

Отзыв

на автореферат диссертации **Кожуховой Натальи Ивановны** на тему:
«Научно-технологические основы синтеза геополимерных вяжущих и материалов на их основе», представленной на соискание учёной степени
доктора технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

Одним из мировых трендов последнего десятилетия является борьба за всестороннее снижение выброса парниковых газов, в частности CO₂. Одним из крупных эмитентов данного соединения является промышленность строительных материалов, а именно производство портландцемента, извести и, в меньшей степени, других вяжущих. Преобладание на рынке цементных материалов делает производителей цемента своеобразными монополистами, что мешает работе рыночных механизмов и может приводить к завышению стоимости строительной продукции. Кроме того, не смотря на то, что портландцемент на сегодняшний день является самым удобным в применении и универсальным вяжущим, уже сейчас необходимо системно развивать и альтернативные технологии, которые могут оказаться незаменимыми в случаях, когда возникают жёсткие ограничения на количество доставляемых к месту строительства грузов – это освоение удалённых труднодоступных регионов и, в том числе, освоение объектов солнечной системы с максимальным использованием местного сырья с минимальным расходом привозных активаторов. Применение геополимерных вяжущих, как альтернативы портландцементу, во всех указанных случаях может являться экономически и технически выгодным решением. Однако, степень системной изученности данной области до настоящего момента была недостаточной. В этой связи, диссертационная работа Кожуховой Натальи Ивановны, в которой автор уточняет формальные признаки геополимерных систем, более чётко отделяя их от гидратационно-кристаллизационных, фундированно формализует требования к сырью и основные принципы протекания структурообразующих процессов, а также наглядно демонстрирует их работоспособность при получении плотных и поризованных геополимерных строительных материалов, является весьма **актуальной и практически значимой** для строительной отрасли при решении текущих и перспективных задач.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации работе, подтверждается соответствием общепринятых теоретических положений строительного материаловедения и результатам исследований, полученных другими авторами. Работа базируется на глубоком анализе автором принципов управления процессами структурообразования геополимерных вяжущих и материалов на их основе на различных технологических этапах, с последующей разработкой теоретических основ системного подхода к вопросам понятийного аппарата и положения геополимеров в системе строительных вяжущих веществ с позиции особенностей структурообразования и характеристик сырьевой базы, что и являлось **целью** работы.

Экспериментальная часть диссертационных исследований основана на

изучении широкого спектра зол-уноса различных типоморфных групп из разных стран мира, являющихся традиционным видом алюмосиликатного сырья для ГПВ, природных источников алюмосиликатов (перлит) и ряда доступных модифицирующих добавок. Полученные Кожуховой Н.И. результаты легли в основу методики оценки реакционной способности низкокальциевого алюмосиликатного сырья как основы геополимерных вяжущих. В рамках практической апробации данной методики автором были разработаны составы, и технология, изучены свойства ГПВ на основе низкокальциевых алюмосиликатов различной структуры, которые далее были применены для получения мелкозернистых бетонов плотной структуры и пенобетонов, обладающих повышенной конкурентоспособностью в сравнении с традиционными функциональными аналогами, за счёт более низкой себестоимости. Результаты работы обеспечивают существенное расширение базы сырьевых ресурсов для производства строительных материалов в целом.

Научная новизна докторской диссертационной работы Кожуховой Н.И. состоит из 8 пунктов и включает следующие наиболее значимые:

1. Научно-технологические принципы синтеза геополимерных вяжущих системы « $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MeO}$ », заключающиеся в щелочной активации природного и техногенного низкокальциевого алюмосиликатного сырья с учетом совокупности его генетически обусловленных фазово-размерных характеристик;
2. Методологические принципы оценки реакционной способности алюмосиликатов в условиях геополимерного синтеза; обоснование тезиса об активирующей роли структурно-связанных катионов щелочных металлов в составе алюмосиликатного компонента;
3. Механизм структурообразования ГПВ на основе низкокальциевого сырья;
4. Установление характера влияния модифицирующих минеральных добавок на структурообразование ГПВ;
5. Научное подтверждение технологических решений, обеспечивающих производство плотного мелкозернистого и пенобетона на основе ГПВ.

Общая характеристика диссертационной работы и ее содержательное описание.

По своей структуре диссертационная работа включает в себя следующие разделы: введение, восемь глав, заключение, список литературы и приложения. Диссертационная рукопись соискателя Кожуховой Натальи Ивановны изложена на 640 страницах в виде машинописного текста, содержащего 79 таблиц, 228 рисунков.

Введение содержит краткое описание актуальности и научно-практической ценности представленной работы, а также научный задел, сформированный отечественными и зарубежными материаловедцами; выявлены

теоретические и методологические пробелы, касающиеся вопросов затронутой в диссертации научной проблемы. Кроме того, в этом разделе сформулированы положения научной новизны, выявленные в рамках данного диссертационного исследования, обоснована степень достоверности полученных в работе результатов.

Глава 1 содержит детальную информацию обзорного характера, ориентированную на обоснование важности более глубокого изучения, разработки и более широкого применения геополимеров, как разновидности вяжущих щелочной активации. А именно, описаны перспективы производства геополимеров, основанные на преимущественных особенностях сырьевой базы, технологии производства и дальнейшей эксплуатации. Особое внимание уделено сырью техногенного производства, как возможности эффективной утилизации в производственных масштабах мало востребованных промышленных отходов как ценных источников алюмосиликатов. Соискателем Кожуховой Н.И. выявлена проблема низкой степени разработанности обобщенных подходов к выбору сырья и принципов проектирования геополимерных вяжущих и материалов на их основе.

Глава 2 включает в себя широкий спектр предложенных соискателем фундаментальных принципов структуро- и фазообразования в минеральных системах, относящихся к классу вяжущих и материалов щелочной активации. Проведен глубокий анализ внушительного объема источников научной литературы (474 наименования), содержащих теоретические сведения и экспериментальные результаты, которые посвящены вопросам фазообразования в системе « $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MeO}$ », что позволило соискателю:

- сформулировать концепцию феноменологической модели структурообразования, за счет формирования силикатной структурной единицы новообразований, путем варьирования соотношения компонентов вяжущей системы « $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MeO}$ »;

- выявить наиболее важные критерии эффективности для минерального сырья и упорядочить их по степени значимости с точки зрения применения в условиях геополимерного синтеза, среди которых: алюмосиликатный состав; $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ соотношение – в пределах 1–4.5; концентрация стеклофазы не менее 50 %; низкая степень кристалличности структуры; концентрация оксидов щелочноземельных металлов – не более 10 %; высокая дисперсность / размолоспособность; наличие оксидов щелочных металлов; отсутствие органического компонента.

Глава 3 посвящена подбору и дальнейшему изучению алюмосиликатного сырья, как основного структурного компонента геополимерной матрицы, с позиции его генетических особенностей, ответственных за формирование показателей фазово-размерной гетерогенности, которые, в свою очередь, обусловлены такими параметрами как химический, минеральный и гранулометрический состав, морфологические признаки. Опираясь на

вышеотмеченные характеристики, как наиболее значимые для получения геополимерных систем, для апробации выдвинутых в Главе 2 теоретических гипотез путем проведения экспериментальных исследований, были выбраны представители алюмосиликатов с разными параметрами: по происхождению (техногенные и природные) и по структурным особенностям (содержащие высокую долю стеклофазы и со скрытокристаллической структурой).

Целесообразность использования выбранных алюмосиликатов в качестве предмета исследования в рамках диссертации с перспективой дальнейшего практического применения подтверждена их запасами в необходимом объеме, а также доступностью получения.

Глава 4. содержит комплекс исследований, направленных на изучение влияния таких факторов как степень дисперсности и гранулометрия основного алюмосиликатного сырья, тип и концентрация щелочного активатора и минеральной модифицирующей добавки, условия и продолжительность термической обработки на характер структурообразования и динамику развития прочности к изгибающим и сжимающим нагрузкам твердеющего геополимерного камня. Это позволило соискателю Кожуховой Н.И. разработать геополимерные вяжущие различного компонентного состава.

На основании общих представлений о геополимерах как о близких аналогах керамических систем (с позиции структурно-химических характеристик сырья и матрицы затвердевшего камня) соискателем изучены термостойкие свойства разработанных составов геополимерных вяжущих, которые оценивались с точки зрения фазовых и структурных преобразований, происходящих в геополимерном камне под действием повышенных температур (до 800 °С), а также их взаимосвязь с показателями прочности и средней плотности геополимера после высокотемпературного эффекта.

Глава 5 описывает исследования о кинетике изменения прочностных характеристик перлитовых геополимерных вяжущих, активированных разными щелочными компонентами в зависимости от длительности помолы перлита, нацеленные на установление зависимости формирования структуры геополимерной матрицы от степени дисперсности перлита и проявления активирующих свойств щелочей, содержащихся в его составе.

Соискателем Кожуховой Натальей Ивановной обнаружено, что при получении перлитового геополимера введение модифицирующего минерального агента и его тип оказывает значительное воздействие на водопотребность вяжущего в сторону ее увеличения (максимальное значение наблюдается при модификации метакаолином). Разработана двухуровневая матрица планирования, которая позволила подобрать наиболее рациональные компонентные составы геополимерных вяжущих с использованием перлита как основного алюмосиликатного сырьевого компонента, которые способны обеспечить наиболее приемлемую комбинацию эксплуатационных характеристик для получаемых вяжущих, таких как значения пределов

прочности при сжатии и изгибе.

Глава 6 посвящена исследованиям, сфокусированным на подборе наиболее эффективных с точки зрения эксплуатационно-экономического аспекта дальнейшего практического применения составов для разрабатываемых МЗБ. Для геополимерных бетонных смесей на основе топливных зол было установлено, что степень реакционной способности алюмосиликатного компонента имеют прямое влияние на эффективность проявления химического взаимодействия компонентов геополимерной матрицы с кварцевым песком. Как результат – прочность формирующейся контактной зоны «вяжущее – заполнитель». Для составов МЗБ на основе перлитового геополимера соискателем обнаружено, что прочностные характеристики геополимер-песчаной смеси с применением перлитового песка в меньшей степени зависят от доли заполнителя в бетонном конгломерате и характеризуются более высокой средней плотностью по сравнению с составами на кварцевом заполнителе.

Соискателем установлено, что для составов МЗБ на основе и природного и техногенного происхождения, использование мелкого заполнителя в пределах соотношений «геополимер – заполнитель» от 1:1 до 1:3 наблюдается незначительное снижение прочности – до 15 %; дальнейшее увеличение этого соотношения – до 1:4, приводит к более резкому падению прочностных характеристик геополимер-песчаного композита – до 62 %.

На основании полученных закономерностей соискателем предложены составы геополимерного МЗБ: на основе алюмосиликатов аморфной структуры (на примере зол-уноса ТЭС) с показателями средней плотности 1940–2100 кг/м³, марками по прочности М75–М600, марками по морозостойкости F25–F50 и коэффициентами теплопроводности 0,19–0,69 Вт/м·°С; на основе алюмосиликатов скрытокристаллической структуры (на примере перлита) и на заполнителях разной природы с показателями средней плотности 2140–2300 кг/м³, марками по прочности М50–М300, марками по морозостойкости F25–F100 и коэффициентами теплопроводности 0,3–0,71 Вт/м·°С.

Глава 7 посвящена подбору пенообразователя и разработке составов пенобетона на основе предложенных в Главах 4 и 5 геополимерных вяжущих. Установлена взаимосвязь базовых характеристик пенообразующих компонентов разной природы (белкового и синтетического), таких как кратность и стойкость пены на их основе с их концентрацией и pH рабочей среды с позиции химической интерпретации: посредством определения критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Результаты измерения поверхностного натяжения позволили соискателю установить, что достижение эффекта ККМ для белкового пенообразователя (ПО) в условиях нейтральной среде происходит при более высокой концентрации ПО в сравнении с щелочной рабочей средой. ККМ для синтетического ПО достигается при наиболее высоких концентрациях как в нейтральной, так и в щелочной средах. Эти

показатели находятся в прямой связи с данными кратности для исследуемых пен. Установленные закономерности позволили соискателю разработать составы пенобетона на основе немодифицированных и модифицированных геополимерных вяжущих с марками по плотности D500–D900, классами по прочности B0,75–B3 и показателями по теплопроводности 0,09–0,164 Вт/м·°С.

Глава 8 содержит в себе следующую информацию, имеющую практическую значимость: рекомендуемые способы производства (в виде технологических линий) изделий на основе предложенных составов геополимерных мелкозернистых и пенобетонов, учитывающих основные особенности синтеза геополимерных систем; произведен расчет и обоснование их технико-экономической эффективности.

Заключение соответствует основной идее и содержанию диссертационной рукописи. Этот раздел диссертации содержит пункты научной новизны, которые являются ключевыми, ориентированными на решение поставленной в работе научной проблемы путем разработки основ производства геополимерных систем с применением атермальных и безотходных (экологически чистых) технологий, что в полной мере соответствует основным принципам рационального природопользования.

Приложения, представленные в рукописи в виде перечня нормативной документации, выступают в качестве подтверждения возможности внедрения в производственный процесс разработанных принципов производства геополимерных вяжущих, а также плотных и ячеистых материалов с конкурентоспособными эксплуатационными характеристиками на их основе с использованием различного алюмосиликатного сырья.

Степень достоверности результатов в работе обеспечивается использованием комплекса современных методов исследования, с применением сертифицированного и поверенного оборудования. Результаты подкреплены теоретическим обоснованием и экспериментальными изысканиями. Предложенные теоретические обоснования и полученные экспериментальные данные не противоречат общепризнанным фактам и работам других авторов. Результаты экспериментальных исследований по получению ГПВ и бетонов с плотной и пористой структурами на их основе апробированы в промышленных условиях.

Диссертационная работа выполнена на современном высоком научно-техническом уровне. Текст диссертации и автореферата написан лаконично, грамотно, хорошим понятным научным языком.

Замечания

1. Из текста автореферата и диссертации не до конца понятно на основании чего автором предложены критерии оценки эффективности

алюмосиликатного сырья как основы ГПВ? Следует пояснить, что именно автор вкладывает в понятие ранжирования выбранных критериев по значимости?

2. Согласно предложенным в работе особенностям получения геополимерных вяжущих, в качестве активирующего компонента для алюмосиликатной составляющей выступает свежеприготовленный раствор едкой щелочи. Однако, в литературных источниках при работе с материалами щелочной активации широко распространено применение щелочного раствора, выдержанного в течение некоторого времени (до его остывания) перед затворением им твердой фазы. Чем обоснован выбор использования свежего щелочного раствора в рамках данного исследования? Проводились ли Вами исследования по использованию выдержанных во времени щелочных растворов для получения геополимерных вяжущих?

3. Особенностью получения геополимерных систем является присутствие довольно высокого содержания щелочного компонента, который, находясь в системе в свободном состоянии склонен к «быстрому» химическому взаимодействию с оксидом углерода воздуха, что приводит к образованию водорастворимых карбонатов, которые могут проявляться в виде высолов на поверхности затвердевшего геополимерного камня. Наблюдается ли в Ваших системах подобное явление? Можете ли Вы предложить способы избежать или минимизировать подобный эффект?

4. Результаты по прочности для пенобетонных составов в разделах Введение (стр. 16) и Заключение (стр. 565) разнятся с аналогичными данными, приведенными в таблице 7.7 (стр. 524).

Также, в качестве **замечания** по автореферату можно высказать применение автором в качестве характеристики прочности мелкозернистых бетонов показателя марки вместо класса, выраженной в кгс/см².

Важно отметить, что приведенные замечания носят уточняющий или рекомендательный характер, и, безусловно, не снижают значимость работы.

На основании изложенного можно заключить, что Кожуховой Н.И. подготовлена и представлена к защите самостоятельно выполненная законченная научная квалификационная работа на соискание ученой степени **доктора технических наук**, в которой успешно решена актуальная проблема, имеющая важное хозяйственное значение, изложены новые обоснованные научно-технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие строительной отрасли России. В частности, решена проблема обоснованного выбора сырья в связке с рациональной технологией получения геополимерных вяжущих, имеющая большое значение для отрасли строительных материалов и строительной индустрии РФ в целом.

Диссертация по своей актуальности, новизне научных положений и научной и практической значимости отвечает всем требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842,

утвержденном Постановлением правительства РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Кожухова Наталья Ивановна, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент: доктор
технических наук, специальность 2.1.5 –
«Строительные материалы и изделия»,
доцент, профессор кафедры технологии
строительного производства
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения «Грозненский
государственный нефтяной технический
университет имени академика М.Д.
Миллионщикова



Саламанова
Мадина Шахидовна

28 апреля 2025 г.

Адрес: 364051, Чеченская республика, г. Грозный, пр. Кадырова, 30.
ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический
университет имени академика М.Д. Миллионщикова»

Тел.: +7(928) 000-21-18

e-mail: madina_salamanova@mail.ru

Подпись д.т.н., доцента Саламановой М.Ш. заверяю
Проректор по Научной работе ГГНТУ



Сайдумов М.С.