

випробувань. Одним із варіантів стандартної методики може бути випробування зразків за ГОСТ 10180-90 [1] з використанням при обробленні отриманих даних формули (21), що викладено в роботі [2].

1. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.

2. Кочкаръов Д.В., Бабич В.І. Побудова повних діаграм деформування бетону за результатами випробування призм стандартним способом // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип.38. – Одеса: ОДАБА, 2010. – С. 365-373.

3. Макаренко Л.П. Практический способ определения модуля упругости и упруго-пластических характеристик бетона при сжатии / Л.П. Макаренко, Г.А. Фенко // Изв. вузов. стр-во и архитектура. – 1970. – №10. – С.141-147.

4. EN 1992-1:2001 (Final Draft, April, 2002) Eurocode-2: Desing of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Building. – Brussels-2002, Oktober. – 230 p.

Отримано 22.04.2011

УДК 624.073.11

Э.Д.ЧИХЛАДЗЕ, д-р техн. наук, С.В.БЕРЕСТЯНСКАЯ, канд. техн. наук,
А.А.ШЕВЧЕНКО, А.А.ПЕТРУШЕВСКАЯ

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИНОК

Рассматривается методика определения положения нейтральной оси с учетом напряжений в бетоне и стальном листе, работа стального листа за пределом упругости, а также влияние податливости связей сдвига.

Розглянуто методику визначення положення нейтральної осі з урахуванням напружень в бетоні та сталевому листі, робота сталі за межею пружності, а також вплив податливості зв'язків зсуву.

In the article the technique of determining the position of neutral axis with allowance for the stress in the concrete and steel sheet, steel plate work beyond the limit of elasticity and pliability of the same effect relationships shift.

Ключевые слова: сталебетонная плита, нейтральная ось, податливость контакта.

Современные требования проектирования и строительства требуют разработки и математического аппарата для расчета конструкций с учетом композитности материалов.

На данный момент затруднительно в полной мере рассчитать конструкцию с учетом податливости контакта стального листа с бетоном, а также еще сложнее учесть работу стального листа за пределом упругости.

Анализ полной системы уравнений, определяющей напряженно-деформированное состояние элемента поперечно нагруженной тонкой сталебетонной плиты, приведен в [1-7].

Рассмотрим положения нейтральной оси, работу стального листа за пределом упругости и влияние податливости контакта стального листа с бетоном.

Физические уравнения в ортогональной системе координат

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} K_x \\ K_y \\ 2K_{xy} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} D_{11} &= D_1 \sin^2 \alpha + D_2 \cos^2 \alpha; \quad D_{22} = D_1 \cos^2 \alpha + D_2 \sin^2 \alpha, \\ D_{13} &= (D_1 - D_2) \cos \alpha \sin \alpha / 2; \quad D_{33} = (D_1 + D_2 - 2D_\mu) / 4; \quad (2) \\ D_{13} &= D_{31} = D_{23} = D_{32}; \quad D_{12} = D_{21} = D_\mu. \end{aligned}$$

Уравнения (1) по внешнему виду совпадают с уравнениями изгиба тонких анизотропных [8], железобетонных [9, 10] пластин и отличаются от известных соотношений изотропных пластин наличием побочных коэффициентов $D_{13} = D_{31} = D_{23} = D_{32}$. Это объясняется тем, что для изотропных элементов соблюдается равенство $D_1 = D_2$, тогда в соответствии с (2) $D_{13} = D_{31} = D_{23} = D_{32} = 0$, а физические уравнения принимают вид:

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} K_x \\ K_y \\ 2K_{xy} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $D_{11} = D_{22} = D^*$ – цилиндрическая жесткость; $D_{12} = D_{21} = \nu D^*$; $D_{33} = (1 - \nu) D^* / 2$; ν – коэффициент Пуассона изотропной среды.

Листовое армирование не увеличивает анизотропных свойств плиты, поэтому в сталебетонных плитах эти свойства проявляются в значительно меньшей степени, чем в железобетонных, и являются следствием анизотропии бетона. При малых уровнях напряжений бетон работает как изотропный материал, в результате $D_1 = D_2$ и работа сталебетонного элемента описывается физическими уравнениями (3), с появлением трещин в бетоне $D_1 = D_2$, следовательно, элемент проявляет анизотропные свойства и процесс деформирования описывается уравнениями (1).

Положения нейтральных осей, определяемые значениями x_i ($i = 1, 2$), находятся из условия

$$\int_{\bar{x}_i}^0 \sigma_{bi} dz + \int_0^{\bar{x}_i} \sigma_{bti} dz + \sigma_{si} A_s = 0. \quad (4)$$

С учетом приведенных ниже выражений для напряжений в бетоне

$$\sigma_{bi} = \sum_{k=1}^n A_{ik} (\varepsilon_{bi}^0)^k \left(\frac{z}{\bar{x}_i} \right)^k; \quad \sigma_{bti} = \sum_{k=1}^n A_{tik} (\varepsilon'_{bti})^k \left(\frac{z}{\bar{x}_{ti}} \right)^k \quad (5)$$

и в стальном листе

$$\sigma_{si} = \varepsilon_{si}^* \lambda_i \bar{E}_{si} = \varepsilon_{si}^* \lambda_i E_s \text{sign}(i), \quad (6)$$

где

$$\text{sign}(i) = \begin{cases} 1/(1-\eta\nu_s), & \text{если } i = 1 \\ \eta/(\eta-\nu_s), & \text{если } i = 2 \end{cases}; \quad f_i = \begin{cases} 1, & \text{если } k_i x_i \leq \varepsilon_{biu} \\ \varepsilon_{oiu} / (k_i x_i), & \text{если } k_i x_i > \varepsilon_{biu} \end{cases},$$

$$f_i = \begin{cases} 1, & \text{если } k_i (h_b - x_i) \leq \varepsilon_{btiu} \\ \varepsilon_{btiu} / (k_i (h_b - x_i)), & \text{если } k_i (h_b - x_i) > \varepsilon_{btiu} \end{cases}; \quad \bar{x}_i = x_i f_i;$$

$$\bar{x}_{ii} (h_b - x_i) f_{ii},$$

получим два независимых нелинейных уравнения вида:

$$x_i = \left[\sum_{k=1}^N A_{tik} (\varepsilon_{bti})^k \frac{(h_0 - x_i)}{k+1} f_{ti} + E_s A_s \lambda_i \text{sign} / i \right] / \left[\sum_{k=1}^N A_{ik} (\varepsilon'_{bi})^k f_i / (k+1) \right], \quad (7)$$

правая часть которых содержит неизвестные x_i . Решение (7) осуществляется в процессе последовательных приближений. Итерационный процесс продолжается до достижения удовлетворительной сходимости по x_i . При определении значения x_2 из (7) имеют место некоторые особенности, обусловленные различием коэффициентов поперечных деформаций в бетоне и стальном листе. В связи с этим деформации в сжатой зоне бетона и растянутом листе при значениях $\nu_s < \eta < \nu_B$ могут быть однозначными, что противоречит гипотезе прямых нормалей. В целях упрощения, положение нейтральной оси в направлении $i = 2$ можно определять без эффекта плоского напряженного состояния, а в

качестве коэффициентов деформирования A_{ik} , A_{iik} принимать значения, полученные аппроксимацией диаграмм одноосного сжатия и растяжения. Принятое упрощение не вносит заметных изменений в напряженно-деформированное состояние конструкции, так как влияние поперечных деформаций на положение нейтральных осей незначительно, а число таких точек в пределах плиты ограничено.

Работа стального листа за пределом упругости учитывается методом переменных параметров упругости; характеристика пластичности

$$\psi = 3E_{so}\varepsilon_i / (2(1+\nu_{so})\sigma_i), \quad (8)$$

в соответствии с которой находятся:

$$E_s = 3E_{so} / (2(1+\nu_{so})\psi + 1 - 2\nu_{so}), \quad (9)$$

$$\nu_s = [\psi(1+\nu_{so}) - 1 + 2\nu_{so}] / [2(1+\nu_{so})\psi + 1 - 2\nu_{so}],$$

где E_{so} , ν_{so} – начальные значения модуля упругости и коэффициента поперечных деформаций; σ_i , ε_i – интенсивности напряжений и деформаций.

Связь между интенсивностью напряжений и деформаций принимается по диаграмме одноосного растяжения стали.

Влияние податливости контакта стального листа с бетоном (податливости связей сдвига) в каждом сечении учитывается введением параметра λ_i (2), (6), (7), величина которого определяется зависимостью

$$\lambda_i = [k_i(h_0 - x_i) - \Delta\varepsilon_{si}] / [k_i(h_0 - x_i)]. \quad (10)$$

Здесь $\Delta\varepsilon_{si}$ – величина относительного сдвига по контакту стали с бетоном

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_{s1} &= \Delta\varepsilon_{sx} \sin^2 \alpha + \Delta\varepsilon_{sy} \cos^2 \alpha + \Delta\gamma_{sxy} \cos \alpha \sin \alpha \\ \Delta\varepsilon_{s2} &= \Delta\varepsilon_{sx} \cos^2 \alpha + \Delta\varepsilon_{sy} \sin^2 \alpha - \Delta\gamma_{sxy} \sin \alpha \cos \alpha \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_{sx} &= \frac{\delta}{\xi_x} \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} \right); \quad \Delta\varepsilon_{sy} = \frac{\delta}{\xi_y} \left(\frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} \right); \\ \Delta\gamma_{sxy} &= \frac{\delta}{\xi_x} \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2} \right) + \frac{\delta}{\xi_y} \left(\frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} \right), \end{aligned} \quad (12)$$

где ξ_x, ξ_y – коэффициенты жесткости контакта вдоль осей $x(y)$ ($\xi_x = \xi_y = 8 \cdot 10^6 \text{ кН/м}^3$). В качестве закона распределения контактных усилий в первом приближении может быть использован закон распределения, полученный из расчета абсолютно жестких связей сдвига $\lambda_i = 1,0 (i = 1, 2)$. По найденным значениям напряжений в листовой арматуре определяются величины контактных усилий τ_x и τ_y

$$\tau_x = \delta \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right); \tau_y = \delta \left(\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \right)$$

и относительные деформации сдвига (11). Далее в соответствии с (10) находятся значения λ_i , уточняются жесткости D_i и D_μ и жесткости $D_{ij} (i, j = 1, 2, 3)$ в (1), после чего находится окончательное напряженное и деформированное состояния сталебетонной плиты с учетом деформаций.

Таким образом, необходимым и достаточным условием применения метода предельного равновесия к поставленной задаче является наличие двух известных предпосылок. Одна из них заключается в том, что деформации системы не должны изменять геометрических величин в условии равновесия – без сомнения, это условие соблюдается. Требование второй предпосылки также можно считать удовлетворительным, если работа связей сдвига соответствует закону деформирования идеально упругопластического материала и исключена возможность их хрупкого разрушения.

1. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1990. – №10. – С.30-31.

2. Чихладзе Э.Д. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – № 2. – С.22-26.

3. Чихладзе Э.Д. Приближенная теория изгиба бетонных плит, усиленных стальным листом [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – №4. – С.6-10.

4. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – №4. – С.5-8.

5. Чихладзе Э.Д. Экспериментальные исследования сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – №5. – С.125-128.

6. Чихладзе Э.Д. Теория деформирования сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений: Межвуз. сб. науч. тр. Вып.27. – Харьков: ХарГАЖТ, 1996. –

С.4-39.

7. Чихладзе Э.Д. Экспериментальные исследования сталебетонных балок [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов, Э.И. Борисов // Известия вузов. Строительство. – 2000. – №12. – С.4-7.

8. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки. – 2-е изд. [Текст] / С.Г. Лехницкий. – М.: Гостехиздат, 1957. – 464 с.

9. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами [Текст] / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

10. Кулагин А.А. К расчету гладких железобетонных плит перекрытий с учетом процесса трещинообразования [Текст] / А.А. Кулагин, А.Б. Шумилин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1979. – № 2. – С.24-27.

Получено 11.04.2011

УДК 69.059

И.В.ШУМАКОВ, канд. техн. наук, **В.Н.СЕКРЕТНАЯ**

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПОЛОВ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Исследованы вопросы ремонта высокопрочных полов промышленных и гражданских зданий.

Досліджено питання ремонту високоміцних підлог промислових та цивільних будівель.

The issues of concrete floors with strengthened top layer repair during construction of industrial and civil buildings were examined.

Ключевые слова: ремонт полов, высокопрочные полы, покрытия полов, дефекты полов, разрушения конструкций полов.

В Украине постоянно совершенствуются нормы и правила, влияющие как на проектирование и устройство новых полов, так и на ремонт уже существующих конструкций полов и покрытий промышленных и гражданских зданий.

Возрастающие требования, предъявляемые к современным промышленным объектам, создают необходимость устройства прочных и износостойких полов с повышенной ровностью и трещиностойкостью. На сегодняшний день особо актуальной стала проблема повышения качества и срока службы высокопрочных полов, а также содержание их в надлежащем состоянии [3].

В данной области работал ученый В.В.Савйовский, который исследовал различные технологии ремонта конструкций полов и покрытий, используемые материалы и возможности интенсификации выполнения работ [2].