

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**доктора технических наук, профессора Ильиной Лилии Владимировны на
диссертационную работу Куликовой Анжелики Андреевны на тему
«Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны со стабильными
эксплуатационными характеристиками»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.5 Строительные материалы и изделия**

Актуальность темы диссертационного исследования

В связи с повышением темпов строительства в Российской Федерации актуально решение задач по разработке природоохранных, ресурсосберегающих технологий, а также переход к передовым технологиям проектирования и создания строительных материалов, с применением интеллектуальных производственных решений. Одним из способов решения этих проблем является применение высокофункциональных бетонов, в частности, самоуплотняющихся. Но проблемой остаются вопросы, связанные с нестабильностью свойств таких бетонов, высокий расход цемента и применение дорогостоящих модифицирующих добавок.

Для получения высококачественного самоуплотняющегося бетона со стабильными свойствами необходимы новые знания о процессах структурообразования в цементном вяжущем с функциональными добавками на микро- и наноуровне, а также об упаковке зерен дисперсных компонентов бетонной смеси, влияющих на основные характеристики СУБ – удобоукладываемость, вязкость, текучесть, прочность, морозостойкость. Поэтому цель работы, заключающаяся в разработке научно обоснованных решений по формированию состава и структуры самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов со стабильными эксплуатационными характеристиками, является актуальной.

Структура и содержание работы

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 286 наименований. Диссертационная работа изло-

жена на 201 странице, 192 из них машинописного текста, содержит 41 таблицу, 51 рисунок и приложения.

Общая характеристика работы

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, обоснованы актуальность научного исследования, теоретическая и практическая значимость, новизна, полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту, апробация и личный вклад автора.

Первая глава посвящена анализу современного состояния проблемы разработки составов высокофункциональных бетонов, в том числе и самоуплотняющихся. Показаны различные приемы повышения качества бетона: оптимизация состава компонентов смесей, применение модифицирующих добавок и тонкодисперсных минеральных наполнителей, проектирование состава и др. Отмечено, что основным достоинством мелкозернистых бетонов является его многофункциональность, а также возможность применения местных материалов и техногенных отходов предприятий регионов, что позволяет производить изделия с более низкой себестоимостью.

Во второй главе описаны применяемые в работе материалы и методы исследований. Для получения комплексной добавки для мелкозернистого бетона были приняты следующие компоненты: наноразмерный диоксид кремния, микрокальцит и кварцевая мука. Для оценки структурных характеристик цементного камня применялись физико-химические методы анализа. Физико-механические испытания проводились в соответствии с действующими российскими стандартами и методиками.

В третьей главе исследовано влияние модифицирующих добавок на физико-механические характеристики цементного вяжущего. Обоснован выбор компонентов для получения комплексной добавки, близких по вещественному составу с цементом, но имеющих разную структуру и свойства: нанодисперсный диоксид кремния, микрокальцит и кварцевая мука. Представлены результаты

физико-механических испытаний цементного камня, модифицированного нано- и микрокомпонентами, а также комплексной добавкой.

Комплексная добавка позволяет направленно воздействовать на физико-химические процессы и свойства цементного камня за счет выстраивания его структуры на разных масштабных уровнях: микрокальцит (15 мкм) – кварцевая мука (4,9 мкм) – нанодиоксид кремния (10-300 нм). Установлено, что комплексная добавка позволяет получить повышение прочности на сжатие вяжущего до 33,7% (28 суток твердения) и снизить водопотребность смеси, при сокращении расхода цемента (на 7,53%). Исследованы физико-химические процессы гидратации модифицированного цементного камня. Эффект действия комплексной добавки объясняется сбалансированным сочетанием компонентов, обеспечивающим стабильность получаемых свойств. Происходит самоорганизация, инициатором которой является нанодиоксид кремния, и самоуплотнение структуры цементного вяжущего, за счет наличия микрочастиц на поверхности которых формируются дополнительные структурообразующие вещества (гидросиликаты кальция).

В четвертой главе представлена разработанная физико-математическая модель проектирования оптимального соотношения компонентов полифракционной бетонной смеси, позволяющая варьировать доли дисперсных компонентов (заполнитель, наполнитель, цемент) в СУБ. Предложенный способ проектирования состава СУБ учитывает структурно-технологические характеристики дисперсных материалов, особенности взаимодействия компонентов на разных масштабных уровнях, и тем самым позволяет получать бетоны со стабильными эксплуатационными характеристиками. Приведены расчетные составы самоуплотняющегося мелкозернистого бетона с комплексной добавкой. Исследованы физико-механические характеристики мелкозернистого СУБ. Применение разработанной физико-математической модели проектирования составов позволило получить самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны с маркой по удобоукладываемости РК1, маркой по вязкости V2, маркой по текучести Т4, классом по прочности В40 и маркой по морозостойкости F500 при пониженном расходе цемента 412 кг/м³. При этом в качестве сырьевых материалов использовался квар-

цевый песок, являющийся побочным продуктом горнодобывающего производства, кварцевая мука – вторичный продукт горнодобывающего производства, и разработанная комплексная добавка.

В пятой главе представлена технологическая схема изготовления модифицированной бетонной смеси и комплексной добавки. Приведен экономический анализ разработанных составов комплексной добавки и самоуплотняющегося мелкозернистого бетона и результаты внедрения разработок автора. Представлены рекомендации по основным этапам технологии производства мелкозернистых СУБ.

В заключении сформулированы основные выводы по работе и даны рекомендации по дальнейшему развитию исследований.

Внедрение результатов диссертационного исследования Куликовой Анжелики Андреевны осуществлено на двух предприятиях (ООО ТД «ТОП Бетон», АО «ТГОК «Ильменит»), что свидетельствует об актуальности и востребованности.

Результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 39 научных работах, в том числе 7 – в журналах из перечня ВАК РФ, 8 – в изданиях, индексируемых в международной базе SCOPUS и Web of Science. Издана 1 монография.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов подтверждается обоснованным выбором новейших методов исследования, использованием испытательного оборудования с высокой степени воспроизводимости результатов, применением стандартных методик. Анализ результатов, их апробация и результаты промышленного внедрения разработанных составов и методики проектирования состава, свидетельствуют об обоснованности сформулированных в работе основных положений, выводов и рекомендаций.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что введение в цементную композицию наноразмерного диоксида кремния, синтезированного методом дугового плазменного испарения, по сравнению с аналогичными добавками, полученными другими способами, обеспечивает снижение водопотребности и увеличение прочности цементного вяжущего на сжатие до 38%. Полученный результат объясняется пластинчатой формой частиц и широким диапазоном их размеров (от 10 до 300 нм), за счет чего происходит уплотнение структуры и сокращение количества пор в цементном камне. Встраивание наночастиц SiO_2 в матрицу цементного камня и наличие в них включений наноуглерода (26%) создает армирующий эффект, способствует релаксации дефектов и предотвращению развития микротрещин. Пластинчатая форма наночастиц имеет большую площадь поверхности для возникновения активных центров, что повышает их химическую активность и обеспечивает формирование низкоосновных гидросиликатов кальция и снижение интенсивности пиков этtringита на ранних стадиях твердения; установлено, что комплексная добавка (микрокальцит, кварцевая мука, наноразмерный диоксид кремния в соотношении 2:1:0,012) в количестве 7,53% от массы цемента обеспечивает увеличение прочности на сжатие цементного вяжущего до 40%, а при сокращении расхода цемента (на 7,53%) – до 33,7%. Принцип действия добавки объясняется тем, что наноразмерный диоксид кремния, адсорбируясь на частицах микрокальцита и кварцевой муки, активирует их поверхность, повышая реакционную способность, а наноуглеродные включения структурируют воду затворения, что ускоряет процессы образования кремнегеля и реакций гидратации. При модифицировании цементного вяжущего комплексной добавкой нано- и микрочастицы, выстраиваясь на различных масштабных уровнях: микрокальцит (15 мкм) – кварцевая мука (4,9 мкм) – нанодиоксид кремния (10-300 нм), выступают в роли уплотняющих и упрочняющих компонентов, при этом формируются дополнительные структурообразующие вещества (низкоосновные гидросиликаты кальция), что препятствует движению дислокаций и деформационным процессам в цементном камне. Сба-

лансированное сочетание компонентов добавки обеспечивает стабильность получаемых свойств за счет самоорганизации и самоуплотнения структуры цементного вяжущего и бетона, что подтверждено комплексом физико-химических исследований; установлено, что стабильность эксплуатационных свойств СУБ (удобоукладываемость, вязкость, текучесть, прочность) со сниженным расходом цемента (412 кг/м^3) связана с формированием плотной и однородной структуры бетона за счет оптимизации гранулометрического состава дисперсных компонентов, при помощи адаптивной физико-математической модели (коэффициент вариации не более 10%), и применением модифицированного комплексной добавкой цементного вяжущего.

Значимость полученных автором результатов для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений направленном формировании структуры цементного камня и самоуплотняющегося бетона на различных масштабных уровнях (от нано до макро) путем последовательного модифицирования компонентов добавки и бетона, а также за счет оптимизации состава дисперсных систем при помощи адаптивной физико-математической модели.

Практическая значимость работы:

1. разработана комплексная добавка на основе нанодиоксида кремния, микрокальцита и кварцевой муки. Комплексная добавка позволяет получить повышение прочности на сжатие вяжущего до 40% и снизить водопотребность смеси, при сокращении расхода цемента;
2. разработаны составы самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с использованием модифицирующих добавок, а также вторичного и побочного сырья в качестве микронаполнителей и заполнителей. Получены самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны с маркой по удобоукладываемости РК1, маркой по вязкости V2, маркой по текучести Т4, классом по прочности В40 и маркой по морозостойкости F500, при пониженном расходе цемента 412 кг/м^3 ;
3. разработана физико-математическая модель проектирования оптимального соотношения компонентов полифракционной бетонной смеси, позволяю-

щая варьировать соотношение фракций мелкого заполнителя, наполнителя и цемента в зависимости от требуемых характеристик (плотность, прочность, подвижность);

4. предложена технологическая схема производства самоуплотняющегося бетона, обеспечивающая получение стабильных эксплуатационных характеристик. Определена экономическая эффективность получения самоуплотняющегося бетона с разработанной комплексной добавкой, которая составляет 10-12 %;

5. разработаны технические условия ТУ 24.66.47-095-02069295-2025. Комплексные добавки к строительным растворам и бетонам.

Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

1. Автор ставит своей задачей (задача №2) исследовать влияние комплексной добавки на физико-механические характеристики цементного вяжущего. В научной новизне, практической значимости констатируется увеличение прочности вяжущего. В методах исследования автором утверждается, что испытания проводились в соответствии с национальными стандартами РФ. Согласно ГОСТ 310.4-81 прочностные свойства цемента определяются на стандартных образцах-балочках 40×40×160 мм. Однако в работе данные исследования не приведены. А приведено, что испытания проводились на цементном камне на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм. Таким образом, испытания проведены не по требованиям ГОСТ. Кроме того, на образцах кубиках с ребром 20 мм может быть достаточно большая погрешность и коэффициент вариации.

2. В работе не приведены характеристики применяемого пластификатора и его оптимальная дозировка, из чего не совсем понятны его роль и механизм действия.

3. Не до конца ясно, в чем конкретно состоит суть разработанного метода проектирования состава самоуплотняющегося бетона. Не в достаточной мере раскрыта суть физико-математической модели проектирования составов.

В работе встречаются незначительные смысловые погрешности и опечатки.

Указанные замечания не влияют на общий положительный отзыв.

Заключение о соответствии диссертации критериям «Положения о порядке присуждения ученой степени»

Диссертационная работа Куликовой Анжелики Андреевны представляет собой самостоятельно выполненное научное исследование на актуальную тему, содержащую научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной.

Диссертационная работа на тему «*Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны со стабильными эксплуатационными характеристиками*» соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции, а ее автор *Куликова Анжелика Андреевна* заслуживает присуждения ученой степени кандидата 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, директор института цифровых и инженерных технологий ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

Ильина Лилия Владимировна
«23» января 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

Адрес организации: 630008, СФО, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, 113

Телефон: (383) 266-81-89

Адрес электронной почты: l.ilina@sibstrin.ru

Личную подпись Ильиной Л.В. удостоверяю:
Первый проректор «НГАСУ (Сибстрин)»



Евдокименко Александр Сергеевич

«23» января 2026 г.