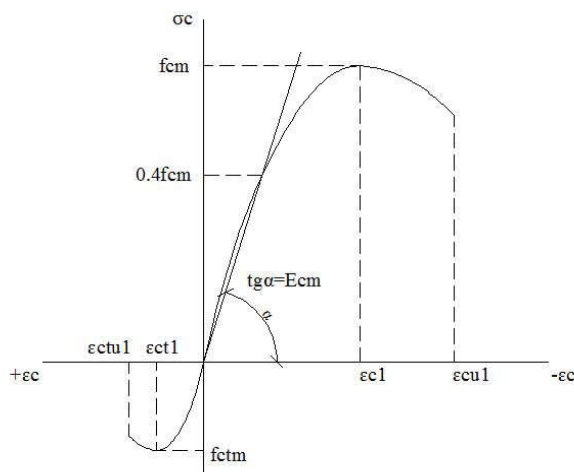


Рисунок 3 – График зависимости «напряжение-относительная деформация» для бетона

При заданном усилии от внешней нагрузки задается положение центра изгиба сечения плиты в предположении упругой работы бетона и арматуры

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n E_{oi} A_i z_i}{\sum_{i=1}^n E_{oi} A_i}, \quad (4)$$

где E_{oi} – начальный модуль упругости бетона или арматуры i -й элементарной площадки;

z_i – расстояние от выбранной оси элемента до центра тяжести i -й элементарной площадки;

A_i – площадь сечения i -й элементарной площадки;

n – количество элементарных площадок бетона и арматуры.

Дифференциальное уравнение изгиба плиты с трещинами. До появления трещин железобетонные конструкции могут рассчитываться как изотропные линейно-упругие либо нелинейно-упругие. После образования трещин жесткость плиты становится переменной величиной и зависит от координат рассматриваемой точки.

Положим, что после образования трещин бетон плиты в отношении своих упругих свойств обладает тремя осями симметрии, т. е. является ортотропным материалом. Если эти плоскости симметрии принять в качестве координатных плоскостей, то соотношения между компонентами напряжений и деформаций для случая плоского распределения в плоскости XU можно записать в виде:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = [A] \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

здесь

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_{cm}} & \frac{\nu}{E_{cm}} & 0 \\ \frac{\nu}{E_{cm}} & \frac{1}{E_{cm}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2 \cdot (1 + \nu)}{E_{cm}} \end{bmatrix}; \quad [B] = \frac{[A]^{-1}}{E_{cm}} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\nu^2 - 1} & \frac{\nu}{\nu^2 - 1} & 0 \\ \frac{\nu}{\nu^2 - 1} & -\frac{1}{\nu^2 - 1} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu)} \end{bmatrix},$$

где E_{cm} – модуль деформации бетона;

ν – коэффициент Пуассона.

Исследуя изгиб железобетонной плиты с трещинами, предполагаем, что перпендикулярные в срединной плоскости плиты линейные элементы остаются прямыми и нормальными к изогнутой поверхности плиты после ее деформирования [5]. На основании этого можно записать следующие выражения для компонентов деформации:

$$\varepsilon_x = -z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \varepsilon_y = -z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \gamma_{xy} = -2 \cdot z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \quad (6)$$

Соответствующие компоненты напряжений найдутся из уравнений:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = -z \cdot Ecm \cdot [B] \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Тогда для определения моментов, возникающих в сечении плиты, можно записать:

$$\begin{aligned} M_x &= \int_{-z_0}^{h-z_0} \sigma_x z dz = - \left(D11 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D12 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \\ M_y &= \int_{-z_0}^{h-z_0} \sigma_y z dz = - \left(D21 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D22 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \\ M_{xy} &= \int_{-z_0}^{h-z_0} \tau_{xy} z dz = -2 \cdot D33 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \end{aligned} \quad (8)$$

здесь

$$\begin{aligned} D11 &= \int_{-z_0}^{h-z_0} E \cdot B_{11} \cdot z^2 dz; & D12 &= \int_{-z_0}^{h-z_0} E \cdot B_{12} \cdot z^2 dz; \\ D22 &= \int_{-z_0}^{h-z_0} E \cdot B_{22} \cdot z^2 dz; & D21 &= \int_{-z_0}^{h-z_0} E \cdot B_{21} \cdot z^2 dz; \\ D33 &= \int_{-z_0}^{h-z_0} E \cdot B_{33} \cdot z^2 dz, \end{aligned} \quad (9)$$

где $D11, D12, D21, D22, D33$ – жесткости плиты;

h – высота плиты;

z_0 – координата срединной поверхности плиты.

Дифференциальное уравнение изгиба плиты записывается в виде:

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} - 2 \cdot \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} = -q. \quad (10)$$

Тогда с учетом выражения (8) окончательно получаем дифференциальное уравнение изгиба железобетонной плиты с трещинами:

$$\begin{aligned}
& D11 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + D22 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + [D12 + D21 - 4D33] \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \\
& + 2 \cdot \frac{\partial D11}{\partial x} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + 2 \cdot \frac{\partial D22}{\partial y} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + \left[2 \cdot \frac{\partial D12}{\partial x} - 4 \cdot \frac{\partial D33}{\partial x} \right] \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} + \\
& + \left[2 \cdot \frac{\partial D21}{\partial y} - 4 \cdot \frac{\partial D33}{\partial y} \right] \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} + \left[\frac{\partial^2 D11}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 D21}{\partial y^2} \right] \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \\
& + \left[\frac{\partial^2 D22}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 D12}{\partial x^2} \right] \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 4 \cdot \frac{\partial^2 D33}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = -q.
\end{aligned} \tag{11}$$

Прогиб плиты с защемленной нормалью. Прогибы нейтральной поверхности плиты будем искать в виде:

$$W(x, y) = \left[\left(\frac{x}{b} \right)^2 + \left(\frac{y}{a} \right)^2 \right] \times \left[C00 + C01 \cdot \frac{x}{b} + C10 \cdot \frac{y}{a} + C11 \cdot \frac{x \cdot y}{b \cdot a} \right], \tag{12}$$

где $C00, C01, C10, C11$ – неопределённые коэффициенты;
 a, b – некоторый линейный размер плиты.

Для определения коэффициентов используем метод Ритца. Составляем функционал полной энергии плиты с защемленной нормалью и действующей силой $P(u, t)$:

$$\begin{aligned}
\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int_{-a}^a \int_{-b}^b & \left[D11 \cdot \left(\frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial x^2} \right)^2 + D22 \cdot \left(\frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial y^2} \right)^2 + (D12 + D21) \times \right. \\
& \left. \times \frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial y^2} - 2D33 \cdot \frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial x \partial y} \right] dx dy - P \cdot W(u, t).
\end{aligned} \tag{13}$$

Ввиду линейности решаемой задачи этот функционал будет квадратичной функцией коэффициентов $C00, C01, C10, C11$. Из условия минимума функционала (13) составляется система линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов $C00, C01, C10, C11$ в виде:

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial C00} &= 0 \\
\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial C01} &= 0 \\
\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial C10} &= 0 \\
\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial C11} &= 0
\end{aligned} \right\} \tag{14}$$

В результате решения данной системы получаем выражения для коэффициентов $C00, C01, C10, C11$

$$\begin{aligned}
C_{00} &= \frac{Pa^3bu^2 + Pab^3t^2}{16D_{11}a^4 + 16D_{22}b^4 + 16D_{12}a^2b^2 + 16D_{21}a^2b^2}; \\
C_{01} &= \frac{3Pa^3u^3 + 3Pab^2ut^2}{144D_{11}a^4 + 16D_{22}b^4 + 48D_{12}a^2b^2 + 48D_{21}a^2b^2 - 32D_{33}a^2b^2}; \\
C_{10} &= \frac{3Pa^3bu^2t + 3Pb^3t^3}{16D_{11}a^4 + 144D_{22}b^4 + 48D_{12}a^2b^2 + 48D_{21}a^2b^2 - 32D_{33}a^2b^2}; \\
C_{11} &= \frac{5Pa^2u^3t + 5Pb^2ut^3}{80D_{11}a^4 + 80D_{22}b^4 + 80D_{12}a^2b^2 + 80D_{21}a^2b^2 - 224D_{33}a^2b^2}.
\end{aligned} \tag{15}$$

Перемещения точек поверхности основания. При определении перемещений точки $M(x, y)$, находящейся на поверхности упругого однородного изотропного полупространства от действия единичной силы, распределенной по площади участка Ω поверхности полупространства, необходимо вычислить интеграл

$$W_m(x, y) = \frac{1 - \nu_0^2}{\pi E_0} \frac{1}{\Omega} \iint_{\Omega} \frac{d\xi d\eta}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}}, \tag{16}$$

где Ω – площадь участка Жемочкина.

Перемещение точки $M(x, y)$ поверхности упругого полупространства при загрузении участка прямоугольной формы на этой поверхности равномерно распределенной нагрузкой с равнодействующей, равной 1, интеграл после вычисления имеет вид

$$\begin{aligned}
W_M(x, y) &= \frac{1 - \nu_0^2}{\pi E_0 \Delta_x} \left[\frac{y - d}{\Delta_y} \times \ln \frac{x - b + \sqrt{(x - b)^2 + (y - d)^2}}{x - a + \sqrt{(x - a)^2 + (y - d)^2}} + \right. \\
&+ \frac{y - c}{\Delta_y} \ln \frac{x - a + \sqrt{(x - a)^2 + (y - c)^2}}{x - b + \sqrt{(x - b)^2 + (y - c)^2}} + \frac{x - b}{\Delta_y} \ln \frac{y - d + \sqrt{(x - b)^2 + (y - d)^2}}{y - c + \sqrt{(x - b)^2 + (y - c)^2}} + \\
&\left. + \frac{x - a}{\Delta_y} \ln \frac{y - c + \sqrt{(x - a)^2 + (y - c)^2}}{y - d + \sqrt{(x - a)^2 + (y - d)^2}} \right], \\
\Delta_x &= b - a, \quad \Delta_y = d - c,
\end{aligned} \tag{17}$$

где a, b, c, d – координаты границ участка Жемочкина [4].

Определение жесткостей железобетонной плиты с трещинами. При определении прогибов плит с заземленной нормалью жесткость является нелинейной величиной и определяется выражениями (9).

Так как модуль деформации зависит от высоты сечения $E(z)$ и аналитическое выражение данной зависимости неизвестно, то для вычисления интегралов

воспользуемся формулой прямоугольников. Тогда выражения для жесткостей с учетом армирования плиты принимает вид

$$\begin{aligned}
 D11 &= \sum_{i=1}^n Ecm_i \cdot B_{1,1} \cdot h_i \cdot zcx_i^2 + \sum_{j=1}^2 Es_j \cdot \frac{Asx_j}{a} \cdot zsx_i^2; \\
 D12 &= \sum_{i=1}^n Ecm_i \cdot B_{1,2} \cdot h_i \cdot zcy_i^2 + \sum_{j=1}^2 Es_j \cdot \frac{Asy_j}{b} \cdot zsy_i^2; \\
 D21 &= \sum_{i=1}^n Ecm_i \cdot B_{2,1} \cdot h_i \cdot zcx_i^2 + \sum_{j=1}^2 Es_j \cdot \frac{Asx_j}{a} \cdot zsx_i^2; \\
 D22 &= \sum_{i=1}^n Ecm_i \cdot B_{2,2} \cdot h_i \cdot zcy_i^2 + \sum_{j=1}^2 Es_j \cdot \frac{Asy_j}{b} \cdot zsy_i^2; \\
 D33 &= \sum_{i=1}^n Ecm_i \cdot B_{3,3} \cdot h_i \cdot zcx_i^2,
 \end{aligned} \tag{18}$$

где $zcx_i, zcy_i, zsx_i, zsy_i$ – положение нейтральной линии для бетона и арматуры в двух направлениях;

Asx_j, Asy_j – верхнее и нижнее армирование плиты в двух направлениях.

Определение усилий в сечениях плиты. После решения системы канонических уравнений по найденным значениям реактивных усилий R_k находятся реактивное давление под плитой и распределение осадок S_k .

Кривизна нейтральной поверхности плиты в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а также относительное кручение поверхности будут равны

$$\frac{1}{r_x} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \frac{1}{r_y} = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \frac{1}{r_{xy}} = \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \tag{19}$$

С учетом конечных разностей можно записать

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{r_x} &= -\frac{S_{i+1,j} - 2S_{i,j} + S_{i-1,j}}{\Delta x^2}; \\
 \frac{1}{r_y} &= -\frac{S_{i,j+1} - 2S_{i,j} + S_{i,j-1}}{\Delta y^2}; \\
 \frac{1}{r_{xy}} &= \left(S_{i+1,j+1} - S_{i+1,j-1} - S_{i-1,j+1} + S_{i-1,j-1} \right) \cdot \frac{1}{4\Delta x \Delta y}
 \end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
 i &= 2..m-1; \\
 j &= 2..n-1.
 \end{aligned}$$

Относительные деформации слоя, отстоящего от нейтральной поверхности на расстоянии z_i , будут равны

$$\varepsilon_{xi} = \frac{(z_0 - z_i)}{r_x}; \quad \varepsilon_{yi} = \frac{(z_0 - z_i)}{r_y}; \quad \varepsilon_{xyi} = \frac{(z_0 - z_i)}{r_{xy}}. \tag{21}$$

Далее по диаграммам деформирования с учетом найденных относительных деформаций находим секущие модули деформации (рис. 4) и, с учетом закона Гука, напряжения в элементарном слое.

$$\sigma_{xi} = \frac{E_i}{1-\nu^2}(\varepsilon_{xi} + \nu\varepsilon_{yi}); \quad \sigma_{yi} = \frac{E_i}{1-\nu^2}(\varepsilon_{yi} + \nu\varepsilon_{xi}); \quad \tau_{xyi} = 2G\varepsilon_{xyi} = \frac{E_i}{1-\nu} \varepsilon_{xyi}. \quad (22)$$

Если напряжения растяжения в бетоне элементарной площадки превышают предельные значения, это свидетельствует об образовании трещины в этой площадке. В дальнейших расчетах осевая жесткость этой элементарной площадки принимается равной нулю.

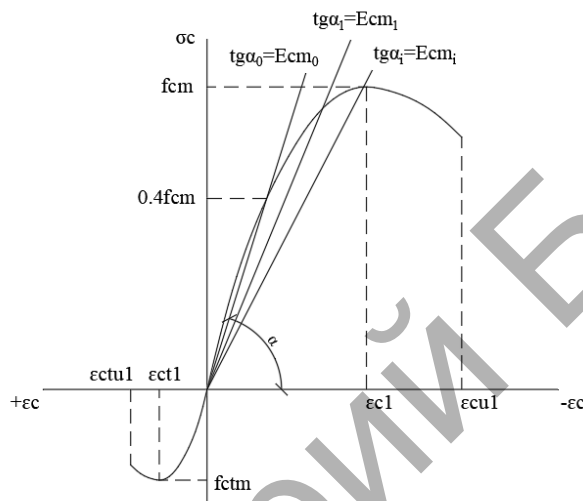


Рисунок 4 – Последовательности вычислений

Найденные модули вводятся в расчет в новом расчетном цикле. Критерием окончания процесса последовательных приближений является сравнение общих деформационных параметров на смежных этапах.

После окончания итерационного процесса по известной кривизне плиты определяем изгибающие и крутящие моменты, действующие в сечении плиты от заданных нагрузок

$$M_x = D11 \cdot \frac{1}{r_x} + D12 \cdot \frac{1}{r_y}; \quad M_y = D21 \cdot \frac{1}{r_x} + D22 \cdot \frac{1}{r_y}; \quad (23)$$

$$M_{xy} = -2 \cdot D33 \cdot \frac{1}{r_{xy}}.$$

Заключение. Таким образом, приводится алгоритм расчета нелинейно-упругой плиты на линейно-упругом полупространстве с применением способа Жемочкина. Данный подход позволяет рассчитывать плиты на произвольном линейно-упругом деформируемом основании любой формы в плане и загруженные произвольной нормальной к срединной плоскости плиты внешней нагрузкой.

Список цитированных источников

1. Босаков, С.В. Статические расчеты плит на упругом основании / С.В. Босаков. – Минск: БНТУ, 2002. – 128 с.

2. Жемочкин, Б.Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин, А.П. Синицын. – М.: Госстройиздат, 1962. – 240 с.
3. Усиление железобетонных конструкций: Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84*. – Минск: Минстройархитектуры, 1998. – 189 с.
4. Семенюк, С.Д. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом нагружениях: монография / С.Д. Семенюк, Ю.Г. Москалькова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 274 с.
5. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Физ.-мат. изд-во, 1963. – 536 с.
6. Семенюк, С.Д. Несущая и эксплуатационная способность железобетонных плит покрытия автомобильных дорог / С.Д. Семенюк, Р.В. Кумашов, Э.А. Кетнер // Наука та будівництво. – Киев, 2016. – №3 (9). – с. 11-18.
7. Семенюк, С.Д. Железобетонные плиты покрытия автомобильных дорог на упругом полупространстве / С.Д. Семенюк, Р.В. Кумашов // Международный журнал по расчету гражданских и промышленных конструкций. – М.: Издательство АСВ, 2018. – С. 149-157.

УДК 539.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА «МАТНЕМАТИСА» В РЕШЕНИИ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ШАРНИРНОГО УЗЛА ОПИРАНИЯ БАЛОЧНОЙ ПЛИТЫ

Скачѣк П. Д.

Введение. Для описания и решения задач строительной механики составляется математическая модель предмета исследования (например, напряженно-деформированное состояние). Большинство математических моделей представляют из себя совокупность дифференциальных уравнений с наложенными на них граничными условиями. Весьма небольшой класс задач имеет точное решение. Однако с развитием информационных технологий стало возможным решение большинства задач численными и численно-аналитическими методами, как правило, характеризующимися огромными математическими вычислениями, выполняемые теперь не человеком, а машиной.

Широкое распространение среди численно-аналитических методов расчета сооружений получил метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ основан на вариационном принципе Лагранжа, реализующий решение поставленной задачи методом перемещений. Программные комплексы, реализующие МКЭ, имеют чисто прикладной характер.

Однако для научных и более детальных исследований какого-либо процесса и явления, в том числе и напряженно-деформированного состояния сооружений, не обойтись без математических вычислений, сопровождающихся не только решением различных уравнений, но и построением графиков, диаграмм. С этой целью созданы многочисленные системы компьютерной алгебры (СКА), такие как Wolfram Mathematica, Maple, Maxima, Matlab и др. Например, Mathematica способна выполнять аналитические преобразования, символьные вычисления, численные расчеты, производить статистическую обработку данных и массивов, визуализировать как функциональные, так и дискретные данные, выполнять цифровую обработку звуковых сигналов и изображений [1].