

5. Тур, В.В. Калибровка значений коэффициентов сочетаний для воздействий при расчетах железобетонных конструкций в постоянных и особых расчетных ситуациях / В.В. Тур, Д.М. Марковский // Строительная наука и техника. – 2009. – № 2 (23). – С. 32–48.
6. Тур, В.В. Обеспечение надежности строительных конструкций в свете требований европейских и национальных нормативных документов по проектированию // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сборник научных статей. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 480–497.
7. Марковский, Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учётом заданных показателей надёжности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Брест, 2009.
8. Holický, M. Reliability assessment of alternative Eurocode and South African load combination schemes for structural design / M. Holický, J.V. Retief // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. – Vol 47. – No 1, 2005. – Pages 15–20.
9. Gulvanessian, H. Eurocodes: using reliability analysis to combine action effects. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings / H. Gulvanessian, M. Holický. – Vol. 158. – No. August 2005. – Issue SB4. – P. 243–252.
10. JCSS Probabilistic Model Code. – Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001. <www.jcss.byg.dtu.dk>.
11. CEN/TC250 Background Document EC1: Part1: Basis of Design. 2nd draft, ECCS, 1996.
12. Holický, M. Partial Factors for Light-Weight Roofs Exposed to Snow Load. In Bris R., Guedes Soares C., Martorell S. (eds.), Supplement to the Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2009 / M.Holícky, M. Sykora. – Prague, Czech Republic, 7–10 September 2009. Ostrava: VŠB Technical University of Ostrava, 2009. – P. 23–30.
13. Sadovsky, Z. Probabilistic optimization of partial safety factors for the design of industrial buildings / Z. Sadovsky, D. Pales // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering. – 2008. – Vol. 15. – No. 5(2008). – P. 411–424.
14. Eurocode 3. Editorial Group Background Documentation to Eurocode No. 3 Design of Steel Structures Part 1 – General Rules and Rules for Buildings, Background Document for Chapter 5 of Eurocode 3, Document 5.01, 1989.

Материал поступил в редакцию 19.04.13

NADOLSKY B.B., TUR V.V. Calibration (determination) of private coefficient for snow loading at calculations of steel designs

Results of calibration of private coefficients are presented in article for snow loading at the parameters of variability accepted in settlement model of resistance of bent steel designs. It is shown that the system of private coefficients accepted in ТКР EN1993-1 doesn't provide demanded level of reliability at design of steel designs and demands adjustment.

УДК 666.973:620.17

Бондарь В.В., Рак Н.А.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЕГКОГО БЕТОНА, УСИЛЕННЫХ КОСВЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Введение. Способ увеличения несущей способности сжатых элементов многоугольного, круглого сечений посредством установки поперечной арматуры для сдерживания поперечных деформаций применяется достаточно давно. При этом на практике наибольшее распространение в сжатых элементах прямоугольного сечения получило косвенное армирование в виде часто размещенных поперечных сварных сеток. Косвенное армирование в виде поперечных сварных сеток широко применяют для местного усиления железобетонных сборных колонн вблизи стыков, а также под анкерами и в зоне анкеровки предварительно напрягаемой арматуры.

Необходимо отметить, что практически все исследования и существующая техническая литература, касающиеся расчетов элементов с применением косвенного армирования, действующий в Республике Беларусь технический нормативный правовой акт по расчету бетонных и железобетонных конструкций СНБ 5.03.01-02 [1] посвящены конструкциям из тяжелых бетонов со средней плотностью от 2000 до 2800 кг/м³. При этом если до настоящего времени проектирование неармированных конструкций из легкого бетона выполнялось по нормам бывшего СССР [2], то для элементов конструкций из легкого бетона с косвенным армированием на данный момент не существует ни одного нормативного документа, регламентирующего бы их расчет.

Анализ содержания доступных источников, в том числе нормативных документов, по расчету и проектированию железобетонных конструкций показал, что во всех из них рассмотрен расчет несущей способности при местном сжатии косвенно армированных элементов из тяжелого бетона. Только в работе [3] предложена расчетная зависи-

мость для оценки несущей способности зоны анкеровки напрягаемой арматуры балок из легкого бетона, косвенно усиленной хомутами.

В настоящее время взамен СНБ 5.03.01-02 находится в стадии окончания разработка группы технических кодексов установившейся практики Республики Беларусь, основным из которых является ТКП «Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы проектирования. Часть 1. Основные положения». При этом поставлена задача, чтобы эта группа ТКП распространялась на проектирование конструкций из бетонов со средней плотностью от 1000 до 2800 кг/м³, т.е. в том числе и на легкие бетоны. В числе группы ТКП предусмотрена разработка отдельного ТКП, посвященного правилам проектирования конструкций из легкого бетона. В процессе разработки этого ТКП предстоит провести тщательный анализ существующих методов расчета конструкций из легкого бетона при различных видах напряженно-деформированного состояния, оценить точность и надежность существующих расчетных зависимостей. Исследования, представленные в настоящей статье, посвящены анализу и совершенствованию методов расчета несущей способности элементов из легкого бетона при местном сжатии, армированных поперечными сетками, оценке эффективности применения косвенного армирования в элементах из легкого бетона.

Методика проведения экспериментальных исследований. Для разработки научно обоснованной методики расчета несущей способности и деформативности при местном сжатии элементов из легкого бетона плотностью от 1000 до 2000 кг/м³, имеющих косвенное армирование поперечными сварными сетками, были выполнены специальные исследования элементов из легкого бетона, изготов-

Бондарь В.В., магистр технических наук, ассистент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета.

Рак Н.А., кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 1.

ленного из имеющихся в РБ исходных материалов. В ходе экспериментов варьировались не только средняя плотность и прочностные характеристики бетона, характер приложения нагрузки, но и коэффициенты косвенного армирования.

Было выполнено планирование эксперимента и выбраны конструкции опытных образцов, осуществлено их изготовление в условиях заводского производства с использованием имеющихся в Республике Беларусь исходных материалов.

В качестве образцов были приняты призмы с отношением их высоты к размеру поперечного сечения равным 2, армированные поперечными сетками С-1 или С-2 (объемный процент армирования ρ_{xy} соответственно равен 1,88% и 3,35%).

Образцы изготавливались в деревянной опалубке в заводских условиях на ОАО «Минскжелезобетон» из бетонной смеси, состав которой был предварительно подобран отделом технологии бетона и растворов РУП «Институт БелНИИС». В качестве легкого заполнителя использовался керамзитовый гравий фракции 4/10 производства ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль». В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок. Изготовление образцов производилось посерийно из замесов легкого бетона одинакового состава. Для контроля физико-механических характеристик бетона были изготовлены контрольные образцы-кубы (по 3 на каждый замес) размером 100x100x100 мм.

Испытания опытных образцов производились в лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ на прессе мощностью 5000 кН при рабочем диапазоне до 2000 кН. Нагрузка на образцы прикладывалась через штампы различных размеров.

Перед испытаниями каждый из образцов осматривался, измерялись его размеры и выполнялось взвешивание образца для последующего определения фактической средней плотности. В начале испытания образец центрировался на плите пресса, а затем для достижения концентричности приложения усилия центрировался стальной штамп на образце при помощи измерительных приборов. Нагружение опытных образцов производилось с постоянной скоростью прироста напряжений под штампом 2-3 МПа/сек.

В процессе проведения испытаний при помощи измерительных приборов, закрепленных на специальных металлических рамках (рис. 1), измерялись относительные перемещения контрольных точек плиты пресса, относительная деформация нагружаемой плоскости образца-призмы, а также относительная деформация (укорочение) тела испытываемой призмы на длине базы измерительного прибора.



Рис. 1. Общий вид испытаний и характер разрушения образца при передаче нагрузки через штампы сечением 120x120 мм

Измеряемые параметры были использованы для оценки контактных деформаций элементов из легкого бетона при концентричном местном сжатии и разработки расчетной модели для прогнозирования величин контактных деформаций.

Прижимные и крепежные приспособления для приборов и рамок проектировались и изготавливались с учетом требований об обеспечении неизменного положения контрольно-измерительных приборов относительно образца в процессе измерения деформаций.

Закрепление рамок на образце осуществлялось при помощи остроконечных упорных винтов 3x60 мм (по четыре винта для каждой из двух рамок), фиксирующих отдельную металлическую рамку и систему из двух соединенных рамок (фиксирувалась нижняя из системы соединенных рамок). Во избежание влияния на результаты испытаний возможного обжатия образца-призмы упорными винтами, закрепление верхней и средней рамок на образце осуществлялось винтами, расположенными параллельно только одной из осей симметрии поперечного сечения призмы. Причем направления упорных винтов этих рамок были взаимно перпендикулярны.

Анализ результатов экспериментальных исследований.

Разрушение всех образцов происходило с образованием в области под штампом так называемого клина, имеющего вид перевернутой пирамиды, и сопровождалось раскалыванием бетона образца по вертикальным плоскостям с последующим сдвигом клина по одной из его боковых граней. Зафиксированная разрушающая нагрузка представлена в предпоследнем столбце таблицы 1. Пример образования трещин и разрушения образца представлен на рисунке 1.

Таблица 1. Основные результаты испытаний опытных образцов-призм, армированных поперечными сетками

P^* , кг/м ³	Процент армирования ρ_{xy} , %	Размер грани штампа, мм	Разрушающая нагрузка N_U , кН				f_{lc} , МПа
			1	2	3	Средняя	
1760	1,88	30	284,9	284,9	292,6	287,5	19,08
		60	546,7	546,7	616	569,8	
		90	754,6	746,9	839,3	780,3	
		120	962,5	1185,8	1105,6	1084,6	
1648	3,35	30	269,5	277,2	285,4	277,4	16,04
		60	415,8	423,5	443,7	427,7	
		90	723,8	654,5	684,6	687,6	
		120	823,9	870,1	992,6	895,5	
1215	3,35	30	200,2	184,6	178,5	187,8	12,12
		60	384,5	412,7	384,5	393,9	
		90	585,2	568,7	592,4	582,1	
		120	716,1	744,3	768,2	742,9	

Анализ результатов испытаний армированных образцов-призм свидетельствует о достаточной стабильности полученных на образцах-близнецах величин разрушающей нагрузки в пределах каждой из групп образцов. Для всех 36 образцов отклонение частных значений от средней по группе величины разрушающей нагрузки не превысило 14%. Для испытаний на местное сжатие такой результат можно считать вполне удовлетворительным.

Результаты проведенных испытаний образцов-призм с косвенным армированием были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований 24 неармированных образцов-призм [4] размером 300x300x600 мм. Предварительно были вычислены средние по группам значений разрушающие нагрузки N_U при соответствующих равных размерах металлических штампов и примерно одинаковой средней плотности бетона образцов-призм.

Затем по средним значениям разрушающие нагрузки определялись значения коэффициента ω_U повышения прочности бетона при местном приложении нагрузки по формуле:

$$\omega_U = \frac{N_U}{A_{co} f_{lc}}, \quad (1)$$

Таблица 2. Оценка эффективности применения косвенного армирования в условиях концентричного местного сжатия

P^* , кг/м ³	Размер грани штампа, мм	$\omega_{u,0}$	$\omega_{u,\rho}$		$\omega_{u,\rho} / \omega_{u,0}$
		$\rho_{xy} = 0,0\%$	$\rho_{xy} = 1,88\%$	$\rho_{xy} = 3,35\%$	
1650-1770	30	9,79	16,74	16,52	1,71/1,69
	60	5,18	8,29	7,14	1,60/1,38
	90	3,28	5,05	5,10	1,54/1,55
	120	2,33	3,95	3,74	1,70/1,61
1215-1370	30	9,26	-	17,21	1,86
	60	5,26	-	9,03	1,72
	90	3,39	-	5,93	1,75
	120	2,44	-	4,26	1,75

где A_{c0} – площадь приложения нагрузки (площадь штампа), f_{lc} – прочность на сжатие цилиндров размерами 150x300 мм, определенная по значениям прочности контрольных кубов размерами 100x100x100 мм, усредненным для образцов с близкой плотностью. При определении значений f_{lc} использовались следующие значения переходных коэффициентов: 0,95 для перехода от прочности кубов 100x100x100 мм к прочности кубов 150x150x150 мм; 0,9 для перехода от прочности кубов 150x150x150 мм к прочности цилиндра размерами 150x300 мм.

Результаты вычислений приведены в таблице 2.

По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что постановка поперечного армирования позволяет значительно увеличить несущую способность легковесных элементов при местном сжатии. Однако увеличение процента поперечного армирования более $\rho_{xy} = 1,88\%$ не дает дополнительного прироста несущей способности. В целом увеличение несущей способности за счет постановки поперечного армирования достигает 40–80% по сравнению с несущей способностью неармированных образцов.

Полученный экспериментально характер возрастания несущей способности легковесных элементов при местном сжатии при увеличении процента поперечного армирования должен быть учтен при разработке методики расчета.

Методика расчета несущей способности. По полученным результатам испытаний была разработана методика расчета несущей способности при местном сжатии элементов из легкого бетона, имеющих косвенное армирование поперечными сварными сетками. В основу методики была положена методика расчета, разработанная ранее для элементов из тяжелого бетона [7].

С учетом этого расчетную прочность легкого бетона на смятие следует определять по формуле

$$f_{lcut} = \omega_u \cdot f_{lcut} \quad (2)$$

где f_{lcut} – расчетная прочность легкого бетона на сжатие; ω_u – коэффициент, учитывающий повышение прочности бетона при смятии, который следует определять по формуле

$$\omega_u = 1 + K_u \cdot K_f \cdot \psi_u \leq \omega_{u,max} \quad (3)$$

здесь K_u – коэффициент эффективности бокового обжатия при смятии, принимаемый, равным 12,0; K_f – принимается по таблице 7.6 [1]; ψ_u – коэффициент, учитывающий относительный уровень бокового обжатия при смятии, определяемый по формуле

$$\psi_u = \frac{f_{lctm}}{f_{lcm}} \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \quad (4)$$

где f_{cm} и f_{ctm} – средние значения соответственно цилиндрической прочности бетона и прочности на осевое растяжение. При использовании формулы (4) отношение $\frac{f_{lctm}}{f_{lcm}}$ должно приниматься не менее 0,07.

Сопротивление бетона осевому растяжению должно определяться по формуле норм [7]:

$$f_{lctm} = \left(0,4 + \frac{0,6\rho}{2200} \right) \cdot f_{ctm} \quad (5)$$

где ρ – средняя плотность легкого бетона (кг/м³).

При косвенном армировании сварными поперечными сетками элементов из легкого бетона, подвергнутых действию местной сжимающей нагрузки, несущую способность элементов следует проверять из условия

$$N_{Sd} \leq \alpha_u \cdot f_{lcut,eff} \cdot A_{c0} \quad (5)$$

где N_{Sd} – равнодействующая расчетных усилий, действующих на площадь смятия A_{c0} ; α_u – коэффициент, зависящий от распределения напряжений по площади смятия; $f_{lcut,eff}$ – приведенная прочность легкого бетона на смятие, определяемая по формуле

$$f_{lcut,eff} = f_{lcut} + \Phi_0 \cdot \rho_{xy} \cdot f_{yd,xy} \cdot \Phi_s \quad (6)$$

В формуле (6) f_{lcut} – расчетная прочность легкого бетона, определенная по формулам (2)–(4); Φ_0 – коэффициент эффективности косвенного армирования, $f_{yd,xy}$ – расчетная прочность арматуры сеток;

ρ_{xy} – коэффициент поперечного армирования; Φ_s – коэффициент, учитывающий влияние косвенного армирования в зоне местного сжатия, определяется по формуле

$$\Phi_s = \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{c0}}} \quad (7)$$

По результатам испытаний были определены значения коэффициента эффективности косвенного армирования

$$\Phi_0 = \frac{f_{lcut,eff} - f_{lcut}}{\rho_{xy} \cdot f_{ym,xy} \cdot \Phi_s} \quad (8)$$

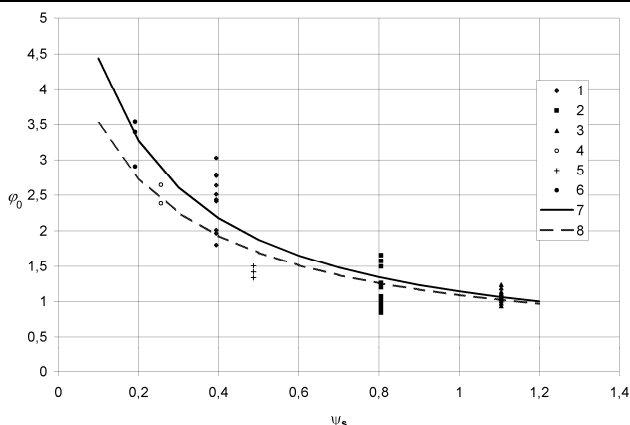
В формуле (8) $f_{lcut,eff}$ – опытное значение напряжений под штампом при разрушении образца; f_{lcut} – прочность легкого бетона при местном сжатии, определенная по формулам (2)–(4) при подстановке опытных значений прочности бетона f_{lc} ; $f_{ym,xy}$ – фактическая прочность арматуры сеток; ρ_{xy} – коэффициент поперечного армирования;

Φ_s – коэффициент, учитывающий влияние косвенного армирования в зоне местного сжатия, определяемый по формуле (7).

На рисунке 3 показан характер изменения значений Φ_0 при возрастании параметра ψ_s , характеризующего интенсивность косвенного армирования

$$\psi_s = \frac{\rho_{xy} \cdot f_{ym,xy}}{f_{lc}} \quad (9)$$

На этом же рисунке нанесены значения коэффициента эффективности косвенного армирования, полученные по экспериментальным данным [7] для случая осевого сжатия призм из легкого бетона, армированных поперечными сварными сетками. Как следует из рисунка, коэффициент эффективности косвенного армирования Φ_0 не является величиной постоянной и уменьшается с ростом значений параметра ψ_s .



- 1 – образцы с $\rho_{xy}=1,88\%$ ($\rho=1760 \text{ кг/м}^3$) при местном сжатии;
- 2 – образцы с $\rho_{xy}=3,35\%$ ($\rho=1650 \text{ кг/м}^3$) при местном сжатии;
- 3 – образцы с $\rho_{xy}=3,35\%$ ($\rho=1215 \text{ кг/м}^3$) при местном сжатии;
- 4 – образцы с $\rho_{xy}=2,06\%$ при осевом сжатии [7]; 5 – образцы с $\rho_{xy}=4,98\%$ при осевом сжатии [7]; 6 – образцы с $\rho_{xy}=1,54\%$ при осевом сжатии [7]; 7 – зависимость (10); 8 – зависимость (11)

Рис. 2. Зависимость значения коэффициента эффективности косвенного армирования ϕ_0 от значений параметра ψ_s

Характер изменения значений ϕ_0 с удовлетворительной точностью может быть описан зависимостью

$$\phi_0 = \frac{7 + \psi_s}{1 + 6\psi_s} \quad (10)$$

Аналогичная зависимость была ранее получена в работе [8] по результатам испытаний сжатых элементов из тяжелого бетона, армированных сварными поперечными сетками, и рекомендована для применения при обработке экспериментальных данных.

С использованием зависимостей (6)–(10) были выполнены расчеты несущей способности опытных образцов-призм из легкого бетона, армированных поперечными сварными сетками. Среднее отношение теоретических и экспериментальных значений составило 1,013 при коэффициенте вариации 0,102. Таким образом, зависимости (6)–(10) позволяют удовлетворительно оценить фактическую несущую способность косвенно армированных элементов из легкого бетона при местном сжатии.

Следует отметить, что в работе [8] зависимость (10) была преобразована для практического проектирования с целью достижения 90%-й обеспеченности в зависимость

$$\phi_0 = \frac{5 + \psi_s}{1 + 4,5\psi_s} \quad (11)$$

С использованием зависимостей (6)–(9) и (11) были выполнены расчеты несущей способности опытных образцов-призм из легкого бетона, армированных поперечными сварными сетками. Среднее отношение теоретических и экспериментальных значений составило 0,977 при коэффициенте вариации 0,107. Таким образом, зависимости (6)–(9) и (11) также позволяют удовлетворительно оценить фактическую несущую способность косвенно армированных элементов из легкого бетона при местном сжатии.

Однако следует отметить, что такой подход к назначению коэффициента эффективности является приближенным и затрудняет проведение дальнейшей оценки надежности расчета в соответствии с положениями приложения D [9]. При оценке надежности расчета элементов по приложению D [9] нежелательно наличие в расчетных зависимостях эмпирических коэффициентов, определяемых с помощью базисных переменных. В этом случае возникают сложности в выполнении этапов стандартной процедуры дальнейших вычислений.

Методика расчета несущей способности при постоянном значении коэффициента эффективности косвенного армирования. Предложенную выше методику расчета можно значительно

упростить, принимая постоянное значение коэффициента эффективности косвенного армирования $\phi_0 = 2,5$. При этом следует ограничить прочность легкого бетона, армированного сетками, удвоенной его прочностью при отсутствии сеток, как это было рекомендовано ранее для элементов из тяжелого бетона [5].

Тогда зависимость (6) преобразуется к виду

$$f_{l_{cud,eff}} = f_{l_{cud}} + 2,5\rho_{xy} \cdot f_{y_{d,xy}} \cdot \phi_s \leq 2f_{l_{cud}} \quad (12)$$

Следует отметить, что из неравенства

$$f_{l_{cud,eff}} = f_{l_{cud}} + 2,5\rho_{xy} \cdot f_{y_{d,xy}} \cdot \phi_s \leq 2f_{l_{cud}}$$

можно легко найти граничное значение коэффициента армирования $\rho_{xy,lim}$, при превышении которого дальнейшего повышения несущей способности не происходит.

Граничное значение этого коэффициента можно найти по формуле

$$\rho_{xy,lim} = \frac{f_{l_{cud}}}{2,5f_{y_{d,xy}}\phi_s} \quad (13)$$

Зависимость (13) устанавливает тот уровень поперечного армирования, превышение которого не будет давать дальнейшего повышения расчетной несущей способности, т.е. фактически устанавливает диапазон экономически обоснованной степени косвенного армирования.

Оценка точности методики расчета с постоянным значением коэффициента эффективности косвенного армирования. По результатам проведенных экспериментов, с учетом описанной выше расчетной модели по приведенным выше зависимостям (12)–(13), были получены значения разрушающих нагрузок для всех 36 опытных образцов-призм.

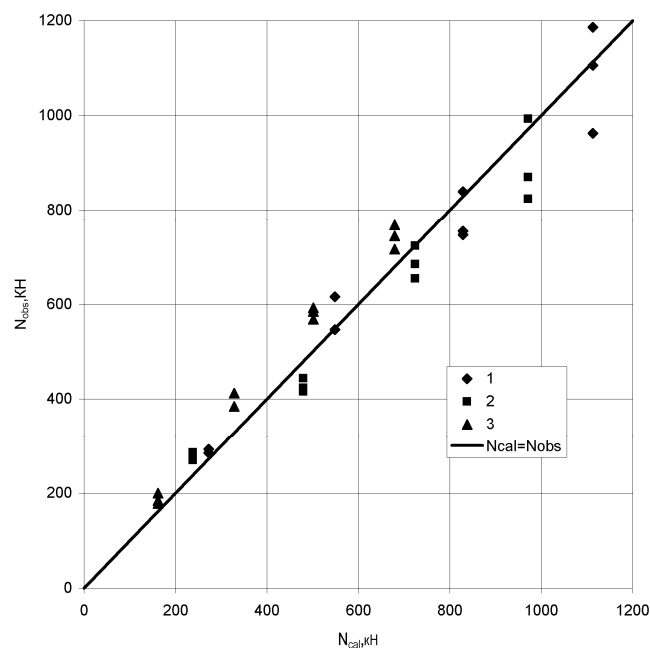
Оценка точности предлагаемого метода расчета выполнялась согласно этапам 1–4 приложения D [9]:

Этап 1. Формулирование расчетной модели в форме теоретической функции сопротивления, которая содержит все определяющие основные базисные переменные X , оказывающие воздействие на рассматриваемое предельное состояние.

Этап 2. Сравнение экспериментальных и теоретических значений с построением диаграммы, содержащей пары этих значений.

Этап 3. Определение поправки среднего значения b .

Этап 4. Определение коэффициента вариации величины рассеяния δ .



- 1 – при $\rho=1760 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{xy}=1,88\%$; 2 – при $\rho=1650 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{xy}=3,35\%$; 3 – при $\rho=1215 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{xy}=3,35\%$

Рис. 3. Сопоставление опытных значений с расчетными значениями по предложенной методике расчета

При всех вычислениях использовались фактические (средние) значения геометрических параметров образцов и прочностных характеристик материалов. Вычисления выполнялись исходя из равенства площадей A_{eff} и $A_{ст}$.

Полученные результаты (рис. 3) свидетельствуют о том, что предложенный упрощенный метод расчета позволяет получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями. В результате вычислений получено значение поправки среднего значения $b = 0,977$ и значение коэффициента вариации вектора ошибок $V_8 = 0,113$.

Заключение

1. Постановка поперечного армирования позволяет значительно увеличить несущую способность легковесных элементов при местном сжатии. Однако увеличение процента поперечного армирования более $\rho_{xy} = 1,88\%$ не дает дополнительного прироста несущей способности. В целом увеличение несущей способности за счет постановки поперечного армирования достигает 40–80% по сравнению с несущей способностью неармированных образцов.

Полученный экспериментально характер возрастания несущей способности легковесных элементов при местном сжатии при увеличении процента поперечного армирования должен быть учтен при разработке методики расчета.

2. Разработана методика расчета несущей способности при местном сжатии элементов из легкого бетона, имеющих косвенное армирование поперечными сварными сетками. Методика основана на учете нелинейной зависимости коэффициента эффективности косвенного армирования от его интенсивности. Предложенная методика позволяет удовлетворительно оценить фактическую несущую способность косвенно армированных элементов из легкого бетона при местном сжатии (среднее отношение теоретических и экспериментальных значений составило 1,013 при коэффициенте вариации 0,102).

3. Разработана упрощенная методика расчета несущей способности при постоянном значении коэффициента эффективности косвенного армирования $\phi_0 = 2,5$ при ограничении прочностью легкого бетона, армированного сетками, удвоенной его прочностью при отсутствии сеток. Упрощенная методика расчета позволяет получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными

значениями (значение поправки среднего значения $b = 0,977$ и значение коэффициента вариации вектора ошибок $V_8 = 0,113$).

4. Упрощенная методика расчета несущей способности при местном сжатии элементов из легкого бетона, имеющих косвенное армирование поперечными сварными сетками, может быть рекомендована для включения в нормативные документы по расчету таких элементов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01–02. – Введ. 01.07.03. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003. – 132 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01–84*. – Введ. 20.08.84. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Axson, D. Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete. – Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. – Blacksburg, 2008. – 104 p.
4. Рак, Н.А. Методика расчета прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона / Н.А. Рак, В.В. Бондарь // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 16 – С. 40–47.
5. Рак, Н.А. Оценка надежности расчета несущей способности при местном сжатии элементов, усиленных косвенным армированием / Н.А. Рак // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2(41). – С. 49–53.
6. EN 1992-1-1:2004. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004. – 225 p.
7. Петрова, К.В. Прочность керамзитобетонных призм, армированных поперечными сетками / К.В. Петрова, М.А. Юлдашев // Новое в технологии легких бетонов на пористых заполнителях. – М.: НИИЖБ, 1975. – С. 97–104.
8. Филиппов, Б.П. Прочность и деформативность внецентренно-сжатых колонн с косвенным армированием / Б.П. Филиппов, Н.Г. Матков // Конструкции и узлы многоэтажных зданий из железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 64–86.
9. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: ТКП EN 1990-2011 – 64 с.

Материал поступил в редакцию 02.04.13

BONDAR V.V., RAK N.A. Method of calculation of bearing ability at local compression of elements from the light concrete, strengthened by indirect reinforcing

Analysis of the experimental investigation results of partially loaded lightweight concrete elements, reinforced with lateral grids, are made. The basic provisions of design procedures of bearing capacity of these elements are presented. Proposals to simplify this design procedure by using a constant value of the effectiveness coefficient are developed.

УДК 624.012.45.046

Рак Н.А., Тамкович С.Ю.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ НА ОСНОВЕ РАСШИРЕННОГО БАНКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Введение. Авторами в статьях опубликованных ранее с помощью банка экспериментальных данных была выполнена оценка точности и надежности методик норм, действующих на территории РБ: СНБ 5.03.01-02 [1] и европейских норм EN 1992-1-1- 2009 [2] с национальным приложением. В течение времени появлялись новые доступные литературные источники, в результате чего банк экспериментальных данных постоянно пополнялся, и в результате общее

количество образцов составило 153 образца, тогда как в первом банке, по которому проводилась оценка точности и надежности, а также давались рекомендации, было 85 образцов. На основании этого было решено провести оценку точности и надежности с учетом расширенного банка экспериментальных данных и провести сравнение с ранее полученными значениями.

Тамкович Сергей Юрьевич, магистр технических наук, аспирант Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 1.