

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента **Иноземцева Александра Сергеевича** на диссертацию **Фёдорова Артёма Владимировича** на тему «Легкий бетон на композиционном вяжущем с применением природного цеолита», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Для отзыва представлены автореферат объемом 20 страниц и диссертация, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 278 наименований и 4 приложений. Содержание работы изложено на 217 страницах машинописного текста, включающего 66 рисунков и 60 таблиц.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью снижения энерго- и ресурсопотребления в строительстве. Решением этой проблемы является применение конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов на композиционном вяжущем с применением местного минерального сырья. Исследование данных технологических подходов соответствует приоритетам Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации, в частности Республики Саха (Якутия), направленных на создание производств строительных материалов на базе действующих месторождений строительных камней. Так на территории региона действует производство пористого заполнителя – «пеноцеолит», в составе которого исходным компонентом шихты является природный цеолит месторождения Хонгуруу. Значительная удаленность населенных пунктов от единственного цементного завода в регионе приводит к существенному росту стоимости цемента. Разрабатываемый легкий бетон имеет как научное, так и прикладное значение. Применение композиционного вяжущего на основе природного цеолита в составе легкого бетона позволит снизить расход портландцемента без потери физико-механических характеристик, а также повысить долговечность материала благодаря пуццолановым свойствам этой добавки.

Диссертационная работа Фёдоров Артём Владимировича направлена на разработку научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона на пористом заполнителе и композиционном вяжущем с применением природного цеолита.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках: гранта «УМНИК-2021», Государственных контрактов №8319, 7633 с Академией наук Республики Саха (Якутия), программы деятельности НОЦ «Север» по направлению «Технологии хозяйственной деятельности в криолитозоне и новые материалы».

Целью работы является разработка конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона на пористом заполнителе и композиционном вяжущем с применением природного цеолита.

2. Структура и содержание работы

Автором обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана степень разработанности данной темы, определены цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, обозначены положения, выносимые на защиту, факторы, обеспечивающие достоверность полученных результатов, а также сведения об апробации и внедрении результатов исследований.

Первая глава посвящена анализу научной литературы с подробным описанием методов получения легких бетонов, а также способов совершенствования характеристик материала через модификацию сырьевых компонентов, таких как вяжущие вещества и добавление структуроформирующих компонентов, а также за счет оптимизации технологических процессов приготовления смесей.

Во **второй главе** описаны свойства сырьевых материалов, методы и методики проведения экспериментов с учетом этапов подготовки, которые подробно представлены в главах диссертации, и отражают анализ исследований, что облегчает восприятие и понимание полученных результатов.

В **третьей главе** для экспериментальной верификации научной гипотезы приводится поэтапный дизайн эксперимента. Произведена оценка природного цеолита месторождения Хонгуруу как компонента композиционного вяжущего. Изучено влияние добавки природного цеолита на морозостойкость цементного камня. Разработаны составы композиционных вяжущих и проведена оценка их свойств. Исследуется влияние композиционного вяжущего с применением природного цеолита на структурообразование цементного камня.

Четвертая глава посвящена разработке легкого бетона на пористом заполнителе и композиционном вяжущем. Произведена оценка свойств и структурных особенностей пористых заполнителей. Отмечена перспективность применения пеноцеолита как крупного заполнителя в легком бетоне. Произведена оценка свойств золошлаковых отходов в качестве добавки для легкого бетона. Произведен подбор пенообразователя на основе оценки его свойств: кратность, стойкость пены во времени, стойкость пены в растворе и в легком бетоне, стоимость. Производится подбор рационального состава легкого бетона на композиционном вяжущем и пористом заполнителе с помощью метода математического планирования, предложена модель формирования рациональной структуры легкого бетона на крупном пористом заполнителе.

В **пятой главе** приводится исследование теоретической оценки тепловой эффективности стеновых ограждений с применением легкого бетона на композиционном вяжущем с применением природного цеолита. Разработана технология производства легкого бетона на композиционном вяжущем и пористого заполнителя. Обоснована технико-экономическая эффективность производства разработанного легкого бетона. Для внедрения результатов работы разработан стандарт организации, технологический регламент на производство блоков из легкого бетона на пористом заполнителе с применением природного цеолита и представлены перспективы дальнейших исследований.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, являются теоретически обоснованными и экспериментально подтвержденными. Исследования, проведенные автором в рамках заявленной в диссертации темы, являются достаточными по объему и составу, содержат аргументацию выбора варианта решения на каждом этапе работы. Результаты диссертационной работы согласуются с фундаментальными основами строительного материаловедения.

Цели и задачи, поставленные автором в диссертационной работе, сформулированы грамотно. Выводы по главам и заключение научно обоснованы, убедительны и отражают суть выполненных исследований. Автором проведен большой объем научных исследований. Определены перспективы дальнейших исследований.

Результаты работы прошли апробацию на конференциях различного уровня. Сформулированные соискателем в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации в достаточной степени подтверждаются результатами большого объема экспериментальных исследований. На основании вышеизложенного степень обоснованности и аргументации научных положений, заключения и рекомендации не вызывают сомнений.

Основные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Фёдорова Артёма Владимировича обладают научной новизной, высокой степенью обоснованности и достоверности.

4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В научной новизне автором обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение, обеспечивающее повышение эффективности технологии получения легкого бетона на пористом заполнителе – пеноцеолите, заключающееся в: замене цемента композиционным вяжущим с использованием природного цеолита (ТМЦ-85); поризации цементной матрицы введением пенообразователя; снижении плотности бетона за счет использования в качестве микрозаполнителя золошлакового отхода. Формирование рациональной плотности растворной части легкого бетона в сочетании с КВ обеспечивают снижение теплопроводности при повышении прочности и марки морозостойкости пеноцеолитбетона.

Установлен характер влияния цеолита как активного компонента КВ на процессы гидратации и свойства цементного камня с его использованием. За счет пуццолановой активности цеолита в составе КВ: происходит более полное протекание процессов структуро- и фазообразования, способствующих повышению содержания идиоморфных кристаллов новообразованных гидросиликатов различной основности и уплотнению микроструктуры цементного камня; сохраняется значение коэффициента торможения при твердении композиционного вяжущего на уровне значения соответствующего исходному портландцементу; повышается прочность цементного камня на 8,5 % при сокращении клинкерной составляющей на 15 %. Факторами качества природного цеолита, определяющими эффективность его использования как кремнеземного компонента КВ, высокую активность по отношению к СаО и

коэффициент качества ($K_K=1,16$), являются: полиминеральный состав; высокая пористость; высокая размолоспособность и полифракционный состав получаемого порошка; способность обеспечивать процесс гидратации цементного камня даже после циклов замораживания и оттаивания.

Предложен механизм формирования рациональной структуры легкого бетона, обеспечивающей снижение теплопроводности при повышении прочности, при совместном использовании ТМЦ-85, пеноцеолита и комплекса добавок для обеспечения рациональной плотности растворной части – пенообразователя и золошлакового отхода. За счет разного уровня дисперсности пор, обеспечиваемого высокой концентрацией пеноцеолита, поризацией цементной матрицы пенообразователем и наличием золошлакового отхода, создается объемная плотноупакованная пористая структура бетона. Развитая морфология поверхности пуццоланово-активных заполнителей (пеноцеолита и ЗШО) служит подложкой для кристаллизации продуктов гидратации. Рациональная плотность растворной части в совокупности с прочной контактной зоной цементного камня с заполнителями, способствуют повышению прочности пеноцеолитбетона.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

Дополнены теоретические представления о процессах структурообразования легкого бетона на пористом заполнителе с использованием природного цеолита и комплекса добавок – пенообразователя и золошлаковых отходов для обеспечения рациональной плотности растворной части пеноцеолитбетона. Установлены закономерности влияния состава бетонной смеси легкого бетона на физико-механические свойства.

Установлен рациональный состав композиционного вяжущего с применением природного цеолита месторождения Хонгуруу в качестве активного компонента – ТМЦ-85, характеризующегося $S_{уд} = 520 \text{ м}^2/\text{кг}$ и активностью 37,9 МПа.

Установлен рациональный уровень концентрации пористого заполнителя ($\varphi = 0,59$) в составе бетонной смеси для достижения максимальной прочности легкого бетона ($R_{сж} = 6,5 \text{ МПа}$) при заданной плотности (D900).

Разработаны составы и технология получения конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона – пеноцеолитбетона, на основе пористого заполнителя, КВ ТМЦ-85, золошлакового наполнителя с использованием пенообразователя Rospena, позволяющие получить изделия с маркой по плотности D900, классом по прочности до B5,0 и маркой по морозостойкости F100

6. Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научных изданиях

Основные положения работы изложены в 12 научных работах, в том числе в 3 публикациях в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, на соискание ученой степени доктора наук; 1 статья в издании, индексируемом международной базой данных Scopus.

Техническая новизна решений подтверждена патентом РФ на изобретение № 2803754 (07.03.2023).

Публикации автора в полной мере отражают основное содержание и научные выводы диссертации.

7. Вопросы и замечания по диссертации и автореферату

1. В тексте на стр. 64 указано, что варьируемыми факторами при планировании эксперимента являются объемная концентрация пористого заполнителя и плотность цементной матрицы. Однако из анализа таблицы 4.9 следует, что в качестве варьируемого параметра выступает содержание ЗШО (%). С чем связано такое несоответствие?

2. Требуется обоснования необходимости оценки морозостойкости цементного камня для проектирования легких бетонов (подраздел 3.3), так как механика морозного разрушения композита существенно отличается. Кроме того на стр. 84 формулируются противоречивые тезисы «...морозостойкость может не зависеть от степени прочности...» и «...рост прочности цементного камня... способствует повышению его морозостойкости...».

3. Автором не корректно использована аппроксимация результатов исследований кинетики твердения вяжущих веществ с использованием прямых отрезков или кривых линий (рисунок 3.16 и 3.17 соответственно) между экспериментальными точками.

4. Требуется пояснения результаты, представленные в табл. 3.14, согласно которым кинетическая константа (начальная скорость) описывается экстремальной зависимостью от содержания цемента. С чем связано снижение U_0 с 24,75 до 12,91 при уменьшении содержания цемента в вяжущем со 100 до 85 %, когда при снижении количества ПЩ до 70 % наблюдается увеличение показателя до 14,38?

5. На странице 113 анализа пористых заполнителей написано, что возможно произошло протекание щелочно-силикатной реакции (ЩСР), однако не приводится исследования по оценке потенциальной реакционной способности пористых заполнителей к протеканию ЩСР.

6. В диссертации встречается ненаучный стиль повествования («Репутация легких бетонов...», «...в идеале бетон должен быть ...», «...морозильник...»), рисунки с нечитаемым текстом (рисунок 1.1, 3.5, 3.21, 4.4 и др.) и подписями на английском языке (рисунок 3.4, 3.21).

7. В разделе технико-экономического обоснования производства легкого бетона не приводятся данные по ежегодному объему в тоннах производства золошлаковых отходов, полученные в ходе горения в «...в котлах длительного горения, для которых характерен дефицит кислорода и отсутствие открытого горения в топке». Достаточно ли будет объема производимого золошлакового отхода для производства предлагаемого легкого бетона?

Замечания и рекомендации не являются критическими и не оказывают влияния на положительное впечатление о работе.

8. Заключение

Диссертация Фёдорова Артёма Владимировича на тему «Легкий бетон на композиционном вяжущем с применением природного цеолита» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится научно обоснованное технологическое решение получения конструкционно-теплоизоляционного легкого пеноцеолитобетона с пониженной теплопроводностью при повышении прочности и марки по морозостойкости за счет управляемого формирования рациональной структуры с требуемой плотностью за счет комбинирования композиционного вяжущего, содержащего природный цеолит, с золошлаковым микронаполнителем и эффективным пенообразователем. Сформулированные в диссертации выводы и рекомендации обладают научной новизной, а также дополняют теоретические представления в исследуемой области.

Учитывая актуальность темы исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа на тему «Легкий бетон на композиционном вяжущем с применением природного цеолита» соответствует критериям пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 в действующей редакции с дополнениями и изменениями), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, **Фёдоров Артём Владимирович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности 2.1.5 Строительные материалы и изделия, доцент, доцент кафедры строительного материаловедения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Тел.: +7 (495) 188-04-00

E-mail: InozemcevAS@mgsu.ru

Иноземцев Александр Сергеевич

«13» сентября 2026 г.

Подпись Иноземцева А.С. заверяю:

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА

КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-

ВОДСТВА УРП

А. В. ПИНЕГИН