

АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе Жилкибаевой Алии Мухаметкалиевны на тему: **«Исследование влияния отходов Балхашского ГОК на строительно-эксплуатационные свойства модифицированного бетона»** на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07361 – «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

Актуальность работы. Использование в строительной отрасли новых технологий и материалов, изготовленных с применением отходов промышленности имеет высокую экономическую и экологическую значимость. Вследствие огромных техногенных образований в виде отвалов горно-обогатительных комбинатов, которые являются причиной без возвратных потерь природных сырьевых ресурсов, отчуждения земель из сельскохозяйственного оборота и загрязнения огромных территории, возникает научно-практический интерес – возможность использования техногенных продуктов, тем самым расширяя номенклатуру комплексных минеральных добавок.

Введение активных минеральных добавок в цемент дает возможность получить бетон с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, а именно повышают плотность, водонепроницаемость, морозо-, сульфато-, щелочестойкость и солестойкость бетонов и строительных растворов, уменьшая одновременно расход клинкерного цемента

Масштабы строительства объектов с использованием цементного бетона растут с каждым годом, вследствие чего встает вопрос о сокращении расхода клинкерного цемента, в связи с большой энергоемкостью производства, используя активные минеральные добавки. Использование активных минеральных добавок в виде отходов производств обогащения имеет высокую экономическую и экологическую значимость.

Использование отходов Балхашского горно-обогатительного комбината в качестве комплексной минеральной добавки в составе цемента существенно расширяет сырьевую базу строительной индустрии Республики Казахстан и отвечает современным требованиям обеспечения прироста потребности в сырье и материалах, а также соответствует целям программы экологического кодекса РК - управления отходами горнодобывающей промышленности.

Однако производство комплексных минеральных добавок с использованием отходов горно-обогатительных предприятий сдерживается из-за недостаточной изученности их свойств, влияния на процессы гидратации цемента и строительно-эксплуатационные характеристики бетонов на их основе.

Настоящая работа по разработке модифицированного тяжёлого бетона проводилась на базе лаборатории Международной образовательной корпорации в соответствии с научно-техническими программами по комплексному

использованию техногенных отходов и в рамках приоритетных направлений – «Глубокая переработка сырья и продукции» Государственной программы по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан.

Целью диссертационной работы является исследование влияния отходов Балхашского горно-обогатительного комбината на строительно-эксплуатационные свойства модифицированного бетона и разработка составов высокопрочных бетонов на основе вяжущего, модифицированного отходами обогащения, активизированных микрокремнеземом.

Задачи исследования:

- разработать комплексную минеральную добавку на основе отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината активированных микрокремнеземом и обосновать его эффективность.
- определить эффективное количество комплексной минеральной добавки в составе цемента (модифицированного вяжущего).
- разработать оптимальные составы тяжелых бетонов классов В25 и В35 с применением модифицированного вяжущего;
- исследовать влияние комплексной минеральной добавки в составе модифицированного вяжущего на основные физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства бетона.
- установить совместимость модифицированного вяжущего с суперпластификаторами различных типов.
- исследовать влияние комплексной минеральной добавки на процессы гидратации цементного камня.

Методы достижения поставленных задач:

Анализ исследования отечественных и зарубежных источников, включающий изучение статей, патентов на изобретение и полезные модели, авторские свидетельства. Изучение мирового опыта, основанного на исследованиях высокопрочных модифицированных бетонов с применением отходов горнодобывающих предприятий. Проведение стандартных методов испытаний физико-механических свойств высокопрочного бетона согласно требованиям нормативно-технической документации – СТ РК, ГОСТ, СН РК и т.д.

Для определения физико-химических свойств модифицированного цементного камня применены методы исследований: термический, рентгенофлуоресцентный, рентгенофазовый, а также методы ИК-спектроскопии и электронной микроскопии.

Научная новизна диссертации:

- выявлена пригодность отходов Балхашского горно-обогатительного комбината;
- определён состав и обоснована эффективность комплексной минеральной добавки на основе отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината и микрокремнезёма;
- экспериментально подтверждена эффективность применения комплексной минеральной добавки в составе цемента;

– разработан оптимальный состав модифицированного вяжущего с комплексной минеральной добавкой;

– разработаны оптимальные составы тяжелых бетонов с применением модифицированного вяжущего;

– экспериментально исследовано влияние модифицированного вяжущего на основе отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината, активизированного микрокремнезёмом на физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства бетона;

– изучена совместимость модифицированного вяжущего с суперпластификаторами различных типов;

– установлено влияние комплексной минеральной добавки на процессы гидратации цементного камня тяжелого бетона, а именно, поглощение извести отходами Балхашского ГОКа в начальном периоде (в течение первых 6 часов), которое составило равно 3,0 мг/г, микрокремнезёма – 11,5 мг/г, при более 6 часов - скорость поглощения извести отходами БГОК и микрокремнезёмом уменьшается и составляет, соответственно – 0,5 мг/г и 5,5 мг/г за час. Выявлены две стадии протекания процесса гидратации и твердения тяжелого бетона на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1% СП MasterGlenium 305: - первая стадия – интенсивная гидратация за счет протекания пуццолановой реакции и образования стабильных гидратов; вторая стадия – замедленная гидратация: от 7 суток до одного года из-за нивелирования деструктивных процессов за счёт пуццолановых реакций.

Научная новизна работы подтверждена Патентом РК №5430 Вяжущая смесь на основе отходов обогащения от 05.03.2021.

Практическая значимость диссертации:

– разработан оптимальный состав модифицированного вяжущего с применением комплексной минеральной добавки, состоящей из отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината (БГОК) и микрокремнезёма;

– разработаны составы эффективных высокопрочных тяжелых бетонов на основе полученного модифицированного вяжущего;

– изучены основные физико-механические свойства бетонов класса В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего и исследованы физико-химические процессы, протекающие в цементной системе;

– установлено, что применение модифицированного вяжущего на основе сульфатостойкого портландцемента ЦЕМ I 42,5 СС ТОО «Каспий Цемент» позволяет снизить относительную деформацию бетона в агрессивной среде класса В35 на 12%.

Объектом исследования является высокопрочный тяжелый бетон на основе вяжущего, модифицированного отходами БГОК и микрокремнезёмом.

Предмет исследования: влияние комплексной минеральной добавки на теплоту гидратации цемента и процессы твердения бетона; влияние модифицированного вяжущего на реологические свойства бетонной смеси; исследование процессов, обеспечивающих высокую прочность и сульфатостойкость бетона.

Методы исследования: в диссертационной работе использованы современные методы исследования, соответствующие требованиям нормативно-технической документации.

Научные положения, выносимые на защиту:

- исследование пуццолановой активности для получения оптимального состава комплексной минеральной добавки, состоящей из отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината и микрокремнезёма;
- исследование влияния полученной комплексной минеральной добавки на технические характеристики цемента;
- исследование влияния модифицированного вяжущего, полученного применением комплексной минеральной добавки, на физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства бетонов;
- закономерности влияния комплексной минеральной добавки на процессы гидратации цементного камня.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждены:

- результатами методов исследований: физико-механического, химического, дифференциально-термического, рентгенографического и рентгенофлуоресцентного, а также, методами ИК-спектроскопии, электронной микроскопии;
- данными по испытанию и исследованию тяжёлых модифицированных бетонов класса В25 и В35 на основе разработанного модифицированного вяжущего МВ-Д20.

Личный вклад автора в науку

Заключается в постановке цели работы и основных задач исследования, проведение испытаний и исследований; разработке оптимального состава соотношения отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината и микрокремнезёма в составе комплексной минеральной добавки; разработке состава модифицированного вяжущего с применением комплексной минеральной добавки и составов тяжёлых бетонов классов В25 и В35 на ее основе; определении строительно-эксплуатационных характеристик тяжёлых бетонов класса В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на международных конференциях:

- 5-й международной научно-практической конференции «Современная наука и молодые учёные» (Пенза, 2021);
- международной научно-практической конференции посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ Тилегенова И.С. и 20-летию Международного научного журнала Вестник ТарГУ «Природопользование и проблемы антропосферы» на тему: «Природопользование и актуальные проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности человека в XXI веке» (Тараз, 2021).

Публикации. Результаты диссертации опубликованы:

1. Патент на полезную модель «№5430 «Вяжущая смесь на основе отходов обогащения» от 05.03. 2020 г.

2. Научные аспекты управления реологическими характеристиками бетонной смеси // Вестник Омского ГУ. – 2020. – С. 7-11.

3. Исследования процесса твердения и структурообразования бетона с использованием модифицированных вяжущих веществ // Вестник КазГАСА. – 2020. – №4(78). – С. 163-167.

4. Технологические способы повышения активности минеральных добавок //Сб. статей 5-й международной научно-практической конференции «Современная наука и молодые учёные» (Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 36-38).

5. Physico-mechanical properties of heavy concrete with a complex mineral additive // The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. – 2021. – №16. – p. 71-76.

6. Технологические способы повышения строительно-эксплуатационных свойств тяжелого бетона // Материалы Международной научно-практической конференции посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ Тилегенова И.С. и 20-летию Международного научного журнала Вестник ТарГУ «Природопользование и проблемы антропосферы» на тему: «Природопользование и актуальные проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности человека в XXI веке» (Тараз: Dulary University, 2021. – Т. 2. – С. 34-37).

7. The effect of a complex mineral supplement on the hydration of alite. – ALITinform: Cement. Concrete // Dry Mixtures. – 2021. – №3(64). – P. 84-92.

8. Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive // Architectura and Engeneering. – 2022. – Vol. 7, №2. – P. 86-95.

9. The effect of complex additives on the heat of cement hydration and concrete hardening processes // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2022. – Vol. 28, №6. – P. 897-912.

10. Исследование свойств модифицированного вяжущего полученного на основе отходов обогащения ГОК // Вестник КазГАСА. – 2024. – №2 (92). – (в печати).

11. Строительно-эксплуатационные свойства бетонов на модифицированном вяжущем // Вестник КазГАСА. – 2024. – №2 (92). – (в печати).

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе: 2 статьи в изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science; в журналах из перечня изданий Комитета по обеспечению качества в сфере науки и образования – 3 статьи; в сборниках Международных научно-практических конференций – 2 статьи; в других международных изданиях – 2 статьи, в иных изданиях Республики Казахстан – 1 статья, а также получен 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 разделов и основных выводов, содержит 37 таблиц, 28 рисунков, список использованных источников из 208 наименований и 1 приложения.

Во введении диссертации обоснованы актуальность исследований, сформулированы цели и задачи, объект исследований. Также рассмотрены методы исследований, научная новизна.

В первой главе «Состояние вопроса исследования» рассматриваются теоретические и практические исследования, отечественных и зарубежных ученых, получения модифицированного бетона путем добавления отходов различных производств.

Выводы по первой главе:

Целенаправленный выбор органического и минерального компонентов добавок дает возможность регулировать процессы твердения и свойства вяжущих систем. Уязвимым местом бетонов остаются поры, способные к дальнейшему дроблению, микродефекты в зоне контакта «цементный камень–заполнитель». Указанные недостатки отрицательно влияют на прочность, морозостойкость, проницаемость, процессы массопереноса и долговечность материала в целом. Решением данной проблемы является создание и применение многокомпонентных органоминеральных модификаторов, которые помимо пролонгированного действия, синергетического воздействия ингредиентов могут на макро-, микроуровнях активно влиять на формирование качественной структуры цементного камня, обеспечивающей высокие показатели прочности, плотности, проницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости и других эксплуатационных характеристик бетон.

Во второй главе «Сырьевые материалы и методы исследований». В данном разделе описываются все применяемые сырьевые материалы для получения модифицированного тяжелого бетона. Сырьевые материалы исследуются на базе лаборатории ТОО «МОК» на соответствие нормативным документам действующих на территории РК и описываются методы исследования полученного модифицированного бетона с применением отходов Балхашского ГОК и микрокремнезема.

Выводы по второй главе:

Применяемые сырьевые материалы соответствуют нормативным документам действующих на территории РК, также методы исследования и все приборы использованные для исследования физико-механических и физико-химических процессов имеют документы о соответствии.

В третьей главе «Разработка составов бетонов классов В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего», приводятся данные по разработке номинального состава комплексной минеральной добавки с использованием отходов Балхашского ГОК активированного микрокремнеземом, приведены оптимальные соотношения модифицированного вяжущего на основе сульфатостойкого портландцемента с применением комплексной минеральной добавки, а также составы тяжелых бетонов на основе полученного модифицированного вяжущего и исследования реологических характеристик бетонной смеси.

Выводы по третьей главе:

Для выбора оптимального соотношения микрокремнезема и отходов обогащения Балхашского ГОК в составе комплексной минеральной добавки определены их пуццолановая активность. Выбран оптимальный состав комплексной минеральной добавки: 60% отходы обогащения Балхашского ГОК + 40% микрокремнезем. Оптимальная дозировка в состав цемента комплексной минеральной добавки составляет 20%. При этом, содержание микрокремнезёма в составе бетонной смеси В35 – 32-38 кг/м³. Введение комплексных добавок существенно влияют на процессы структурообразования цементного теста.

Бетон класса В 35 на основе модифицированного вяжущего МВ-20 с суперпластификатором «MasterRheobuid 1000 К» рекомендуется для изготовления бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях. Суперпластификатор MasterGlenium 305 рекомендуется для монолитного строительства. Разработаны оптимальные составы тяжелых бетонов классов В35 и В25 с использованием модифицированного вяжущего. Применение вяжущего с 20% комплексной минеральной добавкой уменьшает водопотребность бетонной смеси В35 и В25 соответственно на 18 и 20%.

В четвертой главе «Влияния комплексной минеральной добавки на структуру цементной системы и бетона» исследуется влияния комплексной минеральной добавки на процессы гидратации цементного камня, а также ее влияние на теплоту гидратации цемента и процессы твердения бетона.

Выводы по четвертой главе:

Выявлено, что активация отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината микрокремнезёмом значительно повышает степень гидратации камня С3S, которая через 3, 7 и 28 сут. нормального твердения составляет, соответственно, 52,5; 65,0 и 75,0% по сравнению с исходным образцом, в котором степень гидратации составляет, соответственно: 50,5; 60; и 68%, к тому же в 7- суточном возрасте твердения повышает скорость гидратации С3S до 5%, что способствует повышению прочности в начальных сроках твердения на 21%. Установлено, что повышение прочности камня С3S и степени гидратации с увеличением срока твердения сопровождается ростом химически связанной воды.

Установлено, что в тяжелом бетоне класса В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 максимальная температура гидратации составляет 79,8°С и достигается через 26 часов 30 минут после заливки; сохранение максимальной температуры в пределах 78,1-79,8°С продолжается в течение 9 часов. Исследованные комплексные добавки, изменяя скорость гидратации и время достижения максимальной температуры, определяют периоды формирования гидратов цементного камня, что позволяет рассматривать их влияния как фактор направленного воздействия на процессы структурообразования и твердения тяжелого бетона.

В пятой главе «Физико-механические свойства бетона на модифицированном вяжущем МВ-Д20» приведены все физико-механические характеристики тяжёлых бетонов классов по прочности В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего и определена сульфатостойкость тяжёлого бетона с применением модифицированного вяжущего с применением отходов Балхашского ГОК.

Выводы по пятой главе:

Разработаны составы эффективных бетонов классов В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20, которые в 28-суточном возрасте твердения набирают нормативную требуемую прочность. В начальных сроках твердения (7 суток) бетоны класса В25 и В35 соответственно набирают более 70% от требуемой нормативной прочности. Показатель водопоглощения бетона класса В25 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 3,69-4,46%. Среднее значение водопоглощения бетона В25 - 4,20%. Водопоглощение тяжёлого бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 составляет – 2,99-3,70%. Показатель среднего значения водопоглощения бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305-3,46%. Марка бетона В25 по водонепроницаемости соответствует W10, а В35 – W12, при этом фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 колеблется в пределах – 24,4-26,6 с/см³.

Установленная относительная деформация бетона класса В35 на основе ЦЕМ I 42,5 СС относятся к группе III – сульфатостойкий.

Заключение

На основании проведенного исследования сделаны следующие основные выводы:

1. Анализ литературных источников показал, что в строительном материаловедении накоплены значительные теоретические исследования и практический опыт по использованию тонкодисперсных активных минеральных добавок. Применение тонкодисперсных активных минеральных добавок в производстве бетона и железобетона позволяет:

- уменьшить расслаиваемость бетонной смеси при транспортировании и улучшить ее удобоукладываемость;
- улучшить строительно-эксплуатационные свойства тяжёлого бетона;
- повысить прочность при сжатии;
- значительно повысить долговечность бетонных и железобетонных конструкций. Однако использование отходов горно-обогатительных предприятий Республики Казахстан в качестве минеральных добавок исследованы недостаточно глубоко.

2. Подобран оптимальный состав комплексной минеральной добавки: 60% отходы обогащения Балхашского ГОК + 40% микрокремнезем. Установлено, что повышение количества микрокремнезёма более 40% в составе комплексной добавки приведёт к увеличению водопотребности смеси. Пуццолановая активность комплексной добавки состоящего из 60% отходов обогащения Балхашского ГОК и 40 % микрокремнезёма составляет 48 мг/г. Выявлено, что введение в состав отходов обогащения Балхашского ГОК 40% микрокремнезёма повышает пуццолановую активность комплексной добавки в 2 раза.

3. Оптимальная дозировка в составе цемента комплексной минеральной добавки с отходами обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината составляет 20%. При этом, содержание микрокремнезёма в составе бетонной смеси В 35 – 32-38 кг/м³. Показано, что дальнейшее увеличение количества микрокремнезёма в составе бетона могут вызывать большие усадочные напряжения. Усадочные трещины в бетоне на контакте с заполнителем и в самом цементном камне могут снизить морозостойкость и послужить очагами коррозии бетона.

4. Установлено, что комплексные добавки существенно влияют на процессы структурообразования цементного теста. Введение суперпластификатора «Master Rheobuild 1000 К» ускоряет начало схватывания цементного теста и сокращает период структурообразования. Начало схватывания цементного теста наступает через 110 мин. Период от начала до конца схватывания сокращается на 40 мин, в сравнении с цементным тестом без добавки. Суперпластификатор MasterGlenium 305 очень незначительно влияет на скорость структурообразования в начальный период, так как начало схватывания наступает через 150 минут, но к концу периода схватывания заметно уменьшает скорость структурообразования. В этом случае период от начала до конца схватывания составляет 70 минут, что на 40 минут меньше по сравнению с цементным тестом без добавки. Поэтому, бетон класса В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с суперпластификатором «MasterRheobuid 1000 К» рекомендуется для изготовления бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях. Суперпластификатор MasterGlenium 305 рекомендуется для монолитного строительства.

5. Определены оптимальные составы тяжелых бетонов классов В35 и В25 с использованием модифицированного вяжущего МВ-Д20 следующие:

– бетон класса В35, кг/м³: модифицированное вяжущее - 420 кг/м³; щебень фракции 5-10 мм – 480 кг/м³; щебень фракции 10-20 мм – 700 кг/м³; песок - 650 кг/м³; вода-164 кг/м³; Master Air 200 - 0,336 кг/м³, и MasterGlenium 305 – 4,20 кг/м³;

– бетон класса В25, кг/м³: модифицированное вяжущее - 380 кг/м³; щебень фракции 5-10 мм – 460 кг/м³; щебень фракции 10-20 мм – 670 кг/м³; песок - 690 кг/м³; вода - 152 кг/м³; Master Air 200 - 0,304 кг/м³ и MasterGlenium 305 – 2,66 кг/м³.

– плотность бетонной смеси В35 – 2420-2440 кг/м³. Объем вовлеченного воздуха – 4,0-4,4%. Подвижность бетонной смеси по осадке конуса – 16 см. В нормальных условиях твердения предел прочности при сжатии в 1 суточном возрасте – 21,5-23,0 МПа; 7-суточная 28,5-32,0 МПа и 28-суточная 49,8-50,7 МПа.

– плотность бетонной смеси В25 – 2410-2430 кг/м³. Объем вовлеченного воздуха – 3,8-4,5%. Марка бетонной смеси по осадке конуса – П4. В нормальных условиях твердения предел прочности при сжатии в 7 суточном возрасте – 23,5-25,0 МПа и 28-суточная 34,5-35,3 МПа.

6. Установлено, что введение 20% комплексной минеральной добавки от массы цемента уменьшает водопотребность бетонной смеси В35 и В25 соответственно на 18% и 20%. С увеличением количества добавки на 25% уменьшение водопотребности соответственно составляют 15% и 18%. Определено, что введение в состав бетонной смеси В35 СП MasterGlenium 305 в количестве 1% от массы вяжущего или 4,20 кг/м³ продлевает сохраняемости подвижности до 4 ч 30 мин.

Анализ прочностных показателей в начальных сроках твердения бетона В35 с суперпластификатором MasterGlenium 305 показал, что при неизменном В/Ц в первые сутки наблюдается некоторое замедление набора прочности при сжатии. Однако, уже к третьим суткам отставание нивелируется, а в 7-суточном возрасте имеет прирост прочности.

7. Выявлено, что активация отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината микрокремнезёмом значительно повышает степень гидратации камня С3S, которая через 3, 7 и 28 суток нормального твердения составляет, соответственно - 52,5%, 65,0% и 75,0% по сравнению с исходным образцом, в котором степень гидратации составляет, соответственно - 50,5%, 60% и 68%.

8. Выявлено, что комплексная минеральная добавка в 28-суточном возрасте твердения уменьшает количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 43%. С увеличением срока твердения камня С3S с комплексной минеральной добавкой до 360 суток уменьшение содержания портландита составляет 60%. Электронно-микроскопические исследования показали, что в начальных возрастах твердения в порах встречаются шестигранные призматические кристаллы портландита, свидетельствующие о сильной начальной перенасыщенности жидкой фазы ионами Ca^{2+} . Дальнейшая перекристаллизация и рост гексагональных кристаллов портландита подчиняются законам коллективного роста и протекают метасоматический.

9. Установлено, что третья стадия гидратации (интенсивный период твердения бетона) с выделением большого количества теплоты гидратации в первой из изготовленных конструкций из бетонной смеси В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,6% суперпластификатора MasterRheobuild 1000 К, этот период начинается через 4 час. 30 мин., при этом температура составляет 39,2–40,1°C. На второй из конструкций, где использовали модифицированное вяжущее МВ-Д20 с добавкой 1,0%

суперпластификатора MasterGlenium 305, третья стадия процесса гидратации наступает через 5 час 30 мин. При этом температура бетона составляет 39,0–40,5°C. Повышение температуры бетона свидетельствует о начале кристаллизации гидроксида кальция из жидкой фазы. Показано, что в тяжелом бетоне В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 максимальная температура гидратации составляет 79,8°C и достигается через 26 часов 30 минут после заливки; сохранение максимальной температуры в пределах 78,1-79,8°C продолжается в течение 9 часов.

10. Процессы гидратации и твердения тяжёлых бетонов классов В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1% СП MasterGlenium 305 можно разделить на две стадии:

– стадия интенсивной гидратации от 5 часов 30 минут приготовления бетонной смеси до 7 суток твердения. При этом происходит гидратация клинкерных минералов, пуццолановая активация комплексной минеральной добавки и образования стабильных гидратов;

– стадия замедленной гидратации от 7 суток до года. В этом периоде происходит нивелирования деструктивных процессов за счёт пуццолановых реакций.

11. Разработанные составы модифицированных бетонов классов В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 в 28-суточном возрасте твердения набирают нормативную требуемую прочность. В начальных сроках твердения (7 суток) бетоны классов В25 и В35 соответственно набирают более 70% требуемой нормативной прочности.

12. Показатель водопоглощения модифицированного бетона класса В25 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 3,69-4,46%. Среднее значение водопоглощения бетона В25 – 4,20%. Водопоглощение тяжёлого бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 составляет – 2,99-3,70%. Показатель среднего значения водопоглощения бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 – 3,46%.

13. Фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В25 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 18,4 - 19,0 с/см³. Марка бетона В25 по водонепроницаемости соответствует W10. Марка бетона В35 с комплексной модифицированной добавкой по водонепроницаемости – W12, при этом фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 колеблется в пределах – 24,4-26,6 с/см³.

14. Относительная деформация бетона класса В35 на основе сульфатостойкого портландцемента ЦЕМ I 42,5 СС ТОО «Каспий Цемент» в 12-месячном возрасте испытания составляет 0,097%. Бетон класса В35 на основе ЦЕМ I 42,5 СС относятся к группе III – сульфатостойкий. Определено, что относительная деформация бетона класса В25 на основе модифицированного

вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в 7 и 14 сутках равно нулю, а в 28 суточном возрасте твердения составляет 0,01% и в 12-месячном возрасте составляет 0,095%. Бетон относится к группе III – сульфатостойкий. Экспериментально определено, что относительная деформация бетона класса В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 в 7 и 14 суточных возрастах равно нулю, а 28 суточном возрасте твердения составляет 0,01% и в возрасте 12 месяцев – 0,085. Тяжелый бетон В35 относится к группе III – сульфатостойкий. Применение модифицированного вяжущего МВ-Д20 в составе базового сульфатостойкого портландцемента ЦЕМ I 42,5 СС ТОО «Каспий Цемент» позволяет снизить относительную деформацию бетона класса В35 на 12%.

15. Установлено, что сульфатостойкость бетона может быть повышена путем введения в состав цемента отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината, активизированного микрокремнезёмом. Комплексная модифицированная добавка способна связывать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые соединения, уменьшая тем самым степень выщелачивания CaO . Кроме того, комплексная модифицированная добавка снижает водопоглощение и водонепроницаемость бетона.