

На правах рукописи



Егорова Елена Владимировна

**САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМ
МОДИФИКАТОРОМ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Макеевка – 2016

Работа выполнена на кафедре технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры", г. Макеевка.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Зайченко Николай Михайлович,
ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры",
заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов.

Официальные оппоненты: **Коротких Дмитрий Николаевич**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО "Воронежский государственный архитектурно-строительный университет",
доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций;

Николаева Елена Климовна
кандидат технических наук, доцент,
ГОУ ВПО ЛНР "Донбасский государственный технический университет", г. Алчевск,
доцент кафедры архитектурного проектирования и инженерной графики.


Ведущая организация: Академия строительства и архитектуры
ФГАОУ ВО "Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского", г. Симферополь.

Защита состоится "01" июля 2016 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.006.02 при ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры" по адресу: 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал заседаний ученого совета. Тел. факс: +38(0623) 22-77-19,
e-mail: d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры" по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан "___" _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 01.006.02



Назим Ярослав Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с принципами устойчивого развития, положенными в основу "Программы 21 для устойчивого строительства" ("Agenda 21 for Sustainable Construction", Rio de Janeiro, 1992), для отрасли строительной индустрии требуется разработка и внедрение ресурсо- и энергоэффективных строительных материалов, инновационных технологий их производства. Так, в современном монолитном строительстве все шире применяются высокотехнологичные бетонные смеси, способные без применения какого-либо внешнего механического воздействия заполнять опалубку (форму), в том числе густоармированную и со сложной геометрией, сохраняя при этом связность и однородность – самоуплотняющиеся бетоны (СУБ). Наряду с высокой удобоукладываемостью такие бетоны характеризуются быстрыми темпами набора прочности, высокими физико-механическими характеристиками, что позволяет отнести их к классу "высокофункциональных бетонов" (High Performance Concretes). Это обеспечивается за счет применения комплексов модификаторов, включающих, как правило, эффективные разжижители, модификаторы вязкости, активные минеральные добавки (наполнители), ускорители твердения. При этом, применение таких добавок как поликарбоксилатные суперпластификаторы, микрокремнезем, метакаолин и др. приводит к значительному удорожанию самоуплотняющихся бетонов в сравнении с обычными. Кроме того, особенности состава и структуры самоуплотняющихся бетонов обуславливают возможность проявления и ряда недостатков: повышенные усадка и ползучесть, пониженный модуль упругости, опасность термического трещинообразования в массивных конструкциях, снижение морозостойкости. В связи с этим разработка составов полифункциональных модификаторов на основе отходов промышленности – агрегированного микрокремнезема из шламонакопителей заводов ферросплавов, доменного гранулированного шлака, золошлаковой смеси ТЭС, обеспечит получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества и невысокой себестоимостью.

Исследования по теме диссертации выполнены в рамках госбюджетной научно-исследовательской тематики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: Д-2-03-09 "Комплексное теоретико-экспериментальное обоснование свойств высококачественных строительных материалов и разработка эффективных технологий производства" (2009-2010 гг., № 0109U003040); Д-2-03-11 "Разработка новых высококачественных композиционных материалов в виде стойких к коррозии и высокопрочных бетонов, исследование особенностей их работы в условиях объемного напряженно-деформированного состояния и повышенных температур" (2011-2012 гг., № 0111U001805); Д-2-03-13 "Исследование характеристик физико-механических и реологических свойств высокопрочных модифицированных бетонов с фибровым армированием в диапазоне температур от +20° до +300°С" (2013-2014 гг., № 0113U001921).

Степень разработанности темы. Состав и технология самоуплотняющегося бетона разработаны в 1986 г. профессором Токийского университета Н. Okamura. На протяжении 1997-2000 гг. в странах ЕС широкое внедрение в строительной отрасли нашли результаты транснационального инновационного проекта "Self Compacting Concrete (SCC)". В работах Ю.М. Баженова, Ю.Г. Барабанщикова, О.Н. Болотских, Л.И. Дворкина, В.И. Калашникова, С.С. Каприелова, С.В. Ковалю, Д.Н. Коротких, Г.В. Несветаева, Е.М. Чернышева, А.В. Шейнфельд, H.J.H. Brouwers, M. Collepardi, P.L. Domone, S. Hanehara, K. Ozawa, H.J. Radix и др. рассмотрены закономерности формирования структуры и свойств СУБ с органоминеральными модификаторами. Наряду с огромным массивом опубликованных работ требуются дальнейшие исследования по разработке составов полифункциональных модификаторов, исключая такие проблемы как совместимость добавок с цементами, замедленные темпы развития ранней прочности, усадка бетона, повышенное тепловыделение. Не менее важными остаются проблемы снижения стоимости модификаторов и бетонов на их основе.

Цель исследования – теоретическое и экспериментальное обоснование получения самоуплотняющихся бетонов с нормируемыми показателями качества на основе установления закономерностей влияния состава органоминерального модификатора (активная минеральная добавка, суперпластификатор, щелочной активатор твердения) на структурообразование и свойства бетонной смеси и бетона.

Задачи исследования:

- выполнить анализ существующих представлений о структуре и свойствах самоуплотняющихся бетонов, влиянии полифункциональных модификаторов на структурообразование бетонных смесей и бетонов;
- разработать технологию получения и исследовать свойства полифункционального модификатора на основе агрегированного микрокремнезема из шламонакопителей, суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната и щелочного активатора композиционного вяжущего;
- исследовать влияние полифункционального модификатора на свойства и кинетику твердения цементных паст и самоуплотняющихся бетонных смесей на основе вяжущего с частичной заменой портландцемента молотыми доменным гранулированным шлаком или золошлаковой смесью ТЭС;
- выполнить оптимизацию состава самоуплотняющегося бетона по критериям подвижности бетонной смеси и прочности бетона при сжатии, исследовать физико-механические свойства бетонов;
- разработать технологический регламент производства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов;
- осуществить опытно-промышленное внедрение результатов исследования и оценить их технико-экономическую эффективность.

Объект исследования – самоуплотняющиеся бетонные смеси и бетоны, содержащие полифункциональный модификатор на основе отходов промышленности.

Предмет исследования – процессы и явления, определяющие закономерности формирования структуры и свойств самоуплотняющихся бетонов, содержащих полифункциональный модификатор на основе отходов промышленности.

Методология и методы исследования. Экспериментальные исследования выполнены согласно стандартным и специальным методикам с использованием аттестованных средств измерительной техники и испытательного оборудования. Микроструктура и состав продуктов гидратации цементного камня исследованы по данным рентгенофазового анализа (ДРОН-3) и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией (РЭММА-102-02, SELMI). Реологические свойства цементных паст определены с использованием вискозиметра ротационного RHEOTEST® RN 4.1 с измерительной системой "конус – пластина" в соответствии с DIN 53018. Оценка технологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей проведена в соответствии с методиками, изложенными в руководстве "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use". Оптимизация состава самоуплотняющихся бетонов выполнена с использованием математических моделей. Для обработки и анализа результатов экспериментов применены методы математической статистики.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- осуществлено теоретическое и экспериментальное обоснование получения высококачественных самоуплотняющихся бетонов при использовании полифункционального модификатора, представляющего собой суспензию, полученную диспергированием активной минеральной добавки (агрегированный микрокремнезем из шламонакопителей завода ферросплавов) в растворах суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната (С-3) и щелочного активатора твердения вяжущего (гидроксид / сульфат натрия) в бисерной мельнице;

- по результатам рентгенофазового анализа образцов цементного камня (возраст 90 суток) установлено, что интенсивность дифракционных отражений минерала портландита ($d=0,491; 0,311; 0,263; 0,193; 0,179$ нм) в структуре цементного камня с полифункциональным модификатором значительно снижается в сравнении с контрольным составом. При этом повышается интенсивность линий тоберморитоподобных гидросиликатов кальция с отношением Ca/Si менее 1,5 ($d=0,304; 0,280; 0,182$ нм) и с отношением Ca/Si от 1,5 до 2 ($d=0,980; 0,285$ нм);

- установлено, что сульфат натрия в составе модификатора обеспечивает меньшее снижение подвижности во времени цементной пасты, содержащей молотую золошлаковую смесь ТЭС (12,7% в течение 90 мин. выдержки), по сравнению с контрольным составом, что связано с конкурентной адсорбцией анионов SO_4^{2-} и молекул полиметиленафталинсульфоната на активных центрах поверхности клинкерных минералов и минеральных добавок;

- определены области оптимальных составов бетонных смесей по содержанию полифункционального модификатора, обеспечивающие получение бетонных смесей с показателем подвижности по диаметру расплыва конуса не

менее 565 мм, а также бетона с пределом прочности при сжатии в проектном возрасте не менее 30 МПа.

Практическое значение полученных результатов:

- рассчитаны и оптимизированы составы самоуплотняющихся бетонов, применение которых при строительстве зданий и сооружений обеспечивает улучшение качества возводимых конструкций, повышение скорости строительства, снижение трудоемкости процесса и себестоимости конструкций;
- разработан "Технологический регламент производства самоуплотняющихся бетонов";
- определена технико-экономическая эффективность применения разработанных комбинированных органоминеральных модификаторов в составах тяжелого бетона среднего класса по прочности при сжатии – В40;
- осуществлено внедрение результатов исследования: строительной компанией ООО "Миллениум-строй" при строительстве объекта "Многоэтажный двухсекционный жилой дом по ул. Куйбышева в Куйбышевском районе г. Донецк"; "ТВП ЛЮС", г. Донецк – при производстве товарных бетонных смесей, которые содержат органоминеральный модификатор.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс Донбасской национальной академии строительства и архитектуры при подготовке бакалавров и магистров по направлению 08.03.01 (08.04.01) "Строительство", профиль "Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций" в курсах дисциплин: "Бетоны и строительные растворы"; "Технология бетонных и железобетонных изделий и конструкций"; "Модифицированные цементные бетоны нового поколения со специальными свойствами".

Достоверность результатов работы обеспечивается проведением экспериментов на современном исследовательском оборудовании с достаточной воспроизводимостью результатов; применением стандартных методик, обеспечивающих достаточную точность полученных результатов; статистической обработкой полученных данных с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний; сопоставлением результатов с аналогичными результатами, полученными другими авторами; положительными результатами опытного внедрения составов и технологии изготовления самоуплотняющихся бетонов.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, внедрении результатов исследований в производство. Отдельные составляющие теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрение результатов диссертационной работы выполнены с соавторами научных работ, изложенных в списке публикаций.

Апробация диссертационной работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ДонНАСА (2006-2016 гг.); научно-технических конференциях: II Международная конференция по проблемам бетона и железобетона (Москва, 2005 г.); The Third International Conference on the Alkali Activated Materials – Research, Production and

Utilization (Prague, 2007); Конференция к 70-летию Донецкого национального университета (Донецк, 2007); VIII Международная научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов (Макеевка, 2009); Всеукраинская научно-практическая конференция "Современные строительные материалы и конструкции, инновационные технологии возведения зданий и сооружений" (Макеевка, 2010 г.); Международная научно-практическая конференция "Строительство и архитектура-2015" (Ростов-на-Дону, 2015 г.); Международная конференция "Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. Высококачественные бетоны: материалы, конструкции, технологии" (Макеевка, 2015 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 20 научных работах, в том числе 15 – в рецензируемых научных изданиях: 11 – входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденных МОН Украины; 4 – в журналах, включенных в международные наукометрические базы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников из 174 наименований на 18 страницах, трех приложений. Общий объем диссертации составляет 161 страницу, в том числе 131 страницу основного текста, 40 рисунков, 40 таблиц.

Автор защищает:

- составы и технологию полифункциональных модификаторов самоуплотняющихся бетонов в виде концентрированной суспензии, полученной тонким диспергированием агрегированного микрокремнезема из шламонакопителей завода ферросплавов в среде растворов суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната и щелочного активатора вяжущего (гидроксид натрия / сульфат натрия);
- установленные закономерности влияния полифункционального модификатора на реологические свойства цементных паст и самоуплотняющихся бетонных смесей на основе вяжущего с частичной заменой портландцемента молотыми доменным гранулированным шлаком или золошлаковой смесью;
- установленные закономерности влияния полифункционального модификатора на кинетику твердения цементных паст и формирование продуктов гидратации композиционного цемента;
- составы самоуплотняющегося бетона, оптимизированные по критериям подвижности бетонной смеси и прочности бетона при сжатии;
- результаты исследований физико-механических и эксплуатационных свойств самоуплотняющихся бетонов с полифункциональным модификатором;
- разработанный технологический регламент производства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов с органоминеральным модификатором на основе отходов промышленности.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, изложены научная новизна и практиче-

ское значение работы, приведена информация о структуре и объеме диссертации, публикациях и апробации работы.

В первом разделе проанализировано современное состояние вопроса по направлению темы диссертации, изложены теоретические предпосылки исследований, на основе которых сформулирована научная гипотеза диссертационного исследования.

Современный уровень развития монолитного строительства высотных зданий и различных инженерных сооружений требует применения высокотехнологичных бетонных смесей, характеризующихся такими показателями как высокая начальная подвижность и ее сохраняемость в течение времени, необходимого для доставки бетонной смеси на строительный объект и формирования конструкций; стойкость к расслоению; быстрые темпы набора прочности бетона. Таким требованиям отвечает новое поколение самоуплотняющихся бетонов, применение которых позволяет значительно ускорить темпы строительства объектов (Н. Okamura, К. Ozawa, Н. J. Radix). Высокая текучесть и сопротивление сегрегации СУБ обеспечивают требуемый уровень однородности, минимальную пористость, равномерное по сечению конструкции значение прочности бетона, обеспечивая наивысшую категорию качества поверхности и высокую долговечность строительных конструкций. Самоуплотняющиеся бетонные смеси, как правило, имеют низкое значение водоцементного отношения, что создает предпосылки для набора бетоном высокой прочности в раннем возрасте, ускоряя распалубку и повышая оборачиваемость форм и оснастки. Исключение вибрационного оборудования из технологического процесса снижает вредное воздействие на работников шума и вибрации вблизи строительных площадок и в формовочных цехах заводов сборного железобетона.

Однако, наряду с перечисленными достоинствами СУБ присущи недостатки, связанные с особенностью их состава и макроструктуры, в частности, повышенной концентрации растворной составляющей, что обуславливает более высокие усадку и ползучесть, снижение модуля упругости и трещиностойкости (Ю.Г. Барабанщиков, В.И. Калашников, Д.Н. Коротких, Г.В. Несветаев).

Для получения самоуплотняющихся бетонных смесей необходимо решить компромиссную задачу – с одной стороны создать условия для способности бетонной смеси легко заполнять все пространство опалубки, преодолевая элементы оснастки и густое армирование без блокирования крупного заполнителя, а с другой – обеспечить однородность и связность бетонной смеси, исключив расслоение. Эта задача может быть решена за счет применения комплекса химических и минеральных модификаторов. Эффективные суперпластификаторы на основе модифицированных поликарбоксилатных эфиров снижают предельное напряжение сдвигу смесей, существенно повышая их текучесть, в то время как тонкодисперсные минеральные добавки (и/или модификаторы вязкости) повышают вязкость растворной части для предотвращения расслоения бетонной смеси (О. Petersson, Т.Н. Phan, М. Moranville, О.Н. Wallevik).

В то же время, разжижающая способность суперпластификаторов весьма чувствительна к особенностям химико-минералогического состава цемента, а также минеральных добавок, что в современном бетоноведении трактуется как

"совместимость добавок" (Г.В. Несветаев, А.В. Ушеров-Маршак, Р-С. Aitcin). Так, поликарбоксилатные суперпластификаторы, как правило, плохо совместимы с высокоалюминатными цементами, снижается их эффективность в присутствии повышенного содержания щелочей, низкой температуры окружающей среды. Кроме того, данные добавки увеличивают объем вовлеченного воздуха в бетонную смесь. В меньшей мере к колебаниям химико-минералогического состава подвержены разжижители на основе сульфированных нафталинформальдегидных конденсатов. При этом, существует обратная зависимость между количеством адсорбированного полиметиленафталинсульфоната и областью значений подвижности цементных паст, которая с повышением адсорбированного суперпластификатора снижается, а потери подвижности повышаются (S. Hanehara, T. Nawa, H. Uchikawa). По данным исследований Н.М. Зайченко, S. Jiang, С. Jolicoeur, В. Kim и др. добавка сульфата натрия способствует повышению подвижности цементной пасты в результате снижения величины адсорбции суперпластификатора. В присутствии щелочного сульфата адсорбция на C_3A и C_4AF ингибируется и увеличивается на C_3S и $\beta-C_2S$, а общее количество адсорбированного пластификатора уменьшается, повышается его концентрация в жидкой фазе бетонной смеси, что вызывает диспергирование частиц и снижение вязкости цементной пасты.

Эффективность добавки зависит от способа ее введения в бетон. Наилучшие результаты достигаются, когда минеральная добавка, например, микрокремнезем или смесь микрокремнезема с золой, смешивается с суперпластификатором заранее (Ю.М. Баженов, П.Г. Комохов). Разработаны высокоэффективные добавки полифункционального действия серии "МБ" – порошкообразные композиционные материалы на органоминеральной основе, минеральная часть которых состоит из микрокремнезема или его смеси с золой, а органическая часть представлена суперпластификатором или его смесью с регулятором твердения и другими добавками (В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд). При этом стоимость такого модификатора определяется в основном стоимостью наиболее дорогого компонента – микрокремнезема. С другой стороны широкому внедрению модификатора препятствует ограниченная технологичность микрокремнезема в связи с его низкой насыпной плотностью, что обуславливает необходимость переработки в уплотненную гранулированную или пастообразную форму (например, суспензия EMSAC[®]500 S, Elkem).

В связи с этим разработку составов полифункциональных модификаторов на основе отходов промышленности, например агрегированного микрокремнезема из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов, и суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната, обеспечит получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества и невысокой себестоимостью. Измельчение агрегированного микрокремнезема наиболее целесообразно осуществлять в жидкой среде, например в бисерных мельницах, применяемых для получения ультрадисперсных продуктов путем перетирания суспензии материала твердыми стеклянными шариками – бисером. В щелочной среде гидроксида натрия микрокремнезем наряду с диспергированием агрегатов

растворяется (растворимость аморфного кремнезема быстро возрастает при увеличении рН среды свыше 9 – Р.К. Пер.), образуя частички коллоидных размеров.

На основании вышеизложенного предложена следующая *научная гипотеза* исследования. Требуемый уровень показателей качества самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов может быть обеспечен модифицированием комплексом добавок на основе агрегированного микрокремнезема, диспергированного в среде суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната и щелочного активатора твердения вяжущего – гидроксида / сульфата натрия. Возможное снижение ранней прочности бетона при частичной замене (до 35%) портландцемента молотыми доменным гранулированным шлаком / золошлаковой смесью ТЭС может быть компенсировано щелочным активатором твердения, а также наличием частичек коллоидного микрокремнезема, выполняющих функцию центров осаждения гидросиликатного геля.

Во втором разделе для выполнения поставленных в работе задач разработана структурно-логическая схема теоретических и экспериментальных исследований (рисунок 1), которая включает четыре последовательных блока: I – теоретические предпосылки получения самоуплотняющихся бетонов с нормируемыми показателями качества; II – разработка способа получения полифункционального модификатора; исследование его влияния на реологические свойства цементных паст, технологические свойства бетонных смесей; процессы твердения цементных паст и бетонных смесей; III – оптимизация состава СУБ, исследование физико-механических и эксплуатационных свойств; IV – разработка технологического регламента производства СУБ; внедрение результатов исследования в производство.

При проведении экспериментов в качестве исходных материалов были использованы:

– портландцемент ПЦ I-500 Н производства ПАО "Хайдельберг Цемент Украина" (г. Амвросиевка), который отвечает требованиям ДСТУ Б В.2.7-46:2010 "Цементы общестроительного назначения. Технические условия" ($S_{уд.}=357 \text{ см}^2/\text{кг}$; $НГ=26,2\%$, $R_{28}=51,2 \text{ МПа}$);

– заполнители: щебень гранитный Кальчикского карьера (фракция 5-20 мм); песок кварцевый Просяновского месторождения ($M_k=2,4$); песок кварцевый Краснолиманского месторождения ($M_k=1,1$);

– минеральные добавки: молотая золошлаковая смесь (ЗШС) Углегорской ТЭС; молотый доменный гранулированный шлак (ДГШ) Донецкого металлургического завода; микрокремнезем агрегированный из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов (таблица 1);

– химические добавки: суперпластификаторы на основе полиметиленафталинсульфоната: С-3 (ТУ 2481-001-51831493-00); N-200 (Mapei); модифицированные поликарбоксилатные эфиры: Melflux 1641 F, Melflux 2641 F (BASF); натр едкий технический (ГОСТ 2263-79); натрий сернокислый технический (ГОСТ 6318-77).

Экспериментальные исследования выполнены с помощью стандартных и специальных методов. Реологические свойства цементных паст (пластическая

вязкость, предельное напряжение сдвигу) исследованы с использованием вискозиметра ротационного RHEOTEST® RN 4.1 с измерительной системой "конус – пластина" в соответствии с DIN 53018. Технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей определены в соответствии с Европейскими и Американскими директивами по самоуплотняющимся бетонам (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use; ACI 237R-07 Self-Consolidating Concrete).

Количество вещества, адсорбируемого из раствора поверхностью твердого тела, измеряли по разности концентраций растворенного вещества до начала и после проведения адсорбции методом спектрофотометрии (однолучевой спектрофотометр СФ-26; погрешность установки $\lambda \leq 0,2$ нм, измерения $D \leq 0,03$).

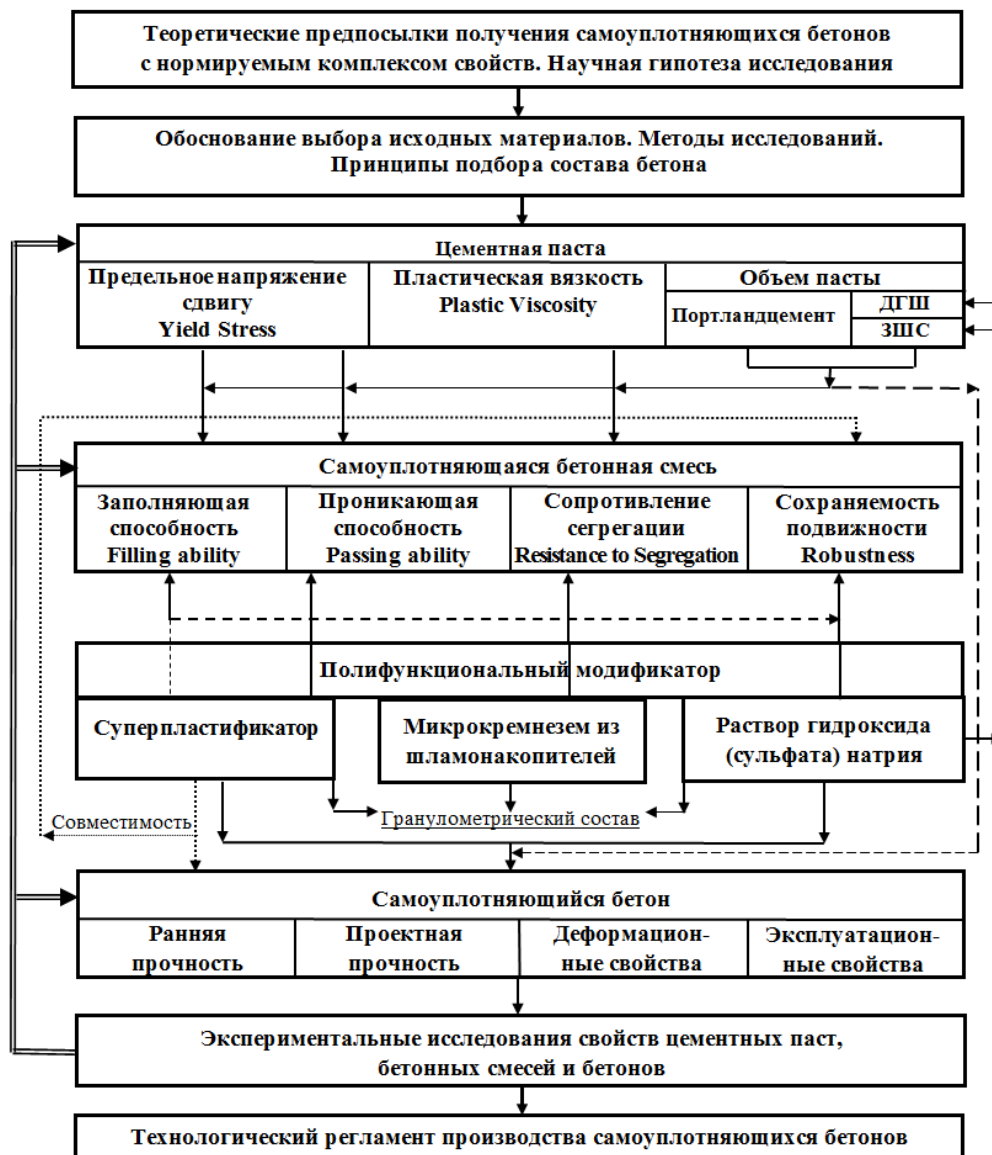



Рисунок 1 – Структурно-логическая схема проведения исследований

Структурообразование композиционных цементов изучали с помощью конического пластометра конструкции МГУ. Состав продуктов твердения цементов с добавками оценивали с помощью рентгенофазового анализа.

Диспергирование агрегированного микрокремнезема осуществлялось в лабораторной бисерной мельнице. В качестве мелющих тел использован стеклянный бисер с диаметром частиц 2-5 мм.

Оптимизацию состава самоуплотняющихся бетонов производили с использованием математических моделей. Для обработки и анализа результатов экспериментов применены методы математической статистики.

Таблица 1 – Химический состав и свойства минеральных добавок

Содержание оксидов, % Физические свойства	ПЦ	ДГШ	ЗШС	МК	
SiO ₂	21,4	34,8	55,7	81,8	
Al ₂ O ₃	5,8	13,4	22,4	1,6	
Fe ₂ O ₃	3,4	0,7	15,1	3,0	
CaO	61,5	39,8	2,2	1,1	
MgO	1,7	6,5	1,6	0,2	
K ₂ O	0,7	0,1	2,3	0,6	
SO ₃	2,5	0,35	0,1	3,6	
ППП	1,2	3,6	1,3	7,2	
Плотность, кг/м ³	3110	2920	2340	2200	
Удельная поверхность, м ² /кг	357	414	335	-	

В третьем разделе изучено влияние вида дисперсионной среды на эффективность диспергирования агрегированного микрокремнезема в лабораторной бисерной мельнице; приведены результаты исследований влияния комплексного органоминерального модификатора на реологические и физико-механические свойства цементных паст, состав продуктов гидратации цемента.

Диспергирующую способность жидких сред оценивали по кинетике седиментации минеральных суспензий микрокремнезема, полученных при перемешивании в бисерной мельнице (рисунок 2).

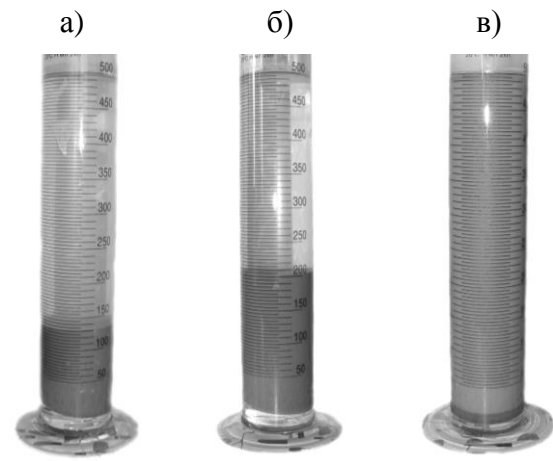
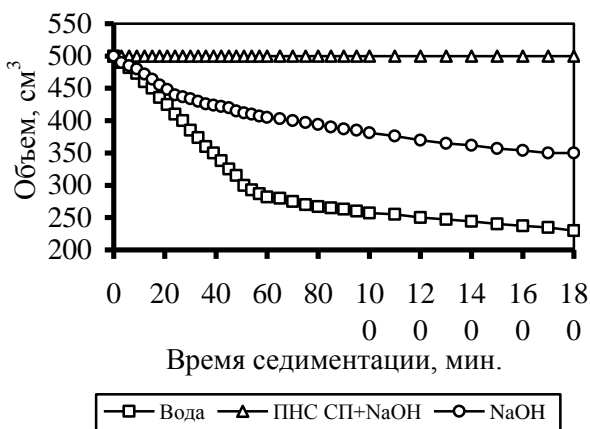


Рисунок 2 – Кинетика седиментации суспензии микрокремнезема, диспергированного в среде: а) вода водопроводная, б) раствор гидроксида натрия; в) раствор гидроксида натрия + ПНС-суперпластификатор

Установлено, что наибольшая скорость оседания частиц наблюдается в случае использования в качестве жидкой среды водопроводной воды. При диспергировании микрокремнезема в растворе гидроксида натрия скорость седи-

ментации снижается, что связано с растворением аморфного кремнезема с образованием частиц коллоидного размера. В среде растворов гидроксида натрия и ПНС-суперпластификатора N-200 образуется стабилизированная поверхностно-активным веществом коллоидная система, которая сохраняет седиментационную устойчивость более 10 сут. – объем осадка через 7 суток составляет 15-20 см³. По результатам седиментационного анализа построены дифференциальные кривые распределения частиц по размерам, согласно которым дисперсность частиц полученного модификатора находится в диапазоне преимущественно от 6,0 до 0,5 мкм (положение максимума в пределах 3,0-4,5 мкм).

Реологические свойства цементных паст с различным содержанием органических добавок (таблица 2): предел текучести τ_0 (Па) и пластическую вязкость μ (Па·с), исследовали с использованием ротационного вискозиметра RHEOTEST® RN 4.1. Обработка результатов выполнена по реологической модели Бингама: $\tau = \tau_0 + \mu\gamma$,

где τ – напряжение сдвига (Па), γ – градиент скорости сдвига (с⁻¹).

Таблица 2 – Состав и свойства цементных паст с полифункциональным модификатором

Смесь	Содержание компонентов, г					В/В	τ_0 , Па	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.		
	ПЦ	ДГШ	МК	С-3	NaOH			3	7	28
ЦП 1	100	-	-	-	-	0,26	58,7	18,5	27,4	52,4
ЦП 2	100	-	-	1,2	-	0,21	56,5	26,8	39,8	67,3
ЦП 3	-	100	-	-	1,5	0,27	56,9	2,3	6,7	14,4
ЦП 4	65	35	-	-	1,5	0,26	57,0	16,4	23,6	43,3
ЦП 5	65	35	-	1,2	1,5	0,23	57,1	19,5	32,1	55,7
ЦП 6	65	35	7,5	1,2	1,5	0,265	57,4	22,3	43,5	61,2

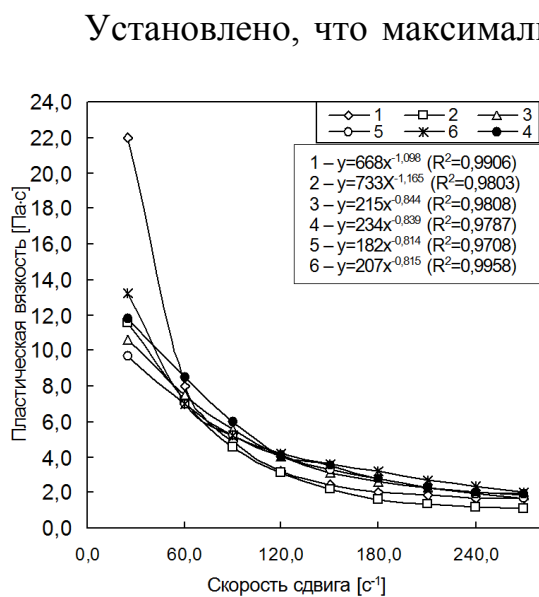


Рисунок 2 – Зависимость пластической вязкости цементных паст от скорости сдвига

роксида натрия оказывает слабый пластифицирующий эффект, уменьшая водопотребность пасты шлака (ЦП 3) до $V/B=0,27$. Соотношение "структурная вязкость / пластическая вязкость" в пределах скорости сдвига $30-270 \text{ с}^{-1}$ составляет 5,7, а для цементных паст составов ЦП 1 и ЦП 2 – 12,9 и 10,7, соответственно.

Частичная замена портландцемента доменным гранулированным шлаком в количестве 35% незначительно увеличивает водопотребность и пластическую вязкость цементного теста (ЦП 4). В то же время отмечен положительный эффект комплексной добавкой в виде СП + гидроксид натрия (ЦП 5). С другой стороны, сравнительно небольшое содержание микрокремнезема повышает как водопотребность, так и пластическую вязкость цементного теста (ЦП 6). Данный эффект должен иметь положительное влияние на показатель стойкости СУБ к расслоению. Следует также отметить, что не установлено существенного влияния полифункционального модификатора на показатели предельного напряжения сдвига цементного теста. Гидроксид натрия в составе цементной пасты, в которой часть цемента заменена шлаком (35%), обеспечивает повышение ранней прочности цементного камня, в то время как полифункциональный модификатор повышает как раннюю, так и марочную прочность.

Как отмечено выше, диспергирование агрегированного микрокремнезема в растворах СП + NaOH обеспечивает более тонкую его гранулометрию, с наличием частичек коллоидного размера, которые могут выполнять функцию центров осаждения гидросиликатного геля. По данным СЭМ установлено, что в микроструктуре цементного камня, полученного в результате твердения (возраст 28 сут.) цементной пасты с добавкой микрокремнезема, диспергированного в воде, присутствуют крупные шарообразные включения размером до 500 мкм (рисунок 3, а). Эти включения по данным ЭДС идентифицированы как частицы исходного микрокремнезема. С другой стороны, в цементном камне с добавкой полифункционального модификатора такие включения отсутствуют (рисунок 3, б).

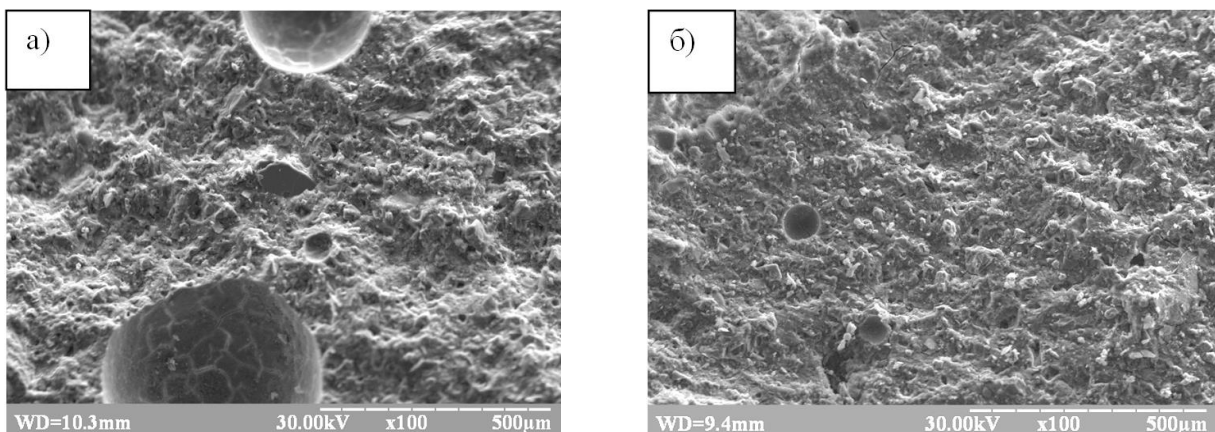


Рисунок 3 – СЭМ образцов цементного камня

Результаты рентгенофазового анализа образцов цементного камня (возраст 90 суток), свидетельствуют о достаточно высокой степени гидратации портландцемента, на что указывает сравнительно низкая интенсивность дифракционных отражений минерала алита. Несмотря на относительно большой срок твердения образцов и высокую пуццолановую активность минеральной

добавки, в структуре цементного камня присутствует значительное количество минерала портландита. При этом интенсивность наиболее характерных дифракционных отражений минерала ($d=0,491$; $0,311$; $0,263$; $0,193$ и $0,179$ нм) в структуре цементного камня с полифункциональным модификатором значительно снижается в сравнении с контрольным составом.

Более высокая дисперсность микрокремнезема обеспечивает формирование гидросиликатов кальция различной основности, на что указывает более высокая интенсивность дифракционных отражений тоберморитоподобных гидросиликатов кальция с отношением Ca/Si, меньшим 1,5 ($d=0,304$; $0,280$; $0,182$ нм), и с отношением Ca/Si от 1,5 до 2 ($d=0,980$; $0,285$ нм).

Исследовано влияние полифункционального модификатора на сохраняемость подвижности цементных паст во времени с минеральными добавками – доменным гранулированным шлаком (ДГШ) и золошлаковой смесью ТЭС (ЗШС). В контрольных составах модификаторов (1 и 3) отсутствует щелочной активатор, в составах 2 и 4 присутствуют щелочные активаторы, соответственно: ДГШ – гидроксид натрия (ГН), ЗШС – сульфат натрия (СН) (таблица 3).

Таблица 3. Составы и порядок приготовления цементных паст

№	Порядок приготовления цементной пасты	Расход компонентов, %						В/Т	
		ПЦ	Минеральная добавка			С-3*	ГН		СН
			ДГШ	ЗШС	МК				
1	[ПЦ+ДГШ+В]+[МК+С-3]	56	24	–	20	1	–	–	0,3
2	[ПЦ+ДГШ+В]+[МК+С-3+ГН]		24	–			1,5	–	
3	[ПЦ+ЗШС+В]+[МК+С-3]		–	24			–	–	
4	[ПЦ+ЗШС+В]+[МК+С-3+СН]		–	24			–	1,5	

*Примечание: расход добавок от массы вяжущего в пересчете на сухое вещество (для гидроксида натрия в пересчете на Na_2O)

Установлено, что наличие в составе модификатора сульфата натрия обеспечивает меньшее снижение подвижности во времени цементной пасты, содержащей молотую ЗШС (состав 4) (12,7% в течение 90 минут выдержки), по сравнению с составом без сульфата натрия (состав 3). Это связано с конкуренцией анионов SO_4^{2-} и сульфогрупп полиметиленафталинсульфоната за центры адсорбции поверхности портландцемента и минеральных добавок, в результате чего в жидкой фазе остается большее количество неадсорбированного суперпластификатора. В цементной пасте с добавкой доменного граншлака (состав 2) эффект гидроксида натрия на сохраняемость подвижности выражен в значительно меньшей мере. Вероятно, в результате щелочной активации доменного граншлака происходит интенсификация гидратации вяжущего с образованием большого количества новообразований с высокой удельной поверхностью и адсорбционной способностью по отношению к суперпластификатору. Кроме того, высокощелочная среда может оказывать отрицательное влияние на эффективность суперпластификатора, хотя по данным испанских ученых (М. Palacios, F. Puertas) среди суперпластификаторов различного вещественного состава только сульфированные нафталинформальдегидные конденсаты сохраняют

свою структуру и свойства в цементно-шлаковых пастах, активированных добавкой едкого натра.

Результаты исследования кинетики твердения цементных паст составов 1-4 в возрасте 3-7-14-28 суток нормального твердения свидетельствуют о положительном влиянии полифункционального модификатора на прочность при сжатии цементного камня как в ранние, так и поздние сроки твердения (рисунок 4).

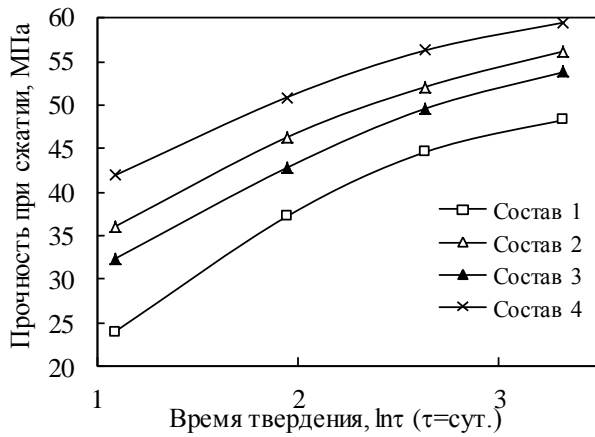


Рисунок 4 – Кинетика роста прочности цементных паст

положительном влиянии полифункционального модификатора на прочность при сжатии цементного камня как в ранние, так и поздние сроки твердения (рисунок 4). Для цементных паст с частичной заменой портландцемента доменным гранулированным шлаком, активированных гидроксидом натрия (состав 2), относительный прирост прочности в сравнении с контрольным составом 1 составляет: 3 сут. – 50%; 7 сут. – 22%; 14

сут. – 18%; 28 сут. – 15%. Для цементных паст с частичной заменой портландцемента золошлаковой смесью, активированных сульфатом натрия (состав 4), относительный прирост прочности в сравнении с контрольным составом 3 составляет: 3 сут. – 31%; 7 сут. – 16%; 14 сут. – 17%; 28 сут. – 11%. Более высокие значения прочности цементного камня с ЗШС в сравнении с ДГШ связаны с высокой пуццолановой активностью молотого шлака ТЭС, представленного алюмосиликатным стеклом.

В четвертом разделе приведены результаты влияния полифункционального органоминерального модификатора на свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов.

С целью оптимизации состава бетона (модификатора) по расходу минеральных и химических добавок проведены исследования с применением метода планирования эксперимента (ПФЭ 3^k), позволяющие при определенных оптимальных параметрах достичь максимальной прочности бетона в возрасте 3 и 28 суток при обеспечении требуемой подвижности (текучести) бетонных смесей. Таким образом, показатели R_3 , R_{28} и $d_{расп.}$ – служили параметрами оптимизации, соответственно Y_1 , Y_2 , Y_3 .

При определении показателей подвижности смесей использовали мини-конус с размерами – диаметр нижнего основания 140 мм, верхнего – 70 мм, высота – 200 мм, объем – 2 л, при этом показатель текучести выражен временем расплыва мини-конуса бетонной смеси до диаметра 350 мм (T_{350}).

Принят базовый состав бетона (определен по методике тайваньских ученых Nan Su, Kung-Chung Hsu, His-Wen Chai), кг/м³: портландцемент М500 – 442; щебень гранитный фракции 5-10 мм – 796; песок кварцевый – 885; микрокремнезем – 24,5; вода – 287 л; суперпластификатор С-3 – 6,63. Значения факторов варьирования, их физический смысл и уровни варьирования приведены в таблице 4.

На основании результатов эксперимента получены следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 (X_1, X_2, X_3) = 17,14 + 5X_3 + 2,84X_1X_2 - 0,31X_2X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 (X_1, X_2) = 37,3 - 5,13X_2 + 3,2X_1X_2 \quad (2)$$

$$Y_3 (X_1, X_2, X_3) = 340 - 47,5X_1 - 12,5X_2 + 27,5X_3 + 12,5X_1X_2 - 27,5X_1X_3 - 2,5X_2X_3 \quad (3)$$

Таблица 4. Кодирование факторов ПФЭ-3^k

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. изм.	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1	X ₁	Концентрация NaOH от массы цемента (Na ₂ O)	%	0,5	0,5	1	1,5
2	X ₂	Содержание доменного гранулированного шлака (взамен части цемента)	%	10	15	25	35
3	X ₃	Содержание С-3 от массы цемента	%	0,25	1,25	1,5	1,75

Анализ уравнений регрессии показывает, что увеличение содержания в составе бетонной смеси доменного гранулированного шлака совместно с NaOH (факторы X₁X₂) при постоянном расходе воды ведет к повышению прочности бетона как в ранние, так и в поздние сроки твердения, а также повышению подвижности бетонной смеси, хотя в отдельности эти факторы снижают подвижность. Существенное влияние на снижение подвижности оказывает совместное влияние факторов X₁X₃ – ранее для цементных паст было отмечено снижение эффективности суперпластификатора в высокощелочной среде едкого натра.

Сравнительные испытания бетонных смесей и бетонов контрольного состава (СУБ-1) и с полифункциональным модификатором (СУБ-2) (таблица 5) показывают, что текучесть смеси СУБ-2 на 11% выше, чем СУБ-1 (таблица 6).

Таблица 5 – Состав самоуплотняющихся бетонных смесей

Смесь	Содержание компонентов, кг·м ⁻³							
	ПЦ	Заполнитель		МК	ДГШ	СП	NaOH	В/В
		П	Щ					
СУБ-1	442	885	796	33,5	0	6,64	0	0,48
СУБ-2	287		746		155		6,65	

В соответствии с Европейским руководством по самоуплотняющимся бетонам исследуемый состав СУБ с полифункциональным модификатором относится к следующим классам: SF1 (подвижность, мм), VS1/VF1 (T₅₀₀, с), PA2 (проникающая способность), SR2 (стойкость к сегрегации, %).

Таблица 6 – Свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов

Смесь	Свойства								
	D _p , мм	T ₅₀₀ , с	PA=H ₂ /H ₁	SR, %	Прочность при сжатии, МПа, сут.			E _b (90 сут.), ГПа	ε _{сд} , мм/м
					3	28	90		
СУБ-1	538	2,0	0,86	13,7	12,2	25,7	36,4	40,2	0,58
СУБ-2	565	2,0	0,82	9,5	21,4	32,4	45,8	42,3	0,64

Щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену (до 35%) портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения.

Исследовано влияние вида щелочного активатора в составе органоминерального модификатора на подвижность самоуплотняющихся бетонных смесей и прочность бетона – (C-3+NaOH), (C-3+Na₂SO₄), (C-3+Na₂CO₃). Установлено, что замена NaOH на Na₂SO₄ или Na₂CO₃ увеличивает показатели предела прочности при сжатии бетонов как на начальных этапах твердения, так и в проектном возрасте. При использовании в качестве минеральной добавки молотой золошлаковой смеси ТЭС, частично замещающей портландцемент, наибольшие показатели прочности бетона при сжатии достигаются при использовании в качестве активатора твердения сульфата натрия.

Деформации усадки бетона в возрасте 90 суток твердения для образцов бетона с добавкой (C-3+Na₂SO₄)+3ШС составляют $57,6 \cdot 10^{-5}$, что на 10,7% меньше по сравнению с составом бетона с добавкой (C-3+NaOH)+ДГШ. При этом стабилизация показателей усадки наступила в пределах 50 суток твердения бетона.

Применение в составах самоуплотняющихся бетонов эффективных органоминеральных модификаторов на основе минеральных добавок из отходов промышленности (микрокремнезем, доменный гранулированный шлак / золошлаковая смесь) позволяет получить бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками – морозостойкость 300 циклов (насыщение в растворе хлористого натрия), коэффициент коррозионной стойкости 0,84 и 0,85 (выдержка в течение шести месяцев в агрессивной среде – в растворе сульфата магния и сернокислого натрия 5-процентной концентрации).

В пятом разделе представлен "Технологический регламент производства самоуплотняющихся бетонов", разработанный на основе нормативных документов в области самоуплотняющихся бетонов (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use; ACI 237R-07 Self-Consolidating Concrete). В документе разработаны основные требования к самоуплотняющимся бетонным смесям и методы испытаний, принципы проектирования состава, требования к материалам, описаны процедуры приготовления самоуплотняющихся бетонных смесей, методы контроля и способы доставки на строительные площадки.

При производстве товарных бетонных смесей ("ТВП ЛЮС", г. Донецк) достигнуто снижение себестоимости на 49,9 грн./м³ (экономический эффект 73,1 тыс. грн. за счет снижения расхода цемента, в ценах 2008 г.). При выпуске и опытно-промышленном испытании бетонных смесей, модифицированных полифункциональным органоминеральным модификатором, на строительстве объекта "Многоэтажный двухсекционный жилой дом по ул. Куйбышева в Куйбышевском районе г. Донецк" фактический экономический эффект составил 84,8 тыс. грн. (за счет снижения расхода цемента и суперпластификатора, 2013 г.).

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально обосновано получение высококачественных самоуплотняющихся бетонов за счет использования полифункционального модификатора, представляющего собой суспензию с концентрацией 45%, полученную путем диспергирования активной минеральной добавки (агрегированный микрокремнезем из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов) в растворах суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната (С-3) и щелочного активатора твердения вяжущего (гидроксид / сульфат натрия) в бисерной мельнице.

2. Разработан способ получения полифункционального модификатора на основе агрегированного микрокремнезема. Установлено, что в среде растворов гидроксида натрия и ПНС-суперпластификатора N-200 (С-3) образуется стабилизированная поверхностно-активным веществом коллоидная система, которая сохраняет седиментационную устойчивость более 10 сут. По результатам седиментационного анализа дисперсность частиц полученного модификатора находится в диапазоне преимущественно от 6,0 до 0,5 мкм (положение максимума в пределах 3,0-4,5 мкм).

3. Результаты реологических свойств цементных паст свидетельствуют о том, что частичная замена портландцемента доменным гранулированным шлаком в количестве 35% незначительно увеличивает водопотребность и пластическую вязкость цементного теста. В то же время отмечен положительный эффект комплексной добавкой в виде СП + гидроксид натрия. Сравнительно небольшое содержание микрокремнезема повышает как водопотребность, так и пластическую вязкость цементного теста, что обеспечивает получение самоуплотняющейся бетонной смеси с показателем коэффициента сегрегации $SR=9,5\%$.

4. По результатам рентгенофазового анализа образцов цементного камня (возраст 90 суток) установлено, что интенсивность дифракционных отражений минерала портландита ($d=0,491; 0,311; 0,263; 0,193; 0,179$ нм) в структуре цементного камня с полифункциональным модификатором значительно снижается в сравнении с контрольным составом. При этом повышается интенсивность линий тоберморитоподобных гидросиликатов кальция с отношением Ca/Si менее 1,5 ($d=0,304; 0,280; 0,182$ нм) и с отношением Ca/Si от 1,5 до 2 ($d=0,980; 0,285$ нм).

5. Показано, что сульфат натрия в составе модификатора обеспечивает меньшее снижение подвижности во времени цементной пасты, содержащей молотую ЗШС (12,7% в течение 90 минут выдержки), по сравнению с контрольным составом. Это связано с конкуренцией анионов SO_4^{2-} и молекул полиметиленафталинсульфоната за центры адсорбции поверхности портландцемента и минеральных добавок, в результате чего в жидкой фазе остается большее количество неадсорбированного суперпластификатора. В цементной пасте с добавкой доменного граншлака эффект гидроксида натрия на сохраняемость подвижности выражен в значительно меньшей мере.

6. Определены области оптимальных составов бетонных смесей по содержанию компонентов полифункционального модификатора, обеспечивающие получение бетонных смесей с показателем подвижности по диаметру расплыва конуса 565 мм (класс SF1), а также бетона с пределом прочности при сжатии в проектном возрасте 32 МПа.

7. Разработан "Технологический регламент производства самоуплотняющихся бетонов". Результаты исследований апробированы и внедрены: строительной компанией 000 "Миллениум-строй" при строительстве объекта "Многоэтажный двухсекционный жилой дом по ул. Куйбышева в Куйбышевском районе г. Донецк"; "ТВП ЛЮС, г. Донецк" при производстве товарных бетонных смесей, которые содержат органоминеральный модификатор.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:

1. Зайченко, Н.М. Оптимизация состава высокопрочного бетона по критериям удобоукладываемости смесей и прочности бетона [Текст] / Н.М. Зайченко, А.К. Халюшев, **Е.В. Сахошко** // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2004. – Вип. 15. – С. 126-133 (*личный вклад заключается в оптимизации состава высокопрочного бетона*).

2. Зайченко, Н.М. Органо-минеральные модификаторы высокопрочных бетонов на основе смеси суперпластификаторов [Текст] / Н.М. Зайченко, **Е.В. Сахошко** // Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП. – 2006. – Вип. 14. – С. 57-63 (*интерпретация механизма стабилизации цементных паст при использовании смеси суперпластификаторов*).

3. Зайченко, Н.М. Высокопрочные мелкозернистые бетоны с добавкой органоминерального модификатора на основе конденсированного микрокремнезема Стахановского завода ферросплавов [Текст] / Н.М. Зайченко, **Е.В. Сахошко**, А.В. Назарова // Ежегод. научно-техн. сб. – 2006. – № 4(9). – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект. – С. 215-221 (*разработка способа приготовления органоминерального модификатора*).

4. Оптимизация состава комплексного модификатора высокопрочных бетонов на основе конденсированного микрокремнезема мокрой очистки газов и комбинированного суперпластификатора [Текст] / В.И. Братчун, Н.М. Зайченко, С.С. Поливцев, **Е.В. Сахошко** // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2007. – Вип. 27. – С. 45-53 (*анализ механизма действия комбинированного органо-минерального модификатора*).

5. **Сахошко, Е.В.** Роль этtringита в обеспечении сохранности подвижности бетонной смеси на основе смеси суперпластификаторов [Текст] / Е.В. Сахошко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2008-1(69). – 2008. – С. 105-110.

6. Сахошко, Е.В. Самоуплотняющийся бетон в современном монолитном домостроении [Текст] / **Е.В. Сахошко**, Н.М. Зайченко // Вестник Донбасской

национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2009-1(75). – 2009. – С. 112-116 (*анализ литературных источников*).

7. Зайченко, Н.М. Самоуплотняющиеся бетонные смеси с комбинированными органоминеральными модификаторами [Текст] / Н.М. Зайченко, **Е.В. Сахошко** // Будівельні конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво). – Вип. 72. – К.: ДП НДІБК, 2009. – С. 580-588 (*исследование свойств самоуплотняющихся бетонов*).

8. Зайченко, Н.М. Влияние адсорбции поликарбоксилатных суперпластификаторов на подвижность цементных паст и раннюю прочность цементного камня [Текст] / Н.М. Зайченко, **Е.В. Сахошко** // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2010-1(81). – 2010. – С. 151-157 (*исследование показателей адсорбции суперпластификаторов на мономинералах портландцементного клинкера*).

9. **Сахошко, Е.В.** Влияние состава органоминеральных добавок полифункционального действия на подвижность самоуплотняющихся бетонных смесей и прочность бетона [Текст] / Е.В. Сахошко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2010-5(85). – 2010. – С. 173-179.

10. Егорова, Е.В. Оценка эффективности органоминерального модификатора на подвижность цементных паст и раннюю прочность цементного камня [Текст] / **Е.В. Егорова**, В.Г. Вешневская, С.И. Чурсин // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2012-1(93). – 2012. – С. 139-143 (*определено влияние органоминерального модификатора на подвижность цементных паст, ее сохранность во времени и раннюю прочность цементного камня*).

11. Егорова, Е.В. Влияние модификаторов на физико-механические свойства цементных бетонов [Текст] / **Е.В. Егорова**, И.Ю. Петрик, В.Н. Губарь // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2013-1(99). – 2013. – С. 152-157.

публикации в журналах или в сборниках, включенных в международные наукометрические базы:

12. Електрофізичне поверхнєве модифікування портландцементу дисперсними мінеральними добавками [Текст] / В.І. Братчун, М.М. Зайченко, О.К. Халюшев, **О.В. Сахошко** // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Т. 3, № 2. – С. 71-79 (*дифференциальная оценка кислотно-основных свойств поверхности твердой фазы микронаполнителей*).

13. Zaichenko, N.M. Effect of organic-mineral modifier on the base of densified silica fume and (PNS+PCE)-superplasticizers on the properties and microstructure of cement paste [Text] / N.M. Zaichenko, Al-Shamsi Khaled Ali Said, **Y.V. Sakhoshko** // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2009. – Т. 5, № 4. – С. 187-195 (*изучение влияние органоминеральной суспензии на подвижность цементной пасты и прочность при сжатии цементного камня*).

14. Zaichenko, N. Silica fume-based admixture in the form of aqueous slurry for Self-Compacting Concrete [Text] / N. Zaichenko, Al-Shamsi K. Ali Said, **E. Sakhoshko**

// MOTROL "Motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – 2011. – Vol. 13C. – P. 5-10 (*выполнение экспериментальных исследований*).

15. Zaichenko, M. The rheological properties of cement pastes formulated for self-compacting concretes with multifunctional modifier [Text] / M. Zaichenko, **O. Yegorova** // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 4. – С. 189-197 (*исследование реологических свойств цементных паст*).

– статьи апробационного характера:

16. Адсорбция добавок суперпластификаторов на поверхности минеральных наполнителей бетона [Текст] / Н.М. Зайченко, З.З. Малинина, Ю.Б. Высоцкий, **Е.В. Сахошко** // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Вып. 2005-4(52). – 2005. – С. 72-75 (*определение адсорбции суперпластификаторов минеральными наполнителями бетона*).

17. Сахошко, Е.В. Исследование адсорбционных свойств поверхности микронаполнителей бетона [Текст] / **Е.В. Сахошко**, З.З. Малинина, Н.М. Зайченко // 36. тез допов. конф. до 70-річчя Донецького національного університету. – Донецьк, 2007. – С. 110 (*расчет величины адсорбции пластификаторов на поверхности минеральных добавок*).

18. Оценка эффективности органоминеральных модификаторов высокопрочных бетонов методом греко-латинского квадрата [Текст] / Н.М. Зайченко, М.С. Булавицкий, Д.А. Хохрякова, **Е.В. Сахошко** // Бетон и железобетон – пути развития: II Межд. конф., 5-9 сент. 2005 г.: науч. труды. – М., 2005. – Т. 3. – С. 650-656 (*исследование влияния химического состава микрокремнезема на свойства бетонных смесей и бетонов*).

19. Zaichenko, N.M. High-strength fine-grained concretes with modified mineral admixtures of fly ash and milled slag of power station [Text] / N.M. Zaichenko, A.K. Khalyushev, **E.V. Sakhoshko** // Alkali Activated Materials – Research, Production, Utilization: International Conf., June 2007: Proc. – Prague (Czech R.), 2007. – P. 745-756 (*исследование пуццолановой активности минеральных добавок*).

20. Егорова, Е.В. Влияние органоминерального модификатора на подвижность цементных паст и раннюю прочность цементного камня [Текст] / **Е.В. Егорова**, З.З. Малинина // Межд. научно-практ. конф. "Строительство и архитектура-2015" – 26-27 ноября 2015 г. – Ростовский государственный строительный университет (*исследование свойств цементных паст и цементного камня*).

АННОТАЦИЯ

Егорова Елена Владимировна. Самоуплотняющиеся бетоны с полифункциональным модификатором на основе отходов промышленности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры" МОН ДНР, Макеевка, 2016.

Диссертация посвящена решению важной народнохозяйственной задачи получения высокофункциональных самоуплотняющихся бетонов для монолитного домостроения, характеризующихся невысокой себестоимостью, за счет применения в составе бетона комплексного полифункционального модификатора, компоненты которого являются отходами промышленности Донбасса.

Разработан состав и технология получения полифункционального органо-минерального модификатора в виде концентрированной суспензии (40-50%), в состав которой входят микрокремнезем агрегированный из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов, суперпластификатор на основе полиметиленафталинсульфоната и щелочной активатор твердения вяжущего – гидроксид (сульфат) натрия. Технология получения модификатора заключается в диспергировании в бисерной мельнице агрегированного микрокремнезема в среде растворов "полиметиленафталинсульфонат + гидроксид (сульфат) натрия". Полученная суспензия характеризуется высокой седиментационной устойчивостью, с дисперсностью частиц микрокремнезема в диапазоне преимущественно от 6,0 до 0,5 мкм. Наличие в составе модификатора щелочного компонента позволяет произвести частичную замену (до 35%) портландцемента первого типа активными минеральными добавками – молотым доменным гранулированным шлаком (активатор – едкий натр) или молотой золошлаковой смесью ТЭС (сульфат натрия).

Установлены закономерности влияния реологических свойств (пластическая вязкость, предельное напряжение сдвигу) цементных паст с органо-минеральным модификатором на технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей (подвижность – flowability; T_{500} slump flow time; проникающая способность – L-box test; стойкость к сегрегации).

Исследованы закономерности влияния щелочного активатора в составе полифункционального модификатора на процессы формирования продуктов гидратации вяжущего (портландцемент + ДГШ; портландцемент + ЗШС) и структурообразования цементных паст, а также на кинетику твердения самоуплотняющихся бетонов на их основе. Определены области оптимальных составов самоуплотняющихся бетонов с полифункциональным модификатором, обеспечивающие получение бетонов с нормируемыми показателями физико-механических и эксплуатационных свойств.

На основе нормативных документов в области самоуплотняющихся бетонов (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use; ACI 237R-07 Self-Consolidating Concrete) разработан "Технологический регламент производства самоуплотняющихся бетонов". Выполнена опытно-промышленная апробация разработанных составов бетона.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, полифункциональный модификатор, микрокремнезем, удобоукладываемость, стойкость к сегрегации

ABSTRACT

Egorova Elena Vladimirovna. Self-compacting concrete with a multifunctional modifier based on industry waste products. – Manuscript.

The Thesis submitted for the scientific degree of Candidate of Technical Science on a speciality 05.23.05 – Building Materials and Products. – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, 2016.

The thesis is devoted to the solution of important economic problems obtaining highly functional self-compacting concrete for monolithic housing construction, characterized by low cost, through the use in a concrete of complex multifunctional modifier, the components of which are wastes of Donbas industry.

A composition and technology for production of multifunctional organic-modifier in the form of concentrated suspension (40-50%), which was composed of an aggregate of silica fume slurry tanks Stakhanov Ferroalloy Plant, superplasticizer based polymetilennaftalinsulfonat and alkaline activator curing binder - sodium hydroxide (sulfate) is developed. Technology for producing the modifier consists in dispersing in a bead mill aggregated silica fume in the solutions "polymetilennaftalinsulfonat + sodium hydroxide (sulfate)". The resulting slurry has high sedimentation stability, with a dispersion of microsilica particles in the range of preferably from 6.0 to 0.5 microns. Presence as a part of the modifier of an alkaline component allows to make a partial replacement (up to 35%) of the Ordinary Portland cement by active mineral additives - milled granulated blast furnace slag (the activator - sodium hydroxide) or milled ash and slag mixture of TPP (sodium sulfate).

The regularities of the influence on the rheology (plastic viscosity, yield stress shear) of cement pastes with organic-mineral modifier and on the technological properties of self-compacting concrete (mobility - flowability; T_{500} slump flow time; passing ability - L-box test; resistance to segregation) are positioned.

The regularities of the influence of the alkaline activator as part of multifunctional modifier on the formation of the binder hydration products (Portland cement + GBFS, Portland cement + FA) and structure of cement pastes, as well as the kinetics of hardening self-compacting concrete on their basis are explored.

Areas of optimal compositions of self-compacting concrete with a multifunctional modifier, which provide obtaining of concrete with normalized physical, mechanical and performance properties are determined.

On the basis of normative documents in the field of self-compacting concrete (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use; ACI 237R-07 Self-Consolidating Concrete) "Technological regulations of self-compacting concrete" is developed. Research and industrial testing of the developed concrete compositions is completed.

Key words: self-compacting concrete, multifunctional modifier, microsilica, flowability, resistance to segregation.