

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 624.012.35-183.4

БОНДАРЬ
Вадим Викторович

**СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕСТНОМУ СЖАТИЮ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции,
здания и сооружения

Минск, 2017

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

**Научный
руководитель**

РАК Николай Александрович,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры
«Железобетонные и каменные конструкции» Бело-
русского национального технического университета,
г. Минск

**Официальные
оппоненты:**

СЕМЕНЮК Славик Денисович,
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Строительные конструкции, здания и со-
оружения» ГУВПО «Белорусско-Российский универси-
тет», г. Могилев;

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Промышленные и гражданские сооружения»
УО «Белорусский государственный университет транс-
порта», г. Гомель

**Оппонирующая
организация**

РУП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.»,
г. Минск

Защита состоится 30 июня 2017 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.09 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220114, г. Минск, проспект Независимости, 150, корп. 15, ауд. 808; e-mail: rcs@bntu.by; тел./факс 8 (017) 265-96-97.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует направлять на имя ученого секретаря совета по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национально-го технического университета.

Автореферат разослан «30» мая 2017 г.

Заместитель председателя
совета по защите диссертаций
доктор технических наук

Е.М. Сидорович

© Бондарь В.В., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Применение легких бетонов при возведении несущих конструкций в настоящее время представляется достаточно перспективным, в особенности с учетом повышающегося качества применяемого оборудования и оснастки, появления новых химических модификаторов, позволяющих при относительно низких расходах цемента получать бетоны с более высокими значениями прочности.

Применение легких бетонов обеспечивает достижение следующих преимуществами по сравнению с применением тяжелого бетона:

- снижение собственной массы бетонных и железобетонных конструкций позволяет существенно снизить нагрузки на фундаменты, благодаря чему появляется возможность возводить более высокие и массивные сооружения, чем при использовании тяжелого бетона;

- использование заполнителей из отходов металлургической промышленности (гранулированные шлаки или соответствующим образом обработанные золы) может позволить значительно снизить расходы на транспортировку легких бетонов, будет способствовать уменьшению использования полезных площадей под отвалы, будет способствовать охране окружающей среды;

Экономический эффект от применения легких бетонов, в том числе и от керамзитобетона, получают не только за счет снижения собственной массы конструкций с соответственным уменьшением расхода арматурной стали, но и в результате улучшения теплофизических характеристик, а также повышения морозостойкости и огнестойкости.

Передача нагрузки на многие бетонные и железобетонные конструкции происходит по площади, составляющей только часть их нагружаемой плоскости. При этом в конструкции возникает сложное напряженное состояние, характеризующееся значительной концентрацией напряжений как сжимающих так и, что более опасно, растягивающих. Расположение места приложения к конструкции нагрузки в значительной степени определяет вид напряженного состояния, характер образования в конструкции трещин и разрушения конструкций.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что на территории Республики Беларусь легкие бетоны плотностью от 1200 до 1800 кг/м³ представлены практически единственным материалом – керамзитобетоном. При этом прочность и деформативность керамзитобетона указанной плотности в условиях местного сжатия практически не исследованы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Работа выполнялась по государственной программе ориентированных фундаментальных исследований «Строительство и архитектура» (2006–2010 гг.) по заданию 32 «Разработать структурно-механические модели бетона и железобетона для применения в деформационных расчетах железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии» (ГБ № 06-70, сроки выполнения: 2006–2010 гг., № ГР 20061390), по перечню работ по техническому нормированию и стандартизации Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь на 2010 год (шифр темы 2.5.03.48) «Провести исследование и разработать технический кодекс установившейся практики ТКП «Бетонные и железобетонные конструкции. Часть 4. Конструкции из керамзитобетона. Правила проектирования» (х/д № 848/10, сроки выполнения 2010–2011 гг.)

Цель и задачи исследований.

Цель работы – разработка и научное обоснование методики расчета сопротивления элементов из керамзитобетона при осевом местном сжатии.

Для достижения сформулированной цели были решены следующие основные задачи:

- выполнен обзор и анализ научно-технической и нормативной литературы, относящейся к вопросам расчета сопротивления местному сжатию элементов из легкого бетона без поперечного армирования и с поперечным армированием, а также методов оценки величин контактных деформаций при местном сжатии;
- проведены испытания элементов из керамзитобетона плотностью от 1200 до 1800 кг/м³ и на основе полученных экспериментальных данных выполнен анализ влияния различных физико-геометрических параметров на сопротивление местному сжатию элементов из керамзитобетона без поперечного армирования и с поперечным армированием сварными сетками;
- на основе анализа полученных экспериментальных данных сделан вывод об общей применимости модели напряженно-деформированного состояния, изложенной в нормах СНБ 5.03.01-02, для расчета сопротивления местному сжатию элементов из керамзитобетона;
- на основе анализа экспериментальных данных исследовано влияние косвенного армирования на несущую способность элементов из керамзитобетона плотностью от 1200 до 1750 кг/м³, определены значения коэффициента эффективности косвенного армирования при местном осевом применительно к расчетной модели, разработанной в РБ для расчета элементов из тяжелого бетона;
- разработаны предложения по уточнению коэффициентов расчетных зависимостей СНБ 5.03.01-02 для расчета сопротивления местному сжатию элементов из керамзитобетона с косвенным армированием поперечными сетками и без него;
- проведена оценка точности модели сопротивления элементов из керамзитобетона с косвенным армированием поперечными сетками и без него при осевом местном сжатии с учетом разработанных уточненных зависимостей.

Объект исследований: элементы из керамзитобетона с косвенным армированием поперечными сварными сетками и без него, работающие в условиях осевого местного сжатия;

Предмет исследований: сопротивление элементов из керамзитобетона с косвенным армированием поперечными сварными сетками и без него при осевом местном сжатии.

Научную новизну работы составляют:

- экспериментальные данные о сопротивлении местному осевому сжатию керамзитобетонных элементов, изготовленных с использованием отечественных легких заполнителей, из керамзитобетона со средней плотностью от 1300 до 1800 кг/м³ и прочностью на сжатие от 16 до 23 МПа с варьированием конструктивной формы и размеров элементов, соотношения размеров нагружаемой поверхности и размера площади нагружения;

- экспериментальные данные о сопротивлении местному осевому сжатию керамзитобетонных элементов, изготовленных с использованием отечественных легких заполнителей, из керамзитобетона со средней плотностью от 1200 до 1750 кг/м³ и прочностью на сжатие от 14 до 22 МПа, косвенно армированных поперечными сетками, с варьированием объемного коэффициента косвенного армирования и размера площади нагружения;

- установленные по экспериментальным данным значения коэффициента эффективности бокового обжатия при местном осевом сжатии керамзитобетонных элементов применительно к расчетной модели, разработанной в Республике Беларусь для расчета элементов из тяжелого бетона;

- установленные по экспериментальным данным значения коэффициентов, учитывающих влияние косвенного армирования при местном осевом сжатии керамзитобетонных элементов применительно к расчетной модели, разработанной в Республике Беларусь для расчета элементов из тяжелого бетона;

- зависимости для определения коэффициента эффективности бокового обжатия и коэффициентов, учитывающих влияние косвенного армирования, при расчете несущей способности керамзитобетонных элементов при местном осевом сжатии;

- экспериментальные данные о вертикальных перемещениях жесткого штампа, передающего осевую сжимающую нагрузку, на керамзитобетонные элементы при отношении размера штампа к размеру нагружаемой плоскости элемента в пределах 0,1 до 0,8 при косвенном армировании элементов поперечными сетками и без него.

Практическое значение работы заключается в том, что ее результаты могут быть использованы при проектировании несущих конструкций из керамзитобетона для объектов промышленного и гражданского строительства.

Положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментальные данные о сопротивлении местному осевому сжатию керамзитобетонных элементов, изготовленных с использованием отечественных легких заполнителей, из керамзитобетона со средней плотностью от 1300 до 1800 кг/м³ и прочностью на сжатие от 16 до 23 МПа с варьированием конструктивной формы и размеров элементов, соотношения размеров нагружаемой поверхности и размера площади нагружения

2. Экспериментальные данные о сопротивлении местному осевому сжатию керамзитобетонных элементов, изготовленных с использованием отечественных легких заполнителей, из керамзитобетона со средней плотностью от 1200 до 1750 кг/м³ и прочностью на сжатие от 14 до 23 МПа, косвенно армированных поперечными сетками, с варьированием объемного коэффициента косвенного армирования и размера площади нагружения;

3. Методика расчета сопротивления местному осевому сжатию керамзитобетонных элементов при наличии косвенного армирования поперечными сетками и без него, основанная на расчетной модели СНБ 5.03.01-02 и уточненных зависимостях для определения значений коэффициента эффективности бокового обжатия и коэффициента, учитывающего влияние объемного коэффициента косвенного армирования при местном сжатии.

Личный вклад соискателя. Автором лично сформулированы положения, выносимые на защиту, а также результаты экспериментальных и теоретических исследований. Научный руководитель Рак Н.А. определял направления исследований, принимал участие в обсуждении целей и задач исследования, в постановке экспериментальных исследований, в выборе методологии теоретических исследований и обсуждении их основных результатов, оказывал помощь во внедрении результатов исследований в нормативную документацию.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах: II, III международных симпозиумах «Проблемы современного бетона и железобетона» (Минск, 2009, 2011 гг.); XVI международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь» (Гродно, 2010 г.); научно-методическом семинаре «Повышение качества подготовки студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» (Минск, 2011 г.), научно-методическом семинаре «Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства» (Минск, 2013 г.), 8-й, 9-й, 11-й, 12-й международных научно-технических конференций «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2010, 2011, 2013, 2014 гг.), международной научно-технической конференции посвященной 100-летию со дня рождения И.И. Ахвердова и С.С. Атаева «Инновации в бетоне, строительстве, производстве и подготовке инженерных кадров» (Минск, 2016 г.), научно-практическом семинаре «Керамзит в строительстве: проблемы и перспективы применения в промышленном и гражданском строительстве» (Минск, 2016 г.).

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из которых 4 статьи в научных журналах и сборниках научных трудов, соответствующих перечню ВАК Республики Беларусь, общим объемом 3,3 печ. листа, 9 статей в сборниках материалов конференций и 3 тезисах докладов, общим объемом 4.1 печ.л..

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, выводов, заключения, списка литературы, включающего список использованных источников, состоящий из 129 наименований, и список публикаций соискателя, состоящий из 16 наименований, приложе-

ний. Объем работы 160 страниц, включая 125 страниц машинописного текста, 72 рисунка и 27 таблиц, 2 приложения на 14 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе представлен обзор методов расчета сопротивления и деформаций элементов из легкого бетона в условиях местного сжатия.

Проблеме расчетов сопротивления и эксплуатационной пригодности легкобетонных элементов были посвящены исследования ученых республик бывшего СССР¹⁾, а также стран ближнего и дальнего зарубежья²⁾. Изучению прочности и трещиностойкости сжатых и изгибаемых элементов из легкого бетона, технологическим и физико-механическим свойствам керамзитобетона были посвящены исследования белорусских ученых³⁾.

В главе подробно рассмотрены экспериментальные исследования сопротивления неармированных легкобетонных элементов-кубов в условиях местного осевого, внецентренного, полосового сжатия, проведенные Г.Д. Цискрели, А.Б. Пирадова, А.С. Кубанейшвили, О.М. Тодрия, исследования проведенные С.Ю. Цейтлиным и Д.И. Яровским, исследования сопротивления местному сжатию, проведенные в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, на стеновых панелях из керамзитобетона.

Рассмотрена методика расчета прочности легкобетонных элементов при местном сжатии, разработанная Б.С. Соколовым, И.И. Мустафиным и А.Б. Антаковым, основанная на модели разрушения легкого бетона при местном сжатии, согласно которой деструктивные явления в элементе, подвергнутом воздействию местной нагрузки, начинаются в сжато-растянутой области, затем разрушение происходит от преодоления сопротивления отрыву, раздавливанию и завершается сдвигом вдоль граней клиньев под грузовыми площадками.

Анализ исследований С. Roberts-Wollmann, T. Banta, R. Bonetti, F. Charney, D. Axson, которые касались по большей части проверки существующей методики расчета сопротивления элементов из легкого бетона при местном сжатии, изложенной в американских нормах, позволил выявить, что методика расчета, предложенная вышеупомянутыми авторами, основывается на теории распределения напряжений в области под штампом (при местном сжатии) не вполне соответствующей реальности.

1) Г.Д. Цискрели, А.Б. Пирадов, А.С. Кубанейшвили, О.М. Тодрия, С.Ю. Цейтлин, Д.И. Яровский, Б.С. Соколов, И.И. Мустафин, А.Б. Антаков, К.В. Петрова, М.А. Юлдашев, Ю.В. Свидзинский, М.М. Мирмунинов, А.П. Васильев, В.П. Митрофанов, О.А. Довженко; Г.Л. Лисицын, И.А. Русинев, К. Шлежевичус, В.В. Венцяквичос, Л.Н., Зайцев, И. Бунна, Л.К. Лукша, В.И. Довгалюк, Г.Л. Кац, Д.К. Баулин, В.А. Дорф.

2) С. Roberts-Wollmann, T. Banta, R. Bonetti, F. Charney, D. Axson.

3) Я.И. Дрозд, Г.П. Пастушков, М.М. Плетнев, А.Т. Лобанов, Г.Г. Мадалинский, И.И. Неверович, Ф.П. Босовец, В.А. Косарев; Н.П. Блещик, Н.С. Протько, А.Я. Лихачевский, С.Д. Семенюк.

В результате сопоставления расчетных зависимостей для случая местного сжатия, используемых в нормах проектирования стран СНГ⁴⁾ и за рубежом⁵⁾ было установлено, что большинство из этих зависимостей являются исключительно эмпирическими и малопригодны для использования в реальных инженерных расчетах. В результате этого происходит существенная недооценка, либо переоценка несущей способности легкого бетона (в том числе и керамзитобетона). Кроме того, несмотря на определенную схожесть в подходах к проведению испытаний, имеются различные взгляды на механизм трещинообразования и разрушения при местном сжатии.

В главе также представлен обзор исследований отечественных и иностранных ученых⁶⁾, касавшиеся изучения контактных деформаций. При этом обращено внимание на то, что в этих исследованиях изучался только бетон нормальной плотности (средняя плотность более 2000 кг/м³).

Вторая глава содержит методику проведения испытаний элементов из керамзитобетона бетона при осевом местном сжатии

Программа исследований (рисунок 1) включала в себя испытание трех серий опытных образцов: кубы трех типоразмеров, неармированные призмы трех типоразмеров с отношением высоты к размеру поперечного сечения, равному 2, призмы одного типоразмера с применением поперечного армирования в виде сварных сеток из арматурных стержней Ø6, 8 мм класса S400, с варьированием степени армирования в двух уровнях (объемный процент армирования ρ_{xy} был равен 1,88 и 3,35%) [6]. В пределах каждой из серий опытных образцов варьировалась средняя плотность керамзитобетона в пределах от 1200 до 1800 кг/м³. Основные характеристики образцов представлены в таблице 1. Образцы изготавливались в заводских условиях на ОАО «Минскжелезобетон» из керамзитобетонной 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», а в качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок. Изготовление образцов производилось посерийно из замесов керамзитобетона 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.

4) СНБ 5.03.01–2002, СП 63.13330. 2012, ТКП EN 1992–1–1–2009, СНиП 2.03.01–84.

5) ACI 318–2014, ENV 1992–1–1, Eurocode EN 1992–1–1:2004, DIN 1045–1:1998, DIN 1045–1:2008–08.

6) В.М. Поздникин, Ю.В. Коваль, И.А. Русинов, Н.А. Пак., К. Lieberum, Н. Reinhardt, R. Koch, A. Griezic, W. Cook, D. Mitchell.

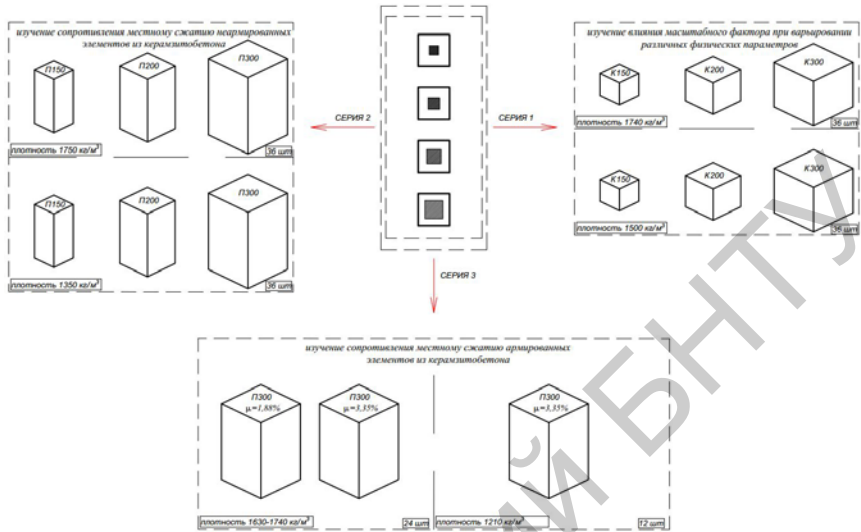


Рисунок 1. – Программа исследований

Таблица 1 – Программа экспериментальных исследований

№ серии	Марка образца	Размеры образцов, мм	ρ^* , кг/м ³	Процент армирования μ , %	Размеры штампов, мм	Колич., шт
1	К-150-13	150×150×150	1500	-	30х30, 60х60, 90х90, 120х120	12
	К-150-18		1740			12
	К-200-13	200×200×200	1500	-	20х20, 40х40, 80х80, 120х120	12
	К-200-18		1740			12
	К-300-13	300×300×300	1550	-	30х30, 60х60, 90х90, 120х120	12
	К-300-18		1770			12
2	П150-13	150×150×300	1320	-	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	12
	П150-18		1740			12
	П200-13	200×200×400	1375	-	20×20, 40×40, 80×80, 120×120	12
	П200-18		1750			12
	П300-13	300×300×600	1370	-	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	12
	П300-18		1770			12
3	П300Ар1-18	300×300×600	1740	1,88	30×30, 60×60, 90×90, 120×120	12
	П300Ар2-18		1630	3,35		12
	П300Ар2-13		1210	3,35		12
ИТОГО образцов						180

* - средняя плотность керамзитобетона

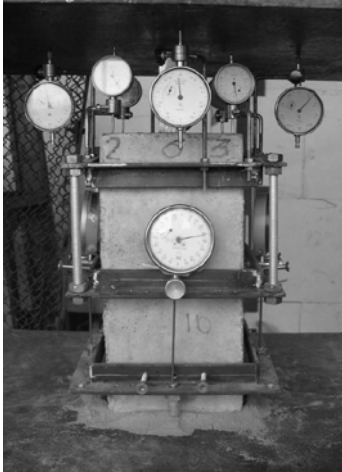
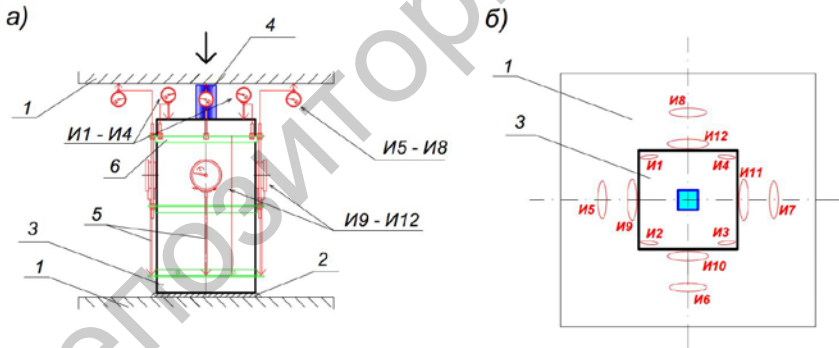


Рисунок 2. — Общий вид испытаний

Общий вид испытаний опытных образцов представлен на рисунке 2. При испытании с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм измерялись перемещения штампа относительно нагружаемой поверхности, а также условной равномерно деформируемой плоскости образца, расположенной от нагружаемого торца на расстоянии, равном поперечному размеру призмы. С помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм измерялись продольные деформации бетона в средней по высоте зоне призмы. Схема расстановки приборов представлена на рисунке 3.



а – общий вид; *б* – вид сверху; 1 – плита прессы, 2 – подсыпка из портландцемента, 3 – образец – призма, 4 – металлический штамп, 5 – база приборов, 6 – специально изготовленные металлические рамки для крепления приборов на образце, И1 – И12 – контрольно-измерительные приборы для замера деформаций образца, И9 – И12 – перемещений плиты прессы

Рисунок 3. — Схема расстановки контрольно-измерительных приборов

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований (картины трещинообразования, формы разрушения опытных образцов, развитие контактных деформаций). Характер трещинообразования и разрушения образцов в исследованиях представлен на рисунке 4.

a*б**в*

a – испытания образцов первой серии (кубы с размером грани 150 мм, штамп - 30×30 мм); *б* - испытания образцов второй серии (призма размерами 200×200×400 мм, штамп - 80×80 мм), *в* - испытания образцов третьей серии (призма размерами 300×300×600 мм, с косвенным армированием, штамп - 120×120 мм)

Рисунок 4. — Характер трещинообразования и разрушения опытных образцов

Разрушение всех образцов первой (К-150, К-200, К-300) и второй серий (П-150, П-200, П-300) 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 (рисунок 4, *a*, 4, *б*).

Разрушение всех армированных образцов-призм третьей серии (П300Ар1, П300Ар2 и П300Ар3) происходило также с образованием в области под штампом так называемого клина, имеющего вид перевернутой пирамиды, но в ряде случаев не сопровождалось раскалыванием образцов по вертикальным плоскостям, как это было характерно для образцов-призм первой и второй серий (без использования косвенного армирования). Разрушение сопровождалось отслаиванием наружного слоя бетона, расположенного вне ядра, заключенного внутри области, образованной сетками косвенного армирования. Также активно образовывались трещины на

верхней поверхности образца, на которую осуществлялось непосредственное воздействие через металлический штамп (рисунок 4в).

По опытной разрушающей нагрузке были определены значения коэффициента $\omega_{u,obs}$ повышения прочности керамзитобетона при местном приложении нагрузки по формуле

$$\omega_{u,obs} = \frac{N_{obs}}{f_{lc} \cdot A_{loc0}}, \quad (1)$$

где N_{obs} – нагрузка при разрушении, МН;

f_{lc} – прочность керамзитобетона при сжатии цилиндров размерами 150x300 мм в МПа, определенная по значениям прочности контрольных кубов;

A_{loc0} – площадь приложения нагрузки к образцу (площадь штампа), мм².

Анализ полученных значений $\omega_{u,obs}$ показал, что независимо от размера образца и средней плотности керамзитобетона происходит увеличение значений $\omega_{u,obs}$ с увеличением значения $R = A_{loc1} / A_{loc0}$, где A_{loc1} – площадь нагружаемой поверхности образца. При этом вид образцов (кубы или призмы с высотой, равной удвоенному размеру сечения) и изменение размеров поперечного сечения (100, 200 и 300 мм) не оказали существенного влияния на значения ω_{obs} при одинаковых значениях R .

Результаты проведенных испытаний образцов третьей серии (призм 300×300×600 мм с косвенным армированием) были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований неармированных аналогичных образцов-призм второй серии размером 300×300×600 мм (таблица 2).

Таблица 2 — Оценка эффективности применения косвенного армирования в условиях осевого местного сжатия

ρ , кг/м ³	Размер грани штампа, мм	$\omega_{u,0}^*$	$\omega_{u,\rho}^*$		$\omega_{u,\rho} / \omega_{u,0}$
		$\mu_{xy} = 0,0\%$	$\mu_{xy} = 1,88\%$	$\mu_{xy} = 3,35\%$	
1650-1770	30	9,79	16,74	18,52	1,71/1,89
	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

* - $\omega_{u,0}$ – коэффициент повышения прочности керамзитобетона при местном сжатии для неармированных ($\mu_{xy}=0\%$) образцов-призм 2-й серии размерами 300×300×600 мм; $\omega_{u,\rho}$ – то же для армированных ($\mu_{xy}=1,88\%$ и $\mu_{xy}=3,35\%$) образцов-призм третьей серии размерами 300×300×600 мм;

По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что постановка поперечного армирования позволяет значительно увеличить сопротивление керамзитобетонных элементов при местном сжатии [3]. Однако увеличение процента поперечного ар-

мирования более $\mu = 1,88\%$ не дает дополнительного прироста несущей способности.

Для оценки влияния варьируемых факторов на величину контактных деформаций были определены относительные величины контактных деформаций λ_m (делением перемещения штампа на его поперечный размер) и относительные напряжения в бетоне под штампом γ (делением напряжений в штампе на прочность керамзитобетона f_{ic}).

По полученным значениям относительных контактных деформаций были определены средние относительные величины контактных деформаций для образцов-близнецов λ_m при напряжениях под штампом, равным призменной прочности бетона ($\gamma=1$), а также при напряжениях под штампом, равным двойной призменной прочности бетона ($\gamma=2$). Полученные экспериментальные значения относительных контактных деформаций λ варьируются в относительно больших пределах: от 0 до 21,33 при диапазоне изменения относительных значений напряжений в бетоне γ образцов под штампом от 0 до 8,33.

По данным измерений контактных деформаций были построены графики зависимости относительных контактных деформаций λ от относительных напряжений в бетоне под штампом γ . На рисунке 5 приведен график этой зависимости для аналогичных 3 образцов-близнецов с размерами $300 \times 300 \times 600$ мм без применения косвенного армирования.

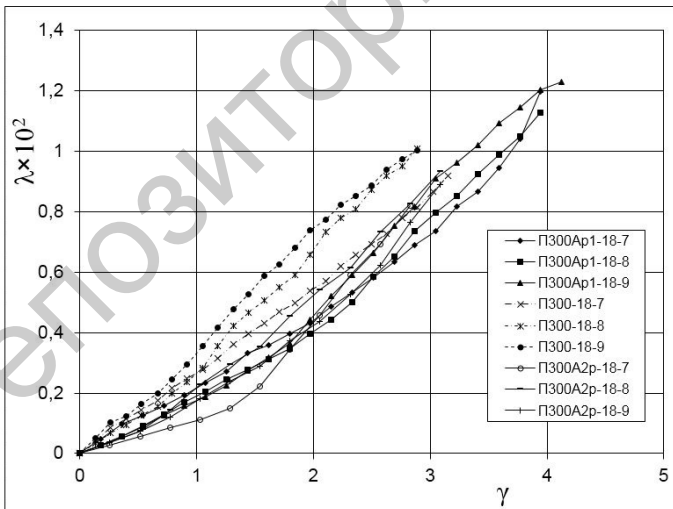


Рисунок 5. — Зависимость λ_m от γ в бетоне под штампом размером 90×90 мм (армированные образцы П300Ар-1 и П300Ар2, неармированные образцы П300-18)

Из приведенных на рисунке 5 данных, можно сделать вывод о том, что зависимость относительных контактных деформаций λ от относительных напряжений в бетоне под штампом γ близка к линейной при отсутствии косвенного армирования [2, 11]. При наличии же косвенного армирования можно констатировать, что зависимость относительных контактных деформаций λ от относительных напряжений в бетоне под штампом γ близка к линейной только на начальном этапе нагружения, то есть до нагрузок составляющих до 30-50% от разрушающих. При этом значения λ для неармированных образцов превышают на 30-60% значения относительных контактных деформаций для армированных образцов при равных значениях γ .

Было проанализировано влияние на величину относительных контактных деформаций λ_m таких физических факторов как относительный размер штампа β , средняя плотность бетона элемента ρ , процент косвенного армирования в заданном диапазоне его изменения μ (от 0 до 3,35%). По результатам данного анализа были сделаны следующие выводы:

1. Функциональная зависимость относительных контактных деформаций λ_m от относительного размера штампа β отсутствует. Зафиксирована тенденция к некоторому уменьшению значений λ_m при росте параметра β [2, 11].

2. Наличие косвенного армирования оказывает существенное влияние на величины относительных контактных деформаций λ . С появлением косвенного армирования, значения λ уменьшаются. При этом не установлено какого-либо значимого изменения в величинах относительных контактных деформаций λ при увеличении процента косвенного армирования более значения 1,88 % [2, 11].

3. Чем выше плотность ρ , тем ниже значения относительных контактных деформаций λ при прочих равных условиях. Влияние средней плотности проявляется в большей степени при увеличении относительных напряжений в бетоне под штампом γ [2, 11].

Четвертая глава посвящена разработке методики расчета несущей способности элементов из керамзитобетона в условиях осевого местного сжатия, в том числе при их косвенном армировании поперечными сварными сетками.

В качестве основы для разработки предлагаемой методики расчета несущей способности керамзитобетона при местном сжатии принята физическая модель расчета, которая была принята при разработке методики элементов из тяжелого бетона, содержащейся в СНБ 5.03.01-02 и исходящей из того, что повышение прочности бетона при местном сжатии по сравнению с его прочностью при сжатии по всей площади элемента обусловлено влиянием бокового давления, создаваемого окружающим область нагружения бетоном.

Напряженно-деформированное состояние элементов из керамзитобетона в области осевого местного сжатия можно описать используя модель, представленную в виде центрального находящегося в пределах площади A_{c0} приложения нагрузки (далее площади поперечного сечения штампа) блока и расположенного вокруг него так называемого периметрального блока.

Керамзитобетон в пределах центрального блока находится в условиях трехосного сжатия и его прочность при местном сжатии $f_{ic,loc}$ может быть представлена по аналогии с прочностью тяжелого бетона при трехосном сжатии зависимостью вида:

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

где $f_{lc,loc}$ – прочность керамзитобетона при местном сжатии, МПа;
 k_u – коэффициент эффективности бокового давления при местном сжатии;
 A_{c0} – площадь приложения нагрузки, мм²;
 A_{c1} – площадь распределения напряжений при местном сжатии, мм²;
 f_{lct} – прочность керамзитобетона при осевом растяжении, МПа.

По своему физическому смыслу коэффициент k_u представляет собой коэффициент эффективности бокового обжатия в условиях местного сжатия. Указанная зависимость (2) имеет ясный физический смысл и гармонизирована с зависимостями для расчета прочности керамзитобетона при трехосном сжатии.

По результатам исследований определены опытные значения коэффициентов эффективности бокового обжатия по зависимости

$$k_u = \frac{\omega_{u,obs} - 1}{\psi} \quad (3)$$

где $\omega_{u,obs}$ – опытное значение коэффициент повышения прочности керамзитобетона при местном сжатии;
 ψ – коэффициент относительного бокового обжатия, определяемый по формуле (4):

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

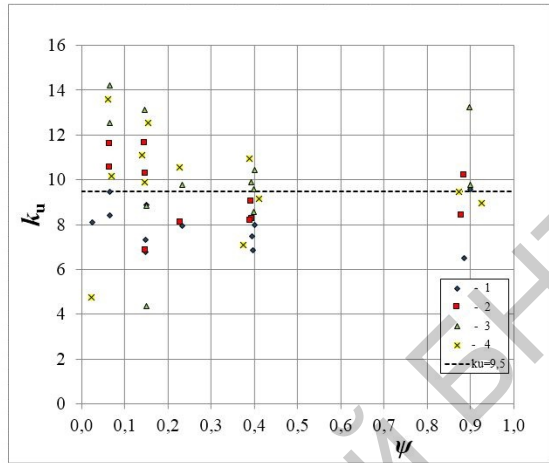
где f_{lc} , f_{lct} , A_{c1} , A_{c0} – то же, что и в зависимости (2).

При этом прочность керамзитобетона при осевом растяжении принималась равной средней прочности, определенной по зависимости таблицы 11.3.1 ТКП EN 1992-1-1-2009*.

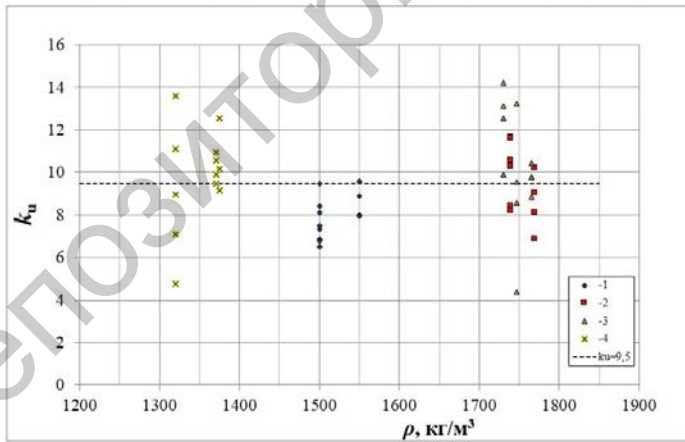
Анализ изменения вычисленных значений коэффициент эффективности бокового обжатия k_u при изменении коэффициента относительного бокового обжатия ψ и средней плотности керамзитобетона ρ (рисунок 6) показал, что не прослеживается функциональной связи между значениями коэффициента k_u и значениями параметра ψ и средней плотностью керамзитобетона ρ (рисунок 6). Исходя из этого, значение коэффициента эффективности бокового обжатия может быть принято постоянным $k_u=9,5$ [1, 4, 12].

Оценка точности разработанной методики расчета согласно приложению D норм ТКП EN 1990-2011 показала, что расчет по формуле (2) при постоянном значении коэффициента эффективности бокового обжатия $k_u=9,5$ позволяет получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями [1, 4, 12]. Значение поправки среднего значения по 130 опытным образцам составило $b=0,993$ при значении коэффициента вариации вектора ошибок $V_8=0,144$ (рисунок 7).

а



б



1 – кубы ($\rho = 1500 \dots 1550$ кг/м³; серия 1); 2 – кубы ($\rho = 1740 \dots 1770$ кг/м³; серия 1); 3 – призмы ($\rho = 1730 \dots 1770$ кг/м³; серия 2); 4 – призмы ($\rho = 1320 \dots 1375$ кг/м³; серия 2)

Рисунок 6. – Изменение опытных значений k_u при различных значениях параметра ψ (а) и средней плотности керамзитобетона ρ (б)

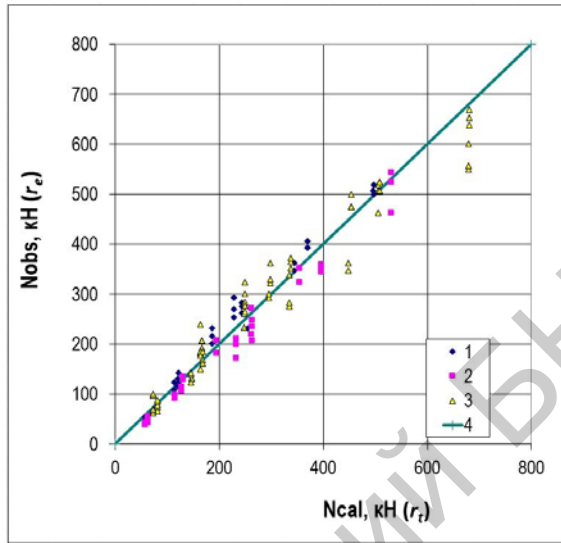


Рисунок 7. – Сопоставление опытных значений с расчетными значениями по предложенной методике расчета (1 – при $\rho = 1320...1375 \text{ кг/м}^3$; 2 – при $\rho = 1500...1550 \text{ кг/м}^3$; 3 – при $\rho = 1730...1770 \text{ кг/м}^3$; 4- линия $N_{obs} = N_{cal}$)

Предлагаемая методика расчета на местное сжатие несущей способности керамзитобетонных элементов при их косвенном армировании поперечными сетками базируется на использовании зависимости (2), полученной для керамзитобетонных элементов без косвенного армирования.

Несущую способность таких элементов следует проверять из условия

$$N_{Ed} \leq \alpha_n f_{icud,eff} A_{c0}, \quad (5)$$

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

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

A_{c0} – площадь приложения нагрузки, мм^2 ;

$f_{icud,eff}$ – приведенная прочность керамзитобетона на местное сжатие, определяемая по формуле

$$f_{icud,eff} = f_{icud} + \varphi_0 \rho_{xy} f_{yd,xy} \varphi_s, \quad (6)$$

где f_{icud} – прочность керамзитобетона, определяемая по зависимости (2), МПа;

φ_0 – коэффициент эффективности косвенного армирования;

$f_{yd,xy}$ – прочность на растяжение арматуры поперечных сеток, МПа;

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

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

где A_{eff} – площадь бетона, заключенного внутри контура сеток, считая их по крайним стержням, мм²;

A_{c0} – площадь приложения нагрузки, мм²;

По экспериментальным значениям нагрузки при разрушении опытных образцов были определены опытные значения $\varphi_{0,obs}$ коэффициента эффективности косвенного армирования для условий местного осевого сжатия. Анализ полученных значений $\varphi_{0,obs}$ показал, что они могут быть с удовлетворительной точностью аппроксимированы зависимостью (8), полученной ранее К.В. Петровой и М.А. Юдашевым при испытаниях на сжатие нагруженных по всему сечению керамзитобетонных призм, армированных поперечными сетками

$$\varphi_{0,obs} = \frac{7 + \psi_s}{1 + 6\psi_s}, \quad (8)$$

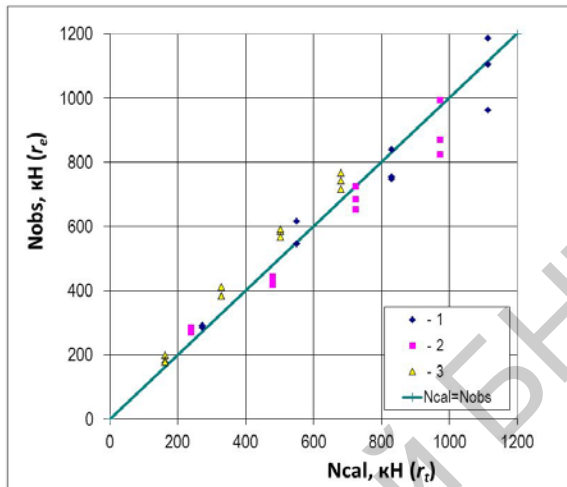
где $\psi_s = \frac{\rho_{xy} \cdot f_{xy}}{f_{lc}}$.

Расчеты несущей способности 36 опытных образцов по формулам (6)-(8), проведенные согласно приложению D ТКП EN 1990-2011, показали, что значение поправки среднего значения $b = 0,967$ и значение коэффициента вариации вектора ошибок $V_\delta = 0,111$.

Следует отметить, что при оценке надежности расчета по приложению D ТКП EN 1990-2011 нежелательно наличие в расчетных зависимостях эмпирических коэффициентов, определяемых с помощью базисных переменных оцениваемой расчетной модели. В связи с этим предложена упрощенная методика, когда при выполнении расчетов по зависимости (6) принимается постоянное значение коэффициента эффективности косвенного армирования $\varphi_0 = 2,5$ [3]. Полученные результаты (рисунок 8) свидетельствуют о том, что предложенная упрощенная методика расчета позволяет получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями.

В результате вычислений несущей способности всех 36 опытных образцов получено значение поправки среднего значения $b = 0,977$ и значение коэффициента вариации вектора ошибок $V_\delta = 0,113$ [3, 4].

С учетом актуальности работы для Республики Беларусь, результаты диссертационных исследований внедрены в раздел 7.4 разрабатываемого технического кодекса установившейся практики ТКП «Бетонные и железобетонные конструкции. Часть 4. Конструкции из легкого бетона. Правила проектирования».



1 – при $\rho=1740$ кг/м³ и $\rho_{xy}=1,88\%$; 2 – при $\rho=1630$ кг/м³ и $\rho_{xy}=3,35\%$; 3 – при $\rho=1210$ кг/м³ и $\rho_{xy}=3,35\%$

Рисунок 8. — Сопоставление опытных значений с расчетными значениями по предложенной методике расчета

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате проведенных испытаний получены новые опытные данные сопротивления местному осевому сжатию элементов из керамзитобетона плотностью от 1200 до 1800 кг/м³ с применением косвенного армирования поперечными сварными сетками и без него. Полученные экспериментальные данные позволили выявить особенности напряженно-деформированного состояния в зоне местного сжатия элементов из керамзитобетона, на основании которых, применительно к расчетной модели СНБ 5.03.01-02, была разработана и проверена научно-обоснованная методика расчета сопротивления местному сжатию элементов из керамзитобетона. По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы [1-3, 7-11, 13]:

- независимо от формы и размера образца и средней плотности керамзитобетона, с ростом отношения площади загружаемой плоскости элемента к площади приложения нагрузки происходит увеличение значения коэффициента повышения прочности керамзитобетона при местном приложении нагрузки;

- установка косвенного армирования в виде поперечных сварных сеток позволила значительно увеличить несущую способность керамзитобетонных элементов

при местном сжатии (до 70%); однако увеличение объемного процента косвенного армирования более $\mu=1,88\%$ не дает дополнительного прироста несущей способности;

– зависимость относительных контактных деформаций λ от относительных напряжений в бетоне под штампом γ близка к линейной при отсутствии косвенного армирования. При наличии же косвенного армирования зависимость относительных контактных деформаций λ от относительных напряжений в бетоне под штампом γ близка к линейной только на начальном этапе нагружения, то есть до нагрузок составляющих до 30-50% от разрушающих. При этом значения λ для неармированных образцов превышают на 30...60% значения относительных контактных деформаций для армированных образцов при равных значениях γ .

2. По экспериментальным данным определены значения коэффициентов эффективности бокового обжатия при местном осевом сжатии керамзитобетонных элементов применительно к расчетной модели СНБ 5.03.01-02, разработанной в РБ для расчета элементов из тяжелого бетона [1, 8, 12].

3. Получены данные о вертикальных перемещениях жесткого штампа, передающего осевую сжимающую нагрузку на керамзитобетонные элементы, при отношении размера штампа к размеру нагружаемо плоскости элемента в пределах 0,1 до 0,8 при косвенном армировании элементов поперечными сетками и без него [2, 11, 13].

4. Определены значения коэффициента, учитывающего влияние объемного коэффициента поперечного армирования на несущую способность керамзитобетонных элементов с косвенным армированием поперечными сетками в условиях местного осевого сжатия применительно к расчетной модели, разработанной в РБ для расчета элементов из тяжелого бетона [3, 4, 9, 10].

5. В развитие положений норм СНБ 5.03.01-02 разработаны предложения по определению коэффициента эффективности бокового обжатия и коэффициента, учитывающего влияние объемного коэффициента поперечного армирования, при расчете керамзитобетонных элементов на местное осевое сжатие. Обоснованность разработанных предложений подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных значений сопротивления местному сжатию керамзитобетонных элементов [1, 3, 4].

Рекомендации по практическому применению результатов диссертации

Результаты диссертационной работы могут использоваться в проектных и научно-исследовательских организациях в процессе проектирования железобетонных конструкций с применением керамзитобетона плотностью от 1200 до 1800 кг/м³, в частности, при проектировании узлов сопряжения элементов строительных конструкций зданий и сооружений, где возможно появление такого вида напряженно-деформированного состояния, как местное сжатие.

Методики расчета сопротивления при местном осевом сжатии керамзитобетонных элементов как с применением косвенного армирования так и без него могут быть использованы при разработке Национального дополнения к ТКП EN 1992-1-2009*.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**Статьи в научных изданиях, включенных
в перечень ВАК Республики Беларусь**

1. Рак, Н.А. Методика расчета прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона / Н.А. Рак, В.В. Бондарь // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки.– 2011.– №16 – С. 40-47.
2. 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.
3. 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.
4. Бондарь, В.В. Исследования сопротивления концентричному местному сжатию элементов из легкого бетона / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Вестник БрГТУ. — 2015. — №1 (91): Строительство и архитектура. — С. 111-116.

Статьи в материалах конференций

5. Бондарь, В.В. 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.
6. Бондарь, В.В. Экспериментальные исследования элементов из легкого бетона при местном сжатии / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Респ. Беларусь: сб. тр. XV Международного научн.-метод. семинара: в 2 т. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – Т.1. – С. 191–196.
7. Бондарь, В.В. Влияние масштабного фактора на прочность при местном сжатии элементов из легкого бетона / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. тр. : в 2 ч. – Минск, Минсктипроект, 2009. – Ч.1. Бетонные и железобетонные конструкции. – С. 139–146.
8. Бондарь, В.В. Методика расчета прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб науч. ст. ГрГУ им. Янки Купалы. – Гродно : ГрГУ, 2010. – С. 21-26.
9. Бондарь, В.В. Методика расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии армированных поперечными сетками / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Повышение качества подготовки студентов специальности «Промышленное и

гражданское строительство»: сб. науч.-техн. ст./БНТУ. – Минск: БНТУ, 2011. – С. 58-65.

10. Бондарь, В.В. О расчете прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона, армированных поперечными сетками / В.В. Бондарь // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Междунар. симпозиума (Минск, 9-11 ноября 2011 г.): в 2 т. / МАиС Респ. Беларусь. РУП «Институт БелНИИС». – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Т.2. Технология бетона. – С. 179-187

11. Бондарь, В.В. Контактные деформации элементов из легкого бетона при концентричном местном сжатии / В.В. Бондарь // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: сб. науч.-техн. ст. в 2 ч./БНТУ. – Минск: БНТУ, 2012. – Ч.1. С. 58-65.

12. Бондарь, В.В. Соппротивление элементов из легкого бетона при местном сжатии / Бондарь В.В., Рак Н.А. // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений на аварийные воздействия: 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.

13. Бондарь, В.В. Деформации элементов из легкого бетона в условиях концентричного местного сжатия//Бондарь В.В., Рак Н.А. // Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 9-10 июня 2016 г., БНТУ, ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С., Союз строителей Респ. Беларусь. – Минск, БНТУ, 2016. – С. 44-50.

Тезисы докладов

14. Бондарь, В.В. Методика расчета прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона / В.В. Бондарь // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8-й Международной научно-технической конференции, Минск, 2010 г., в 4 т. / БНТУ: – Минск: БНТУ, 2010. – Т.2: Технические и прикладные науки. Отрасли народного хозяйства. – С. 198.

15. Бондарь, В.В. Методика расчета прочности элементов из легкого бетона при местном сжатии армированных поперечными сетками / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Международной научно-технической конференции, Минск, 2011 г., в 4 т. / БНТУ: – Минск: БНТУ, 2011. – Т.2: Технические и прикладные науки. – С. 231.

16. Бондарь, В.В. Оценка величин контактных деформаций элементов из легкого бетона при местном сжатии // В.В. Бондарь // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Международной научно-технической конференции, Минск, 2013 г., в 4 т. / БНТУ – Минск: БНТУ, 2013. – Т.2: Технические и прикладные науки. – С. 248.

РЭЗІЮМЭ**БОНДАР Вадзім Віктаравіч****СУПРЦІЎЛЕННЕ МЯСЦОВАМУ СЦІСКУ ЭЛЕМЕНТАУ
З КАНСТРУКЦЫЙНАГА КЕРАМЗІТАБЕТОНУ**

Ключавыя словы: мясцовы сціск, элементы з канструкцыйнага керамзітабетону, супраціўленне, дэфармацыі, методыка разліку.

Перадача нагрузкі на многія бетонныя і жалезабетонныя канструкцыі ад вышэйлеглых элементаў адбываецца па плошчы, якая складае толькі частку іх нагружаемай плоскасці. Пры такім спосабе перадачы нагрузкі прынята казаць пра месцовае яе дзеянне.

На тэрыторыі Рэспублікі Беларусь лёгкія бетоны шчыльнасцю $\rho = 1200 - 1800 \text{ кг/м}^3$ прадстаўлены практычна адзіным матэрыялам - керамзітабетонам. Пры гэтым, ступень вывучанасці паводзін керамзітабетону пад нагрузкай, дакладнасць і надзейнасць якія існуюць у нарматыўнай дакументацыі розных краін метадик па ацэнцы і прагназаванні характарыстык трываласці і дэфармацыйнасці керамзітабетону названай шчыльнасці ва ўмовах мясцовага сціску, можна ахарактарызаваць як вельмі нізкую.

У дысертацыі прапануюцца метадикі разліку супраціву элементаў з керамзітабетону з ускосным армаваннем ў выглядзе плоскіх зварных сетак і без яго, пры восевым мясцовым сціску.

Прапанаваныя метадикі (асноўная і спрошчаная) дазваляюць з дакладнай дакладнасцю і надзейнасцю вызначаць значэння супраціву неармаваных, а таксама з прымяненнем ўскоснага армавання ў выглядзе зварных сетак, элементаў з керамзітабетону, якія знаходзяцца ва ўмовах восевага мясцовага сціску.

Прадстаўленьня метадикі ўлічваюць варыятыўнасць шэрагу фізічных і геаметрычных фактараў, такіх як: сярэдня шчыльнасць, аб'ёмны працэнт ўскоснага армавання, маштабны фактар (розныя геаметрычныя памеры і форма элементаў), стаўленне памераў загрузанай плоскасці элемента да плошчы прыкладання нагрузкі.

Атрыманы новыя эксперыментальныя дадзеныя аб характары разбурэння, асаблівасцях дэфармавання, узнікнення і развіцця расколін, а таксама аналітычныя залежнасці напружана-дэфармаванага стану элементаў з керамзітабетону ва ўмовах восевага мясцовага сціску.

Вынікі работы могуць быць выкарыстаны для ўключэння ў тэхнічныя нарматыўна-прававыя акты для практавання і разліку такіх элементаў.

РЕЗЮМЕ

Бондарь Вадим Викторович

**СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕСТНОМУ СЖАТИЮ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

Ключевые слова: местное сжатие, элементы из конструкционного керамзитобетона, сопротивление, деформации, методика расчета.

Передача нагрузки на многие бетонные и железобетонные конструкции от вышележащих элементов происходит по площади, составляющей только часть их нагружаемой плоскости. При таком способе передачи нагрузки принято говорить о местном ее действии.

На территории Республики Беларусь легкие бетоны плотностью $\rho=1200 - 1750$ кг/м³ 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 и прогнозированию характеристик прочности и деформативности керамзитобетона указанной плотности в условиях местного сжатия, можно охарактеризовать как крайне низкую.

В диссертации предлагаются методики расчета сопротивления элементов из керамзитобетона с косвенным армированием в виде плоских сварных сеток и без него, при осевом местном сжатии.

Предлагаемые методики позволяют с достоверной точностью и надежностью определять значения сопротивления неармированных, а также с применением косвенного армирования в виде сварных сеток, элементов из керамзитобетона, находящихся в условиях осевого местного сжатия.

Представленные методики учитывают вариативность ряда физических и геометрических факторов, таких как: средняя плотность, объемный процент косвенного армирования, масштабный фактор (различные геометрические размеры и форма элементов), отношение размеров нагружаемой плоскости элемента к площади приложения нагрузки.

Получены новые экспериментальные данные о характере разрушения, особенностях деформирования, образования и развития трещин, а также аналитические зависимости напряженно-деформированного состояния элементов из керамзитобетона в условиях осевого местного сжатия.

Результаты работы могут быть использованы для включения в технические нормативно-правовые акты для проектирования и расчета таких элементов.

SUMMARY

Bondar Vadim

RESISTANCE TO LOCAL COMPRESSION OF THE STRUCTURAL EXPANDED CLAY CONCRETE ELEMENTS

Key words: local compression, structural expanded clay concrete elements, resistance, deformation, analysis procedure.

The transfer of loads to many concrete and reinforced concrete structures from above-lying elements occurs over an area that is only part of their loaded plane. With this method of transferring the load, it is customary to talk about its local action.

On the territory of the Republic of Belarus lightweight concrete of density $\rho = 1200 - 1750 \text{ kg/m}^3$ is practically the only material - expanded clay concrete. At the same time, the degree of study of the behavior of expanded clay concrete under load, the accuracy and reliability of the techniques for assessing and predicting the strength and deformation characteristics of expanded clay concrete in local compression state in the normative documentation of different countries, can be characterized as extremely low.

In the thesis, methods for analysis the resistance of expanded clay concrete elements with confinement reinforcement in the form of flat welded meshes and without it, in local compression are proposed.

The proposed methods (basic and simplified) allow to determine reliably the values of resistance of unreinforced, as well as using confinement reinforcement, expanded clay concrete elements under local compression.

The presented methods take into account the variability of a number of physical and geometric factors, such as: the average density, the volume percentage of confinement reinforcement, the scale factor (different geometric sizes and shape of elements), the ratio of the dimensions of the loaded element plane to the area of load application.

New experimental data of the failure character, features of deformation, cracks initiation and extension, as well as the analytical dependencies of the stress-strain state of expanded clay concrete elements in local compression state are developed.

The results of the work can be used for inclusion in technical regulations for the design and analysis of such elements.

Научное издание

БОНДАРЬ
Вадим Викторович

**СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕСТНОМУ СЖАТИЮ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции,
здания и сооружения

Подписано в печать 25.05.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,09. Тираж 80. Заказ 450.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.