

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию

Кожуховой Натальи Ивановны на тему:

«Научно-технологические основы синтеза геополимерных вяжущих и материалов на их основе»

**представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия**

Актуальность темы диссертационного исследования

В современном мире, с интенсивным приростом населения, прогрессирующей индустриализацией и, как следствие, возрастающей тенденцией к потреблению, вопросы устойчивого природопользования приобретают первостепенную значимость. Такие явления, как глобальное потепление, загрязнение окружающей среды, истощение природных запасов и деградация экосистем – это лишь незначительная доля вызовов, с которыми сталкивается современный человек. Давление на способность планеты к восстановлению достигло критической точки и требует эффективного решения.

Наиболее эффективным решением рационального использования природных ресурсов, является технологический прогресс, ориентированный на поиск и развитие новых, экологически чистых технологий добычи, переработки и использования природного сырья. В тоже время, особое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии, повышению энергоэффективности, внедрению замкнутых циклов производства, переработки таких отходов и т.д.

Работа Кожуховой Натальи Ивановны направлена на повышение эффективности, расширение практики ресурсосбережения в строительстве и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Это соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития страны, согласно Указа №529 Президента РФ от 18.06. 2024 г., предопределяющего развитие промышленности в области экологической безопасности, восстановления и рационального использования ресурсов.

Следовательно, работа Кожуховой Н.И., ориентированная на рациональное природопользование, в том числе, и в направлениях экологически чистого строительства, в полной мере оправдывает свою актуальность, а создание геополимеров из низкокальциевого сырья

открывает новые возможности для модели устойчивого строительства, снижая экологический след, связанный с традиционными цементными технологиями.

Новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования

Научная новизна диссертационного исследования.

– Установлена прямая зависимость между реакционной способностью алюмосиликатного компонента, зависящей от растворимости в высокощелочной среде, с образованием щелоцеалюмосиликатного геля и эффективности протекания геополимерного синтеза в системе « $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MeO}$ ».

– Предложен механизм структурообразования геополимерных вяжущих (ГПВ) на основе низкокальциевого сырья, заключающийся в активации алюмосиликатной составляющей, путем растворения в высокощелочной среде активирующего агента, с последующим формированием аморфного щелоцеалюмосиликатного геля, а также кристаллических, скрытокристаллических глобулярных нано- и микроразмерных фаз, которые покрывают поверхность и заполняют пространство между нерастворёнными в высокощелочной среде частицами алюмосиликата.

– Выявлен характер влияния минеральных добавок разного происхождения, при модификации геополимерного вяжущего, на его структурообразование в присутствии: портландцемента – за счет одновременного протекания двух механизмов твердения: геополимеризации и гидратации; каолина и метаксаолина – за счет подобия химического и минерального состава, с основным алюмосиликатным компонентом, обеспечивая, таким образом, образование дополнительных геополимерных структур в твердеющей матрице вяжущего.

– Установлены закономерности влияния следующих параметров на физико-механические характеристики геополимерного мелкозернистого бетона (МЗБ) и пенобетона: количество и соотношение компонентов в геополимерном вяжущем и бетонной смеси, режимы приготовления и твердения. Данные закономерности позволяют оптимизировать состав сырьевых смесей и технологические факторы, что обеспечивает более глубокие представления о структурной методологии строительного материаловедения.

Теоретическую значимость работы составляют:

– расширенные теоретические представления о принципах управления структуро- и фазообразованием в системе « $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MeO}$ », при получении геополимерных вяжущих атермального синтеза;

– представление геополимеров, как разновидности щелоч-активированных вяжущих систем, в группе материалов «химически активированные минеральные вяжущие», с точки зрения терминологии и структурно-химических особенностей сырья и вяжущего продукта.

Практическую значимость диссертационного исследования подтверждают: разработанные научно-теоретических положения, и полученные составы геополимерных вяжущих, из алюмосиликатов с разной структурой; предложенные составы и технологии производства материалов плотной и ячеистой структуры на основе геополимерных вяжущих; разработанный перечень нормативной документации, включающий, рекомендации, стандарты организации, технологические регламенты на их производство; осуществлена опытно-промышленная апробация разработанных технологий производства материалов.

Структура и содержание диссертационного исследования

Глава 1. Произведен подробный анализ истории развития вяжущих щелочной активации, как класса минеральных материалов строительного назначения, рассмотрены основные работы отечественных, зарубежных научных школ и ведущих ученых, внесших значительный вклад в это направление. Автором работы, Н.И. Кожуховой, на основании проведенного литературного анализа произведена: оценка существующей и потенциальной сырьевой базы, где значительную долю занимают мало востребованные побочные продукты и промышленные отходы, а также анализ основных особенностей технологии синтеза геополимеров. Это позволило автору обосновать целесообразность: более глубокого изучения геополимерных материалов, как частной разновидности минеральных систем щелочной активации, и их дальнейшего практического внедрения в различные сферы общестроительного и специального назначения, в том числе, в качестве альтернативной замены широко распространённого материала – портландцемента и получаемых материалов на его основе.

Обоснована причина ограниченного практического применения геополимерных вяжущих и бетонных композитов на их основе, которая заключается в отсутствии глубокого понимания фазово-структурных процессов согласно которой, они формируют плотную и ячеистую геополимерную структуру, что является необходимым и определяющим при формировании технологических параметров производства.

Глава 2. Произведен комплексный анализ геополимерных систем с точки зрения существующего в настоящее время разнообразия терминов и определений, которые используются для идентификации и описания механизма твердения, структуры и свойств этой группы минеральных материалов, что позволило в рамках диссертационного исследования:

- сформулировать феноменологическую модель структуро- и фазообразования в системе « $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--MeO}$ », согласно которой можно наглядно представить и описать особенности формирования структуры и фазовых особенностей щелочеалюмосиликатной вяжущей системы, при разных комбинациях следующих параметров: структурные особенности силикатной составляющей, компонентный состав и условия твердения;

- определить область, занимаемую геополимерами, согласно предложенной, Кожуховой Н.И., классификационной системе для химически активированных минеральных вяжущих, в координатах «алюмосиликатный компонент – активирующая среда – механизм структурообразования»;

- предложить концепцию комплексного формирования структуры и свойств геополимерных материалов, заключающуюся в использовании обобщенных принципов управления структурообразованием геополимерной системы,

основанных на последовательном решении локальных задач на каждом этапе технологического цикла, путем подбора и применения совокупности контролируемых параметров, в зависимости от структурных особенностей и практического назначения конечного геополимерного продукта.

Глава 3. Изучен комплекс базовых характеристик кислых зол-уноса, взятых с пяти тепловых электростанций, как представителей сырья с аморфной структурой, а также минерала перлита – в качестве алюмосиликатной основы с ренгеноаморфной, скрытокристаллической структурой и с учетом особенности их фазово-размерной гетерогенности (ФРГ), которая определяются морфологическими, структурными

параметрами, а также минеральным и фазовым составами. На основании данных ФРГ, для алюмосиликатов, содержащих аморфную фазу золы-уноса, автором предложен последовательный ряд увеличения их реакционной способности, в соответствии с предполагаемой концентрацией аморфной фазы или стеклофазы в составе сырья. Произведенный разносторонний анализ, выбранного для проведения исследований, алюмосиликатного сырья позволил установить их предполагаемую эффективность для производства вяжущих и материалов группы геополимеров.

Глава 4. Оценка влияния термического воздействия при разных температурах, а также характер и динамика формирования прочной геополимерной матрицы производилась на основании данных прочности на сжатие и позволили выявить рациональные, с точки зрения экономичности и эксплуатационных показателей конечного геополимерного материала, значения температур, а также всего режима твердения в целом. Автором экспериментально подтверждено, предположение о взаимосвязи реакционной способности зол-уноса с параметрами их фазово-размерной гетерогенности (ФРГ) и выявлен прямо пропорциональный характер их зависимости.

Глава 5. Установлена и подтверждена экспериментально потенциальная возможность использования собственных «щелочных резервов» в составе перлита при получении геополимерных материалов на его основе, которая осуществляется за счет предварительного механического измельчения алюмосиликата. В работе показано, что с ростом длительности диспергационного воздействия на перлитовый компонент происходит постепенное и равномерное увеличение щелочности, которое подтверждается повышением рН для водно-перлитовой суспензии.

Установлен негативный эффект избыточной концентрации катионов щелочных металлов на процессы геополимерного синтеза, который проявляется в первостепенном образовании карбонатов и гидрокарбонатов в виде таких минералов как термонатрит и трона, для которых характерен слабый структурный каркас, неустойчивый к воздействию воды и препятствует нормальному протеканию геополимеризационных процессов.

Глава 6. Установлена прямо пропорциональная зависимость степени реакционной способности алюмосиликатного компонента с их адгезией,

химической природы, между геополимерным вяжущим, в зоне контакта, на границе раздела фаз.

Выявлена более высокая эффективность применения перлитового заполнителя совместно с перлитовым геополимерным вяжущим, при производстве мелкозернистых бетонов (МЗБ), что проявляется в более высоких показателях прочности и более плотной структуре соответствующих бетонов, по сравнению с бетонами на заполнителе из кварцевого песка.

Н.И. Кожухова вполне обоснованно объясняет это явление эффектом химического сродства структур и более активным химическим взаимодействием компонентов на границе раздела «вяжущее – заполнитель».

Разработаны составы МЗБ на основе не модифицированных и модифицированных вариаций геополимерного вяжущего из зол-уноса и перлита.

Глава 7. Выявлена несостоятельность пенообразующего компонента на синтетической основе в среде с высокой рН, типичной для геополимерного синтеза. Автором предположено, что, наиболее вероятной причиной этого эффекта, с химической точки зрения, может быть наличие электролитов в составе синтетического пенообразователя, которые в ходе химического взаимодействия с компонентами щелочного раствора замещаются ионами щелочного металла, переходя в раствор в свободном виде. Все это приводит к резкому снижению поверхностного натяжения пенообразователя в растворе и препятствует процессу образования пены.

Изучена серия способов приготовления геополимерной пенобетонной смеси, с разной последовательностью введения сырьевых компонентов. Выявлен наиболее эффективный вариант, с точки зрения параметров поровой структуры и технологической рациональности его применения. Разработаны составы геополимерного пенобетона, удовлетворяющие требованиям для ячеистых конструкционно-теплоизоляционных композитов.

Глава 8. Предложены технологические решения для производства бетонных изделий строительного назначения с использованием геополимерных вяжущих, в частности: камней стеновых из геополимерного мелкозернистого бетона (МЗБ) и геополимерных пенобетонных блоков неавтоклавного твердения. Кроме того, разработана соответствующая нормативная документация, обеспечивающая эффективность организации и реализации производственного процесса.

Полученные в рамках диссертационного исследования, научные и практические результаты промышленной апробации, используются в образовательных программах и в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров, различных строительных направлений.

На основе проведенных исследований изданы два учебных пособия и методические рекомендации к выполнению лабораторных и практических работ, используемых при подготовке бакалавров, магистров и кадров высшей квалификации.

Достоверность научно-теоретических положений, полученных результатов и сформулированных выводов, отраженных в работе, подтверждается грамотно и логически верно выстроенными экспериментальными и аналитическими исследованиями, в соответствии с постановленной целью и задачами диссертации. Полученные исследователем результаты, не противоречат ранее проведенным исследованиям других научных школ, что отражено в 474 литературных источниках диссертационной работы, а также использованием стандартных методов и уникальных методик, с применением современного высокоточного оборудования.

Степень обоснованности научных положений диссертационного исследования

Автором Кожуховой Н.И. на основании анализа внушительного количества представительных литературных источников обоснованно отмечено, что благодаря непрерывному расширению сырьевой базы, а также усовершенствованию научно-исследовательского инструментария, количество научных подходов, описывающих модели структурообразования в щелочеалюмосиликатной системе закономерно увеличивается.

В условиях непрерывно меняющихся мировых трендов, которые формируют ключевые требования к технологиям получения и эксплуатационным характеристикам конечного продукта, выявленные в диссертационном исследовании закономерности и сформулированные научно-теоретические положения, ориентированные на разработку и развитие теоретических и методологических основ получения геополимерных вяжущих, как частного случая щелочеалюмосиликатных

систем и строительных материалов на их основе, в полной мере отвечают современным теоретическим представлениям строительного материаловедения в рамках актуальной на сегодняшний день концепции рационального природопользования в вопросе применения безобжиговых (атермальных) и безотходных технологий.

Основные положения диссертации сформулированы лаконично и понятно, содержат пункты научной новизны, которые соответствуют поставленной в работе научной проблеме, имеющей высокую значимость для дальнейшего развития и широкого практического внедрения геополимерных вяжущих и их применения в плотных и ячеистых материалах и изделиях на их основе.

Диссертационная работа включает введение, восемь глав, заключение, список литературы и приложения, изложена на 640 страницах машинописного текста и содержит 79 таблиц и 228 рисунков.

Актуальность, состоятельность и фундаментальность научного направления, развиваемого Кожуховой Н.И. в диссертационной работе подтверждается финансовой поддержкой в рамках финансируемых фундаментальных научно-исследовательских работ из различных источников, а также наличием более 80 опубликованных научных трудов, в том числе: 21 – в российских журналах, входящих в перечни рецензируемых научных изданий и международных реферативных баз, рекомендованных ВАК РФ; 12 – в зарубежных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science. Из них 5 публикаций – в журналах Q1 и Q2. Получено 2 патента на изобретения, издано 3 монографии.

Замечания по диссертационному исследованию. Несмотря на высокий уровень проведенных соискателем исследований, которые, без сомнения, имеют научную и практическую ценность, к тексту диссертационной работы и автореферату имеются некоторые замечания и вопросы, требующие уточнения или пояснения:

1. Кожуховой Н.И., отмечено, что вода не участвует в процессах геополимеризации, а только лишь является средой для равномерного распределения и растворения компонентов вяжущего. В связи с тем, что для ускоренного твердения в работе предлагается применять термическую сушку. Наблюдаются ли в рассматриваемой геополимерной системе усадочные деформации в процессе ее твердения?

2. Согласно данным рентгенофазового анализа, в состав исходных зол-уноса входят кристаллические фазы. С учетом, отмеченного соискателем положения о том, что наличие стеклофазы и рентгеноаморфной фазы является важным фактором для протекания процессов геополимеризации, следует прояснить, что происходит с кристаллической составляющей в процессе геополимеризации и какова их роль в процессах структурообразования?

3. В главах 4.5 и 5.3 диссертации, при разработке модифицированных геополимерных вяжущих на основе зол-уноса и перлита, соискателем установлено повышение водопотребности вяжущих систем при введении модификатора, по сравнению с немодифицированным вяжущим. Как может быть объяснен данный феномен для каждого из используемых минеральных модифицирующих компонентов в геополимерной вяжущей системе?

4. Исходя из того, что щёлочь является довольно агрессивным компонентом, она способна оказывать разрушающее воздействие на металл. Был ли исследован вопрос о необходимости защиты оборудования от агрессивного щелочного воздействия активатора?

***Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о порядке присуждения ученых степеней***

Диссертационная работа Кожуховой Натальи Ивановны на тему «Научно-технологические основы синтеза геополимерных вяжущих и материалов на их основе» представляет собой завершенное научное исследование, в которой изложены технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа по своей актуальности, а также в соответствии с разработанными: научной гипотезой, задачами, научной новизной, обоснованностью основных положений, достоверностью и практической значимостью полученных результатов в полной мере отвечает требованиям п.п. 9–11, 13, 14, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание

ученой степени доктора технических наук, а её автор, Кожухова Наталья Ивановна, заслуживает присуждения 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, профессор
кафедры «Строительные материалы и
изделия», ФГАОУ ВО «Южно-
Уральский государственный
университет (национальный
исследовательский университет)»



Крамар
Людмила Яковлевна

«12» 05 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)».

Адрес университета: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76

Тел.: +7 (351) 267-91-14

E-mail: kramar-l@mail.ru

Личную подпись д.т.н., проф. Крамар Л.Я. удостоверяю.

Начальник службы делопроизводства



 /Н.Е. Циулина/