

Бондарь Вадим Викторович, магистр технических наук, старший преподаватель, Белорусский национальный технический университет, г. Минск (Беларусь)

Рак Николай Александрович, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры, Белорусский национальный технический университет, г. Минск (Беларусь)

Vadim Bondar, Master of technical sciences, Senior lecturer, Belarusian National Technical University, Minsk (Belarus)

Nicolai Rak, PhD in Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department, Belarusian National Technical University, Minsk (Belarus)

О РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСВЕННОГО АРМИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫМИ СВАРНЫМИ СЕТКАМИ В КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ОСЕВОГО МЕСТНОГО СЖАТИЯ

ABOUT THE USE RATIONALITY OF CONFINEMENT REINFORCEMENT WITH FLAT WELDED MESHES IN EXPANDED CLAY CONCRETE ELEMENTS AT LOCAL COMPRESSION

АННОТАЦИЯ

В статье представлен краткий исторический очерк, касающийся начала применения легких бетонов в процессе возведения зданий и сооружений в США, странах Европы, странах бывшего СССР. Кратко изложен физический смысл такого сложного напряженного состояния, как местное сжатие. Обозначена актуальность проведенной работы с точки зрения развития строительной науки на территории Республики Беларусь. В публикации

представлен краткий обзор существующих в действующих нормативных документах США, Европы и стран бывшего СССР методик расчета элементов из легкого бетона с косвенным армированием различного типа. Представлена также методика проведения экспериментальных исследований со ссылками на более ранние публикации, программа исследований с соответствующим иллюстрационным материалом. В статье приведены основные результаты экспериментальных исследований сопротивления местному сжатию элементов из конструкционного керамзитобетона, армированных поперечными сетками. Выполнен анализ полученных результатов экспериментальных исследований, проиллюстрированы основные схемы трещинообразования в образцах при потере несущей способности. В публикации представлена методика расчета сопротивления местному сжатию элементов из конструкционного керамзитобетона, армированных поперечными сетками, проведен анализ основных параметров, оказывающих влияние на сходимость теоретических и экспериментальных значений разрушающих нагрузок, приведены соответствующие новые зависимости для определения коэффициента эффективности косвенного армирования.

В статье в аналитической форме представлена оценка рациональности применения косвенного армирования поперечными сварными сетками элементов из керамзитобетона. Проведена оценка точности предложенных методик расчета в соответствии с требованиями Европейских норм, действующих в Республике Беларусь, а также их сравнение с действующими нормами Российской Федерации и Республики Беларусь.

ABSTRACT

The article presents a brief historical essay on the initiation of the use of lightweight concrete in the process of erecting buildings and structures in the United States, Europe, and the countries of the former USSR. The physical meaning of such a complex stress state as local compression is briefly described. The urgency of the work carried out from the point of view of the development of the building science on the territory of the Republic of Belarus is indicated. The publication provides a brief

overview of the methods of calculating the elements of lightweight concrete with confinement reinforcement with flat welded meshes of various types existing in the valid normative documents of the USA, Europe and the countries of the former USSR. A technique for carrying out experimental studies is also presented, with references to earlier publications, a research program with the corresponding illustrative material. The article presents the main results of experimental studies of the resistance to local compression of elements made of structural expanded clay concrete elements with confinement reinforcement with flat welded meshes. The analysis of the obtained results of experimental investigations is carried out, the main schemes of crack formation in the samples are illustrated with a loss of bearing capacity. The publication presents a methodology for calculating the resistance to local compression of elements made of structural expanded clay concrete elements with confinement reinforcement with flat welded meshes, an analysis of the main parameters influencing the convergence of the theoretical and experimental values of ultimate loads, and the corresponding new dependences for determining the coefficient of efficiency of confinement reinforcement.

The article presents in analytical form an estimation for rational use of confinement reinforcement with flat welded meshes in expanded clay concrete elements. The accuracy of the proposed calculation methods was assessed in accordance with the requirements of the European norms in force in the Republic of Belarus, as well as their comparison with the current norms of the Russian Federation.

Ключевые слова: несущая способность, конструкционный армированный керамзитобетон, экспериментальные исследования, методика расчета, коэффициент эффективности косвенного армирования, объемный коэффициент армирования.

Keywords: bearing capacity, reinforced structural expanded clay concrete, experimental researches, calculation procedure, efficiency factor of confinement reinforcement, volume reinforcement factor.

ВВЕДЕНИЕ

Применение искусственных пористых заполнителей, получаемых из отходов промышленности, началось еще в 19-м веке в США, России, странах Европы. Это была преимущественно шлаковая пемза, получаемая из расплавленных доменных шлаков. Первые керамзитовые блоки были получены в 1902–1906 гг. путем вспучивания кирпича-сырца в пламенных печах в США. В Европе керамзит начали впервые изготавливать в Швеции и Дании. В до-революционной России и в СССР до 1930 года развитию конструкций из легких бетонов внимания практически не уделялось.

И только начиная с 1931 года началось планомерное изучение керамизто- и пемзобетонов и армированных конструкций из них. Достаточно подробный исторический очерк о развитии строительного производства с применением различных видов легких бетонов, теоретический и практический вклад ученых бывшего СССР в исследование, проектирование и внедрение конструкций из легких бетонов приведены в работе [1, с. 6–10].

Необходимо обратить внимание на тот факт, что в настоящее время на территории Республики Беларусь легкие бетоны плотностью $\rho = 1200\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$ представлены практически единственным материалом – керамзитобетоном. При этом степень изученности поведения керамзитобетона под нагрузкой, точность и надежность существующих в нормативной документации разных стран методик по оценке характеристик прочности и деформативности керамзитобетона в условиях местного сжатия можно охарактеризовать как крайне низкую. Именно поэтому развитие существующих методов расчета бетонных и железобетонных конструкций при местном сжатии является чрезвычайно важным направлением развития теории бетона и железобетона, в особенности для Республики Беларусь.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА

Практически все исследования и существующая техническая литература, касающиеся расчетов элементов с применением косвенного армирования, а также действующий в Республике

Беларусь технический нормативный правовой акт по расчету бетонных и железобетонных конструкций [2] посвящены конструкциям из тяжелых бетонов со средней плотностью от 2000 до 2800 кг/м³. При этом до настоящего времени проектирование как неармированных, так и армированных конструкций из керамзитобетона выполнялось по нормам бывшего СССР [3]. В технических документах по расчету железобетонных конструкций, действующих на данный момент в мире, только в нормах Российской Федерации [4] существует методика, регламентирующая расчет таких элементов.

В таблице 1 представлены зависимости из действующих в мире норм по проектированию железобетонных конструкций, а также из различных исследований, касающихся расчета элементов с косвенным армированием при местном сжатии.

Как видно из представленной таблицы 1, исследований керамзитобетонных элементов с косвенным армированием в условиях местного сжатия до настоящего времени не проводилось. Исследовался лишь ячеистый бетон [5], имеющий поперечное армирование сварными сетками, а также случай усиления зоны анкеровки конструкций из тяжелого бетона с поперечным армированием спиралями или замкнутыми хомутами [6].

Таблица 1

Расчетные зависимости для определения прочности бетона с косвенным армированием при местном сжатии по различным нормам проектирования и по данным различных исследований

№ п/п	Нормативный документ	Расчетная зависимость*
1	СП 63.13330.2012 [4]	<p align="center">Для тяжелого и для легкого бетона:</p> $R_{bs,loc} = R_{b,loc} + 2\varphi_{s,xy} R_{s,xy} \mu_{s,xy}$ $R_{b,loc} = 0,8 \cdot R_b \cdot \sqrt{\frac{A_{b,max}}{A_{b,loc}}}$

№ п/п	Нормативный документ	Расчетная зависимость*
2	Ю. В. Свидзинский (1989) [5]	<p>для ячеистого бетона:</p> $R_{b,red} = \alpha \varphi_b R_b + \Phi \mu_{xy} \gamma_{s8} R_{s,xy} \varphi_s, \text{ где}$ $\alpha = 8,5 R_{bt} / R_b, \varphi_b = \sqrt[3]{A_{loc2} / A_{loc1}}, \varphi = \frac{0,1 - \psi}{0,23 + \psi}$
3	D. P. Axson (2008) [6]	<p>Для случая усиления зоны анкеровки конструкций из бетона с поперечным армированием спиральями или замкнутыми хомутами:</p> $f_{cc} = \lambda 0,80 f_c' \sqrt{\frac{A}{A_b}} + 2,5 f_{lat} \frac{A_{eff}}{A_b},$ <p>где $\lambda = 0,85$ для легких бетонов всех видов $\lambda = 0,7$ для легких бетонов на песчаном заполнителе</p>

* – обозначение величин в расчетных зависимостях представлено в том виде, в каком оно приведено в первоисточниках:

$R_{bs,loc}, R_{b,red}, f_{cc}$ – приведенная прочность бетона смятию для элементов с косвенным армированием МПа;

$R_{b,loc}$ – прочность бетона при местном действии сжимающей нагрузки (МПа);

R_b, f_c' – цилиндрическая или призмная прочность бетона на осевое сжатие (МПа);

R_{bt} – прочность бетона на осевое растяжение МПа;

$R_{s,xy}$ – прочность на растяжение арматуры поперечных сеток МПа;

$\mu_{s,xy}, \mu_{xy}$ – объемный коэффициент армирования, %;

$\Phi_{s,xy}$ – коэффициент, учитывающий влияние косвенного армирования в зоне местного сжатия;

$A_{b,max}, A_{loc2}, A$ – условная площадь бетона, на которую распределяются напряжения при местном действии сжимающей нагрузки, мм²;

$A_{b,loc}, A_{loc1}, A_b$ – площадь бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка, мм²;

A_{eff} – площадь бетона, заключенного внутри контура спиралей, замкнутых хомутов, сварных сеток косвенного армирования, мм²;

f_{lat} – теоретически определяемое напряжение при испытаниях, вызываемое установкой поперечной арматуры, МПа;

ψ – коэффициент, определяемый по формуле: $\psi = \frac{\mu_{xy} \gamma_{s8} R_{s,xy}}{R_b + 10}$

γ_{s8} – коэффициент условий работы поперечной арматуры в элементах из ячеистого бетона, принимаемый в соответствии с нормами [3, с. 26, таблица 24]

С учетом вышеизложенного, в Республике Беларусь на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ проведены исследования [7], направленные на изучение поведения элементов из конструкционного керамзитобетона в условиях местного действия нагрузки. Одной из задач указанных исследований [7, с. 1, 2] являлось в том числе и расширение области применения строительных конструкций, изготовленных с использованием отечественного материала – керамзита.

Основные сведения и результаты проведенных исследований [7] представлены ниже.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ С КОСВЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ ПОПЕРЕЧНЫМИ СВАРНЫМИ СЕТКАМИ

В качестве образцов были приняты призмы с размерами $300 \times 300 \times 600$ мм, армированные поперечными сетками С-1 или С-2 (объемный процент армирования ρ_{xy} соответственно равен 1,88% и 3,35%, всего 36 образцов). Программа исследований представлена на рисунке 1 (серия 3). Подробные сведения о методике проведения испытаний, о контрольно-измерительных приборах, использовавшихся в процессе испытаний, приведены в публикациях [8, с. 172–173] и [9, с. 29–32]. Общий вид испытательного стенда с подготовленным и установленным образцом третьей серии представлен на рисунке 2.

Разрушение всех армированных образцов происходило с образованием в области под штампом так называемого клина, имеющего вид перевернутой пирамиды, но не всегда сопровождалось раскалыванием образцов по вертикальным плоскостям с последующим сдвигом клина по одной из их боковых граней, как это было характерно для всех без исключения образцов-призм 2-й серии (без использования косвенного армирования).

При отношении поперечного размера штампа к поперечному размеру образца, равном 0,3–0,4, разрушение сопровождалось отслаиванием наружного слоя бетона, расположенного вне ядра, заключенного внутри области, образованной сетками косвенного армирования.

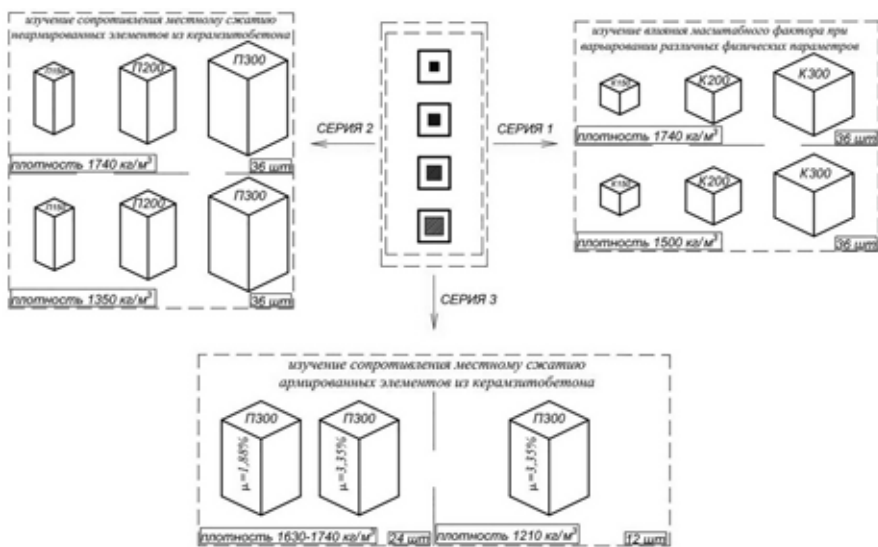


Рисунок 1. Программа комплексных исследований сопротивления керамзитобетона плотностью от 1200 до 1800 кг/м³

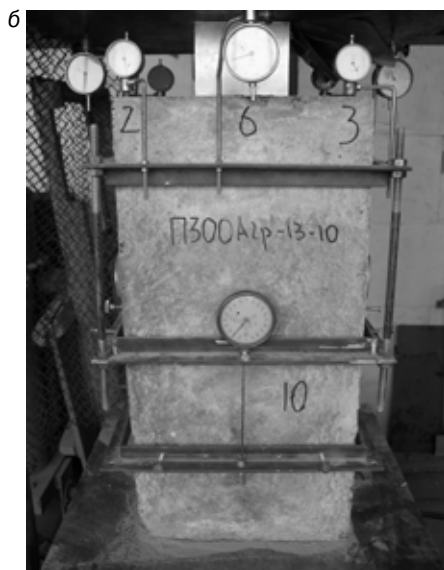


Рисунок 2. а – общий вид испытательного стенда; б – образец третьей серии в процессе испытаний

Также активно образовывались трещины на верхней поверхности образца, на которую осуществлялось непосредственное воздействие через металлический штамп. При отношении поперечного размера штампа к поперечному размеру образца, равном 0,1–0,2, разрушение сопровождалось преимущественно с трещинообразованием на верхней нагружаемой поверхности образца. Типичные схемы трещинообразования в зависимости от размеров площадки нагружения представлены на рисунке 3.

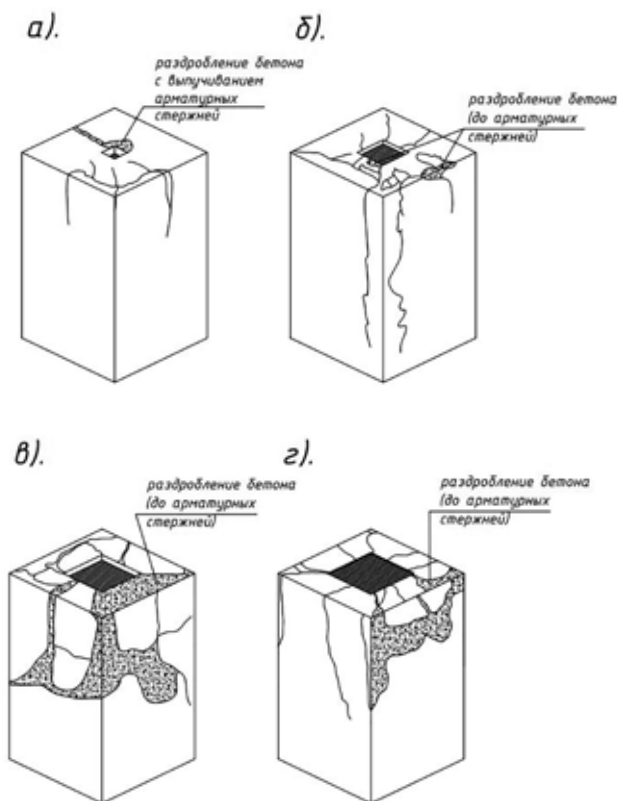


Рисунок 3. Типичные схемы трещинообразования в процессе испытаний образцов третьей серии: а – при приложении нагрузки через штамп с поперечным размером, равным 30 мм; б – то же через штамп с поперечным размером, равным 60 мм; в – то же через штамп с поперечным размером, равным 90 мм; г – то же через штамп с поперечным размером, равным 120 мм

Результаты исследований с зафиксированными значениями разрушающих нагрузок, а также вычисленными по результатам испытаний значениям коэффициента, учитывающего влияние объемного коэффициента поперечного армирования на несущую способность керамзитобетонных элементов с косвенным армированием поперечными сетками в условиях местного осевого сжатия (далее по тексту – коэффициента эффективности косвенного армирования) $\varphi_{0, obs}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные результаты испытаний опытных образцов-призм третьей серии

Характеристики опытных образцов			Относительный размер штампа β^{**}	Разрушающая нагрузка N_{ult} , кН				Средние по группе из каждых трех образцов-близнецов опытные значения $\varphi_{0, obs}$
ρ^* , кг/м ³	Коэффициент армирования μ_{xy} , %	f_{lc} МПа		1	2	3	Средняя	
1760	1,88	19,08	0,1	284,9	284,9	292,6	287,5	2,68
			0,2	546,7	546,7	616	569,8	2,62
			0,3	754,6	746,9	839,3	780,3	2,16
			0,4	962,5	1185,8	1105,6	1084,6	2,34
1648	3,35	16,04	0,1	269,5	277,2	285,4	277,4	1,57
			0,2	415,8	423,5	443,7	427,7	0,93
			0,3	723,8	654,5	684,6	687,6	1,08
			0,4	823,9	870,1	992,6	895,5	1,02
1215	3,35	12,12	0,1	200,2	184,6	178,5	187,8	1,06
			0,2	384,5	412,7	384,5	393,9	1,14
			0,3	585,2	568,7	592,4	582,1	1,10
			0,4	716,1	744,3	768,2	742,9	1,0

* – среднее значение плотности по группе образцов;
 ** – отношение поперечного размера металлического штампа, передающего осевую нагрузку, к поперечному размеру испытываемого образца

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕСТНОМУ СЖАТИЮ

Методика расчета, разработанная по результатам испытаний образцов третьей серии с учетом положений модели напряженно-деформированного состояния, описанной в работе [7, с. 12–13], использует две группы зависимостей.

1-я группа – зависимости, полученные в работе для элементов из керамзитобетона без применения косвенного армирования.

Согласно разработанной методике, прочность керамзитобетона без применения косвенного армирования при местном сжатии следует определять по зависимости

$$f_{lcl} = \omega_u \cdot f_{lc} \quad (1)$$

где f_{lcl} – прочность керамзитобетона при местном сжатии, МПа;

f_{lc} – цилиндрическая прочность керамзитобетона на сжатие, МПа;

Коэффициент ω_u , учитывающий повышение прочности бетона при местном сжатии, следует определять по формуле

$$\omega_u = 1 + k_u \cdot \frac{f_{lcl}}{f_{lc}} \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right), \quad (2)$$

где k_u – коэффициент эффективности бокового обжатия, принимаемый равным 9,5 [7, с. 13];

f_{lcl} – прочность керамзитобетона при осевом растяжении, МПа;

f_{lc} – то же, что и в формуле (1), МПа;

A_{c1} – условная площадь бетона, на которую распределяются напряжения при местном действии сжимающей нагрузки, мм²;

A_{c0} – площадь бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка, мм²;

2-я группа – зависимости, которые необходимо использовать при оценке несущей способности при местном сжатии элементов с косвенным армированием сварными поперечными сетками согласно [7, с. 15–16].

Несущая способность косвенно армированных элементов из керамзитобетона должна определяться из условия:

$$N_{Ed} \leq \alpha_u \cdot f_{lcl,eff} \cdot A_{c0} \quad (3)$$

где N_{Ed} – равнодействующая расчетных усилий, действующих на площадь приложения местной нагрузки A_{c0} , МН;

$f_{lcl,eff}$ – приведенная прочность керамзитобетона на местное сжатие, МПа;

α_u – коэффициент, зависящий от распределения напряжений по площади смятия;

A_{c0} – то же, что и в формуле (2), мм²;

Значение $f_{lcl,eff}$ необходимо определять по формуле

$$f_{lcl,eff} = f_{lcl} + \varphi_0 \rho_{xy} f_{yd,xy} \varphi_s \quad (4)$$

В формуле (4), f_{lcl} – то же, что и в формуле (1); ρ_{xy} – объемный коэффициент армирования; $f_{yd,xy}$ – прочность на растяжение арматуры поперечных сеток МПа; φ_s – коэффициент, учитывающий влияние косвенного армирования в зоне местного сжатия, определяется по формуле:

$$\varphi_s = \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{c0}}}, \quad (5)$$

где A_{eff} – площадь бетона, заключенного внутри контура спиралей, замкнутых хомутов, сварных сеток косвенного армирования, мм²; A_{c0} – то же, что и в формуле (2), мм²;

По результатам испытаний были определены значения коэффициента эффективности косвенного армирования, приведенные в таблице 2:

$$\varphi_{0,obs} = \frac{f_{lcl,eff} - f_{lcl}}{\rho_{xy} \cdot f_{yd,xy} \cdot \varphi_s}, \quad (6)$$

где $f_{lcl,eff}$ – опытное значение напряжений под штампом при разрушении образца.

Коэффициент эффективности косвенного армирования φ_0 , согласно предлагаемой методике, следует определять одним из двух способов.

По зависимости

$$\varphi_0 = \frac{7 + \psi_s}{1 + 6\psi_s}, \quad (7)$$

где параметр интенсивности косвенного армирования ψ_s необходимо определять по формуле (6)

$$\psi_s = \frac{\rho_{xy} \cdot f_{yd,xy}}{f_{lc}}. \quad (8)$$

Либо, в соответствии с упрощенной методикой, расчет следует производить при постоянном значении коэффициента $\varphi_0 = 2,5$, что, как отмечено в публикации [8, с. 175], должно значительно упростить проведение дальнейшей оценки надежности расчета в соответствии с положениями приложения D [10].

РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОСВЕННОГО АРМИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫМИ СВАРНЫМИ СЕТКАМИ

Вне зависимости от того, каким образом будет определяться коэффициент эффективности косвенного армирования φ_0 , и в том, и в другом случае необходимо ограничить прочность керамзитобетона, армированного сетками, удвоенной его прочностью при отсутствии сеток, как это было рекомендовано ранее для элементов из тяжелого бетона [11, с. 50].

Тогда зависимость (4) преобразуется к виду:

$$f_{lcl,eff} = f_{lcl} + \varphi_0 \cdot \rho_{xy} \cdot f_{yd,xy} \cdot \varphi_s \leq 2f_{lcl}. \quad (9)$$

При этом при $\varphi_0 = 2,5$ граничное значение коэффициента армирования можно определить по формуле:

$$\rho_{xy,lim} = \frac{f_{lcl}}{2,5 f_{yd,xy} \varphi_s}. \quad (10)$$

Если φ_0 определяется по формуле (7), то это может затруднить задачу по нахождению граничного значения коэффициента армирования $\rho_{xy, \text{lim}}$. Тем не менее, после математических преобразований, данная задача сводится к решению квадратного уравнения вида:

$$\rho_{xy, \text{lim}}^2 + b \cdot \rho_{xy, \text{lim}} - c = 0. \quad (11)$$

Отсюда можно определить $\rho_{xy, \text{lim}}$:

$$\rho_{xy, \text{lim}} = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - c} - \frac{b}{2}, \quad (12)$$

где $b = (7\varphi_s f_{lc} - 6f_{lcl}) / \varphi_s f_{yd, xy}$; $c = (f_{lc} \cdot f_{lcl}) / \varphi_s f_{yd, xy}^2$.

Следует отметить, что граничное значение объемного коэффициента армирования $\rho_{xy, \text{lim}}$ варьируется в достаточно широких пределах как при расчете при постоянном значении коэффициента $\varphi_0 = 2,5$, так и при расчете при значении коэффициента φ_0 , определяемого по формуле (7).

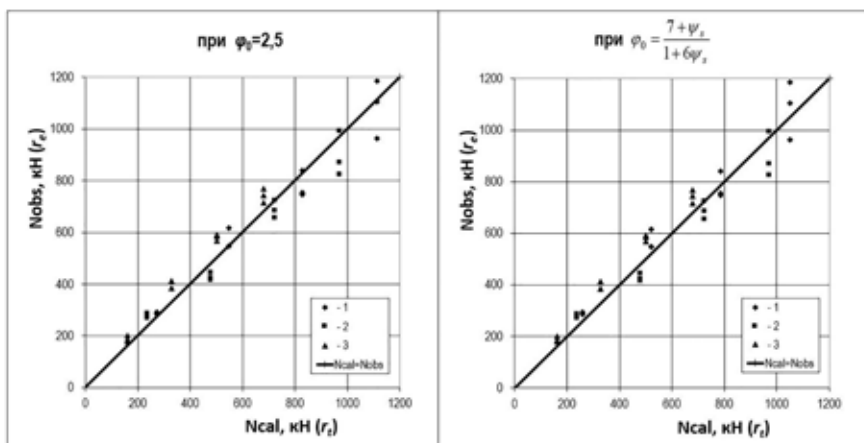
Наиболее важными факторами, оказывающими влияние на граничное значение объемного коэффициента армирования $\rho_{xy, \text{lim}}$, очевидно, являются средняя плотность образцов и средняя прочность f_{lc} , на которые в свою очередь оказывает существенное влияние качество структуры керамзитобетона, объемное содержание крупного заполнителя и, как следствие, разный уровень напряжений сцепления, возникающих на границе арматурных стержней сеток косвенного армирования и керамзитобетонной матрицы. Представляется, что для более прочного керамзитобетона плотной структуры влияние сеток косвенного армирования на несущую способность при местном сжатии более существенно. Для проверки этого предположения необходимо проведение дополнительных исследований элементов из керамзитобетона прочностью более 25 МПа.

Далее для армированных элементов была проведена оценка точности разработанных методик расчета согласно приложению D [10, с. 44–54] в четыре этапа в соответствии со стандартной процедурой по п. 8.2.2 указанного приложения.

При всех вычислениях использовались фактические (средние) значения геометрических параметров образцов и прочностных характеристик материалов. Вычисления выполнялись исходя из равенства площадей A_{eff} и A_{c1} .

Полученные результаты (рисунок 4) свидетельствуют о том, что предложенные методы расчета позволяют получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями. В результате вычислений при постоянном значении $\varphi_0=2,5$ получено значение поправки среднего значения $b=0,977$ и значение коэффициента вариации вектора ошибок $V_\delta=0,113$ (рисунок 4а). При вычислениях при значении коэффициента φ_0 , определяемого по формуле (7), получено значение поправки среднего значения $b=0,967$ и значение коэффициента вариации вектора ошибок $V_\delta=0,111$ (рисунок 4б).

Выполненные по методике норм Российской Федерации [4], дали среднее отношение опытных и расчетных значений $b=1,266$ при коэффициенте вариации $V_\delta=0,221$ (рисунок 5).

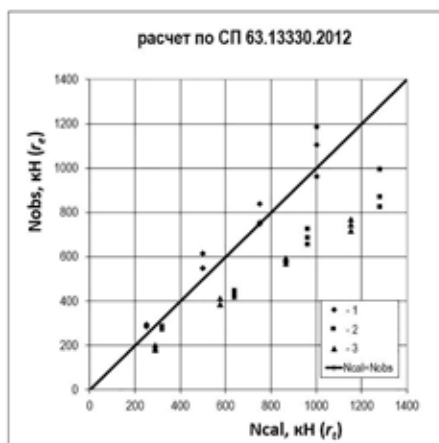


а

б

1 - при $\rho=1760$ кг/м³ и $\mu_{xy}=1,88\%$; 2 - при $\rho=1650$ кг/м³ и $\mu_{xy}=3,35\%$;
 3 - при $\rho=1215$ кг/м³ и $\mu_{xy}=3,35\%$; линия $N_{obs}=N_{cal}$

Рисунок 4. Сопоставление опытных значений с расчетными значениями по разработанному методикам расчета: а – при постоянном значении $\varphi_0=2,5$; б – при значении φ_0 , вычисленном по формуле (7)



1 - при $\rho=1760 \text{ кг/м}^3$ и $\mu_{xy}=1,88\%$; 2 - при $\rho=1650 \text{ кг/м}^3$ и $\mu_{xy}=3,35\%$;
 3 - при $\rho=1215 \text{ кг/м}^3$ и $\mu_{xy}=3,35\%$; линия $N_{\text{obs}} = N_{\text{cal}}$

Рисунок 5. Сопоставление опытных значений с расчетными значениями по методике норм [4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведены комплексные исследования сопротивления местному осевому сжатию элементов из керамзитобетона с применением косвенного армирования поперечными сварными сетками. Полученные экспериментальные данные позволили выявить особенности напряженно-деформированного состояния в зоне местного сжатия, характер образования трещин и схему разрушения элементов.

2. Разработаны методики расчета несущей способности при местном сжатии элементов из керамзитобетона, имеющих косвенное армирование поперечными сварными сетками, одна из которых основана на учете нелинейной зависимости коэффициента эффективности косвенного армирования от его интенсивности. Предложенные методики позволяют с удовлетворительной точностью определить фактическую несущую способность косвенно армированных элементов из керамзитобетона. По своей точности разработанные методики превышают действующую методику норм Российской Федерации [4].

3. Представленные методики расчета позволили оценить рациональность применения косвенного армирования поперечными сварными сетками и ориентировочно определить верхние граничные значения объемного коэффициента косвенного армирования, выше которых применение косвенного армирования нецелесообразно и не приводит к повышению несущей способности элементов из керамзитобетона, имеющих поперечное армирование сварными сетками, при местном сжатии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабич, Е. М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях / Е. М. Бабич // Учеб. пособие. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 208 с.
2. СНБ 5.03.01 с изменениями №1-5. Бетонные и железобетонные конструкции. – Введ. 01.07.03. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003. – 132 с.
3. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
4. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Институт ОАО НИЦ «Строительство». – М, 2013. – 152 с.
5. Свидзинский, Ю. В. Прочность и деформативность армированных элементов из ячеистого бетона при местном сжатии / Ю. В. Свидзинский // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05 .23.01; М.:НИИЖБ Госстроя СССР. — 1989.—23 с.
6. Axson, D. Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete / D. Axson // Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. – Blacksburg, 2008. – 104 p.
7. Бондарь, В. В. Сопротивление местному сжатию элементов из конструкционного керамзитобетона / В. В. Бондарь // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 Белорус. нац. техн. унив. – Мн.: БНТУ, 2017. – 24 с.

8. Бондарь, В. В. Методика расчета несущей способности при местном сжатии элементов из легкого бетона, усиленных косвенным армированием / В. В. Бондарь, Н. А. Рак // Вестник БрГТУ. – 2013. – №1 (79): Строительство и архитектура. – С. 172-176 с.
9. Бондарь, В. В.. Контактные деформации элементов из легкого бетона, армированных поперечными сетками, при концентричном местном сжатии // В. В. Бондарь, Н. А. Рак // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. трудов / МАиС Респ. Беларусь, РУП «Институт БелНИИС» – Минск: Минсктипроект, 2013. – С. 27-39.
10. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций : ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.12. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2012. – 70 с.
11. 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.

REFERENCES

1. Babich Ye. M. *Konstruktsii iz legkikh betonov na poristykh zapol-nitelyakh* [Constructions made of lightweight concrete on porous fillers]. Kiev: Vyshcha shk. Golovnoye izd-vo, 1988. 208 p. (rus)
2. SNB 5.03.01 s izmeneniyami №1-5. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii*. Vved. 01.07.03. Minsk: Minstroyarkhitektury Respubliki Belarus', 2003. 132 p. (rus)
3. SNiP 2.03.01-84*. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii. Normy proyektirovaniya*. M: TSITP Gosstroya SSSP, 1989. 80 p. (rus)
4. SP 63.13330.2012. *Svod pravil. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruk-tsii. Osnovnyye polozheniya*. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003. Institut OAO NITS «Stroitel'stvo». M, 2013. 152 p. (rus)
5. Svidzinskiy Yu. V. *Prochnost i deformativnost armirovannykh elementov iz yacheistogo betona pri mestnom szhatii* [Strength

- and deformation of reinforced elements from cellular concrete under local compression]. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05 .23.01; M.:NIIZHB Gosstroya SSSR. 1989. 23 p. (rus)
6. 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.
 7. Bondar V. V. *Soprotivleniye mestnomu szhatiyu elementov iz konstruk-tsiionnogo keramizobetona* [Resistance to locally compressed structural expanded clay concrete elements]/ V.V. Bondar' // Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 Belarus. nats. tekhn. univ. – Mn.: BNTU, 2017. 24 p. (rus)
 8. Bondar V. V., Rak N. A. *Vestnik BrGTU*. 2013. №1 (79): Stroitel'stvo i arkhitektura. pp. 172-176. (rus)
 9. Bondar V. V., Rak N. A. *Kontaknyye deformatsii elementov iz legkogo betona, armirovannykh poperechnymi setkami, pri kontsentrichnom mestnom szhatii* [Contact deformations of lightweight concrete elements with confinement reinforcement in the form of flat welded meshes under concentric local compression]. *Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: sb. nauch. trudov*. Minsk: Minsktiprojekt, 2013. pp. 27-39. (rus)
 10. *Yevrokod. Osnovy proyektirovaniya stroitel'nykh konstruktsiy* : ТКР EN 1990-2011. Vved. 01.07.12. Minsk: Minsstroyarkhitektury Respubliki Belarus', 2012. 70 p. (rus)
 11. Rak N. A. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2012. № 2(41). pp. 49-53. (rus)

Статья поступила в редколлегию 19.11.2017.