

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой производства строительных конструкций ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» Лукутцовой Натальи Петровны на диссертационную работу Саламановой Мадины Шахидовны на тему «Строительные композиты на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.5 – «Строительные материалы и изделия»

На отзыв были представлены автореферат и диссертация, состоящие из введения, восьми глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертационная работа изложена на 506 страницах машинописного текста, включающего 97 таблиц, 217 рисунков, список литературы из 338 источников, 8 приложений.

#### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Концепция устойчивого развития промышленности строительных материалов, принятая мировым сообществом, основана на ресурсо- и энергосбережении природного сырьевого потенциала и повышении экологической обстановки земной цивилизации. Выдвинутая стратегия затронет, в первую очередь, наиболее энерго – и материалоемкие отрасли, к которым можно отнести и цементную отрасль. И это, несомненно, станет решением важнейших экотехнических проблем, так как растущее производство портландцемента, сопровождается высоким потреблением минеральных и энергетических ресурсов, существенными объемами выбросов углекислоты и пыли в атмосферу и окружающую среду.

Перспективным направлением решения обозначенной проблемы, является использование бесклинкерных цементов щелочного затворения, которые можно производить как на основе отходов топливно-энергетической промышленности, так и с применением тонкодисперсных минеральных добавок алюмосиликатной природы. Диссертация посвящена решению ключевой научной проблемы, сдерживающей внедрение бесклинкерной технологии, а предлагаемые научные и практические подходы, обеспечат получение и применение бесклинкерных вяжущих щелочной активации и строительных композитов на их основе с улучшенными эксплуатационными и физико-механическими характеристиками.



Получение строительных материалов на бесклинкерных вяжущих щелочной активации, позволяющими направленно управлять процессами структурообразования и свойствами строительных композитов, является своевременной и актуальной задачей, решение которой будет содействовать дальнейшему развитию индустрии строительных материалов.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе**

Сформированные в работе научные положения, выводы и рекомендации соответствуют общепринятым теоретическим положениям строительного материаловедения и результатам исследований российских и зарубежных авторов. Их достоверность не вызывает сомнений и подтверждается достаточным объемом исследований с использованием современных методов и инструментальных средств измерения, программных комплексов в соответствии с нормативной документацией российских стандартов. Диссертационная работа представлена методически верно, а решение научной проблемы выполнено на высоком научном и профессиональном уровне.

Основные результаты и положения диссертационной работы представлены в 186 научных публикациях, в том числе, в 5 учебных пособиях, монографии, 36 статьях в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 23 статьях в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, 7 патентах РФ на изобретение.

## **3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечена научно-обоснованной стратегией теоретических, аналитических и экспериментальных исследований. Применение различных современных методов исследований позволило проанализировать физико-механические особенности протекания процессов формирования структуры и свойств строительных композитов на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации, предложить механизм фазообразования в системе «реакционный порошок – минеральный порошок – щелочной активатор» при различных условиях твердения (главы 4, 5) и установить закономерности структурообразования систем в зависимости от химико-минералогического состава компонентов связки (главы 6, 7), что и легло в основу предложенных технологических решений (глава 8, 9).

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

Предложена научная концепция создания строительных композитов на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации, в которой даны теоретические представления о механизме структурообразования в щелочных системах как совокупности последовательно и параллельно протекающих



физико-химических превращений за счет контактного взаимодействия тонкодисперсных отходов карбонатной технологии, природного сырья алюмосиликатного состава и щелочного активатора происходит образование диспергационно-коагуляционных гидрогелей с последующим развитием на их основе конденсационно-кристаллизационных структур гидратных новообразований.

В развитие теоретических положений получения бесклинкерных вяжущих путем щелочной активации природного и вторичного сырья алюмосиликатного происхождения установлено, что в результате деструктивных процессов алюмокремнекислородного каркаса и связанности оксидами щелочных металлов происходит синтез гидроалюмосиликатной цеолитовой фазы  $M^{n+}_{x/m}[(AlO_2)_x(SiO_2)]_zH_2O$  переменного состава, способствующей созданию бетонных и растворных композитов с улучшенными физико-механическими и технико-экономическими показателями.

Выполнен системный анализ факторов, влияющих на процессы формирования структуры, совместимость компонентов и свойства строительных композитов из многокомпонентных систем «реакционный порошок + минеральный порошок – щелочной раствор». Получены топологические модели многокомпонентных наполненных композитов, обеспечивающие высокую контактную межфазовую адгезию в системах «минеральный порошок – щелочной раствор» и «реакционный порошок – щелочной раствор».

Установлены закономерности изменения свойств бесклинкерного теста и камня от вида и дисперсности минеральной составляющей, химического, минералогического составов, условий и продолжительности твердения, щелочного активатора, концентрации активных поверхностных центров и адсорбционной способности, характеристик формы и рельефа поверхности минеральных порошков, позволившие получить БВЩА марок по прочности М300 и М400, строительные растворы марки М150, подвижностью  $P_{r2}$  и бетоны классов В30–40, с морозостойкостью F400 и водонепроницаемостью W8; выявлена определяющая роль каждого из этих компонентов в формировании свойств строительного композита из бесклинкерного вяжущего щелочного затворения.

Выявлены особенности формирования структуры многокомпонентных твердеющих систем, полученных щелочной активацией минеральных порошков, включающих реакцию составляющую с высокой степенью аморфности, микронаполнитель и щелочной затворитель. Установлено, что в системах «реакционный порошок + минеральный порошок – щелочной раствор» происходит физико-химическое взаимодействие, проявляющееся в результате образования соединений каталитического воздействия катионов и связующей способности продуктов гидратации.

Установлена эффективность многокомпонентной вяжущей связки «реакционный порошок + минеральный порошок – щелочной раствор» с



использованием смешанного щелочного раствора на основе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  и  $\text{NaOH}$  (80:20 %), гарантирующая более глубокое взаимодействие твердой и жидкой фазы, стабильность новообразований и улучшающая физико-механические характеристики строительных композитов.

Получены зависимости изменения продуктов гидратации и структурообразования строительного композита и набора свойств от химико-минерального состава порошкообразной составляющей вяжущей связки; взаимосвязь степени деструкции реакционноспособных алюмосиликатных порошков, связанности щелочных металлов в составе образуемых труднорастворимых соединений, прочности, кинетики набора прочности, подтверждение этому результаты анализов электронной микроскопии, доказывающие присутствие в продуктах гидратации исследуемых наполненных систем типичных микрофаз переменного состава анальцима, филлипсита, жисмондита, гарронита, фошагита, парагонита, кальциевых силикатов, ларнита, кальцитов, кварца, альбита, мусковита, калиевого полевого шпата, слюды и др.

Установлены зависимости рецептурно-технологических факторов, кубиковой и призмной прочности, средней плотности, модуля упругости, водонасыщения, адгезии, водонепроницаемости и морозостойкости строительных композитов на бесклинкерном вяжущем щелочной активации на основе техногенного и местного природного сырья алюмосиликатного происхождения от вида реакционного порошка, микронаполнителя, заполнителей и щелочного затворителя.

Практическое значение работы.

Установлены особенности влияния рецептурно-технологических факторов, природы и вида компонентов вяжущей связки на качественные показатели композитов, дополняющие методологические основы химии вяжущих и бетонов.

Получены рецептуры бесклинкерных вяжущих щелочной активации из связок «реакционный порошок + минеральный порошок 10% + щелочной затворитель», в зависимости от вида, концентрации и химико-минералогического состава компонентов системы активность изменялась в широком диапазоне 37,1 – 46,3 МПа.

Соискателем разработаны составы строительных растворов на бесклинкерных вяжущих щелочной активации с использованием кварцевых и барханных, песков М75 – М150; подвижностью  $P_k$  1 – 2, сохраняемостью от 25 до 108 минут; плотностью 1970 – 2090  $\text{кг/м}^3$ ; водопоглощением 2,5 – 7,9 %; максимальной адгезионной прочностью 0,73 МПа при отрыве от бетонного основания.

Разработаны рациональные составы бетона с кубиковой прочностью 47,5 МПа; маркой по морозостойкости F200 – F300; коэффициентом размягчения  $K_{\text{разм}}$  0,75 – 0,79 и водонепроницаемостью W4 – 6.



Получены специальные составы бетонов с прочностью выше 60 МПа, класса В40 независимо от условий твердения, модулем упругости более  $30 \cdot 10^3$  МПа, с маркой по морозостойкости F400 и водонепроницаемостью W8.

Подтверждением предложенных технических и технологических решений является их промышленное внедрение на предприятиях ООО «Успех», ООО «ПГС-85», ООО «Строй Групп», ООО «Рамстрой», ООО «Водстрой», ГУП ГЗЖБК. Технико-экономическая эффективность предлагаемой технологии составила 34-44% в сравнении с композитами на ПЦ М500.

#### 4. Содержание работы

Во введении автором обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, излагается цель и задачи работы, сформулирована научная новизна, приведены теоретическая и практическая ценность, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности полученных результатов исследований.

Целью исследования автор поставил развитие теоретических и практических основ получения бесклинкерных вяжущих веществ щелочной активации и строительных композитов с улучшенными эксплуатационными и физико-механическими свойствами на их основе с использованием техногенного и местного природного сырья. В соответствии с поставленной целью соискатель сформулировал задачи, которые при выполнении диссертационной работы были решены.

**Первая глава** содержит подробные сведения из литературных источников по изучаемой проблеме. Оценены состояние и перспективы производства бесклинкерных вяжущих щелочной активации и строительной продукции на их основе. Сделан анализ большого объема исследований в области оценки, прогнозирования и управления свойствами бесклинкерных щелочных цементов и композитов на их основе.

**Вторая глава** посвящена изучению научно-технической базы для производства бесклинкерных цементов щелочного затворения, выполнен системный анализ факторов влияния на структурообразование и набор свойств в композитах с использованием высокодисперсных порошков, активированных щелочным раствором, предложены топологические модели структур многокомпонентных наполненных систем с минеральными и активными минеральными порошками, что позволяет проектировать механизм структурообразования строительного композита, а варьируя рецептурно-технологическими факторами возможно получать заданные показатели качества композита. В результате сформулирована научная гипотеза и предложена концепция получения качественной строительной продукции, путем щелочной активации комплексных порошков алюмосиликатной природы из отходов промышленности и природного сырья, создания условий для направленного управления процессами гидратации и геохимических преобразований, фазовым составом и поровой структурой



строительного композита, обеспечивая тем самым заданные физико-механические и эксплуатационные свойства.

**В третьей главе** установлены возможности совместимости составляющих системы строительного композита природного, техногенного происхождения и щелочного затворителя. Автором получены возможные способы оценки эффективности минеральных порошков в получении многокомпонентных систем по следующим параметрам, таким как количество брэнстедовских активных центров кристаллизации на поверхности, прочность бетонного композита.

**Четвертая глава** посвящена результатам исследования процессов структурообразования и набора свойств строительного композита. Доказаны и развиты научные закономерности процесса формирования структуры многокомпонентной системы «реакционный компонент – минеральный порошок – щелочной активатор». С использованием необходимого комплекса методов электронной микроскопии установлено во всех исследуемых наполненных системах присутствуют цеолитовые фазы переменного состава, кальциевых силикатов, соединения кальцита, кварца, альбита, калиевого полевого шпата, слюды, мусковита, сульфоалюминатов кальция, гидроалюминатов кальция, кальциевых силикатов, ларнита и др.

**В пятой главе** исследовано влияние химико-минералогического состава минеральных составляющих на состав новообразований и структуру бесклинкерного камня. Проведенные исследования на микроуровне подтвердили, что структурообразующий состав продуктов гидратации и геопреобразований камня БВЦА в большей мере зависит от природы твердой составляющей вяжущей системы. Главным положительным итогом работы можно считать доказанную возможность получения строительных композитов, путем щелочной активации комплексных порошков алюмосиликатной природы из отходов промышленности и природного сырья с заданным спектром свойств.

**В шестой главе** установлены зависимости потребности в щелочном растворе и сроков схватывания, свойств камня бесклинкерных вяжущих щелочного затворения от химико-минералогического состава, удельной поверхности минеральных порошков, активной концентрации, вида щелочного раствора, времени и условий твердения.

Исследованы гранулометрический состав и природа минеральных порошков; разработана ускоренная методика определения рецептуры тяжелого бетона с использованием бесклинкерного вяжущего щелочной активации, позволяющая выявить взаимосвязь прочностных показателей бетона от расхода щелочного затворителя, отношения щелочной раствор к минеральному порошку и содержания минерального порошка.

Изучено влияние концентрации компонентов «активный порошок – минеральный порошок – щелочной раствор» на свойства строительного композита щелочной активации. Проведен термодинамический расчет



реакционной способности минеральных порошков в щелочной среде, подтверждающий эффективность данной технологии.

**В седьмой главе** приводятся результаты исследований по разработке эффективных составов бесклнкерных вяжущих щелочной активации и строительных композитов на их основе. Разработанные рецептуры бесклнкерных вяжущих щелочной активации из связок «реакционный порошок + минеральный порошок 10% + щелочной затворитель» соответствующие М400.

Разработаны составы строительных растворов на основе вяжущих связок «реакционный порошок + минеральный порошок 10% + щелочной затворитель» с использованием кварцевых и барханных песков в качестве заполнителя, установлено влияние компонентов бетонной смеси и технологических факторов на прочностные показатели бетона, определена зависимость относительных линейных деформаций от рецептурно-технологических факторов. Доказана высокая кислотостойкость вяжущих щелочной активации, исследованы случаи появления высолообразования. Предложены специальные составы бетонов на основе вяжущей связки с использованием отходов промышленности.

**В восьмой главе** рассмотрены особенности структуры и методы получения промышленных щелочных растворов. Разработан водный раствор натриевого жидкого стекла из некондиционных местных стекольных песков и вулканической добавки по более упрощенной технологии, в составе которого формируются цеолитовые фазы, являющиеся затравками в процессе структурообразования бетонов.

Изучено влияние натриевого жидкого стекла с использованием местных некондиционных стекольных песков и вулканических добавок на свойства бетонных композитов. Электронно-зондовые исследования процессов структурообразования строительного композита на синтезированном жидкостекольном связующем на стекольных кварцевых песках и вулканическом туфе характеризуются схожестью структур и присутствием агрегатов гидроалюмосиликатного «цеолитового» состава.

**В девятой главе** автором разработана нормативно-техническая документация: программа и методики исследовательских испытаний; технологии получения образцов композитов (бетонов и растворов) на основе бесклнкерных вяжущих щелочной активации с использованием местного некондиционного природного и вторичного сырья; лабораторный технологический регламент на производство бесклнкерных вяжущих щелочной активации с использованием местного некондиционного природного и вторичного сырья; технические условия на производство строительных композитов с использованием бесклнкерных вяжущих щелочной активации на основе местного некондиционного природного и вторичного сырья. Приведена информация об апробации и внедрении результатов исследований.



При общей положительной оценке данной работы имеется ряд замечаний:

1. В тексте диссертационной работы постоянно встречаются термины «цементное тесто» и «цементный камень» (с. 142,144,146...383,384,387,391). Насколько обоснована такая терминология, если в работе не используется цементное вяжущее?

2. Пункт научной новизны: «Разработаны эффективные составы вяжущих связок полидисперсной гранулометрии с использованием отходов клинкерного производства...» больше относится к практической значимости работы.

3. Подвижность смеси строительных композитов на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации регулировалась только соотношением сухих компонентов и щелочным раствором, что может привести к перерасходу тех или иных составляющих строительных композитов и нежелательному снижению их физико-механических свойств. Возможно ли использование пластифицирующих добавок в составе исследуемых композитов?

4. В диссертационной работе не приводится обоснование выбора вибрационной мельницы для измельчения сырьевых компонентов, которые представляют собой мелкодисперсные материалы (аспирационная и клинкерная пыли, мергель, песок), не требующие интенсивного измельчения.

5. При планировании эксперимента, соискателем не приводится анализ значимости коэффициентов в полученном уравнении регрессии, а только утверждается, что они значимые.

6. Учитывая, что оптимизация состава по прочности не выполнялась, не понятно, как устанавливался рациональный состав бетонного композита щелочного затворения с числовым значение прочности  $R_{сж}=45,9$  МПа?

7. В 7 главе рассматриваются вопросы разработки рациональных и эффективных составов щелочной активации и долговечных бесклинкерных композитов на их основе. В чем заключается эффективность полученных составов?

### **Заключение**

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертационной работы. Диссертация написана грамотным техническим языком, аккуратно оформлена, снабжена достаточным количеством ссылок на литературу. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В работе изложены обоснованные научные положения и технологические решения по значительному экономически эффективному улучшению технологических и эксплуатационно-технических свойств бесклинкерных цементов щелочного затворения и строительных композитов на их основе, которые можно производить как на основе отходов топливно-энергетической промышленности, так и с применением тонкодисперсных



минеральных добавок алюмосиликатной природы, что имеет существенное значение для развития строительного материаловедения и строительной индустрии России.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Саламановой Мадина Шахидовны «Строительные композиты на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации» является завершенной научной квалификационной работой, которая по своему содержанию, научной новизне, практической значимости и числу публикаций, соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842 в настоящей редакции, предъявляемым к диссертационным работам, представленным на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Саламанова Мадина Шахидовна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5 - Строительные материалы и изделия.

#### Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия», профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»

Лукутцова  
Наталья Петровна

«12» сентября 2022 г.

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3.  
Телефон: +7 (4832) 74-60-08-000  
E-mail: mail@bgitu.ru

Подпись официального оппонента Лукутцовой Н.П. удостоверяю:  
«12» сентября 2022 г.

Проректор по научной и инновационной  
деятельности ФГБОУ ВО «БГТУ»  
П.В. Тихомиров

