

**ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. ДБН В. 2.6-31-2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Держбуд України, 2006. – 71 с.
2. СНиП II-3-79\*\*. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.
3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
4. Мачинский В.Д. Теплотехнические основы строительства. – М.: Гос. изд-во строит. лит., 1949. – 325 с.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287с.
6. Шорин С.Н. Теплопередача. – М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архит., 1952. – 338 с., ил.
7. Гиндоян А.Г. Тепловой режим конструкций полов. – М.: Стройиздат, 1984. – 222 с.
8. Рекламний проспект фірми “ROCKWOOL”, 1999.
9. Філоненко О.І. Внутрішнє вертикальне утеплення фундаментної зони як засіб зменшення тепловтрат підлогою на ґрунті // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2005.– Вип.15. – С. 140–144.
10. Філоненко О.І. Зовнішнє вертикальне утеплення фундаментної зони як засіб зменшення тепловтрат підлогою на ґрунті // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2006.– Вип.17. – С. 214–218.
11. Семко О.В., Філоненко О.І. Аналіз внутрішніх засобів зменшення тепловтрат підлогою на ґрунті // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2008.– Вип.21. – С. 154–158.

УДК 624.016

**ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН РАЗЛИЧНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ И ТЕМПЕРАТУРЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПОЖАР**

Э.Д. Чихладзе, докт. техн. наук, проф.,  
М.А. Веревичева, канд. техн. наук, доц.

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,  
г. Харьков

Настоящая работа, в которой рассматривается сталебетонная колонна квадратного сечения, является продолжением работ [1, 2, 7], посвященных изучению несущей способности цилиндрических сталебетонных колонн с учетом нелинейности характеристик бетона и температурных воздействий. Эта задача, как и предыдущая, является актуальной в силу ряда причин:

сталебетонные конструкции экономически выгодны; наличие стальной обжимающей стальной обеспечивает повышение прочности бетона [1, 2]; с теоретической точки зрения, экспериментальные результаты [3, 4] требуют подтверждения и обоснования. Кроме этого, имеется ряд задач, не исследованных в полной мере, таких как обеспечение огнестойкости конструкций.

**Постановка задачи.** Рассматривается бетонная колонна квадратного сечения, заключенная в стальную обойму. Конструкция находится под действием равномерно распределенной нагрузки  $q$ , собственного веса и равномерного по высоте перепада температур  $T_f$  (рис. 1, а). Нагрузка может быть приложена отдельно к бетонному ядру, к обойме и одновременно к ядру и обойме. При оценке НДС учитываются изменение модулей упругости бетона  $E_b$  и стали  $E_s$  и коэффициентов поперечной деформации  $\nu_b$ ,  $\nu_s$  в зависимости от уровня напряженного состояния.

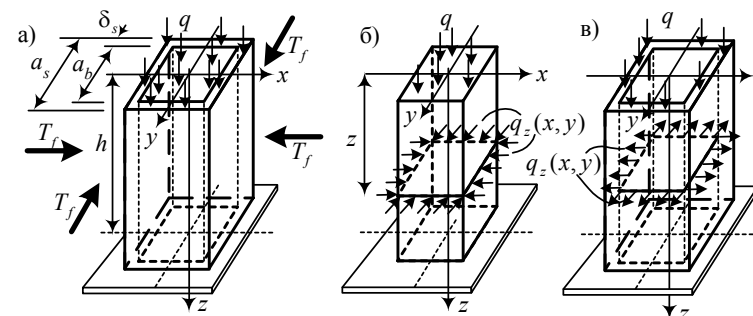


Рис. 1. Расчетная схема консольной сталебетонной колонны: а) колонна; б) бетонное ядро; в) стальная обойма

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) сечения колонны раскрываем контакт между бетонным ядром и стальной обоймой. В качестве неизвестных принимаем интенсивность сил контактного взаимодействия ядра и обоймы  $q_z(x, y)$ . Для их определения в каждом сечении  $z$  используем условие равенства перемещений на границе контакта:

$$q_z(x, y)(\delta_s - \delta_b) - (u_s - u_b) = 0, \quad (1)$$

где  $u_b, u_s$  – перемещения на границе контакта от вертикальной нагрузки соответственно в бетонном ядре и стальной обойме;  $\delta_b, \delta_s$  – перемещения точек на границе ядра и обоймы от «единичной» нагрузки  $\bar{q}_z(x, y)$  [2] (рис. 2):

$$\bar{q}(x, y) = \begin{cases} 1 \text{ при } x = y = a_b/2; x = y = -a_b/2; \\ x = a_b/2, y = -a_b/2; x = -a_b/2, y = a_b/2 \\ 1/x^2 - a_b/2 < x < a_b/2; 1/y^2 - a_b/2 < y < a_b/2 \end{cases}$$

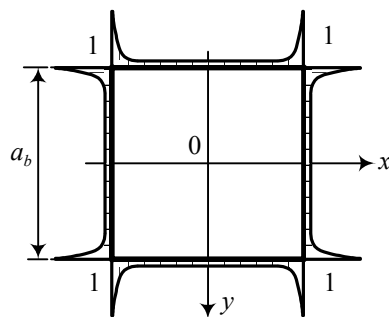


Рис. 2. «Единичная» нагрузка  $\bar{q}_z(x, y)$

Для определения коэффициентов и свободных членов уравнений (1) решим отдельно задачи определения НДС для бетонного ядра (рис. 1, б) и стальной обоймы (рис. 1, в).

Зная в каждой точке границы ядра и обоймы контактные силы  $q_z(x, y)$ , с учетом уровня НДС определяем предельные напряжения в точках [5]. Критерием наступления предельного состояния стали считаем достижение  $\bar{\sigma}_{s_1}$  по Мизесу [1], критерием наступления предельного состояния в бетоне считаем достижение предельного напряжения  $\bar{\sigma}_{b1}$  [1].

**Общие положения.** Уравнения равновесия в сечении колонны имеют вид [6]:

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z = 0; \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y = 0; \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0, \quad (2)$$

где  $X, Y, Z$  – элементы объемной силы. При записи уравнений не учитываются касательные напряжения  $\tau_{xz}, \tau_{yz}$ . Правомерность этого показана в [7].

Зависимости между напряжениями и деформациями в бетоне принимаются в форме закона Гука [6] с переменными параметрами деформирования  $E$  и  $\nu$ :

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda \theta + 2G \varepsilon_x - 3\alpha K \Delta T; & \sigma_y &= \lambda \theta + 2G \varepsilon_y - 3\alpha K \Delta T; \\ \sigma_z &= \lambda \theta + 2G \varepsilon_z - 3\alpha K \Delta T; & \tau_{yz} &= G \gamma_{yz}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\theta$  – относительная объемная деформация,  $\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ ;  $\lambda$  –

коэффициент Ляме,  $\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ ;  $G$  – модуль сдвига,  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ ;  $\alpha$  –

коэффициент температурного расширения;  $K$  – модуль объемного сжатия,  $K = \lambda + 2G/3$ ;  $\Delta T$  – перепад температур в точке.

Перемещения по направлениям осей  $u_x, u_y, u_z$  и деформации связаны дифференциальными зависимостями [6]:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad \gamma_{yx} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}. \quad (4)$$

**Напряженно-деформированное состояние в бетонном ядре и стальной обойме от вертикальной нагрузки.** При действии только вертикальной нагрузки  $q$  элементы объемной силы принимают значения

$$Z = \rho g; \quad Y = 0; \quad X = 0,$$

Подставив эти значения в уравнения равновесия (2), получаем

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \rho g; \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0.$$

Учитывая полученные выражения для напряжений и соотношения (4), получаем дифференциальные уравнения для относительно перемещений:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_z}{\partial z} + \lambda \left( \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - 3\alpha K \Delta T \right] = \rho g, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_x}{\partial x} + \lambda \left( \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) - 3\alpha K \Delta T \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[ G \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_y}{\partial y} + \lambda \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) - 3\alpha K \Delta T \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left[ G \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Граничные условия имеют следующий вид.

Для бетонного ядра:

$$\begin{aligned} x = \pm a_b/2, z < h: \quad \sigma_x = 0, \tau_{xy} = 0, \sigma_z = q + \rho gz; \\ y = \pm a_b/2, z < h: \quad \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 0, \sigma_z = q + \rho gz. \end{aligned} \quad (8)$$

Для стальной обоймы:

$$\begin{aligned} x = \pm a_b/2, x = \pm a_s/2, z < h: \quad \sigma_x = 0, \tau_{xy} = 0, \sigma_z = q + \rho gz; \\ y = \pm a_b/2, y = \pm a_s/2, z < h: \quad \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 0, \sigma_z = q + \rho gz. \end{aligned} \quad (9)$$

В основаниях консольной колонны:

$$\begin{aligned} z = 0: \quad \sigma_x = 0, \tau_{xy} = 0, \sigma_z = q; \\ z = h: \quad u_x = u_y = u_z = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Уравнения (5) – (7) совместно с граничными условиями (8), (10) представляют собой замкнутую систему дифференциальных уравнений для определения перемещений в точках ядра от вертикальной нагрузки и перепада температур; уравнения (5) – (7) с граничными условиями (9), (10) являются системой уравнений для определения перемещений точек обоймы.

**НДС в бетонном ядре от единичной нагрузки.** Приложим на гранях бетонного ядра распределенную нагрузку  $\bar{q}_z(x, y)$  (рис. 2), которая передается от обоймы. В этом случае напряжение  $\sigma_z = 0$ , и НДС определяется решением системы уравнений на плоскости:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_x}{\partial x} + \lambda \left( \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ G \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_y}{\partial y} + \lambda \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ G \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] = 0. \quad (12)$$

Граничные условия имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x = 0: \quad u_x = 0, \partial u_y / \partial x = 0, \\ x = \pm a_b/2: \quad \sigma_x = \bar{q}_z(x, y), \\ y = 0: \quad u_y = 0, \partial u_x / \partial y = 0, \\ y = \pm a_b/2: \quad \sigma_y = \bar{q}_z(x, y). \end{aligned} \quad (13)$$

Таким образом, получена замкнутая система уравнений (11) – (13) для определения перемещений в ядре от единичной нагрузки.

**НДС в стальной обойме от единичной нагрузки.** Приложим на гранях стальной обоймы «единичную» нагрузку  $\bar{q}_z(x, y)$  (рис. 2), которая передается от ядра. В этом случае  $\sigma_z = 0$ ,  $\tau_{xy} = 0$ , и система уравнений (2) принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_x}{\partial x} + \lambda \left( \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] = 0, \quad (14)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[ (\lambda + 2G) \frac{\partial u_y}{\partial y} + \lambda \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] = 0, \quad (15)$$

Граничные условия имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x = 0: \quad u_x = 0, \partial u_y / \partial x = 0, \\ x = \pm a_b/2: \quad \sigma_x = q_z(x, y), \\ y = 0: \quad u_y = 0, \partial u_x / \partial y = 0, \\ y = \pm a_b/2: \quad \sigma_y = q_z(x, y). \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, как и ранее, получена замкнутая система уравнений (14) – (16) для определения перемещений в обойме от единичной нагрузки.

**Численные исследования.**

Согласно описанной методике проводились численные исследования работы консольной сталебетонной колонны [7] квадратного сечения. Ядро выполнено из бетона В25; характеристики стали  $\sigma_T = 235$  МПа,  $E_s = 2.1 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu_s = 0.3$ . Для сравнения с расчетами цилиндрической колонны площадь бетонного ядра бралась равной площади круглого сечения [7], т.е.  $A_b = \pi 0,5^2 / 4$ . В табл. 1 приведены сравнительные значения контактных сил  $X$  в круглой колонне и максимальных значений  $X$  для квадратной колонны, а также сравнительные значения эффективности стальной обоймы  $\bar{\sigma}_1 / R_b$  в зависимости от уровня нагружения  $q = \alpha \cdot q_{\text{нec}}$  в

момент, предшествующий разрушению, где  $q_{\text{нec}} = \sum_{n=1}^{\beta} \sigma_{b1n} A_{bn} + \sum_{m=1}^{\gamma} \sigma_{s1m} A_{sm}$ ,

$\beta$  – число элементов бетонного ядра,  $\gamma$  – число элементов обоймы.

Таблица 1

Результаты сравнительных расчетов

Квадратное сечение			Круглое сечение		
$\delta = 8 \text{ мм}$					
$\alpha$	$X, \text{ МПа}$	$\bar{\sigma}_1/R_b$	$\alpha$	$X, \text{ МПа}$	$\bar{\sigma}_1/R_b$
0,85	0,37	1,1	0,85	0,428	1,26
0,87	0,65	1,2	0,87	0,785	1,44
0,89	0,903	1,36	0,89	1,09	1,64
0,92	0,476	1,47	0,92	1,36	2,1

Таким образом, получена замкнутая система уравнений для определения НДС в сталебетонной колонне квадратного сечения, проведены сравнительные расчеты эффекта обоймы в круглой и квадратной колонне.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии // Бетон и железобетон. – 1993. – №3. – С. 13-15.
2. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при изгибе и внецентренном сжатии // Изв. ВУЗов. Строительство. – 1992. – №1. – С. 6-10.
3. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Черный А.Я. Расчет трубобетонных конструкций. – Киев: Будівельник, 1991. – 119с.
4. Гроздов В.Т., Теряник В.В. О прочности и деформативности колонн, усиленных обоймой // Изв. ВУЗов. Строительство. – 1989. – №3.
5. Яшин А.В. Теория деформирования бетона при простом и сложном нагружении. Бетон и железобетон. – 1986. – № 8. – С. 39 – 42.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ. – М.: Наука, 1975. – 576с.
7. Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А. Исследование напряженно - деформированного состояния сталебетонных колонн с учетом пространственной работы бетонного ядра // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – №1. – С. 24-28.

УДК 666.972.53

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ БЕТОНА ПО ПРОЧНОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ

А.А. Чуб к.т.н., доц., В.И. Заяц к.т.н., доц.,

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье

Настоящая работа направлена на повышение технического уровня производства железобетонных конструкций и более эффективному использованию их в строительстве, посвящена решению задачи повышения однородности бетона по морозостойкости.

Постановка задачи вызвана многочисленными примерами различной долговечности бетонных и железобетонных конструкций, изготовленных даже на одном предприятии, одном технологическом оборудовании и исходных материалах, по одним технологическим режимам и подвергающихся в процессе эксплуатации одинаковым атмосферным воздействиям.

Незначительное содержание в научной литературе данных по однородности бетона по морозостойкости обусловлено техническими сложностями, связанными со спецификой проведения испытаний.

В настоящее время испытания бетона по морозостойкости осуществляют известными методами [1].

Очевидно, что испытания устанавливают не фактическую морозостойкость бетона, а его соответствие требованиям нормативной документации на данные изделия.

Повышения однородности бетона по морозостойкости, как в условиях заводского производства, так и в условиях строительной площадки, можно достичь путем выявления причин, обуславливающих неоднородность, и их устранения регулированием параметров технологического процесса. Для этого необходимо использовать научно обоснованные методы оперативного контроля морозостойкости бетона, качества исходных материалов и технологических параметров в связи с их влиянием на морозостойкость.

Экспериментально полученные статистические данные о влиянии (или вкладе) отдельных этапов технологии на однородность структуры и свойств бетона позволяют установить причины, обуславливающие неоднородность, и создать обоснованные предпосылки к регулированию параметров технологического процесса. Это обеспечивает возможность повышения однородности структуры бетона и всех его эксплуатационных свойств.

В условиях заводского производства, на участках по производству товарной бетонной смеси, на строительной площадке, при возведении монолитных объектов из бетона и железобетона, на однородность свойств бетонных и железобетонных изделий могут влиять следующие основные технологические факторы: качество исходных материалов, условия их дозирования, перемешивания, уплотнения, твердения и набора прочности.

Для оценки влияния технологических переделов на однородность структуры и свойств бетона разработана методика приемлемая для