

Бондарь В.В., Рак Н.А.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДИК РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕСТНОМУ СЖАТИЮ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение. Перспективы роста объемов строительства в странах Таможенного союза, Евросоюза, а также стран дальнего зарубежья, постоянно возрастающая конкуренция на рынке строительных услуг и материалов предъявляют новые требования по дальнейшему улучшению не только прочностных и деформативных характеристик бетонных и железобетонных конструкций, но и параметров бетона и бетонных смесей, характеризующих долговечность, удобоукладываемость, плотность, эксплуатационную пригодность.

Основными направлениями технического прогресса в указанных областях можно признать следующие: облегчение веса зданий и сооружений, расширение использования предварительно напряженных железобетонных конструкций, в том числе с применением самоуплотняющихся и самоуплотняющихся бетонов, повышение качества применяемых материалов, совершенствование конструкций, технологии их изготовления, организации и методов производства работ.

С учетом вышеизложенного, вопрос о применении легких бетонов и, в частности, керамзитобетона в ограждающих и несущих конструкциях приобретает чрезвычайно важное и особое место. В то же время полное обоснование экономичности применения керамзитобетона в любых конструкциях зданий и сооружений различного функционального назначения является задачей сложной, требующей прежде всего комплексного подхода и в ряде случаев проведения трудоемких научных исследований.

Современное состояние теории расчета бетонных и железобетонных конструкций, опыт их применения нашли свое отражение в нормах проектирования бетонных и железобетонных конструкций [1]. Указанные нормы по расчету бетонных и железобетонных конструкций, действующие в Республике Беларусь, распространяются на конструкции из бетонов со средней плотностью от 2000 до 2800 кг/м³. В связи с этим до сего времени проектирование конструкций из легкого бетона необходимо выполнять по нормам бывшего СССР [2], либо по недавно введенным на территории Республики Беларусь Европейским нормам [3].

Тем не менее, целый ряд вопросов, касающихся расчета и конструирования элементов из легкого бетона, нуждается в дальнейших исследованиях. Одним из таких вопросов является сопротивление местному сжатию неармированных и армированных керамзитобетонных элементов в сложных напряженных состояниях, например, в условиях местного сжатия. Решение этого вопроса позволит с большей надежностью и более экономично проектировать узлы сопряжения легкобетонных конструкций каркаса зданий, а также узлы сопряжения элементов каркаса зданий и сооружений из тяжелого бетона с ограждающими и несущими конструкциями из легкого бетона.

Краткий обзор методик расчета сопротивления местному сжатию элементов из керамзитобетона. В содержащихся в нормах [2, 3, 4, 5, 6] методиках расчета сопротивления местному сжатию элементов из легкого бетона используются эмпирические зависимости, по сути лишённые физического смысла. В результате этого, как показано в публикациях [7, 8, 9], происходит существенное, до 23%, занижение сопротивления местному сжатию керамзитобетонных элементов. Кроме того, обнаруживается еще и низкая точность теоретических функций сопротивления, содержащихся в указанных нормах, что выражается в неприемлемо высоких значениях коэффициента вариации [9].

В различных исследованиях по результатам проведенных экспериментов [10–14] предложены отличающиеся от нормативных методики расчета сопротивления местному сжатию элементов из

легкого бетона. В таблице 1 приведены данные об основных расчетных зависимостях для определения прочности неармированного керамзитобетона (легкого бетона) при местном сжатии по различным исследованиям. Следует обратить внимание, что все обозначения в таблице 1 приведены в их современном виде, отдельные зависимости преобразованы к общепринятому виду.

Как указано в публикации [9], выборка доступных экспериментальных данных по сопротивлению элементов из легкого бетона (неармированных) при осевом местном сжатию до недавнего времени (до проведения исследований [14]) составляла менее 100 образцов. При этом количество образцов из керамзитобетона, подвергавшихся испытаниям местному сжатию (без дополнительного одноосного или двухосного обжатия, либо применения дополнительного армирования в виде рамок из арматуры, как это было сделано в работе [11]), составляло менее 30 штук (работы [10] и [13]).

Ниже представлен краткий обзор исследований, по методике проведения и результатах анализа экспериментальных данных которых имеется наиболее полная информация в свободном доступе (в печати и интернете).

Исследования [10] выполнялись на образцах, которые готовили в металлических формах-кубах размером ребер 15 и 20 см. Плотность образцов составляла 1840...1860 кг/м³.

Смятие бетона создавалось металлическими штампами, которые прикладывались к поверхности кубов центрально, а также смещались в сторону по отношению к геометрической оси куба. Нагрузка передавалась по оси прессы; центрировка производилась по оси штампа. Применялись квадратные штампы размерами 30×30, 50×50, 100×100 и прямоугольные 30×200 и 58×200 мм. Последние два штампа передавали нагрузку на часть образца в виде полосы и приложены только симметрично по отношению к оси образца. Испытание велось на 125-тонном прессе ПГ-2. Образцы испытывали в 28-суточном возрасте.

По результатам указанных исследований, в предположении того, что разрушение образцов при местном приложении нагрузки происходит не только от сжатия, но и от разрыва (растяжения) бетона, после обработки экспериментальных данных была предложена единая зависимость для вычисления прочности при местном сжатии, учитывающая различные варианты расположения металлических штампов.

В МНИПТИ Стройиндустрия С.Ю. Цейтлиным и Д.И. Яровским [11] проведены экспериментальные исследования прочности бетона при смятии по очень малым площадкам, под которыми понимают площадки с отношением всей расчетной площади сечения элемента к площади смятия более 16. Опыты проводили на образцах-кубах с ребром 150 мм. Во избежание преждевременного раскалывания при испытании образцы армировали двумя рамками из арматуры диаметром 12 мм из стали класса А-III (S400).

Образцы с прочностью керамзитобетона 3,2 и 8,5 МПа изготавливали из поризованного керамзитобетона, прочностью 13,2 МПа – из плотного керамзитобетона. Смятие создавали штампами плоской круглой формы. Площади штампов варьировали и составляли 242, 705 и 1170 мм² (при диаметрах штампов 17,6; 30 и 38,7 мм соответственно). Крупность керамзита в керамзитобетоне была 10...15 мм, т. е. меньше размеров штампов. Всего было проведено 75 испытаний. По результатам испытаний была предложена зависимость для определения коэффициента повышения прочности керамзитобетона при осевом местном сжатии (см. таблицу 1).

Бондарь В.В., к.т.н., заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» МИПК и ПК Белорусского национального технического университета.

Рак Н.А., к.т.н., доцент, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета.

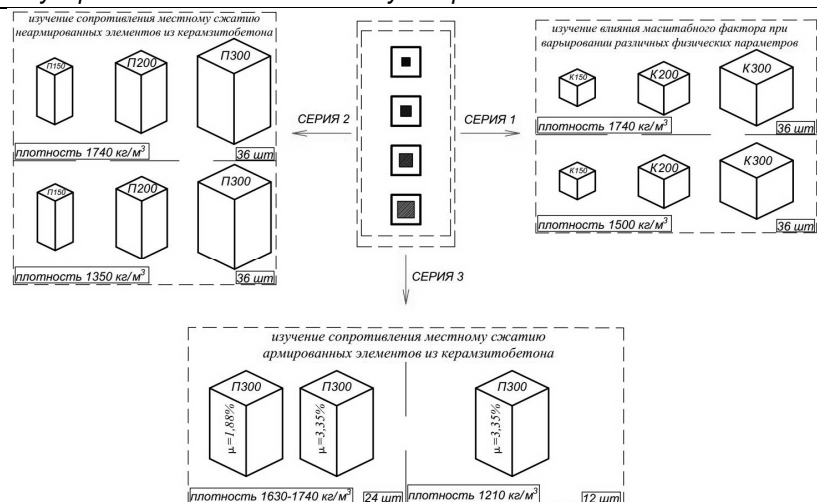
Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Таблица 1 – Расчетные зависимости для определения сопротивления керамзитобетона при местном сжатии по данным различных исследований

Ист.	Автор	Расчетная зависимость
1	2	3
Основная зависимость		$f_{loc} = \Phi_{loc} \cdot f_c'$
[10]	Г.Д. Цискрели и др. (1970)	$\Phi_{loc} = \frac{K}{\sqrt{\chi}} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$ <p>где $K=3,5$ при центральном расположении квадратного штампа $K=2,7$ при центральном расположении полосового штампа</p>
[11]	С.Ю. Цейтлин, Д.И. Яровский (1992)	<p>при центральном расположении квадратного штампа</p> $\Phi_{loc} = 0,3 + 0,2\sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} + 0,5\left(\sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}\right)^2$
[12,13]	Б.С. Соколов, И.И. Мустафин (1995)	<p>при центральном расположении квадратного штампа</p> $\Phi_{loc} = m \left(\frac{2ctg\alpha}{\chi} \left(\frac{1}{\delta_p} - \frac{\sin 2\alpha}{2} + 6 \right) + \sin^4 \alpha \right),$ <p>где $\delta_p = \frac{a_{loc}}{h_p}$; $h_p = \min\{1,5a; 2h\}$ $\alpha = arctg(0,25\chi - 1,56)$; для керамзитобетона $\alpha = 66^\circ$ При центральном расположении полосового штампа $\Phi_{loc} = \frac{ctg\alpha}{\chi} \left(\frac{1}{\delta_p} - \cos \alpha \cdot \sin \alpha + 3 \right) + \sin^2 \alpha.$ При краевом расположении полосового штампа $\Phi_{loc} = \frac{3ctg\alpha}{\chi} + \sin^2 \alpha$ </p>
[8,9,14]	В.В. Бондарь, Рак Н.А. (2011–2017)	<p>При центральном расположении квадратного штампа</p> $f_{cl} = f_{lc} + k_u \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) f_{lct}; k_u = 9,5$
<p>Примечание. В приведенных зависимостях:</p> $\Phi_{loc} = \frac{f_{loc}}{f_c'}; \chi = \frac{f_c'}{f_t'}$ <p>Φ_{loc} – коэффициент повышения прочности бетона при местном действии сжимающей нагрузки; χ – показатель хрупкости бетона; a_{loc} – размер площадки, по которой приложена местная сжимающая нагрузка, в направлении, перпендикулярном толщине бетонного элемента, мм; a – горизонтальный размер бетонного элемента в направлении, перпендикулярном его толщине, мм; f_{cl}, f_{loc} – прочность бетона при местном действии сжимающей нагрузки (МПа); f_c', f_{lc} – призмная или цилиндрическая прочность бетона на осевое сжатие (МПа); f_t', f_{lct} – прочность бетона на осевое растяжение 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; α – угол наклона к горизонтали плоскости скольжения клина при местном действии нагрузки согласно модели разрушения, изложенной в работах [12, 13] h_p – расчетная высота элемента, мм; h – фактическая высота элемента, мм</p>		

И.И. Мустафиним, под руководством Б.С. Соколова, были проведены исследования [12, 13]. В этих исследованиях действие местной нагрузки рассматривалось как частный случай сжатия. Цель исследований – разработка теории сопротивления бетона и железобетона разрушению, образованию и раскрытию трещин при сжатии. Опытные образцы разделены на шесть серий. В каждой изучалось влияние одного или двух факторов. Все образцы изготовлены в ла-

бораторных условиях в металлической опалубке. Размеры образцов составляли 200×200×400 мм, 120×650×650 мм, 120×650×325 мм. В качестве заполнителя использовался керамзитовый гравий с фракцией до 20 мм и речной песок в весовом соотношении 3,5:1 при В/Ц=0,4. Плотность образцов составляла 1100 кг/м³, прочность керамзитобетона образцов – от 2,5 до 6,1 МПа. Испытания проводились на гидравлическом прессе. Нагрузка передавалась через



Серии 1 и 2 – неармированные кубы и призмы общим количеством в 144 шт.

Рисунок 1 – Программа исследований в работе [14]

стальные штампы 60×60 мм, 120×120 мм (объёмные элементы), 100×120 мм, 160×120 мм, 240×120 мм (плоские элементы).

По результатам экспериментальных исследований предложены расчетные выражения к определению сопротивления объемных и плоских элементов из керамзитобетона местному сжатию. Предложенные расчетные зависимости базируются на физической модели разрушения, основы которой разработаны Б.С. Соколовым [15].

Целью комплексных исследований [14], выполненных В.В. Бондарем на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ под руководством Н.А. Рака, являлась разработка научно обоснованной методики расчета элементов из конструкционного керамзитобетона при осевом местном сжатии. При этом испытания проводились на образцах керамзитобетона из имеющихся на территории Республики Беларусь исходных строительных материалов. Изготавливались образцы в деревянной опалубке в заводских условиях на ОАО «Минскжелезобетон» из бетонной смеси, составов 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.

Общее количество испытанных образцов составило 180 штук, из которых 36 образцов были армированы поперечными сварными сетками (3-я серия) и 144 образца – без косвенного армирования (1-я и 2-я серии). Средняя плотность керамзитобетона варьировалась в диапазоне от 1200 до 1800 кг/м³, прочность – в диапазоне от 14 до 23 МПа. Программа исследований [14] представлена на рисунке 1. Методика экспериментальных исследований опытных образцов и анализ основных результатов испытаний подробно изложены в статье [8].

Методика расчета, предложенная по результатам проведенных испытаний, базируется на расчетной модели норм [1], имеющей четкий физический смысл и исходящей из того, что повышение прочности бетона при местном сжатии по сравнению с его прочностью при осевом сжатии обусловлено влиянием бокового давления, создаваемого окружающим областью нагружения и работающим на растяжение бетоном.

Сходимость теоретических и экспериментальных значений сопротивления местному сжатию неармированных элементов из керамзитобетона, как показано в работе [14], а также в публикации [9], вполне удовлетворительная. При этом точность предложенной в работе [14] методики расчета сопротивления местному сжатию значительно превышает точность методик норм проектирования [2, 3, 5], о чем свидетельствуют расчеты, представленные в публикации [9].

Данная публикация является логическим продолжением исследования [7–9, 14] и направлена на решение следующих вопросов:

1. Проверка применимости и оценка точности методик расчета, предложенных в работах [10, 11, 13] для условий концентричного местного сжатия, на фоне экспериментальных данных исследования [14].
2. Оценка точности предложенной в исследованиях [14] методики расчета на фоне экспериментальных данных исследований [14] для условий концентричного местного сжатия.
3. Оценка применимости и точности методики расчета [14] на фоне экспериментальных данных исследований [14] при полосовом местном сжатии (центральной и краевой).

Анализ результатов проверки применимости и оценки точности различных методик расчета сопротивления керамзитобетонных элементов при местном сжатии на фоне экспериментальных данных различных исследований.

Анализ результатов представлен ниже в порядке рассмотрения перечисленных выше вопросов.

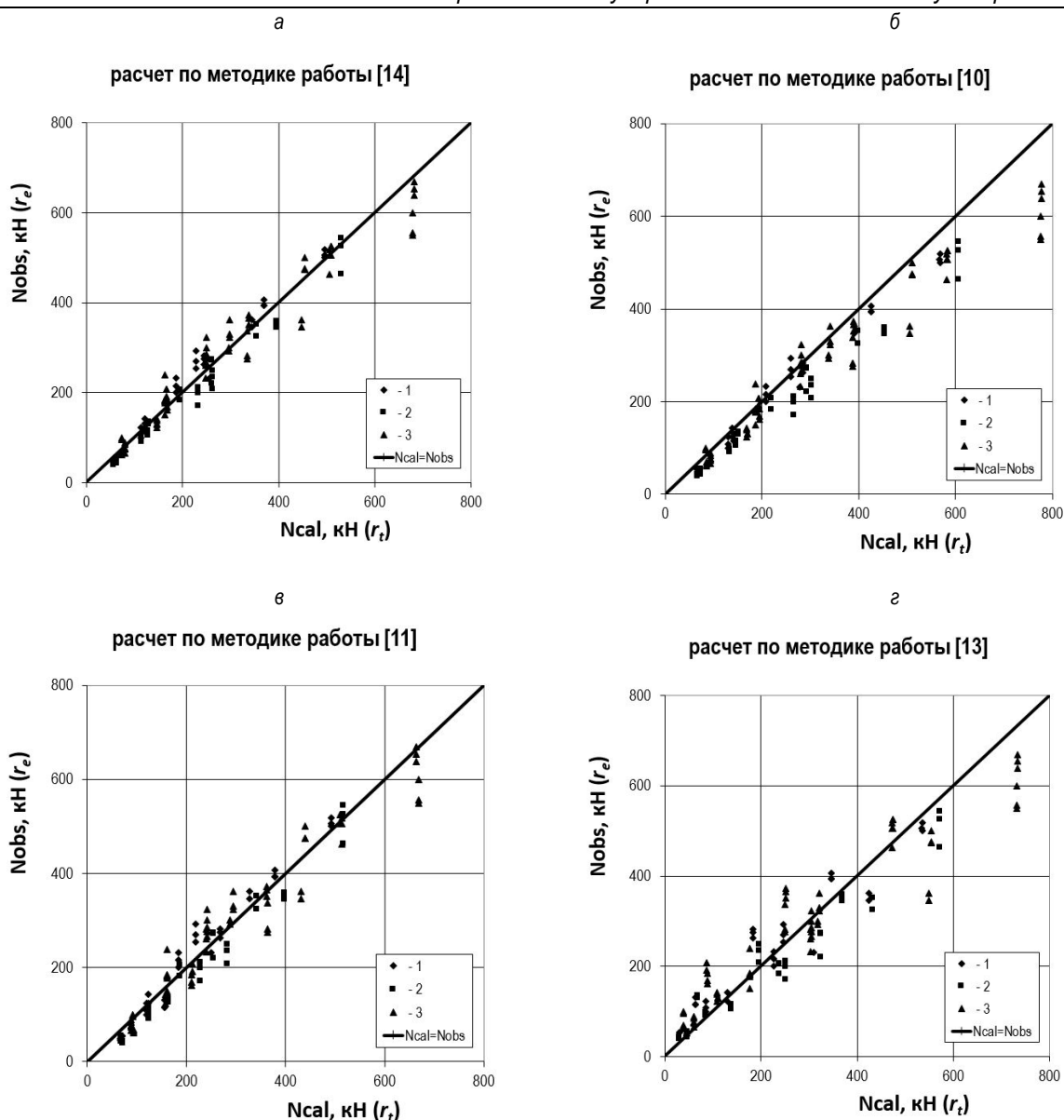
1. Основные результаты расчета (поправочные коэффициенты b к среднему значению и соответствующие им коэффициенты вариации V_δ вектора ошибок, вычисленные согласно приложению D норм [16]), представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные результаты расчетов по предложенным в работах [10, 11, 13] методикам расчета для условий концентричного местного сжатия на фоне экспериментальных данных исследования [14]

Автор методики расчета	Поправочный коэффициент b к среднему значению	Коэффициент вариации V_δ вектора ошибок
Г.Д. Цискрели и др. [10]	0,857	0,149
С.Ю. Цейтлин, Д.И. Яровский [11]	0,973	0,184
Б.С. Соколов, И.И. Мустафин [13]	0,928	0,314
В.В. Бондарь, Рак Н.А [8, 9, 14]	0,993	0,144

Как видно из таблицы 2 и рисунка 2а, точность предложенной в работе [14] методики расчета вполне удовлетворительная.

В то же время предложенная авторами работы [13] методика расчетов несколько завышает сопротивление керамзитобетонных элементов при местном сжатии (рисунок 2б) при неприемлемо высоком значении коэффициента вариации V_δ вектора ошибок (таблица 2). Методики расчета, предложенные в работе [11] и, в особенности, в работе [10], также завышает сопротивление керамзитобетонных элементов при местном сжатии (рисунок 2б, 2в) при приемлемых значениях коэффициента вариации V_δ вектора ошибок (таблица 2).



1 – при плотности $\rho = 1320...1375 \text{ кг/м}^3$; 2 – при $\rho = 1500...1550 \text{ кг/м}^3$; 3 – при $\rho = 1730...1770 \text{ кг/м}^3$; линия $N_{cal} = N_{obs}$

Рисунок 2 – Сопоставление опытных значений из работы [14] с расчетными значениями по методикам расчета [10, 11, 13, 14]

2. Основные результаты расчета расчетов по предложенной в исследованиях [14] методики расчета на фоне экспериментальных данных исследований [14] для условий концентричного местного сжатия представлены в таблице 3.

Приведенные в таблице 3 результаты свидетельствуют о том, что предложенная в работе [14] методика расчета обладает хорошей сходимостью опытных и расчетных значений сопротивления элементов из керамзитобетона при концентричном местном сжатии и приемлемой точностью.

3. Основные результаты расчета расчетов по предложенной в исследованиях [14] методики расчета на фоне экспериментальных данных исследований [14] при полосовом расположении местной нагрузки (центрального и краевого) представлены в таблице 4. При выполнении расчетов предложенное в исследованиях [14] значение коэффициента $k_{U} = 9,5$ умножался на понижающий коэффициент k_f , учитывающий влияние неравномерности обжатия окружающим бетоном бетона под площадкой нагружения. Значения коэффициента k_f определялись согласно нормам [1].

Из полученных в таблице 4 данных видно, что для обоих вариантов расположения полосовой местной нагрузки (центральное и

краевое) методика расчета, предложенная в работе [14], обладает хорошей сходимостью опытных и теоретических значений сопротивления и вполне удовлетворительной точностью.

Параллельно были выполнены расчеты по методикам работ [10] и [12], анализ которых показал, что при полосовом центральном расположении нагрузки, методика работы [10] обеспечивает хорошую сходимость опытных и теоретических значений сопротивления при местном сжатии ($b=0,971$, $V_{\delta}=0,091$). В то же время, методика работы [12] не обеспечивает удовлетворительную сходимость опытных и теоретических значений сопротивления при местном сжатии ($b=1,29$, $V_{\delta}=0,060$). Для случая полосового краевого расположения местной нагрузки результаты расчетов по методике работы [12] можно охарактеризовать как удовлетворительные ($b=1,047$, $V_{\delta}=0,087$).

Заключение. 1. Анализ существовавших ранее и недавно разработанных методов расчета элементов из керамзитобетона плотностью от 1000 до 2000 кг/м^3 и прочностью от 6,0 до 23 МПа на различном расположении местной нагрузки (осевое, полосовое центральное, полосовое краевое) показал, что разработано относительно небольшое количество методик расчета сопротивления местному сжатию элементов из указанного вида конструктивных

Таблица 3 – Результаты расчетов по методике расчета [14] по экспериментальным данным исследований [10, 13] при концентричном местном сжатии

Автор исследований	Маркировка группы образцов	Отношение A_{c1} / A_{c0}	Опытные значения разрушающей нагрузки $N_{ult,obs}$, кН	Теоретические значения разрушающей нагрузки $N_{ult,cal}$, кН	$N_{ult,obs} / N_{ult,cal}$
Цискрели Г.Д., Пирадов А.Б. [10]	Z-6-100-a	2	230	212,88	1,080
	Z-6-50-a	4	125	106,74	1,171
	Z-6-30-a	6,67	78	64,11	1,217
	Z-7-100-a	2	420	391,07	1,074
	Z-7-50-a	4	197	186,52	1,056
	Z-7-30-a	6,67	104	109,75	0,948
Соколов Б.С., Мустафин И.И. [13]	M-6	3,33	62	70,82	0,875
	M-7	3,33	60	77,71	0,772
	M-8	3,33	65	70,82	0,917
	M-11	1,667	148	136,28	1,086
	M-12	1,667	146	136,28	1,071
	M-13	1,667	173	151,35	1,143
	M-14	1,667	172	136,28	1,262
	M-17	1,25	187	198,19	0,944
M-18	1,25	187	198,19	0,944	
Поправочный коэффициент b к среднему значению					1,054
Коэффициент вариации V_6 вектора ошибок					0,099

Таблица 4 – Основные результаты расчетов по предложенной в исследованиях [14] методике расчета на фоне экспериментальных данных исследований [14] при полосовом расположении местной нагрузки (центральном и краевом)

Автор исследований	Вид передачи местной нагрузки	Маркировка группы образцов	Отношение A_{c1} / A_{c0}	Опытные значения разрушающей нагрузки $N_{ult,obs}$, кН	Теоретические значения разрушающей нагрузки $N_{ult,cal}$, кН	$N_{ult,obs} / N_{ult,cal}$
Цискрели Г.Д., Пирадов А.Б. [10]	центральное (объемные элементы)	Z-6-1	6,67	140	136,94	1,025
		Z-6-2	6,67	193	234,15	0,825
		Z-7-1	3,34	231	200,83	1,149
		Z-7-2	3,44	343	353,62	0,971
Поправочный коэффициент к среднему значению b						0,971
Коэффициент вариации V_6 вектора ошибок						0,128
Соколов Б.С., Мустафин И.И. [12]	центральное (плоские элементы)	305	3,4	118	125,37	0,941
		306	3,4	109	125,37	0,869
		311	2,5	183	174,00	1,052
		312	2,5	185	174,00	1,063
		413	3	150	146,06	1,027
		414	3	144	146,06	0,986
		419	2	198	217,72	0,909
		420	2	220	217,72	1,010
Поправочный коэффициент к среднему значению b						0,987
Коэффициент вариации V_6 вектора ошибок						0,072
Соколов Б.С., Мустафин И.И. [12]	краевое (плоские элементы)	308	1,0	76	72,00	1,056
		415	1,0	160	152,64	1,048
		416	1,0	150	152,64	0,983
		417	1,0	83	69,12	1,201
		418	1,0	78	69,12	1,128
Поправочный коэффициент к среднему значению b						1,042
Коэффициент вариации V_6 вектора ошибок						0,077

строительных материалов. При этом разработанные методики распространяются и проверены на керамзитобетоне невысокой прочности, в частности в работе [14] диапазон прочностей от 14 до 23 МПа.

2. Наилучшей схожимостью опытных и расчетных значений, а также наибольшей точностью обладает методика расчета, основанная на результатах экспериментальных исследований [14] и разработанная в развитие положений норм [1]. По своей точности, как отмечено в публикациях [8, 9], предложенная методика расчета значительно превышает точность методик расчета норм [2, 3, 5]. Более того, данная методика, в большинстве случаев, по своей точности превышает точность методик расчета, предложенных другими исследователями в работах [10-13], причем не только в условиях осевого местного сжатия, но и при полосовом центральном и краевом местном сжатии.

3. Методика [14] обеспечивает необходимую точность расчета сопротивления местному сжатию элементов из керамзитобетона (со средней плотностью от 1200 до 1800 кг/м³ и прочностью кубов от 6,0 до 23 МПа) при различных схемах расположения площади нагружения и может быть рекомендована для включения в отечественные ТНПА по расчету бетонных и железобетонных конструкций. В связи с возможностью получения при использовании керамзита, изготовленного на Петриковском керамзитовом заводе ОАО «Гомельский ДСК», керамзитобетона с прочностью кубов на сжатие 30 МПа и более для проверки надежности этой методики расчета необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02 с изменениями №1-5. – 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. – Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009*. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2015. – Часть 1-1. – 205 с.
4. ACI 318-14. Building Code Requirements for Reinforced Concrete. ACI 318-14 and Commentary. (318-14R). – American Concrete Institute: Farmington Hills, Mich., 2014. – 524 p.
5. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СП 63.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – Москва: Институт ОАО НИЦ «Строительство», 2013. – 152 с.

6. DIN 1045-1:2008-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion – 148 p.
7. Рак, Н.А. Сравнение отечественных и зарубежных норм по расчету элементов из легкого бетона при местном сжатии / Н.А. Рак, В.В. Бондарь // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Респ. Беларусь: Сборник научных трудов Междунар. науч.-метод. межвузовского семинара, Могилев, 16-18 ноября 2005 г. / Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2005. – С. 399–403.
8. 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.
9. Бондарь, В.В. Сопротивление элементов из легкого бетона при местном сжатии / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений в аварийных воздействиях: сб. докладов Междунар. научной конференции, посвященной 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова / Министерство образования и науки РФ, НИ МГСУ. – Москва: НИ МГСУ, 2016. – С. 62–67.
10. Цискрели, Г.Д. Прочность легкого бетона на смятие / Г.Д. Цискрели, А.Б. Пирадов, А.С. Кубанейшвили, О.М. Тодрия // Бетон и железобетон. – 1970. – № 6. – С. 18–20.
11. Цейтлин, С.Ю. Прочность бетона на смятие по очень малым площадкам / С.Ю. Цейтлин, Д.И. Яровский // Бетон и железобетон. – 1992. – № 11. – С. 16–17.
12. Соколов, Б.С. Исследования керамзитобетонных элементов при местном действии нагрузки / Б.С. Соколов, И.И. Мустафин // Изв. Вузов. Строительство. – 1995. – № 1. – С. 7–10.
13. Соколов, Б.С. Прочность керамзитобетонных элементов при действии местной нагрузки / Б.С. Соколов, И.И. Мустафин // Инженерные проблемы современного железобетона: Сб. ст.– Иванов, ИВИСИ, 1995.– С. 381–387.
14. Бондарь, В.В. Сопротивление местному сжатию элементов из конструкционного керамзитобетона: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01/ В.В. Бондарь. – Минск, 2017. – 160 с.
15. Соколов, Б.С. Новый подход к расчету бетонных элементов при действии местной нагрузки / Б.С. Соколов // Бетон и железобетон. – 1992. – № 10. – С. 22–25.
16. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.2012. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2012. – 70 с.

Материал поступил в редакцию 31.01.2018

BONDAR V.V., RAK N.A. Comparative assessment of design procedures of resistance of locally compressed expanded clay concrete element's

An overview of the design procedures of resistance of locally compressed expanded clay and other types of lightweight concrete elements are presented in publication. An analysis of the design procedure accuracy proposed by the authors of the publication, as well as other methods used in world practice, is made. The possibility of using the design procedure proposed by the authors of this publication for various schemes of local load application is considered.

УДК 624.04.681

Уласевич В.П.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИБКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДОМ ДЕФОРМАЦИЙ

Постановка задачи. В современных условиях при проектировании различных конструктивных схем зданий и сооружений, а также при разработке конструктивных решений для их усиления, наметилась тенденция на использование конструктивных систем в виде несущих каркасов, решетчатых систем типа ферм и комбинированных систем, составленных из прямолинейных стальных тонкостенных холодногнутых стержней повышенной и высокой прочности. Их

отличительная особенность – сложность учета деформаций узловых соединений, необходимость обеспечить общую устойчивость конструктивной системы, а при оценке их несущей способности – учета местной устойчивости элементов поперечного сечения профилей. Кроме того, такие конструктивные системы и их отдельные стержни обладают повышенной деформативностью, требующей учета геометрической нелинейности, проявляющейся в процессе их дефор-

Уласевич Вячеслав Прокофьевич, к.т.н., профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура