

## **ОТЗЫВ**

**на диссертационную работу Куликовой Анжелики Андреевны на тему «Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны со стабильными эксплуатационными характеристиками», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5 Строительные материалы и изделия**

На отзыв были представлены:

– диссертационная работа, состоящая из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 286 наименований и приложений. Общий объем работы – 201 страница, из них 192 страницы текста, включающих 51 рисунок, 41 таблицу.

– автореферат диссертации на 24 страницах.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Одной из тенденций в строительной отрасли является повышение эксплуатационной надежности и долговечности строительных конструкций, в том числе за счет применения высокопрочных многокомпонентных бетонов. К числу таких бетонов относятся высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны (СУБ), применение которых позволяет повысить производительность бетонных работ, ускорить укладку бетона (сокращая численность рабочих на укладке) и обеспечить лёгкое протекание бетонной смеси через густоармированные участки. Высокая подвижность и стойкость к расслоению самоуплотняющихся смесей гарантирует однородность, минимальный объём пор, хорошее качество поверхности. Однако широкого применения в нашей стране СУБ пока не нашёл по ряду причин, к числу которых относится в том числе высокая его стоимость. Поиск рациональных составов СУБ, удовлетворяющим как техническим, так и экономическим требованиям продолжается. Важнейшими задачами становятся проектирование оптимального состава СУБ с использованием местных ресурсов и отходов производства, а также обеспечение стабильных эксплуатационных свойств СУБ без увеличения их стоимости.

Таким образом, диссертационная работа, актуальна, так как затрагивает вопросы научно обоснованного выбора сырья, получения эффективных комплексных добавок для возможности регулирования структурообразующих процессов на различных масштабных уровнях, а также разработки физико-математической модели проектирования

оптимального соотношения компонентов полифракционной бетонной смеси для получения СУБ со стабильными свойствами.

Об актуальности выбранной темы работы также свидетельствует выполнение исследований в рамках научных проектов и грантов.

### **Общая характеристика работы**

**Во введении** обоснованы актуальность темы диссертации, представлена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, отражены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения о степени достоверности полученных результатов, их апробация и внедрение.

**В первой главе** представлен анализ состояния исследований российских и зарубежных авторов особенностей получения высокофункциональных бетонов, в том числе и самоуплотняющихся. Проведен анализ основных проблем при разработке составов и технологий производства СУБ со стабильными свойствами, связанных с трудностью получения бетонных смесей с высокой текучестью, отсутствием сегрегации и достижением высокой прочности бетона. Приведен анализ свойств и факторов, влияющих на получение самоуплотняющихся бетонов со стабильными эксплуатационными характеристиками.

**Во второй главе** описаны основные характеристики применяемых материалов и методов исследования.

**В третьей главе** представлены результаты исследований влияния модифицирующих добавок на свойства цемента. Приведены результаты исследований по оценке влияния наноразмерного диоксида кремния различных способов получения на изменение фазового состава и структурные характеристики цементной матрицы, а также на физико-механические свойства цементного камня. Особенности структуры и свойств наноразмерного диоксида кремния, синтезированного методом дугового плазменного испарения (размер и форма частиц, наличие примесей) позволяют улучшать свойства цементного вяжущего. Так обеспечивается снижение водопотребности и увеличение прочности цементного вяжущего на сжатие до 38%. Обоснован выбор микродисперсных компонентов добавок, близких по вещественному составу с цементом: микрокальцит (МСа), кварцевая мука (КМ). Разработан рациональный состав комплексной добавки, исследовано ее влияние на

свойства цемента. Эффект действия комплексной добавки достигается за счет выстраивания структуры цементного камня на различных масштабных уровнях: микрокальцит (15 мкм) – кварцевая мука (4,9 мкм) – нанодиоксид кремния (10-300 нм), где нано- и микрочастицы выступают в роли упрочняющих включений, при этом формируя дополнительные структурообразующие вещества. Установлено, что комплексная добавка позволяет получить повышение прочности на сжатие цемента до 40%. Рассмотрены физико-химические процессы гидратации модифицированного цементного камня с различными добавками.

**В четвертой главе** представлена разработанная физико-математическая модель проектирования состава бетона, направленная на подбор рационального соотношения дисперсных материалов для обеспечения получения стабильных эксплуатационных характеристик СУБ. Показано, что оптимальные свойства бетона достигаются тогда, когда более мелкие зерна максимально эффективно заполняют пустоты между более крупными, формируя структуру с минимальной пористостью для обеспечения максимальной прочности каркаса. Модель позволяет подбирать оптимальное соотношение компонентов бетонной смеси (цемент, микронаполнитель, фракции песка) и получать СУБ со стабильными показателями удобоукладываемости, вязкости, текучести, прочности и морозостойкости при сниженном расходе цемента. Представлены составы СУБ с комплексной добавкой с использованием аналитического метода проектирования, определены их физико-механические характеристики.

**В пятой главе** предложена технология производства комплексной добавки и самоуплотняющихся бетонных смесей с использованием типового бетоносмесительного оборудования. Представлены рекомендации по основным этапам технологии производства мелкозернистых СУБ, экономическая эффективность разработанного самоуплотняющегося мелкозернистого бетона и приведены результаты внедрения разработок.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Автор в своих исследованиях опирается на результаты фундаментальных и прикладных исследований в области получения высококачественных самоуплотняющихся бетонов, использует анализ научно-технической литературы, а также применяет комплекс методов исследования с использованием современного высокотехнологичного оборудования, что позволило получить обоснованные достоверные результаты.

Основные выводы, представленные в заключении диссертации и автореферате диссертации, отражают содержание и результат проведенных экспериментально-теоретических исследований, раскрывают полноту решения поставленных в работе задач.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** обеспечена тем, что изложенные положения базируются на общепризнанных законах строительного материаловедения, химии, физики; на данных по исследованию модифицированных цементных систем, их состава, структуры и свойств с использованием физико-химических методов, включающих рентгенофазовый, электронно-микроскопический и дериватографический анализ; теоретические аспекты гипотезы согласуются с экспериментальными данными, в том числе полученными другими авторами. Выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, получили положительную апробацию и внедрение на предприятиях строительной индустрии, а также используются в учебном процессе.

**Новизна диссертационной работы** заключается в установлении изменения состава, структуры и физико-механических свойств цемента с использованием наноразмерного диоксида кремния, синтезированного различными способами и имеющего различный состав и структуру. Доказано, что использование наноразмерного диоксида кремния, синтезированного методом дугового плазменного испарения, более эффективно обеспечивает снижение водопотребности цемента и увеличение прочности цементного камня. Полученный результат связан с особенностями технологии получения нанокремнезема, в частности наличием 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  $\text{SiO}_2$  в матрицу цементной системы и наличие в них включений наноуглерода (26%) создает армирующий эффект, способствует релаксации дефектов и предотвращению развития микротрещин.

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 цемента до 40%. Сбалансированное сочетание компонентов добавки обеспечивает стабильность получаемых свойств за счет самоорганизации и самоуплотнения структуры цементного камня и бетона, что подтверждено

комплексом физико-химических методов исследований. Рассмотрен механизм действия добавки: 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 гидратации цемента и образования кремнегеля. 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.

Установлено, что стабильность эксплуатационных свойств СУБ (удобоукладываемость, вязкость, текучесть, прочность) со сниженным расходом цемента ( $412 \text{ кг/м}^3$ ) 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.

**Теоретическая значимость работы** заключается в развитии представлений о 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 для модификации цемента и бетона на его основе.

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<sup>3</sup>.

3. Разработана физико-математическая модель проектирования оптимального соотношения компонентов полифракционной бетонной смеси, позволяющая 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, и определена экономическая эффективность его получения с разработанной комплексной добавкой.

5. Разработаны нормативные документы, технические условия, на состав комплексной добавки к строительным растворам и бетонам.

#### **Оценка публикаций автора**

По результатам выполненных в диссертационной работе исследований опубликовано 39 научных работ, в том числе 7 – в журналах из перечня ВАК РФ (К1, К2), 8 – в изданиях, индексируемых в международных базах SCOPUS и Web of Science. Издана 1 монография. Публикации в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы Куликовой А.А.

#### **Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы.**

1. В работе был исследован и использован для модификации цементного камня и бетона нанокремнезем (НК) различного способа получения и структуры. Фазовый состав показал, что добавки НК SGM и VHEE представлены кристобалитом (стр. 54 диссертации, рис. 2.3). Примерно одинаковый фазовый состав данных добавок должен дать примерно одинаковую их структуру: сферические формы частиц, характерные для высокотемпературных модификаций кварца. Кроме того, наличие кристобалита, являющегося модификацией кристаллического кварца, не снижает химическую активность добавок?

2. Порошки, полученные способами VHEE и ТРМ, содержат в своем составе от 17 до 26 мас.% углерода, содержание которого следует рассматривать не как примесь, а как компонент добавки. Если в исходном диатомите наличие углерода можно объяснить, то в кварцевом песке -

сложно. Кроме того, известно, что в НК VHEE содержание диоксида кремния достигает до 99 и более процентов.

3. Незначительное увеличение прочности цементного камня с использованием нанокремнезема SGM автор объясняет не только структурой добавки (наличие модификаций кварца с частицами сферической формы), но и образованием за счет химических процессов малорастворимых кристаллогидратов ( $H_2SiO_3$ ). На наш взгляд, образование кремниевой кислоты все равно будет способствовать связыванию  $Ca(OH)_2$  и образованию дополнительного количества гидросиликатов кальция. Возможно, переход из золя в гель при получении добавки будет снижать эффективность ее применения на ранних сроках твердения цементного камня.

4. Изменение прочности цементного камня с добавками объясняется изменением его состава и структуры. Автор работы, представляя РФА гидратного камня (стр. 77 диссертации, рис. 3.3), не указал сроки его твердения. Чем можно объяснить, что в составе с нанодиоксидом кремния, произведенным SGM, интенсивность пиков этtringита высокая, хотя используемые добавки имеют примерно одинаковый состав. При этом использование этой добавки дает увеличение прочности цементного камня в поздние сроки твердения на 48% (табл. 3.3, стр. 79, 80 диссертации).

5. Чем автор объясняет повышение морозостойкости бетона с использованием комплексной добавки. Было бы интересно получить результаты исследований по определению пористости бетона и характера пор, объясняющие улучшение этого показателя бетона, а также коррозионной стойкости, определяющий область применения бетона.

6. На разработанный состав самоуплотняющегося бетона с комплексной добавкой нет патента, что позволило бы обеспечить юридическую защиту полученных результатов.

Указанные замечания не влияют на общий положительный отзыв.

Диссертация Куликовой Анжелики Андреевны представляет собой завершенное научное исследование на актуальную тему. Диссертация написана грамотным техническим языком, графический материал выполнен на высоком уровне. Положения, выводы и рекомендации соответствуют цели и задачам исследования, подтверждены экспериментальными данными. Работа содержит ряд новых научных результатов, несущих существенные теоретическое и практическое значение для развития

строительного материаловедения и строительной отрасли. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Учитывая актуальность затронутых вопросов, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа на тему **«Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны со стабильными эксплуатационными характеристиками»** соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям в соответствии с п. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842» в действующей редакции, решена задача разработки научно обоснованных решений по формированию состава и структуры самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов со стабильными эксплуатационными характеристиками, а ее автор, **Куликова Анжелика Андреевна**, достойна присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Доктор технических наук  
по специальности 05.23.05 –

Строительные материалы и изделия,  
профессор, профессор кафедры

«Градостроительство» ФГБОУ ВО  
«Национальный исследовательский

Московский государственный  
строительный университет»

 Урханова Лариса Алексеевна

26 января 2026 г.

**ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский  
государственный строительный университет»**

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

Тел.: 8902168-51-68;

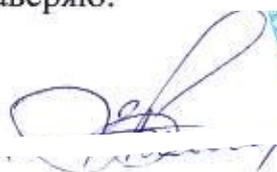
e-mail: [urkhanova@mail.ru](mailto:urkhanova@mail.ru)

Подпись профессора Урхановой Л.А. заверяю:

Начальник

отдела кадрового делопроизводства

Управления по работе с персоналом





Пинегин А.В.