УДК 666.973:620.17

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЕГКОГО БЕТОНА

канд. техн. наук, доц. Н.А. РАК, В.В. БОНДАРЬ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Представлен анализ существующих методов расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии. Рассмотрены результаты проведенных ранее экспериментальных исследований элементов. Выполнен анализ основных результатов специально проведенных экспериментальных исследований. Предложена методика расчета прочности элементов из легкого бетона при местном концентричном сжатии. Выполнено сопоставление точности предложенной методики и методик, представленных в нормативных документах. Предложенная методика обеспечивает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных значений прочности элементов и может быть использована при дальнейшем совершенствовании отечественных технических нормативных правовых актов в области расчета бетонных и железобетонных конструкций.

Введение. Действующий в Республике Беларусь технический нормативный правовой акт по расчету бетонных и железобетонных конструкций [1] распространяется на конструкции из бетонов со средней плотностью от 2000 до 2800 кг/м^3. В связи с этим до настоящего времени проектирование конструкций из легкого бетона выполняется по нормам бывшего СССР [2].

Разработка группы технических кодексов установившейся практики Республики Беларусь, основным из которых является ТКП «Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы проектирования. Часть 1. Основные положения», взамен [1] находится на завершающей стадии. При этом эта группа ТКП будет распространяться на проектирование конструкций из бетонов со средней плотностью от 1000 до 2800 кг/м^3, 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 проводится тщательный анализ существующих методов расчета конструкций из легкого бетона при различных видах напряженно-деформированного состояния, оценивается точность и надежность расчетных зависимостей.

Исследования, представленные в настоящей работе, посвящены анализу и совершенствованию методов расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии.

Обзор методов расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии. Анализ более 20 нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций показал, что во всех из них регламентирован расчет прочности при местном сжатии элементов из тяжелого бетона. В то же время расчет прочности при местном сжатии элементов из тяжелого бетона регламентирован не во всех из рассмотренных документов.

В таблице 1 в сжатом виде представлены расчетные зависимости для определения прочности легкого бетона при действии местного сжатия по различным нормам проектирования [2 – 11]. Эти зависимости разделены на три группы, различающиеся их аналитическим видом. При этом не принимались во внимание различия в устанавливаемых нормами значениях верхних пределов зависимостей.

В приведенных в таблице 1 зависимостях сохранены обозначения соответствующих нормативных документов: $R_{b,loc}$, R_{Rdu}, $f_{c,loc}$ – прочность бетона при местном действии сжимающей нагрузки (МПа); R_b, f_{cd}, $f_c^{'}$, f_{cd} – цилиндрическая или призменная прочность бетона на осевое сжатие (МПа); R_{bt} – прочность бетона на осевое растяжение (МПа); $A_{b,loc}$, A_{c0} – площадь бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка; $A_{b,\max}$, A_{c1} – условная площадь бетона, на которую распределяются напряжения при местном действии сжимающей нагрузки; ρ – средняя плотность легкого бетона (кг/м^3).

Анализ выбранных для сопоставления нормативных документов [2 – 11] показал, что в большинстве своем в них используются эмпирические зависимости, лишенные физического смысла.

Экспериментальным исследованиям элементов из легкого бетона при местном сжатии было уделено значительно меньшее внимание, чем исследованиям элементов из тяжелого трехкомпонентного бетона. Так, например, выборка экспериментальных данных по прочности элементов из тяжелого трехкомпонентного бетона при концентричном сжатии составляет более 900 образцов [3; 4]. В то же время выборка (табл. 2) доступных экспериментальных данных по прочности элементов из легкого бетона (неармированных) при концентричном местном сжатии [14 – 17] составляет менее 100 образцов.

Таблица 1

Расчетные зависимости для определения прочности легкого бетона
при действии местного сжатия по различным нормам проектирования

№ гр.	Нормативный документ	Расчетная зависимость
1	СНиП 2.03-01-84* [2]	$R_{b,loc} = 13{,}5 \cdot R_{bt} \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \le 20 R_{bt}$ при В25…В40; $R_{b,loc} = R_b \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \le 2{,}5 R_b$ при В10…В20; $R_{b,loc} = R_b \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \le 1{,}5 R_b$ при В3,5…В7,5
	NS 3473:1994 [3], DIN 4219-2 [4]	$R_{Rdu} = f_{cd} \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \le 2 f_{cd}$
2	ACI 318-02 [5]; NZ 3101.1 [6]; CIRSOC 201 [7]	$f_{c,loc} = \phi \cdot 0{,}85 \cdot f_c^{'} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \le 2{,}0 \cdot \phi \cdot 0{,}85 \cdot f_c^{'}$, где $\phi = 0{,}7$
	EHE [8]	$R_{Rdu} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \le 3{,}3 \cdot \alpha \cdot f_{cd}$
3	EN 1992-1-1:2004 [9]; ВВК04 [10]	$R_{Rdu} = f_{cd} \cdot \left\{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}\right\}^{\frac{\rho}{4400}} \le 3 \cdot (\frac{\rho}{2200}) f_{cd}$
	DIN1045-1:2001 [11]	$R_{Rdu} = f_{cd} \cdot \left\{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}\right\}^{\frac{\rho}{4800}} \le \frac{\rho}{800} f_{cd}$

Таблица 2

Основные сведения о выборке опытных образцов из легкого бетона,
испытанных при концентричном местном сжатии

Автор	Кол-во	ρ, кг/м^3	f_c, МПа	$\frac{A_{c1}}{A_{c0}}$	[2 – 4]		[5 – 8]		[9; 10]	
					$\frac{\varphi_{loc,cal}}{\varphi_{loc,obs}}$	C_v	$\frac{\varphi_{loc,cal}}{\varphi_{loc,obs}}$	C_v	$\frac{\varphi_{loc,cal}}{\varphi_{loc,obs}}$	C_v
Hawkins [14]	12	–	33,5	4…36	0,817	0,091	1,241	0,052	–	–
Цискрели и др. [15]	54	1390…1960	9,5…26,5	4…45,8	0,547	0,233	0,821	0,124	0,638	0,231
Семенцов [16]	6	–	17,0	4…25	0,671	0,210	0,965	0,077	–	–
Соколов, Мустафин [17]	9	1100	5,4…6,1	1,56…11,1	0,770	0,158	0,965	0,145	0,693	0,207
Bonetti [18]	10	–	53,5	2,56…16	1,034	0,081	1,427	0,097	–	–
Итого	91	1100…1960	5,4…53,5	1,56…45,8	0,666	0,301	0.967	0,247	0,646	0,228

В связи с отсутствием в некоторых источниках [14; 16; 18] отдельных данных, требуемых для выполнения расчетов, не по всем методикам расчета удалось выполнить сравнение по полной выборке данных. Полученные результаты вычислений представлены в таблице 3.

Таблица 3

Основные сведения об опытных образцах первой серии

№ п/п	Марка образца	Размеры образцов, мм	ρ*, кг/м^3	Размеры штампов, мм	Прочность бетона на сжатие по контрольным кубам, МПа
1	К-150	150×150×150	1500	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	17,22
2			1740		22,07
3	К-200	200×200×200	1500	20×20, 40×40, 60×60, 120×120	17,69
4			1740		22,76
5	К-300	300×300×300	1550	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	17,78
6			1770		22,94
* – средняя плотность бетона контрольных кубов.					

Как следует из приведенных в таблице 3 данных, расчетная зависимость норм [2 – 4] значительно (на 30 %) занижает прочность бетона при местном сжатии и обладает невысокой точностью. Расчетная зависимость норм [9; 10] дает еще большее (до 35 %), чем по [2 – 4], занижение прочности бетона, хотя и обеспечивает более высокую точность. Расчетные зависимости норм [5 – 8] обеспечивают близкие к 1 средние значения, однако дают большие значения коэффициента вариации.

В отличие от других норм [2 – 11], в отечественных нормах [1] расчет прочности при местном сжатии элементов из тяжелого бетона выполняется по зависимости (1), отражающей по своей структуре четкий физический смысл, заключающийся в повышении прочности бетона за счет появления бокового давления бетона, расположенного по периметру нагруженного сечения.

$$f_{cud} = f_{cd} + k_u f_{ctd}\left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1\right) \le \omega u,\ \max f_{cd}, \tag{1}$$

где f_{ctd} – расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие (МПа); R_{bt} – прочность бетона на осевое растяжение (МПа); k_u – коэффициент эффективности бокового обжатия; $\omega_{u,\max}$ – предельное значение коэффициента.

Впервые использование имеющей четкий физический смысл зависимости (1) для расчета элементов из легкого бетона на местное сжатие было предложено в [12]. Как показали расчеты, использование зависимости (1) при значении коэффициента эффективности бокового обжатия k_u = 0,9 дает вполне удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных значений. Вместе с тем анализ приведенных экспериментальных данных свидетельствует об их существенной изменчивости. Влияние средней плотности бетона на значение прочности легкого бетона при местном сжатии практически не прослеживается. Возможно, это связано с малым объемом экспериментальных данных, а также с тем, что методика проведения испытаний в исследованиях [14 – 18] была различной.

В связи с этим для разработки более обоснованной методики расчета была поставлена задача выполнить специальные исследования элементов из легкого бетона, изготовленного из имеющихся в Республике Беларусь исходных материалов, при местном сжатии с варьированием не только характера приложения нагрузки и прочностных характеристик бетона, но и его средней плотности в возможном диапазоне ее изменения.

Методика экспериментальных исследований. Для достижения поставленной цели, а именно создания научно обоснованной методики расчета прочности и деформативности элементов из легкого бетона при местном сжатии, были выполнены экспериментальные исследования, основные задачи которых заключались в следующем:

- исследовать влияние на прочность легкого бетона при местном сжатии масштабного фактора при различных соотношениях размеров загружаемой плоскости элемента к площади приложения нагрузки;
- исследовать влияние на прочность и деформативность легкого бетона при местном сжатии соотношения размеров загружаемой плоскости элемента к площади приложения нагрузки.

С учетом перечисленных выше задач было выполнено планирование эксперимента, разработаны конструкции опытных образцов, выполнено их изготовление в условиях заводского производства с использованием имеющихся в Республике Беларусь исходных материалов.

Для решения первой задачи предназначена первая серия опытных образцов в количестве 72 шт.; в качестве образцов приняты кубы трех размеров (см. табл. 3).

Для решения второй из перечисленных задач предназначена вторая серия образцов опытных образцов в количестве 72 шт. (табл. 4). В качестве образцов приняты призмы трех размеров с отношением их высоты к размеру поперечного сечения, равным 2.

Таблица 4

Основные сведения об опытных образцах второй серии

№ п/п	Марка образца	Размеры образцов, мм	ρ, кг/м^3	Размеры штампов, мм	Кол-во шт.
1	П-150	150×150×300	1320	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	12
2			1740		12
3	П-200	200×200×400	1375	20×20, 40×40, 80×80, 120×120	12
4			1750		12
5	П-300	300×300×600	1370	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	12
6			1770		12

Образцы (по 24 куба и призмы каждого размера) 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 100×100×100 мм. Сведения о количестве образцов для испытания и характеристиках бетона образцов приведены выше, в таблице 4.

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 концентрично через штампы, размеры которых приведены в таблицах 3 и 4.

Перед испытаниями каждый из образцов осматривался, измерялись его размеры, затем выполнялось взвешивание образца для последующего определения фактической средней плотности.

В начале испытания образец центрировался на плите пресса, после этого 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 в секунду.

Разрушение всех образцов происходило с образованием в области под штампом так называемого клина, имеющего вид перевернутой пирамиды, и сопровождалось раскалыванием образца по вертикальным плоскостям с последующим сдвигом клина по одной из его боковых граней. Схема образования трещин и разрушение образцов представлены на рисунках 2 и 3. Образовавшаяся пирамида затем извлекалась из разрушенного бетона, ее параметры (высота и наклон граней) измерялись. Бетон по расколовшимся плоскостям осматривался, изучалась его структура, фиксировалось наличие и расположение раковин и т. д.

Рис. 1. Характер разрушения кубов 150×150×150 мм
при передаче нагрузки через штамп сечением 9×90 мм

Рис. 2. Характер разрушения призм 150×150×300 мм
при передаче нагрузки через штамп сечением 30×30 мм

Анализ основных результатов экспериментальных исследований. Анализ основные результатов испытаний первой серии образцов свидетельствует о достаточной стабильности полученных на образцах-близнецах величин разрушающей нагрузки в пределах каждой из групп образцов. Только в 6 образцах из 72 отклонение частных значений от средней по группе величины разрушающей нагрузки превышало 15 %, что для испытаний на местное сжатие можно считать вполне удовлетворительным. Все эти опытные образцы характеризуются большими размерами штампов (90 и 120 мм), где сложно осуществить точную центровку. Эти образцы были исключены из дальнейшего анализа, а средние значения определены по двум оставшимся образцам этой группы.

Затем по средним значениям напряжений σ_u для каждой группы образцов были определены значения коэффициента ω_{obs} повышения прочности бетона при местном приложении нагрузки по формуле:

$$\omega_{obs} = \frac{\sigma_u}{f_{lc}}, \tag{2}$$

где f_{lc} – прочность на сжатие цилиндров размерами 150×300 мм, определенная по значениям прочности контрольных кубов размерами 100×100×100 мм, усредненным для образцов с близкой плотностью. При этом использовались следующие значения переходных коэффициентов: 0,95 для перехода от прочности кубов 100×100×100 мм к прочности кубов 150×150×150 мм; 0,9 для перехода от прочности кубов 150×150×150 мм к прочности цилиндра размерами 150×300 мм.

Анализ полученных значений ω_{obs} показал, что независимо от размера образца и средней плотности бетона характер их изменения одинаков – с увеличением значения R происходит увеличение значений ω_{obs}. Необходимо отметить, что характер разрушения призм в целом соответствует результатам, полученным при испытании кубов. Разрушение всех образцов также происходило с образованием в области под штампом так называемого клина, имеющего вид перевернутой пирамиды, и сопровождалось раскалыванием образца по вертикальным плоскостям (см. рис. 2) с последующим сдвигом клина по одной из его боковых граней.

Анализ основных результатов испытаний второй серии образцов также свидетельствует о достаточной стабильности полученных на образцах-близнецах величин разрушающей нагрузки в пределах каждой из групп образцов. Только в 8 образцах из 72 отклонение частных значений от средней по группе величины разрушающей нагрузки превышало 15 %, что для испытаний на местное сжатие можно считать вполне удовлетворительным. Все эти опытные образцы характеризуются большими размерами штампов (90 и 120 мм), где сложно осуществить точную центровку. Эти образцы были исключены из дальнейшего анализа, а средние значения определены по 2 оставшимся образцам этой группы.

По результатам испытаний 64 образцов-призм также были определены опытные значения коэффициента повышения прочности бетона при местном сжатии $\omega_{u,obs}$. Анализ опытных значений этого коэффициента показал, что независимо от размера образца и средней плотности бетона характер их изменения аналогичен полученному при испытании образцов-кубов.

Результаты исследований в дальнейшем были использованы при проверке точности различных методик расчета прочности легкого бетона при местном сжатии; определены опытные значения коэффициентов эффективности бокового обжатия по зависимости

$$k_u = \frac{\omega_{obs} - 1}{\psi}, \tag{3}$$

где

$$\psi = \frac{f_{lct}}{f_{lc}} \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right). \tag{4}$$

На рисунках 3 и 4 представлены значения коэффициента эффективности бокового обжатия k_u в зависимости от изменения коэффициента относительного бокового обжатия ψ и средней плотности бетона ρ.

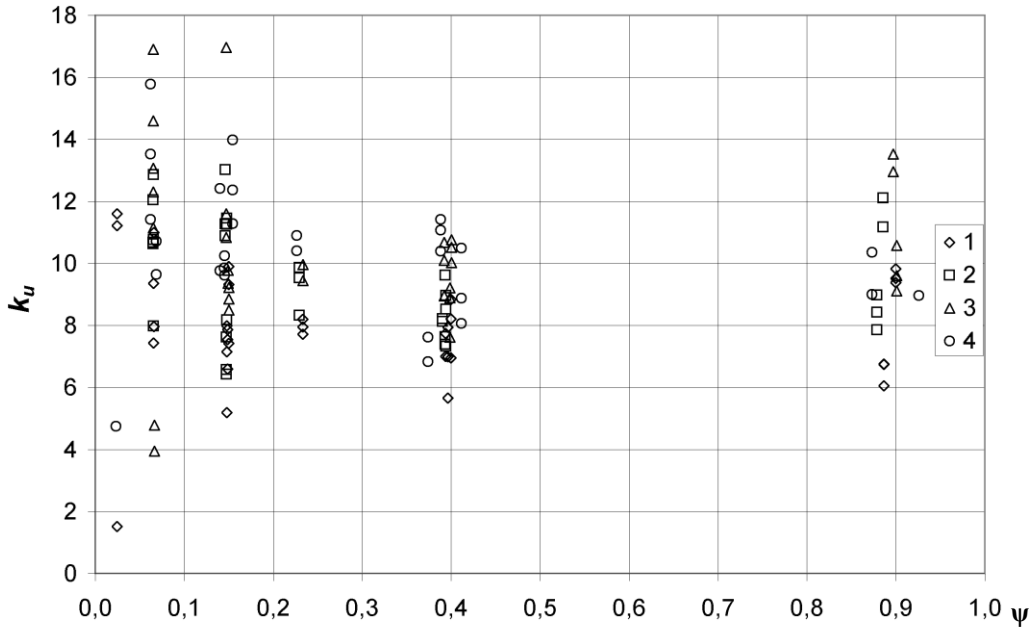

Рис. 3. Изменение опытных значений k_u при различных значениях параметра ψ:
1 – кубы (ρ = 1500…1550 кг/м^3); 2 – кубы (ρ = 1740…1770 кг/м^3);
3 – призмы (ρ = 1730…1770 кг/м^3); 4 – призмы (ρ = 1320…1375 кг/м^3)

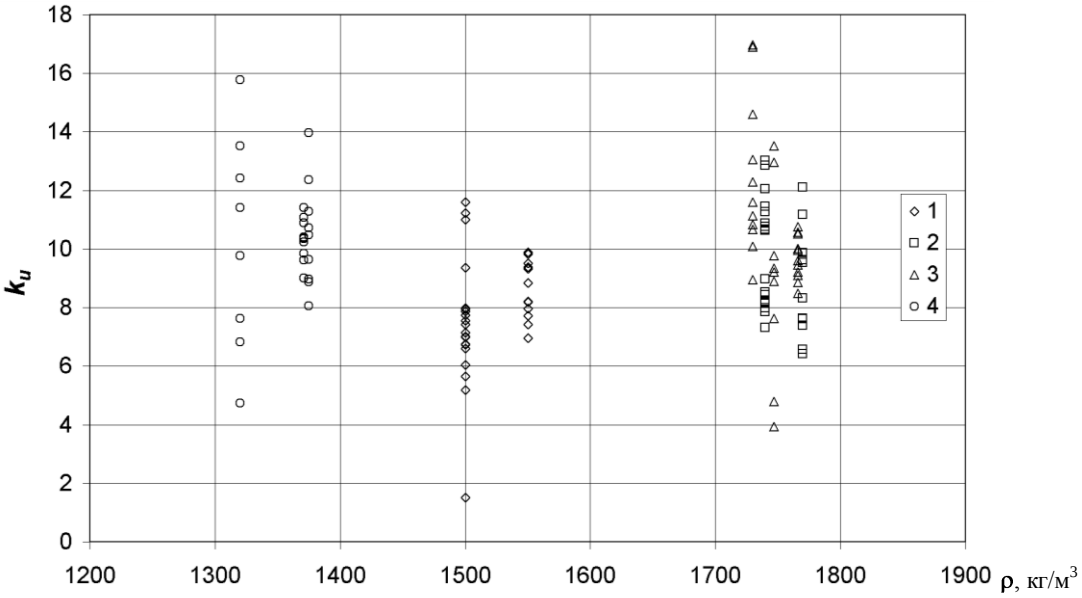

Рис. 4. Изменение опытных значений k_u при различных средних плотностях бетона ρ:
1 – кубы (ρ = 1500…1550 кг/м^3); 2 – кубы (ρ = 1740…1770 кг/м^3);
3 – призмы (ρ = 1730…1770 кг/м^3); 4 – призмы (ρ = 1320…1375 кг/м^3)

Как следует из рисунков 3 и 4, функциональной связи между значениями коэффициента эффективности бокового обжатия k_u и значениями параметров ψ и ρ не прослеживается. Это позволяет сделать вывод о том, что значение коэффициента эффективности бокового обжатия k_u может быть принято постоянным. По результатам вычислений это значение в среднем по всем образцам составило 9,5.

Методика расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии. Предлагаемая методика расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии базируется на методике [1; 3; 4], исходящей из того, что повышение прочности бетона при местном сжатии по сравнению с его прочностью при осевом обусловлено влиянием бокового давления, создаваемого окружающим область нагружения бетоном. Согласно предлагаемой методике для расчета прочности легкого бетона при местном сжатии следует использовать следующую зависимость:

$$f_{lcu} = \omega_u \cdot f_{lc}, \tag{5}$$

где ω_u – коэффициент, учитывающий повышение прочности бетона при местном сжатии; f_{lc} – сопротивление легкого бетона осевому сжатию.

Коэффициент ω_u, учитывающий повышение прочности бетона при смятии, определим как

$$\omega_u = 1 + k_u \cdot \frac{f_{lct}}{f_{lc}} \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) = 1 + k_u \cdot \psi. \tag{6}$$

Здесь k_u – коэффициент эффективности бокового давления при смятии (значение k_u следует принимать равным 9,5); f_{lc} и f_{lct} – сопротивление легкого бетона осевому сжатию и растяжению соответственно; A_{c1} – площадь поперечного сечения бетонного образца; A_{c0} – площадь приложения нагрузки; ψ – параметр относительного бокового обжатия.

При этом сопротивление бетона осевому растяжению должно определяться по формуле норм [9]:

$$f_{lct} = \left(0,4 + \frac{0,6\rho}{2200} \right) \cdot f_{ct}, \tag{7}$$

где ρ – средняя плотность легкого бетона (кг/м^3); f_{ct} – сопротивление бетона осевому растяжению.

Зависимость была получена по результатам испытаний 130 образцов из легкого бетона (66 кубов и 64 призм), применима при диапазоне изменения средней плотности бетона 1300…1800 кг/м^3 и диапазоне изменения параметра отношения $\psi < 1$.

С использованием предложенной методики расчета по приведенным выше формулам (5) – (7) были получены значения разрушающих нагрузок для всех 130 опытных образцов. Среднее отношение опытных и расчетных значений составило 0,993 при коэффициенте вариации 0,144 (рис. 5).

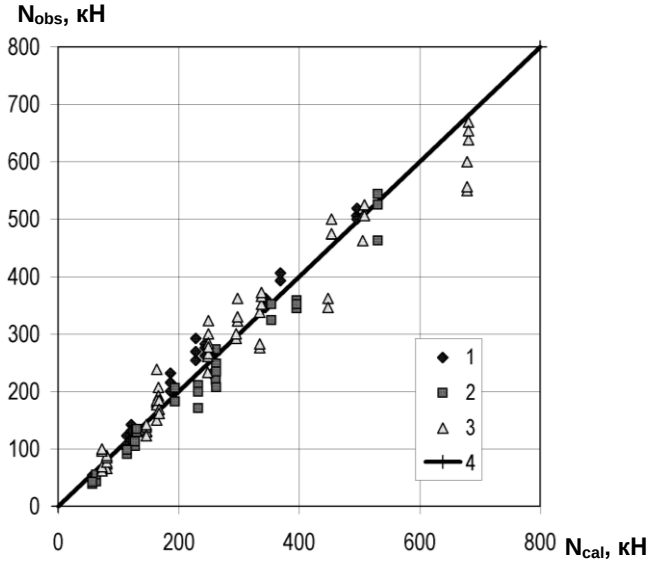

Рис. 5. Сопоставление опытных значений с расчетными значениями по предложенной методике расчета: 1 – при ρ = 1320…1375 кг/м^3; 2 – при ρ = 1500…1550 кг/м^3; 3 – при ρ = 1730…1770 кг/м^3; линия $N_{obs} = N_{cal}$

Выполненные по методике норм [9] расчеты дали среднее отношение опытных и расчетных значений 1,364 при коэффициенте вариации 0,226, а выполненные по методике норм бывшего СССР [2] – 1,477 при коэффициенте вариации 0,245.

Выводы:

- результаты экспериментальных исследований элементов из легкого бетона (керамзитобетона со средней плотностью 1320…1770 кг/м^3) при концентричном местном сжатии показали, что значение коэффициента эффективности бокового обжатия практически не зависит от средней плотности легкого бетона и уровня бокового обжатия. Это значение может быть принято постоянным и равным 9,5;
- в развитие положений норм [1] предложена методика расчета прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона, которая обеспечивает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных значений прочности элементов;
- по своей точности предложенная методика расчета значительно превышает точность методик расчета норм [2; 9] и может быть использована при дальнейшем совершенствовании отечественных ТНПА в области расчета бетонных и железобетонных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкции бетонные и железобетонные: СНБ 5.03.01-02 / МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2003. – 140 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Concrete structures. Design and detailing rules: NS 3473:1994. – 1994. – 136 p.
4. Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem. Gefüge; Bemessung und Ausführung: DIN 4219-2: 1979.
5. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318-02R). – American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2002. – 443 p.
6. Concrete Structures Standard: NZ 3101.1:2004 (draft), 2004. – 274 p.
7. Reglamento Argentino De Estructuras De Hormigon: CIRSOC 201. – INTI, Buenos-Aires, 2002. – 518 p.
8. Instruccion de Hormigon Estructural: EHE. – Madrid, 1998. – 360 p.
9. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings: EN 1992-1-1:2004. – CEN, Brussels, 2004. – 225 p.
10. Boverkets handbok om betongkonstruktioner: BBK 04, 2004. – 271 p.
11. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion: DIN 1045-1:2001-07. – 148 p.
12. Тур, В.В. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций: моногр. / В.В. Тур, Н.А. Рак. – Брест: Изд-во БГТУ, 2003. – 252 с.
13. Rak, N. Plain Concrete Strength Under Local Compression According To Belarusian Building Code / N. Rak // Behavior of Concrete at High Temperatures and Advanced Design of Concrete Structures. – Минск: Технопринт, 2003. – С. 206 – 217.
14. Hawkins, N. The bearing strength of Concrete Loaded through Rigid Plate / N. Hawkins // Magazine of Concrete Research. – 1968. – V. 22, № 62. – P. 31 – 40.
15. Прочность легкого бетона на смятие / Г.Д. Цискрели [и др.] // Бетон и железобетон. – 1970. – № 6. – С. 18 – 20.
16. Семенцов, С.А. Местное краевое и внецентренное сжатие бетона и кладки / С.А. Семенцов // Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 98 – 106.
17. Соколов, Б.С. Исследования керамзитобетонных элементов при местном действии нагрузки / Б.С. Соколов, И.И. Мустафин // Инженерные проблемы современного железобетона: сб. ст. – Иваново: ИвИСИ, 1995. – С. 381 – 387.
18. Bonetti, R. Ultimate Strength of the Local Zone in Load Transfer Tests: MSc thesis / R. Bonetti. – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2005. – 98 p.

Поступила 30.11.2011

A BEARING STRENGTH DESIGN PROCEDURE FOR LIGHTWEIGHT CONCRETE ELEMENTS

N. RAK, V. BONDAR

In article the analysis of existing methods of calculation of strength of lightweight concrete elements is made at local compression. Results of the elements spent before experimental investigations are considered. The analysis of the basic results of specially spent experimental investigation is made. The design procedure of strength of lightweight concrete elements is offered at local concentrical compression. Comparison of accuracy of the offered design procedure and the procedures presented in standard documents is executed.