

На правах рукописи



Лешканов Андрей Юрьевич

**ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОНЫ С ВЫСОКОЙ РАННЕЙ
ПРОЧНОСТЬЮ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
СОКРАЩЕННЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ**

2.1.5. Строительные материалы и изделия
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Добшиц Лев Михайлович

Официальные оппоненты: **Перфилов Владимир Александрович**,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Волгоградский
государственный технический университет»,
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,
заведующий кафедрой

Бондарев Борис Александрович,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Липецкий государственный
технический университет», кафедра
«Строительное материаловедение и
дорожные технологии», профессор кафедры

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Защита состоится «08» июня 2023 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.10 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта», по адресу: 125315, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2, стр. 1, ауд. 329.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.miit.ru.

Автореферат разослан «__» апреля 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бадина Елена Сергеевна

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования.

Сокращение сроков сборного и сборно-монолитного домостроения напрямую зависит от процесса производства железобетонных изделий (ЖБИ). На сегодняшний день производители ЖБИ используют ряд технологических решений для изготовления сборного конструкционного бетона, таких как электропрогрев, применение теплых стендов на линиях формования, тепловлажностная обработка (ТВО). С учетом постоянного роста цен на энергоресурсы перспективным представляется возможность снижения затрат на прогрев ЖБИ, позволяющий снизить себестоимость производства и развивать предприятия в условиях конкурирующей среды.

Одним из основных способов ускорения набора ранней прочности бетонов является ТВО, применение которой предоставляет возможность получения марочной прочности в течение цикла пропаривания. Однако эта технология приводит к повышенному расходу цемента и энергоресурсов, что, несомненно, увеличивает стоимость производимых железобетонных изделий. Кроме того, длительность всего цикла данной технологии (16 часов и более) приводит к снижению оборачиваемости форм и, как следствие, замедлению темпов выпуска продукции.

Получение железобетонной продукции с заданной отпускной прочностью возможно не только посредством изменения температурно-влажностных параметров твердения бетона, но и применением химических добавок, снижающих водопотребность смесей, увеличивающих скорость кристаллообразования цементных систем. Наиболее широкое применение при модифицировании структуры бетонов нашли поверхностно-активные вещества – суперпластификаторы (СП), применение которых позволяет регулировать такие свойства бетонов как прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, плотность и др.

В связи с этим, исследования в данной работе, направленные на получение высокой ранней прочности при пониженных затратах на энергоресурсы и увеличение темпов производства, являются актуальными и обоснованными.

Степень разработанности темы исследования.

Изучению эффективности пластифицирующих добавок на свойства бетонов посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых: Л.А. Алимova, В.В. Бабкова, Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, М.И. Бруссера, А.И. Вовка, Б.В. Гусева, В.Т. Ерофеева, В.С. Демьяновой, Л.М. Добшица, В.С. Изотова, С.С. Каприелова, Л.И. Касторных, П.Г. Комохова, В.И. Кондращенко, Л.Я. Крамар, О.П. Мчедлова-Петросяна, В.А. Перфилова, Т.М. Петровой, В.Б. Ратинова, Ш.М. Рахимбаева, Р.З. Рахимова, Т.И. Розенберга, С.М. Рояка, Г.С. Рояка, А.Ф. Серенко, Н.П. Синайко, О.М. Смирновой, А.В. Ушерова-Маршака, В.Р. Фаликмана, А.Е. Шейкина, А.В. Шейнфельда, S.Nakamura, A.M. Neville, H. Okamura, M. Ouchi, J. Plank, J. Petit, V. Ramachandran, R. Rixom, W. Schmidt, K. Yamada и др. Общепринятым считается, что применение известных

пластифицирующих добавок в бетонных смесях оказывает негативное действие на гидратацию цемента на ранних сроках. Данная картина связана с увеличением индукционного периода твердения цемента в присутствии ПАВ. Однако применение новейших определенных видов СП позволяет направленно регулировать сроки схватывания в сторону ускорения и прочность на сжатие в первые 8-24 ч твердения.

Существенный вклад в изучение роли ТВО при твердении бетонов внесли В.В. Бабицкий, Ю.М. Баженов, В.В. Бубело, Ю.М. Бутт, Л.Я. Волосян, В.Б. Гусев, А.Д. Дмитриевич, Л.М. Добшиц, В.Г. Зазимко, И.Б. Заседателев, А.И. Звездов, А.Г. Комар, Л.А. Малинина, Н.Б. Марьямов, С.А. Миронов, О.П. Мchedлов-Петросян, А.И. Панченко, Т.М. Петрова, Г.С. Рояк, О.М. Смирнова, А.Р. Соловьянчик, А.Е. Шейкин, С.В. Федосов, D. Heinz, U. Ludwig, A.M. Neville, J. Petit, W. Schmidt и др. Ученые сходятся во мнении, что применение ТВО перспективно и существенно в вопросах ускорения гидратации и структурообразовании цементов. В большинстве работ отмечается, что преждевременный подъем температуры отрицательно сказывается на конечной прочности бетона. Безусловно, такая ситуация приводит к увеличению продолжительности ТВО, а также при повышенных температурах пропаривания существенно увеличиваются затраты на энергоресурсы.

Цель диссертационного исследования – разработка низкотемпературных режимов тепловлажностной обработки бетонов с использованием добавок на основе поликарбоксилатных эфиров, обеспечивающих получение в ранние сроки высокой проектной прочности.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Исследовать влияние пластифицирующих добавок на формирование свойств цементных паст, растворов и бетонов.
2. Исследовать влияние технологии тепловлажностной обработки на формирование структуры пластифицированных цементных паст, растворов и бетонов.
3. Экспериментально установить влияние суперпластификаторов на физико-механические свойства и структурообразование цементных систем.
4. Экспериментально исследовать низкотемпературные режимы ТВО на формирование свойств пластифицированных цементных систем: цементных паст, растворных смесей и тяжелого бетона.
5. Разработать математические модели описания ранней прочности пластифицированных бетонов в зависимости от содержания модификаторов, длительности и температуры изотермического прогрева и времени предварительного выдерживания ТВО.
6. Применить результаты исследований в производственных условиях при изготовлении железобетонных сборных конструкций с использованием низкотемпературного режима ТВО.

Объект исследования – бетоны для сборных ЖБИ с суперпластификаторами на основе поликарбоксилатных эфиров (ПКЭ).

Предмет исследования – режимы тепловлажностной обработки бетона, время предварительного выдерживания и пропаривания, температура прогрева, прочность на сжатие.

Научная новизна:

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения ЖБИ из бетонов, модифицированных СП на основе поликарбоксилатных эфиров (ПКЭ), с высокой распалубочной прочностью при использовании низкотемпературного режима ТВО.

2. Предложена и подтверждена гипотеза об изменении кинетики процессов гидратации цементных систем с ПКЭ при пониженных температурах ТВО без предварительной выдержки.

3. Научно обосновано, что добавка ПКЭ приводит к блокированию положительно-потенциальных минералов трехкальциевого алюмината и браунмиллерита, в связи с чем при ТВО цементных систем с ПКЭ за первые 2 часа обработки минерал $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ детектируется вдвое большем количестве в сравнении с модифицированными составами на основе сульфированных нафталинформальдегидов (СНФ).

4. Впервые исследовано положительное влияние низкотемпературных режимов ТВО на формирование ранней прочности бетонов с суперпластификатором на основе ПКЭ Sika Viscocrete 24 HE.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- Установлено, что ранний этап ТВО без предварительной выдержки характеризуется повышенным количеством адсорбции ПКЭ на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, что блокирует образование этtringита на данном сроке и, как следствие, замедляет процесс гидратации.

- Предложена и доказана возможность увеличения ранней прочности бетонов при использовании ПКЭ в условиях низкотемпературных (40 – 60 °С) режимов ТВО.

- Разработаны низкотемпературные режимы ТВО с сокращенным периодом предварительной выдержки пластифицированных смесей для получения бетонов с высокой ранней прочностью, использование которых при производстве ЖБИ позволит значительно увеличить оборачиваемость форм, приведет ресурсо- и энергосбережению без ухудшения структуры и свойств цементных бетонов;

- Получено математическое описание величины предела прочности при сжатии бетонов, получаемых при сокращенных низкотемпературных режимах ТВО, предложенных в настоящей работе, в зависимости от времени предварительного выдерживания, дозировки ПКЭ, а также температуры и длительности изотермического прогрева ТВО.

- Разработаны рекомендации по применению низкотемпературных режимов ТВО при изготовлении сборных железобетонных изделий и конструкций.

- Результаты исследования внедрены на производстве при изготовлении железобетонных перемычек по предложенному низкотемпературному режиму ТВО

согласно разработанным рекомендациям. Изготовленные изделия смонтированы на строящемся объекте в г. Йошкар-Ола. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «ПГТУ» при подготовке бакалавров и магистров направлений 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство» в дисциплинах «Строительные материалы» и «Долговечность строительных материалов и конструкций».

Методология и методы исследования.

Методологической основой диссертационного исследования послужили результаты фундаментальных и прикладных научных исследований отечественных и зарубежных ученых в области модифицирования бетонных смесей и ТВО; современные положения теории и практики материаловедения и технологии бетонов; общенаучные методы, базирующиеся на обобщении, экспериментальных исследованиях и анализе полученных данных.

Методическую основу диссертационной работы составляют физико-химические и физико-механические методы испытаний, статистические методы обработки, анализа и математического моделирования результатов исследований. Проведение экспериментальных исследований осуществлялось с применением действующих ГОСТ и современных аналитических способов определения характеристик пластифицированных цементных систем, а также приборов и оборудования, прошедших поверку и удовлетворяющих требованиям действующих стандартов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты сроков схватывания цементных паст, прочности, пористости и плотности камня, модифицированного суперпластификаторами на основе ПКЭ и СНФ в условиях повышенных температур.

2. Результаты рентгенофазового анализа (РФА) и микроструктурного анализа пластифицированного цементного камня после низкотемпературных режимов ТВО.

3. Результаты экспериментальных исследований прочности цементно-песчаных растворов с добавками ПКЭ и СНФ при различных режимах ТВО.

4. Результаты исследования прочности на сжатие бетонов, модифицированных суперпластификаторами на основе ПКЭ, при низкотемпературных режимах ТВО с пониженной изотермической температурой выдерживания и уменьшенным временем пропаривания, при снижении времени технологических операций (предварительного выдерживания бетона и продолжительности пропаривания).

5. Математические модели экспериментально полученных значений прочности бетонов после низкотемпературных режимов ТВО в зависимости от дозировки суперпластификатора и параметров ТВО (время предварительного выдерживания, температура и длительность изотермического прогрева).

Степень достоверности результатов исследования, изложенных в диссертационной работе, обеспечена применением классических положений материаловедения; достаточным объемом экспериментальных данных и обработкой их с помощью статистических методов, обеспечивающих адекватность проведенного эксперимента совместно с действующими нормативами и правилами проведения исследований; применением научно-обоснованных методик испытаний

с использованием современных поверенных лабораторных приборов и оборудования в аттестованной лаборатории.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: Международной молодежной научной конференции «Научному прогрессу – творчество молодых» (г. Йошкар-Ола, 2014 – 2019); Международной междисциплинарной научной конференции «Вавиловские чтения» (г. Йошкар-Ола, 2014 – 2018); Всероссийском студенческом форуме «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России» (г. Йошкар-Ола, 2017); Международной научно-практической конференции молодых преподавателей, аспирантов и студентов «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики регионов России» (г. Йошкар-Ола, 2017); Всероссийской (с международным участием) научной конференции студентов и молодых ученых «Культура инженера: вчера, сегодня, завтра» (г. Йошкар-Ола, 2016); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Стратегия развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики» (г. Йошкар-Ола, 2016); Международной научно-практической конференции «Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики» (г. Йошкар-Ола, 2018), на XXIII Международной научной конференции «Construction the Formation of Living Environment» FORM-2020 (Вьетнам, г. Ханой, 2020), на XXIV Международной научной конференции «Construction the Formation of Living Environment» FORM-2021 (г. Москва, 2021), Международной конференции «Conference on materials physics, building structures and technologies in construction, industrial and production engineering» МРСРЕ-2021 (г. Владимир, 2021); заседаниях кафедры строительных технологий и автомобильных дорог ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (г. Йошкар-Ола, 2019); заседаниях кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (г. Москва, 2021). Результаты исследования удостоены призывания в программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») по направлению «Современные материалы и технологии их создания» с проектом «Бетон с комплексным модификатором» и отмечены грантом № 0004911 по договору 2708ГУ1/2014 (2014 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 251 наименования, 7 приложений. Работа изложена на 209 страницах машинописного текста, содержит 96 рисунков, 40 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, в частности проблем применения СП в составе бетонных смесей, увеличения энергоресурсов и снижения оборачиваемости форм при использовании стандартных режимов ТВО. Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, отмечена научная новизна, выносимые на защиту положения, научная и практическая значимость.

В первой главе проведен литературный обзор работ, посвященных способам интенсификации твердения бетонов. Из обзора следует, что наиболее широкое распространение в заводских условиях получил метод ТВО. Развитию теории и практики технологии ускорения бетона при его обогреве во влажных условиях среды способствовали многочисленные исследования Ю.М. Баженова, В.В. Бабицкого, В.В. Бубело, Ю.М. Бутта, Л.Я. Волосян, В.Б. Гусева, А.Д. Дмитриевича, Л.М. Добшица, В.Г. Зазимко, И.Б. Заседателя, А.И. Звездова, А.Г. Комара, Л.А. Малининой, Н.Б. Марьямова, С.А. Миронова, А.И. Панченко, Т.М. Петровой, Г.С. Рояка, О.М. Смирновой, А.Р. Соловьянчика, С.В. Федосова, А.Е. Шейкина, А.М. Neville, D. Heinz, J. Petit, W. Schmidt, U. Ludwig и др.

Длительность используемых режимов ТВО на заводах по производству железобетонных изделий позволяет получить готовую продукцию с необходимой отпускной прочностью в течение длительного цикла пропаривания продолжительностью до 16 часов и более. Сроки предварительного выдерживания (в большинстве случаев 2...6 часов), изотермическое выдерживание в течение длительного времени отрицательно влияют на оборачиваемость опалубки, увеличивают срок доставки ЖБИ до конечного потребителя. Высокая температура изотермического прогрева прямо пропорциональна затратам на энергоресурсы и, как следствие, стоимости изделий. Кроме того, при повышенных температурах пропаривания возникают температурные напряжения и усадочные трещины, что резко снижает эксплуатационные характеристики получаемых ЖБИ. Увеличение содержания цемента, использование высокомарочных вяжущих при использовании ТВО увеличивает как себестоимость конструкционных изделий из железобетона, так и влияют на рост выброса углекислого газа в атмосферу.

Сегодня попросту невозможно представить качественное скоростное строительство без использования бетонов с СП. Исследованиям в области модификации свойств бетона химическими добавками, в частности суперпластификаторами посвящены работы Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, А.И. Вовка, Б.В. Гусева, В.Т. Ерофеева, Л.М. Добшица, В.С. Изотова, С.С. Каприелова, Л.И. Касторных, В.И. Кондращенко, Л.Я. Крамар, В.А. Перфилова, О.П. Мчедлова-Петросяна, Т.М. Петровой, В.Б. Ратинова, Т.И. Розенберга, С.М. Рояка, Г.С. Рояка, А.Ф. Серенко, Н.П. Синайко, О.М. Смирновой, А.В. Ушерова-Маршака, В.Р. Фаликмана, А.Е. Шейкина, А.В. Шейнфельда, S. Nakamura, А.М. Neville, Н. Okamura, М. Ouchi, J. Plank, J. Petit, V. Ramachandran, R. Rixom, W. Schmidt, K. Yamada и других учёных. Однако применение использование анионоактивных пластификаторов и СП увеличивает

время сохраняемости бетонной смеси, что ведет к потере ранней прочности бетона. Разработка новейших СП на основе ПКЭ позволяет применять более умеренный и низкотемпературный режим ТВО. Возможность перехода на менее ресурсозатратный режим пропаривания бетона посредством корректировки технологии ТВО, в частности снижения длительности и температуры пропаривания является актуальной задачей для современного производителя и потребителя ЖБИ.

Во второй главе приведены виды и характеристики применяемых материалов, описаны методы экспериментальных исследований.

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ООО «Горнозаводскцемент», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31108-2020.

В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок Студенковского месторождения модулем крупности 1,9, согласно требованиям ГОСТ 8736-2014 относящийся к группе мелких песков. В качестве крупного заполнителя применялся щебень из глубинных пород с крупностью 5-20 мм дробимостью 1200, соответствующий ГОСТ 8267-93.

Химическими модификаторами, применяемыми в исследованиях, являлись: СП на основе ПКЭ – Sika ViscoCrete 24 HE (изготовлен в соответствии с ТУ 2493-009-13613997-2011 в г. Лобня) швейцарского концерна «Sika» и СП на основе СНФ – С-3 (ТУ 5870-002-58042865-03) производства ООО «Полипласт Новомосковск».

Для затворения смесей использовалась проточная вода, соответствующая ГОСТ 23732-2011.

Выбраны стандартные методики, описанные в ГОСТ и EN для исследования свойств бетонных смесей и получаемых из них бетонов.

Рентгенофазовый анализ выбран для определения минералогического состава, изменения и идентификации продуктов новообразований в процессе твердения цементного камня.

Для оценки микроструктуры цементного камня, твердеющего в условиях ТВО, применялся метод поляризационно-интерференционной микроскопии.

Рассмотрена возможность планирования эксперимента с помощью математического моделирования.

В третьей главе исследовано структурообразование цементных систем, модифицированных суперпластификаторами на основе ПКЭ и СНФ, а также сроки схватывания, прочность, плотность и пористость цементного камня.

Показано увеличение сроков схватывания цементных паст, модифицированных СП, причем с ростом температуры сроки схватывания снижаются интенсивнее у составов с ПКЭ в сравнении с СНФ. Установлено, что наиболее эффективно применение низких дозировок ПКЭ при использовании ТВО.

Отмечено незначительное снижение прочности цементного камня с ПКЭ после ТВО без предварительного выдерживания: за 8 часов твердения при режиме (0-6-2) ч прочность отстает на 9,0-13,0 % в сравнении с прочностью цементного камня, твердевшего в течение 10 часов при режиме (2-6-2) ч. Показатели плотности и пористости цементного камня с ПКЭ мало отличаются при режимах (0-6-2) ч и (2-6-2) ч (см. табл. 1).

Прочностные показатели камня, твердеющего при режимах ТВО (0-6-2) ч и (2-6-2) ч на 28-е сутки практически равны, наблюдается снижение прочности с отказом от предварительного выдерживания на 1,5-1,9 %.

Таблица 1 – Составы исследуемых образцов цементного камня с показателями физико-механических свойств

№	Характеристика состава			Прочность, в МПа				Плотность камня, г/см ³	Водопоглощение по массе, %
	В/Ц	Режим ТВО	ПКЭ, % от массы цемента	после ТВО	на 3 сутки	на 7 сутки	через 28 суток		
1	0,267	0-6-2	–	31,8	45,2	45,8	47,5	2,09	15,46
2	0,231	0-6-2	0,4	35,7	58,1	60,1	60,8	2,25	10,16
3	0,267	2-6-2	-	36,5	47,3	49,2	49,3	2,11	13,66
4	0,231	2-6-2	0,4	39,2	60,4	62,7	61,7	2,25	9,74
5	0,267	Без ТВО	-	-	23,1	32,6	50,2	2,12	16,50
6	0,231	Без ТВО	0,4	-	18,2	38,6	64,4	2,27	11,49

Рентгенограммы образцов без добавок, с суперпластификаторами на основе ПКЭ и СНФ после 2 часов ТВО при 60 °С представлены на рис. 1-3.

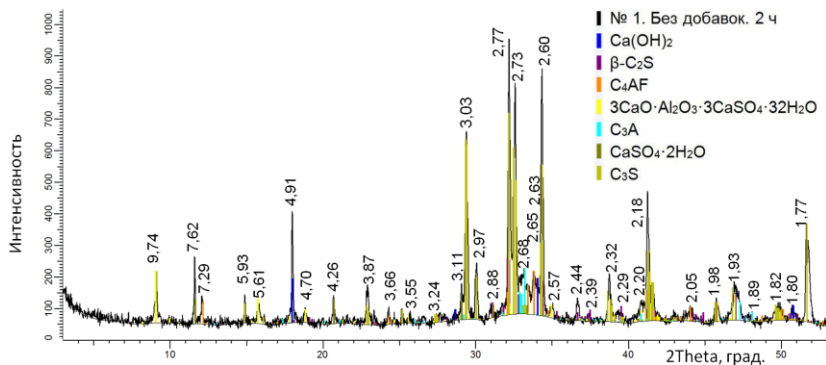


Рисунок 1 – Рентгенограмма цементного камня без добавок после 2 часов ТВО при 60 °С

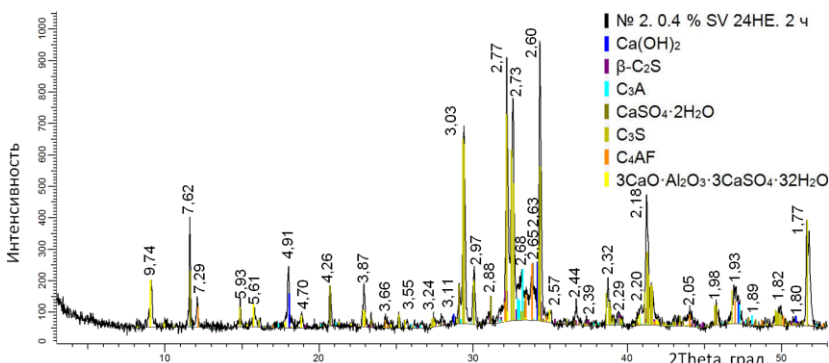


Рисунок 2 – Рентгенограмма цементного камня с ПКЭ после 2 часов ТВО при 60 °С

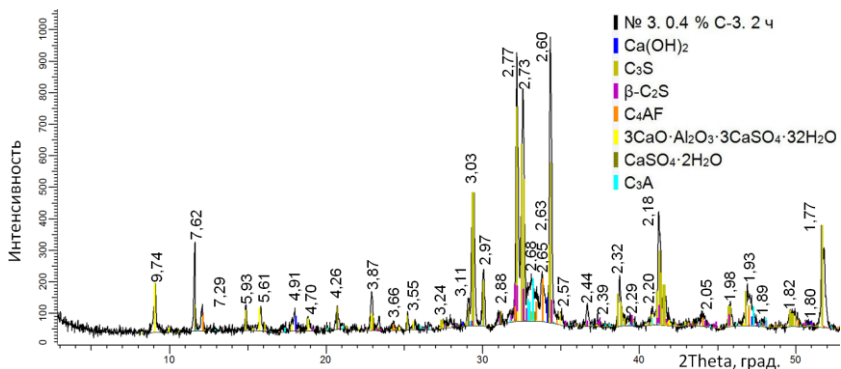


Рисунок 3 – Рентгенограмма цементного камня с СНФ после 2 часов ТВО при 60 °С

По результатам РФА установлено, что применение ПКЭ приводит к замедлению процессов гидратации портландцемента в первые 2 часа ТВО, что подтверждается высокой интенсивностью рефлексов клинкерных минералов алита и белита, о чем свидетельствует увеличение дифракционных максимумов с межплоскостными расстояниями $d = [5,93; 3,03; 2,97; 2,77; 2,74; 2,60; 2,32; 1,98; 1,77 \text{ \AA}]$ и $d = [2,88; 2,77; 2,60; 2,29 \text{ \AA}]$ соответственно.

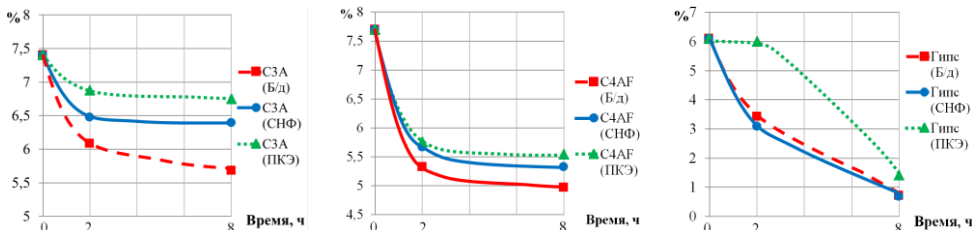
Кроме того образец с ПКЭ характеризуется повышенным содержанием минералов C_3A (по интенсивностям пиков $d = [3,66; 2,05 \text{ \AA}]$) и C_4AF ($d = [7,29; 2,65; 2,05 \text{ \AA}]$), а также $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ($d = [7,62; 4,26 \text{ \AA}]$), причем количество последнего вдвое больше, чем в составах с СНФ и без добавок.

Таким образом, в этот период времени степень гидратации цемента с ПКЭ очень мала, и предварительная выдержка перед подъёмом температуры теряет свой смысл. В то же время фазовый состав цементного камня с СНФ представлен преимущественно этtringитной структурой и пониженным содержанием портландита ($d = [4,91; 3,11; 2,63; 1,93; 1,80 \text{ \AA}]$), что свидетельствует о его рыхлой структуре на данном периоде твердения при ТВО.

В дальнейшем, под действием возрастающего осмотического давления происходит разрушение образовавшихся оболочек и интенсивная гидратация цемента.

Из результатов прочности на сжатие и РФА следует, что прогрев смеси после непродолжительной выдержки или без неё приведёт к интенсивной гидратации цементных минералов, в связи с чем, в одни и те же сроки ТВО прочность цементного камня, твердевшего без предварительной выдержки, будет опережать прочность составов, подвергнутых предварительному выдерживанию.

С увеличением времени ТВО до 8 часов (при режиме 0-6-2) ч количество клинкерных минералов в составе с ПКЭ также ниже, чем в образце без добавок и с СП на основе СНФ, однако расхождения существенно ниже, чем при 2 ч ТВО. Изменение содержания минералов в составе цементного камня в условиях ТВО при 60 °С показано на рис. 4-6.



Из анализа микрофотографий видно, что введение ПКЭ в рецептуру цементных паст способствует уплотнению структуры камня и уменьшению количества пор, причем поры в цементном камне с ПКЭ, имеют существенно меньший размер и более однородны относительно поровой структуры образца без добавок (см. рис. 7а, 7б, 8а, 8б).



Рисунок 7 – Микроструктура цементного камня: а) - контрольного образца без добавок (режим 0-6-2) ч; б) - образца с ПКЭ (режим 0-6-2) ч при 800-кратном увеличении



Рисунок 8 – Микроструктура цементного камня: а) - контрольного образца без добавок (режим 2-6-2) ч; б) - образца с ПКЭ (режим 2-6-2) ч при 800-кратном увеличении

Сканирующая электронная микроскопия показала, что, что в цементном камне после ТВО по режиму (0-6-2) ч сформировались однородные длинные игольчатые гидросульфалюминаты кальция, длиной до 3 мкм. В то же время в камне с СНФ реакция гидратации существенно замедлилась, длина минералов AFt от 100 до 500 нм, что объясняет низкую прочность состава на этом сроке (см. рис. 9а, 9б, 9в).

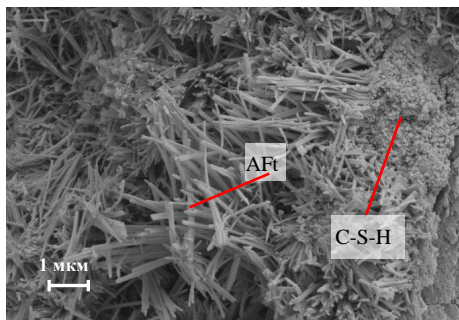


Рисунок 9а – СЭМ-изображение образца без добавок при 10000-кратном увеличении

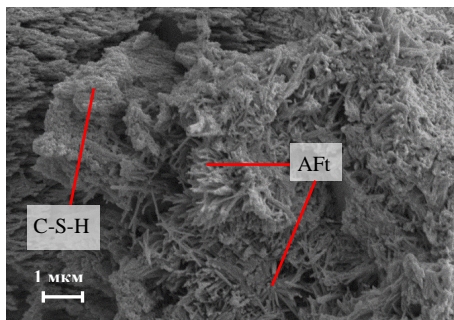


Рисунок 9б – СЭМ-изображение образца с СНФ при 10000-кратном увеличении

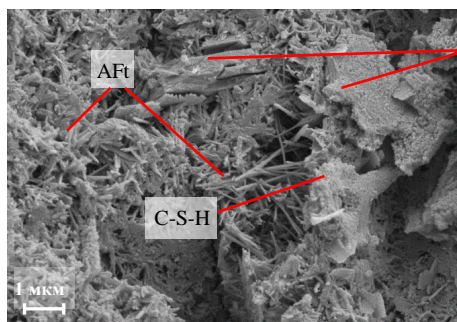


Рисунок 9в – СЭМ-изображение образца с ПКЭ при 10000-кратном увеличении

Непрореагировавшие клинкерные минералы

Выявлены непрореагировавшие минералы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в образцах цементного камня, что может свидетельствовать об избирательной адсорбции ПКЭ на минералах, в частности на C_3A (см. рис. 10). Этtringит, образующий короткие кристаллы длиной до нескольких сотен нанометров, отчетливо проявляется относительно зерен C_3A и непрореагировавших минералов гипса.



Рисунок 10 – СЭМ-изображение образца с ПКЭ при 7500-кратном увеличении

В результате полученных результатов предложена рабочая гипотеза о возможности и целесообразности применения низкотемпературных режимов ТВО при использовании СП нового поколения и сокращения времени предварительной выдержки бетона до начала его разогрева.

В четвертой главе показаны экспериментальные исследования цементно-песчаных растворов с СП на основе ПКЭ (Sika Viscocrete 24HE) и СНФ (С-3). Анализ результатов показал, что характер изменения прочности как после ТВО (за 8-10 часов), так и на поздних сроках (7-28 суток) у растворов с ПКЭ незначительный при отказе от 2-часового предварительного выдерживания (см. рис. 11а, 11б).

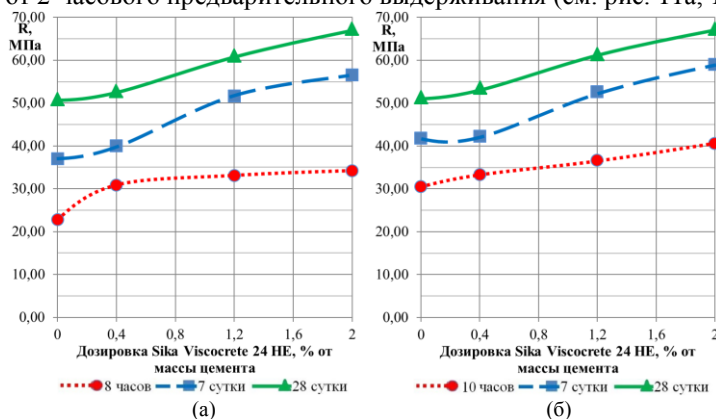


Рисунок 11 – Зависимость прочности цементно-песчаных растворов от дозировки добавки ПКЭ типа (Sika Viscocrete 24 HE) при режимах ТВО по схемам: (а) (0-6-2) ч; (б) (2-6-2) ч

При модифицировании цементно-песчаных растворов СП на основе СНФ (см. рис. 12а, 12б) выявлены существенные изменения в прочностных показателях при отказе от времени предварительного выдерживания, в особенности прочности после ТВО, а также с увеличением дозировки СП.

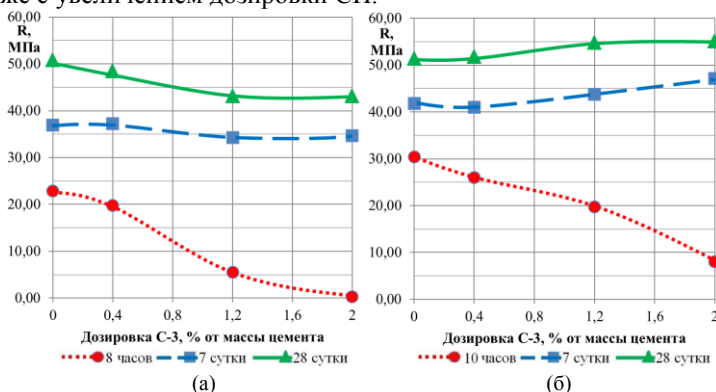


Рисунок 12 – Зависимость прочности цементно-песчаных растворов от дозировки добавки ПКЭ типа (Sika Viscocrete 24 HE) при режимах ТВО по схемам: (а) (0-6-2) ч; (б) (2-6-2) ч

Установлено, что отказ от предварительного выдерживания при модифицировании цементно-песчаных растворов добавкой на основе СНФ отрицательно влияет на их набор прочности. При этом прочность на сжатие составляет 38,5 % от проектной прочности бездобавочного раствора при режиме ТВО (2-6-2) ч, и лишь 10,9 % – при режиме (0-6-2) ч. В то же время данный показатель при введении в растворы добавки типа ПКЭ (Sika Viscocrete 24HE) составляет 71,3 % при режиме с предварительным выдерживанием в течение 2 часов, и 65,2 % без первоначальной выдержки, т.е. несмотря на снижение продолжительности всей ТВО на 20 % набор прочности снижается лишь на 6,1 % (см. рис. 13а и 13б).

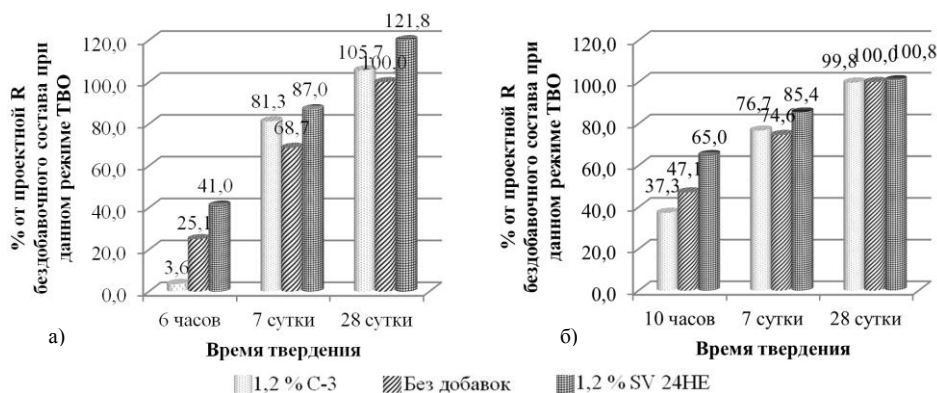


Рисунок 13 – Набор прочности цементно-песчаных растворов, модифицированных ПКЭ типа (Sika Viscocrete 24 HE) и СНФ (C-3) в сравнении с проектной прочностью бездобавочного состава, при режиме ТВО: а) (0-6-2) ч б) (2-6-2) ч

В пятой главе показаны экспериментальные исследования прочности бетонов с ПКЭ, подтвердившие возможность получения изделий ЖБИ с высокой отпускной прочностью при использовании разработанного низкотемпературного режима ТВО (весь цикл в течение 8 часов), что способно обеспечить двухсменную оборачиваемость форм.

Анализ геометрических образов математических моделей (рис. 14а, 14б) отпускной прочности бетонов, модифицированных ПКЭ, позволяет сделать вывод о возможности сокращения длительности предварительной выдержки бетона перед ТВО вплоть до отказа от него. По полученным изолиниям прочности бетона на сжатие сделан вывод о нецелесообразности повышения расхода ПКЭ сверх 1,2 % от массы цемента в виду снижения ранней прочности.

Получены математические описания величины предела прочности при сжатии бетонных смесей для железобетонных изделий в зависимости от времени предварительного выдерживания, дозировки ПКЭ Sika Viscocrete 24HE, а также температуры и длительности изотермического прогрева ТВО. При доверительной вероятности 95 % уравнения регрессии принимают вид:

$$Y = 16,12 - 2,26 X_1 + 5,24 X_2 + 0,94 X_1 X_2 \text{ (для рис. 14а)}$$

$$Y = 17,30 - 2,37 X_1 + 4,83 X_2 + 1,33 X_1 X_2 \text{ (для рис. 14б)}$$

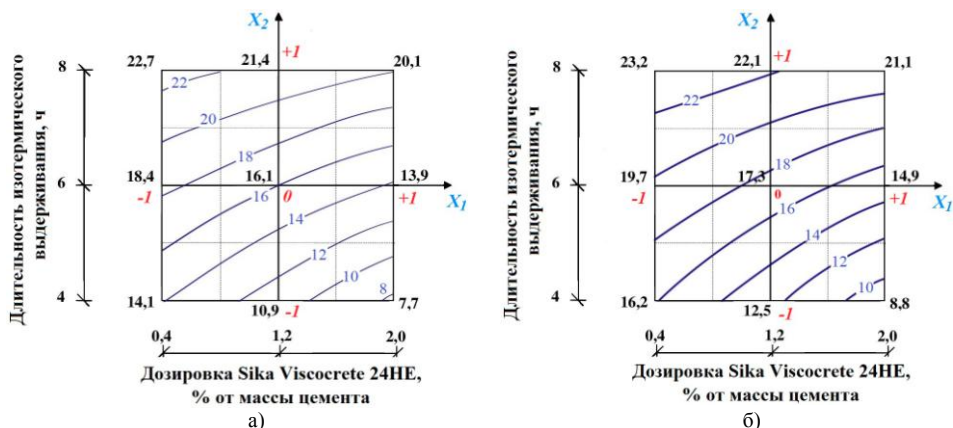


Рисунок 14 – Модель прочности после ТВО (в МПа) тяжелого бетона в зависимости от дозировки ПКЭ (координата X₁) и длительности изотермического выдерживания (координата X₂) при 60°C.
а) без предварительной выдержки; б) с 2-часовой предварительной выдержкой

Прирост прочности с увеличением времени предварительного выдерживания до 2 ч составил всего 7,8 %, 7,5 %, 8,1 % при содержании ПКЭ 0,4 %, 1,2 %, 2,0 % соответственно при 40 °С. При температуре пропаривания 60 °С прочность после ТВО увеличилась на 6,0-11,9 % (рис. 15а, 15б).

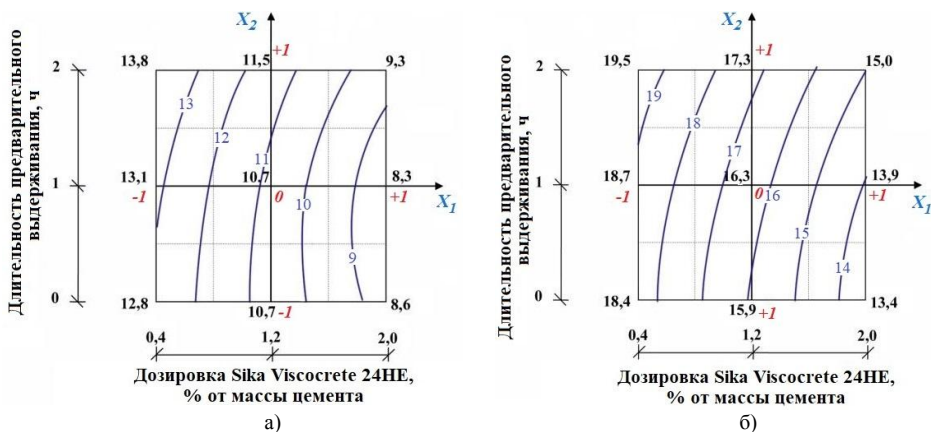


Рисунок 15 – Диаграммы предела прочности при сжатии (в МПа) после ТВО бетона в зависимости от дозировки СП и длительности предварительного выдерживания при температурах пропаривания: а) при 40 °С; б) при 60 °С. Длительность прогрева – 6 часов

В шестой главе описано внедрение результатов исследования на предприятии ООО «Мариэкспресс» (г. Йошкар-Ола) в виде применения разработанного сокращенного низкотемпературного режима ТВО по режиму (1+6+2) ч с температурой 60 °С при изготовлении железобетонных перемычек брускового типа 2ПБ 22-3П. Объем внедрения составил 1,11 м³.

С учетом дополнительных технологических операций за 10 часов получены железобетонные перемычки отпускной прочностью класса В15, что позволяет обеспечить 2-х сменную оборачиваемость форм за сутки при низких затратах на энергоресурсы.

По результатам исследования разработаны рекомендации по изготовлению сборных железобетонных изделий с применением разработанных низкотемпературных режимов ТВО.

Перемычки, изготовленные по режиму твердения (1-6-2) ч, в дальнейшем были использованы при строительстве объекта: «Многоквартирный жилой дом поз. 10 в микрорайоне «Мирный» г. Йошкар-Ола, 6 этап».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ технической литературы, который показал, что существующие режимы ТВО бетонов, направленные на получение в ранние сроки высокой прочности, имеют существенные недостатки, связанные с высоким температурами прогрева, увеличенными затратами энергоресурсов, себестоимости производства и снижением трещиностойкости бетонов. При этом использование анионоактивных пластификаторов и суперпластификаторов для снижения водоцементного отношения и получения высокой прочности сильно замедляет гидратацию цементных систем в ранние сроки твердения, что сказывается на увеличении сроков производства железобетонных изделий. В связи с этим, перспективным является исследование влияния современных СП на кинетику твердения бетонов при «мягких» режимах ТВО.

2. Для совершенствования режимов ТВО была предложена технология, основанная на гипотезе о возможности и целесообразности применения сокращенных низкотемпературных режимов ТВО при использовании СП нового поколения и снижении времени предварительного выдерживания бетона до начала его разогрева, положенная в основу научных исследований в рамках настоящей диссертации.

3. Проведен анализ величины сроков схватывания пластифицированных цементных паст добавками на основе ПКЭ, который показал правомерность выдвинутой гипотезы о возможности регулирования режимов ТВО, обусловленную коротким блокирующим действием процесса гидратации цементных систем при введении поликарбоксилатов.

4. Выявлено увеличение прочности при сжатии после ТВО с 6-часовым пропариванием и на 28 сутки на 7,4-12,3 %, повышение плотности на 6,6-7,7 % и снижение открытой капиллярной пористости на 24-37 % пластифицированных

образцов цементного камня в сравнении с бездобавочными составами. Предложенная гипотеза о возможности снижения времени предварительной выдержки подтверждается также тем, что прочности образцов цементного камня, твердеющих при режимах ТВО по схемам (0-6-2) ч и (2-6-2) ч на 28-е сутки практически равны, расхождение составляет 1,5-1,9 %.

5. Проведен рентгенофазовый анализ цементного камня, который показал, что при твердении в течение первых 2 часов ТВО обнаружены явные пики на рентгенограммах цементного камня с ПКЭ, соответствующие минералу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, причем его количество вдвое больше в сравнении с модифицированным составом на основе СНФ. Наблюдается снижение содержания минералов этtringита и портландита в цементном камне с добавлением ПКЭ после ТВО, что свидетельствует о снижении напряжений в теле твердеющего цементного камня, о блокировке минералов трехкальциевого алюмината и образовании рыхлой алюминатной структуры при модифицировании цементных систем анионоактивными СП.

6. Установлено путем микрофотографирования, что сколы цементного камня в возрасте 8 часов твердения (по схеме (0-6-2) ч и в возрасте 10 часов твердения (по схеме (2-6-2) ч) имеют идентичную структуру, что допускает возможность регулирования режима ТВО для цементосодержащих систем с точки зрения ускорения темпов набора прочности и увеличения оборачиваемости опалубки.

7. Выявлено, что прочность при сжатии образцов цементно-песчаных растворов с содержанием ПКЭ в сравнении с образцом без модификаторов выше после ТВО по режиму (0-6-2) ч на 45 %, на 40 % – в возрасте 7 суток и на 20 % – в возрасте 28 суток. Набор прочности на сжатие при введении в растворы добавки типа ПКЭ составляет 71,3 % прочности бездобавочного раствора при режиме с предварительным выдерживанием в течение 2 часов, и 65,2 % без данного этапа.

8. Подтверждена возможность получения изделий ЖБИ на основе бетонов, модифицированных современными добавками на основе ПКЭ, с высокой распалубочной прочностью (до 70 % от марочной) при использовании разработанного низкотемпературного режима ТВО (весь цикл в течение 8 часов), что способно с учетом всех технологических операций обеспечить двухсменную оборачиваемость форм.

9. Получены методом обработки результатов экспериментов факторным анализом математические модели зависимости отпускной прочности бетона на сжатие от дозировки поликарбонатного суперпластификатора, длительности и температуры изотермического выдерживания и времени предварительной выдержки.

10. Разработаны «Рекомендации по применению низкотемпературных режимов ТВО при изготовлении сборных железобетонных изделий и конструкций». Рекомендации согласуются с действующими нормативами и сводами правил по проектированию и строительству.

11. Осуществлена производственная апробация разработанного состава бетона и режима ТВО при изготовлении железобетонных перемычек брускового типа

2ПБ 22-3П на заводе ООО «Мариэкспресс». Изделия смонтированы на объекте: «Многokвартирный жилой дом поз. 10 в микрорайоне «Мирный» г. Йошкар-Ола, 6 этаж». Результаты исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «ПГТУ» при подготовке бакалавров и магистров направлений 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство».

12. Разработаны сокращенные низкотемпературные режимы ТВО бетонов с использованием добавок на основе ПКЭ, обеспечивающие возможность получения пластифицированных бетонов с высокой ранней прочностью, что подтверждается выполненными экспериментальными исследованиями и положительным опытом производственного использования.

13. Перспективой дальнейшей разработки темы является изучение процесса параллельного кристаллообразования алюминатных и силикатных фаз. Практический интерес представляет исследование степени внутреннего напряжения при росте минералов различной твердости в связи с отказом от предварительного выдерживания. Данные исследования позволяют оценить степень долговечности бетонов, подвергнутых ТВО без предварительного выдерживания.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

а) в рецензируемых научных изданиях:

1. Добшиц, Л.М. Влияние поликарбоксилатных суперпластификаторов на структурообразование цементных паст / Л.М. Добшиц, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 5-5. – С. 945-948.

2. Анисимов, С.Н. Исследование влияния комплекса модификаторов на кинетику твердения бетонов / С.Н. Анисимов, О.В. Кононова, А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // *Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал)*. – 2014. – № 4.

3. Минаков, Ю.А. Влияние комплекса химических модификаторов и мелкодисперсного наполнителя на раннюю прочность растворной смеси / Ю.А. Минаков, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов, А. О. Смирнов // *Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал)*. – 2014. – № 6.

4. Добшиц, Л.М. Влияние кварцевого наполнителя и суперпластификатора Glenium® ACE 430 на раннюю прочность мелкозернистого бетона с ускорителем твердения / Л.М. Добшиц, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11-9. – С. 1901-1905.

5. Анисимов, С.Н. Исследование прочности тяжелого бетона с пластифицирующими и минеральными добавками / С.Н. Анисимов, О.В. Кононова, Ю.А. Минаков, А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // *Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал)*. – 2015. – № 2-1.

6. Сленьков, В.А. Эффективность применения пластифицирующих добавок в производстве тяжелого бетона / В.А. Сленьков, Ю.А. Минаков, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов, А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов // *Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал)*. – 2015. – № 2-1.

7. Минаков, Ю.А. Пластифицированные малоцементные бетоны с добавкой микрокремнезема / Ю.А. Минаков, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов, А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов // Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал). – 2015. – № 2-1.

8. Лешканов, А.Ю. Оптимизация процесса твердения цементного камня / А.Ю. Лешканов, С.Н. Анисимов, О.В. Кононова, Ю.А. Минаков, А.О. Смирнов // Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал). – 2015. – № 2-1.

9. Кононова, О.В. Влияние модифицирующей добавки Hydro Protect E1 на прочность тяжелого бетона при пониженном содержании минерального вяжущего материала / О.В. Кононова, Ю.А. Минаков, С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // Современные проблемы науки и образования (Электронный журнал). – 2015. – № 2-1.

10. Кононова, О.В. Эффективность применения доменного гранулированного шлака в бетонах с добавкой на основе поликарбоксилатного эфира / О.В. Кононова, С.Н. Анисимов, А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 6-2. – С. 259-263.

11. Кононова, О.В. Интенсификация твердения пластифицированного бетона с добавкой доменного гранулированного шлака / О.В. Кононова, Ю.А. Минаков, С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов, Н.В. Губин // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 9-2. – С. 228-232.

12. Минаков, Ю.А. Теплофизические основы и технологические режимы управляемого метода тепловой обработки бетона с применением низковольтных термоактивных опалубочных систем / Ю.А. Минаков, Л.П. Мотовилова, С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2018. – № 1(5). – С. 84-89.

13. Добшиц, Л.М. Прочность жестких бетонных смесей с поликарбоксилатными пластификаторами / Л.М. Добшиц, С.Н. Анисимов, А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов, А.А. Анисимова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2020. – № 4(16). – С. 6-13.

б) в изданиях, входящих в международную систему Scopus:

14. Leshkanov, A.Y. Structure formation of plasticized cement systems under heat-moisture treatment / A.Y. Leshkanov, L.M. Dobshits, S.N. Anisimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869. – 032038. DOI: 10.1088/1757-899X/869/3/032038.

15. Leshkanov, A.Y. Influence of presteaming period and curing temperature on the plasticized concrete strength / A.Y. Leshkanov, L.M. Dobshits, S.N. Anisimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 896. – 012094. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012094.

в) патент на изобретение:

16. Пат. 2603991 Российская Федерация. Мелкозернистая самоуплотняющаяся бетонная смесь / Кононова О.В., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О.; заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет. – № 2015117992/03; заявл.13.05.2015; опубл.10.12.2016, Бюл. № 34. – 5 с.

г) в других изданиях и материалах конференций:

17. Анисимов, С.Н. Применение суперпластификаторов в бетонах / С.Н. Анисимов, А.Ю. Лешканов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы IX Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «научному прогрессу – творчество молодых» / Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014 г. – ч.2. – С. 198-200.

18. Лешканов, А.Ю. Влияние суперпластификаторов на кинетику схватывания цементных паст / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов, С.Н. Анисимов, О.В. Кононова // Восемнадцатые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции: в 2 ч. / под общ. ред. В.П. Шалаева. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – Ч. 2. – С. 175-177.

19. Смирнов, А.О. Влияние микрокремнезема на твердение бетона с добавкой поликарбоксилатного суперпластификатора / А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов, С.Н. Анисимов, О.В. Кононова // Материалы международной междисциплинарной научной конференции XVIII-ые Вавиловские чтения / Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – Ч. 2. – С. 189-191.

20. Лешканов, А.Ю. Влияние пластифицирующей добавки Hydro Protect E1 на раннюю прочность тяжелого бетона / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // Материалы X Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам, Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015 г. – ч.2. – С. 281-283.

21. Смирнов, А.О. Формирование ранней прочности бетона с модификаторами GLENIUM®ACE и Кратасол / А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы X Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам / Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015 г. – ч.2. – С. 297-298.

22. Лешканов, А.Ю. Влияние применения комплексной модифицирующей добавки «МЛ-У» на прочность цементных растворов / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов, С.Н. Анисимов, О.В. Кононова // Девятнадцатые Вавиловские чтения: материалы постоянно действующей международной междисциплинарной научной конференции / под общ. ред. В.П. Шалаева. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 269-271.

23. Смирнов, А.О. Влияние комплексной добавки «Полипласт Р» на прочность цементно-песчаных растворов / А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов // Девятнадцатые Вавиловские чтения: материалы постоянно действующей международной междисциплинарной научной конференции / под общ. ред. В.П. Шалаева. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 287-288.

24. Смирнов, А.О. Структурообразование бетонов с органоминеральными добавками / А.О. Смирнов, А.Ю. Лешканов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XI международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам в 4 ч. / редкол.: Д.В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016 – Ч. 4. – С. 209-212.

25. Лешканов, А.Ю. Формирование структуры бетона с комплексными модифицирующими добавками: проблемы и пути решения / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XI международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам в 4 ч. / редкол.: Д.В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – Ч. 4., С. 193-195.

26. Лешканов, А.Ю. Оценка эффективности использования суперпластификаторов в структуре современных бетонов / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов, С.Н. Анисимов, О.В. Кононова // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции в 8 ч. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – Ч. 5. – С. 47-50.

27. Лешканов, А.Ю. Инновационные технологии и материалы в сфере строительства на примере бетона / А.Ю. Лешканов, Г.В. Красильникова // Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под общ. ред. Ю.С. Андрианова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 73-77.

28. Лешканов, А.Ю. Влияние комплексно-модифицирующей добавки «Ускорин» на свойства цементных систем / А.Ю. Лешканов // Россия в многовекторном мире: национальная безопасность, вызовы и ответы. Двадцатые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции: в 2 ч. / под общ. ред. проф. В.П. Шалаева. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – Ч.2. – С. 282-283.

29. Лешканов, А.Ю. Модифицирование бетонных смесей ускорителями твердения / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам в 4 ч. / редкол.: Д.В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017 – Ч. 4. – С. 94-96.

30. Лешканов, А.Ю. Исследование совершенствования модификации бетона: от извести и гипса до эфиров полиарила / А.Ю. Лешканов, О.В. Кононова // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы III Всероссийской студенческой конференции в 8 ч. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – Ч. 5. – С. 48-49.

31. Лешканов, А.Ю. Процесс внедрения инновационных материалов в строительной сфере / А.Ю. Лешканов, Г.В. Красильникова // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики регионов России [Электронный ресурс]: материалы IV Международной научно-практической конференции молодых

преподавателей, аспирантов и студентов (Йошкар-Ола, 28-29 декабря 2016 г.) / под общ. ред. В.В. Двоглазова. – Электрон. дан. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 32-36.

32. Лешканов, А.Ю. Кинетика твердения тяжелого бетона с добавками на основе поликарбоксилатных эфиров / А.Ю. Лешканов // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Вып. 6 / отв. и науч. ред. Д.В. Иванов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 115-120.

33. Лешканов, А.Ю. Модифицирование бетонной матрицы добавкой нового поколения Master X-SEED 100 / А.Ю. Лешканов // Россия и мир: национальная безопасность, вызовы и ответы. Двадцать первые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции: в 2 ч. / под общ. ред. проф. В.П. Шалаева. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – Ч. 2. – С. 216-219.

34. Лешканов, А.Ю. Обоснование рациональности применения бетона с комплексными модификаторами на основе суперпластификатора и ускорителя твердения / А.Ю. Лешканов // Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики [Электронный ресурс]: материалы II Междун. научно-практич. конф. (Йошкар-Ола, 11-12 мая 2018 г.) / отв. ред. В.В. Двоглазов. – Электрон. дан. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 96-101.

35. Лешканов, А.Ю. Проблемы маркетингового продвижения химических добавок бетонов иностранного и отечественного производства / А.Ю. Лешканов, А.О. Смирнов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики регионов России: материалы V Международной научно-практической конференции молодых преподавателей, аспирантов и студентов, Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 49-54.

36. Лешканов, А.Ю. Структурообразование бетонов модифицированием суперпластифицирующими добавками компании BASF / А.Ю. Лешканов, О.В. Кононова / Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам в 4 ч. / редкол.: Д.В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018 – Ч. 4. – С. 143-145.

37. Лешканов, А.Ю. Исследование зависимости сроков схватывания цементных паст от показателей ранней прочности мелкозернистых бетонов, модифицированных ускорителями твердения / А.Ю. Лешканов, М.Г. Салихов, С.Н. Анисимов // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIV международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам в 4 ч. / редкол.: Д.В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. – Ч. 4. – С. 120-123.

Лешканов Андрей Юрьевич

**ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОНЫ С ВЫСОКОЙ РАННЕЙ
ПРОЧНОСТЬЮ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
СОКРАЩЕННЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ**

2.1.5. Строительные материалы и изделия
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24 марта 2023 г.

Формат 60×90/16

Объем 1,5 усл. п.л.

Заказ № 302 от 24.03.2023 г.

Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9