

На правах рукописи.

Б Е Н Д Е Р С К И Й
Ефим Борисович

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ
НА ОБЫЧНЫХ И СУЛЬФАТОСТОЙКИХ ЦЕМЕНТАХ

Специальность: 05.23.05-"Строительные материалы и изделия"

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, доцент, Дикарев Борис Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, Пунагин Владимир Николаевич
кандидат технических наук, профессор, Шишкин Александр Алексеевич

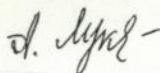
Ведущая организация - Днепропетровское дочернее арендное предприятие НИИСП, г. Днепропетровск

Защита состоится "19" "04" 1996г. на заседании специализированного совета Д 07.03.01 в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры по адресу: 320005, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского 24а, ПГА-СА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "19" "03" 1996г.

Ученый секретарь
специализированного совета



Лукьянскова А. Н.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00740421 (I)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Общая характеристика работы

А к т у а л ь н о с т ь. Становление экономики Украинского государства выдвигает комплекс задач, нацеленных на совершенствование технологии производства, ресурсосбережение и использование техногенных продуктов промышленного производства.

Научно-технический прогресс строительной индустрии все чаще выдвигает задачи повышения качества, экономической эффективности и долговечности изделий промышленности сборного железобетона. Особо следует выделить весьма актуальную проблему комплексного повышения эксплуатационной или интегральной стойкости бетона и изделий на его основе, которые в период эксплуатации подвергаются действию попеременного замерзания и оттаивания при одновременном воздействии агрессивной окружающей среды.

Стойкость в работе определена как способность бетона сохранять заданный уровень надежности в течении всего предполагаемого срока службы в действительных условиях эксплуатации. Поэтому стойкость бетона связана с комплексным рассмотрением морозостойкости и коррозионной стойкости, т.е. определена как способность материала противостоять совокупности внешних воздействий температурного и коррозионного характера.

Такая постановка задачи наиболее актуальна при оценке и прогнозировании стойкости бетона в элементах, расположенных в засоленных грунтах и подвергающихся действию сульфатных вод и циклического замораживания.

Проведенные исследования и накопленный производственный опыт показали, что на современном этапе многие аспекты повышения стойкости бетона еще недостаточно изучены, опытные данные разобщены, а комплексное исследование их влияния на морозостойкость в сочетании с коррозионной стойкостью бетона практически не проводилось.

Настоящая работа направлена на решение актуальной задачи исследования и разработки ресурсосберегающей модификации бетонов повышенной морозо- и коррозионной стойкости, за счет применения местных высокоэффективных химических добавок полифункционального действия. Исследования направлены на поиск

недефицитных модификаторов, обеспечивающих комплексное сочетание физической, химической и физико-химической стойкости. При этом важно определить местные недефицитные вторичные продукты промышленности, близкие по эффективности к зарубежным пластификаторам, однако не обладающие комплексным влиянием на структурообразование материала. Такое условие определяет необходимый уровень ресурсосбережения при обеспечении заданной физико-химической стойкости материала.

В частности, высокоэффективные и дешевые пластификаторы могут быть получены путем модификации вторичных продуктов Закарпатских и южноукраинских химических предприятий, представляющих собой лигносульфонаты различной природы. Сырьевая база для их производства на территории Украины весьма значительна. Это создает предпосылки для массового использования модифицированного бетона с заданными свойствами и, в частности, высокой комплексной стойкостью.

Целью работы является исследование и разработка бетона повышенной физико-химической стойкости за счет использования высокоэффективных модификаторов полифункционального действия.

Задачи работы: - количественно оценить влияние параметров циклического температурного и коррозионного воздействия на структурообразование бетона и его компонентов;

- используя модифицированные вторичные продукты промышленности технические лигносульфонаты в сочетании с водной суспензией шламов ГОК получить высокоэффективную добавку, повышающую интегральную стойкость бетонов;

- исследовать механизм воздействия модифицированной добавки полифункционального действия на процессы структурообразования клинкерных минералов, различных видов портландцементов и бетонов на их основе;

- разработать методику назначения и оптимизации составов бетона повышенной физико-химической стойкости с модифицирующей добавкой на сульфатостойких и обычных портландцементах;

- провести производственную апробацию и внедрение ресурсосберегающей технологии бетона повышенной эксплуатационной стойкости с добавкой полифункционального действия.

Научная новизна работы:

- разработаны физико-химические основы повышения интегральной стойкости бетона путем модификации микроструктуры и морфологического состава вяжущего добавкой полифункционального действия;

- показано изменение структурной формулы, средней молекулярной массы и физико-химических свойств технических лигносульфонатов, подвергнутых высокоинтенсивной сепарации путем барботирования сульфатно-хлоридной суспензии шламов ГОК;

- исследованы физико-механические свойства бетонов повышенной эксплуатационной стойкости при действии циклических знакопеременных теплосмен в условиях высококонцентрированной сульфатной среды;

- разработана методика назначения и оптимизации состава бетона, послужившая основой прогнозирования его эксплуатационной стойкости и долговечности.

Практическая значимость работы: заключается в расширении сырьевой базы исходных материалов для ресурсосберегающей технологии бетонов повышенной физико-химической стойкости. В частности, показана высокая эффективность применения технических лигносульфонатов, не только вторичных продуктов целлюлезно-бумажной промышленности, различных "агримусов"- продуктов переработки кукурузных початков. Доказана возможность применения обычных среднеалюминатных цементов с добавкой полифункционального действия для получения бетонов заданной эксплуатационной стойкости.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на: научно-производственных конференциях ДИСИ и ПГАСА (1990-1995г); научно-практической конференции "Ресурсосберегающие модификаторы бетона" (Черновцы, 1992г); Региональном научно-техническом семинаре "Высокоэффективные добавки для бетона", Днепропетровск, 1994г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 6 публикациях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций, списка литературы из 123 наиме-

нований и приложений. Работа изложена на 197 страницах машинописного текста, включает 35 рисунков и 28 таблиц.

Краткое содержание работы.

Проблеме повышения морозостойкости и коррозионной стойкости бетона уделялось постоянное внимание в отечественной и зарубежной литературе. Работами Ю.М. Баженова, О.Е. Власова, В.В. Гончарова, Г.И. Горчакова, П.В. Кривенко, О.В. Кунцевича, С.А. Миронова, Н.А. Мощанского, В.А. Пахомова, П.А. Ребиндера, Б.Г. Скрамтаева, В.В. Стольников, С.В. Шестоперова, а также М. Валента, Уд. Даниельсона, М. Коллинза, Т. Кеннеди, Т. Пауэрса развиты теоретические и экспериментальные основы морозостойкости бетона.

Особенно большие исследования проведены в различных странах по изучению коррозионной стойкости бетона. Особое значение имеют работы С.Н. Алексеева, В.И. Бабушкина, В.Г. Батракова, Э.А. Гуревича, А.И. Минаса, В.М. Москвина, Е.Е. Сегаловой, В.П. Скрильникова, В.Н. Юнга и др. Однако ряд бетонных конструкций подвергаются одновременному действию циклических знакопеременных температур и агрессивной, обычно сульфатной среды. Это бетонные элементы гидротехнических, промышленных, сельскохозяйственных сооружений, расположенных в поверхностных слоях грунта или в зоне попеременного увлажнения и высушивания. Эксплуатационная стойкость или долговечность таких бетонов одновременно определяется их сопротивлением циклическому замораживанию и химической стойкостью в агрессивной среде. Работ, посвященных такой проблеме крайне мало, хотя специфичность сопротивления бетона в подобных условиях не вызывает сомнения. Таким исследованиям уделено внимание в работах П.В.Кривенко совместно с Е.К. Пушкаревой, Г.П. Вербецким, А. Грудемо, М.Г. Давидсона, Н.А. Мощанского и некоторых других.

Анализ работ перечисленных исследователей и обобщение экспериментальных данных позволило выдвинуть рабочую гипотезу исследования. Повышение эксплуатационной стойкости бетонов, сочетающей физическую морозостойкость с коррозионной стойкостью материала, возможно обеспечить направленным структурообразованием. Сюда, прежде всего, относятся измене-

ние значения В/Ц при заданной удобоукладываемости бетонной смеси, управление процессом поризации микроструктуры цементного камня и перевод химически нестойких минералов цемента в термодинамически устойчивое состояние. Совокупность столь разноплановых задач возможно осуществить использованием модификаторов свойств бетона целенаправленного полифункционального действия.

Однако как показали проведенные исследования, весьма трудно подобрать химическую добавку с указанным спектром действия, которая отличалась бы дешевизной и не дефицитностью в условиях становления украинской экономики. Поэтому внимание было обращено на самые доступные пластификаторы, поддающиеся физической или физико-химической модификации с целью обеспечения их полифункционального действия на бетонную смесь и бетон.

В качестве основной добавки гидрофильного типа избраны обычные технические лигносульфонаты, к которым относятся сульфитноспиртовая барда (ССБ), сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ), а также сульфированные "агримусы". Это продукты переработки сульфатных щелоков целлюлозно-бумажной или пищевой промышленности. Изучен механизм их действия на портландцемент различного минералогического состава и на клинкерные мономинералы. Пластифицирующее действие лигносульфонатов многие исследователи связывают с адсорбцией молекул добавки на поверхности частиц цемента и продуктах их гидратации с образованием гидрофильной пленки, улучшающей смачивание цемента водой. Наличие гидрофильной пленки, выполняющей роль "смазки", ряд ученых объясняет снижением сил трения между частицами. Адсорбционными явлениями объясняются также пептизация и стабилизация цементных систем. Особо следует отметить избирательную адсорбцию лигносульфонатов на алюминатной составляющей цемента.

Существенным недостатком бетона с ССБ и СДБ является замедление процесса гидратации цемента и вследствие этого значительное снижение его прочности, что вызвано торможением процессов гидролиза и гидратации цемента в начальной стадии твердения, благодаря возникновению значительных диффузионных сопротивлений в переходных слоях. Введение таких добавок требует точного соблюдения дозировки, т.к. незначительное

повышение их количества резко снижает прочность бетона.

Замедление твердения бетона с ЛСТ приводит к необходимости удлинения предварительной выдержки сборных железобетонных изделий, а также вынуждает применять мягкие режимы пропаривания.

В части обеспечения комплексной стойкости бетона представляется целесообразным ЛСТ вводить в бетонные смеси в комплексе с добавками электролитами-энергичными ускорителями твердения (Na_2SO_4 , CaCl_2) поэтому особенно интересно использование водной суспензии шламбассейнов, например, Ингулецкого ГОКа, содержащих кроме сульфата натрия также различные сульфаты железа.

При этом важно оценить связь сульфатостойкости бетонов с минералогическим составом портландцементного клинкера. Наибольшей стойкостью при действии сульфатных растворов обладает цементный камень из белитового портландцемента, наименьшей - из высокоалюминатного. Остальные цемента занимают промежуточное положение. Решающее влияние содержания в цементе трехкальциевого алюмината на сульфатостойкость цементного камня неоспоримо. ГОСТ на сульфатостойкие портландцементы предъявляет к его клинкеру следующие требования: содержание C_3A - не более 5%, сумма $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$ - не более 22%, а количество C_3S - не более 50%.

Повышение сульфатостойкости среднеалюминатных клинкеров при изготовлении цементов возможно путем ввода активных минеральных добавок. В этом случае защитное действие добавки будет основано на том что этtringит образуется только при наличии C_3AH_6 или C_2AH_8 , устойчивых при концентрациях CaO в жидкой фазе ниже 1,08. Если концентрация $\text{CaO} < 1,08$, то C_3AH_6 переходит в C_2AH_8 , и исключается образование этtringита. Пуццолановые добавки связывают $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция переменного состава с общей формулой $\text{CSH}(\text{B})$. При этом концентрация CaO в жидкой фазе снижается с 1,2-1,3 г/л до 0,06-0,08 г/л, что вызывает перекристаллизацию высокоосновных гидроалюминатов. Существенное влияние на повышение сульфатостойкости цементов с добавками оказывают также выделяющиеся низкоосновные гидросиликаты кальция коллоидной степени дисперсности, способные релаксировать кристаллизационное давление.

Особо повышает сульфатостойкость бетона добавка в бетонную смесь при ее изготовлении некоторого количества сульфата натрия. Взаимодействуя с гидроксидом кальция, он образует щелочь и гидросульфоалюминат кальция, что до приобретения бетоном механической прочности не представляет опасности. Образование гидросульфоалюмината в более поздние сроки не будет происходить, т.к. образуется определенный "концентрационный барьер".

В соответствии с изложенным для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости использованы лигносульфонаты, модифицированные водной суспензией шламов ГОК с удельной поверхностью 2800-4300 см²/г. Барботирование суспензии через раствор ЛСТ приводил к ее сепарации и осаждению длинноцепочных комплексов лигносульфонатов на частицах шлама. В то же время коротко- и среднецепочечные комплексы добавки оставались в растворе и служили надежным пластификатором бетонной смеси, не снижающим прочности бетона. Уровень пластификации модифицированным лигносульфонатом ЛСТ-Ш приближался к действию СП, при соотношении ОК_{конеч.} к ОК близким к 9-10. Водный раствор, содержащий раствор сульфата-натрия и комплекс хлоридов, будучи электролитом, служит не только ускорителем твердения, но и модификатором минералогического состава новообразований цемента. При содержании $5 < C_3A < 10\%$ в среднеалюминатных цементах добавка водной суспензии взамен 10-20% воды затворения переводит обычные бетоны в разряд сульфатостойких. Таким образом, модифицированная шламовой суспензией добавка ЛСТ-Ш обладает полифункциональным действием: энергично пластифицирует бетонную смесь, ускоряет твердение и конечную прочность бетона, переводит нестойкие гидроалюминаты в гидросульфоалюминаты. При этом в результатах развития порового давления в пластичной смеси, происходит преобразование микропористости цементного камня. Капиллярная пористость переходит в условно замкнутую или четочную, дифференциальная пористость смещается в сторону преобладания пор с диаметром 100-300 А. Повышение сульфатостойкости бетона на обычных портландцементов объясняется созданием "концентрационного барьера" алюминатных новообразований и образованием уплотняющих твердеющую структуру бетона высокосульфатных гидратных фаз.

Структурообразующее влияние новой модифицированной добавки ЛСТ-Ш проверено исследованием систем клинкерных минералов H_2O - ЛСТ-Ш, а также синтезированных цементов с теми же компонентами. Проведенными исследованиями установлены пределы оптимальной дозировки пластифицирующего компонента добавки и количества водной суспензии шлама. По анализу серии опытов с модельными составами установлено "действующее начало" добавки. Учитывая наличие в шламовой суспензии сульфатов и хлоридов натрия, можно полагать, что начиная с 2-х часов после затворения основная роль в ускорении структурообразования отводится им. При этом влияние шламовой суспензии в составе модифицированной добавки оказалось более сильным на Балаклеевский портландцемент с содержанием C_3A около 6,8%, чем клинкерный цемент того состава.

Анализ полученных результатов показал, что действие добавки ЛСТ-Ш на цемент зависит от содержания в нем гипса. При содержании гипса до 3% добавка выступает как сильный ускоритель структурообразования. При содержании гипса более 6% может начать проявляться замедляющее действие добавки, однако с преобладанием сильного пластифицирующего эффекта. На сроки схватывания различных цементов добавка ЛСТ-Ш оказала неоднозначное влияние. Однако повышение прочности бетона отмечается уже к 7-суточному возрасту. При этом для получения максимальной прочности к 28-суточному возрасту оптимальная дозировка ЛСТ-Ш должна находиться в пределах 0,30-0,45% к массе цемента. При количестве добавки большей 0,6% возможно замедление схватывания, снижение прочности, особенно при ТВО. Однако, на шлакопортландцементях избыточное содержание добавки не сказалось.

В системах $C_3S-CaSO_4 \cdot 2H_2O-H_2O$ -ЛСТ-Ш, а также $\beta-C_2S-CaSO_4 \cdot 2H_2O-H_2O$ и системы $C_3A-CaSO_4 \cdot 2H_2O-H_2O$ -ЛСТ-Ш интенсифицирующее действие добавки начинается после 6-часового возраста, особенно заметно проявляясь в 5-7 суточный срок. Это можно объяснить изменением растворимости трехкальциевого алюмината и гипса в присутствии ЛСТ-Ш, представляющей смесь различных электролитов. Следствием этого является изменения пересыщения в алюминатной системе с образованием кроме гидросульфалюмината кальция, сульфатосодержащих соединений на основе других комплексов ЛСТ-Ш. В са-

мом деле, на рентгенограммах осадков, полученных после взаимодействия $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с раствором ЛСТ-Ш наряду с линиями двуводного гипса (7,6; 4,27; 3,07А и др.) отмечены новые линии (9,7; 5,52; 6,6А). Интересно отметить, что в системе $\text{C}_4\text{AF}-\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{Ca}(\text{OH})_2-\text{H}_2\text{O}-\text{ЛСТ-Ш}$ рентгенофазовый термовиметрический анализ не обнаружили заметных изменений фазового состава. В полиминеральных смесях кинетика структурообразования в присутствии ЛСТ-Ш в основном определяется содержанием алюминатов. Анализ жидкой фазы суспензий 1:100 через 1 минуту показал заметное увеличение в присутствии ЛСТ-Ш содержания CaO в жидкой фазе минералов. Следовательно, добавка повышает их растворимость. Изложенное позволило сделать вывод о влиянии ЛСТ-Ш на гидратацию и структурообразование, при этом механизм действия добавки сводится к комплексному воздействию на дисперсность вяжущего с увеличением количества ГСАК.

Как сложность физико-химического взаимодействия добавки в твердеющем бетоне так и методическая неопределенность исследования стойкости бетона затрудняет решение данной проблемы. Работами НИИ СМИ КГТУСА, под руководством д.т.н. П.В. Кривенко, разработана эффективная методика определения интегральной стойкости или долговечности шлакощелочных бетонов. Анализ применяемости данной методики на обычных бетонах подтвердил ее универсальность в технологических исследованиях стойкости бетона. В соответствии с данной методикой количественная оценка эксплуатационной стойкости бетонов производилась по числу циклов попеременного замораживания и оттаивания в агрессивной сульфатной среде или растворе агрессивных солей. Принято, что коэффициент стойкости бетона эквивалентного возраста не должен быть ниже 0,95 для заданной марки бетона по эксплуатационной стойкости.

Установлено, что число циклов комплексного воздействия на бетон пропорционально величине его компенсационного фактора ($\text{Фк}^{\text{деятв}}$). Дополнение экспериментальной методики НИИ СМИ расчетным значением компенсационного фактора позволило создать расчетно-экспериментальный метод оценки эксплуатационной или интегральной стойкости бетона. При этом компенсационный фактор учитывает как общую плотность бетона так и характер (V_b и V_k), объем замерзающего в бетоне минерализо-

ванного водного раствора при атмосферном давлении (Vл). При этом получен критерий интегральной стойкости бетона в виде:

$$Фк^{действ} > Фк^{мин}$$

где $Фк^{мин}$ - минимально допустимый компенсационный фактор бетона заданной стойкости. Значение $Фк^{мин}$ определено обобщением значительного числа опытных и литературных данных и представлено в виде экспоненциальной функции, зависящей от заданного числа (N) знакопеременных теплосмен бетона в условиях агрессивной среды:

$$Фк^{действ} = Ф_0 [1 - \exp(-5N/1000)],$$

где $Ф_0$ - предельный компенсационный фактор бетона предельно высокой интегральной стойкости, $Ф_0 = 1,4$.

После элементарных преобразований значение действительного компенсационного фактора бетона выражено зависимостью:

$$Фк^{действ} = К_m * \frac{V_v / Ц + \alpha / \rho_{ц}}{V / Ц - [V / Ц]^*}$$

здесь α - степень гидратации вяжущего в данных условиях твердого бетона.

$[V / Ц]^*$ - нормальная густота цементного теста с оптимальной концентрацией добавки ЛСТ-Ш.

$К_m$ - коэффициент, учитывающий степень модификации морфологического состава цементного камня добавкой ЛСТ-Ш.

Данная зависимость проверена на многочисленных опытных данных, полученных для образцов бетона, изготовленных на трех видах цемента: сульфатостойкого (Амвросиевский ЦК), портландцемента (Балаклеяский ЦШК) и шлакопортландцемента (Криворожский ЦЗ). Например, для бетонов с постоянным составом 1:1, 9:3, 8 при $Ц = 340 \text{ кг/м}^3$ и ОК = 8 см значение $Фк^{действ}$ отличается от опытных значений не более, чем на 7-12%. Опыты по определению эксплуатационной стойкости проводились по методике НИИ СМи КГТУСА.

Высокая степень достоверности в оценке эксплуатационной стойкости бетона достигнута благодаря учету комплекса факторов, которые кроме объема воздухововлечения учитывали объем вяжущего в бетоне, степень его гидратации, значение $V / Ц$ и величину нормальной густоты теста, модифицированного добавкой, а также степень модификации бетонной смеси ЛСТ-Ш.

Для всех типов цементов установлен существенный рост стойкости бетона с добавкой ЛСТ-Ш от 0,3 до 1,0% от расхода

цемента. При увеличении воздухоовлечения в 1,5 - 1,7 раза эксплуатационная стойкость, включающая и коррозионную стойкость бетона, достигалась также на обычных портландцементях при $5 < C_3A < 10\%$. Расход водной суспензии добавки ЛСТ-Ш находился в пределах 10-20% от количества воды затворения. Расчетно-экспериментальный метод прогнозирования эксплуатационной стойкости бетона позволил решать ряд технологических задач: ограничение расхода цемента, значения В/Ц, оценки марки бетона по стойкости при замерзании в агрессивной среде, а также расширение базы цементов для получения морозо- и коррозионностойкого бетона.

Исследованием удобоукладываемости бетонных смесей с добавкой ЛСТ-Ш в пределах 0,2-1,4%, от литых до жестких смесей установлена зона наибольшего разжиживания смеси с оптимальным расходом ЛСТ-Ш 0,30-0,45% от количества цемента. При этом снижение водопотребности смеси достигало 17-19%.

Выполнен комплекс исследований прочностных деформативных характеристик бетона с добавкой 0,3% ЛСТ-Ш и 10% водной суспензии шлама. Это обеспечило повышение прочности на 16-24% в бетонах со сниженным В/Ц при практически неизменном значении Е и его предельной сжимаемости, которые оставались близкими современным требованиям СНиП.

Изменения эксплуатационной стойкости бетонов можно объяснить не только экспериментальными, но и экспериментально-теоретическими исследованиями структуры материала с модифицированной добавкой ЛСТ-Ш, и в частности, изменением его пористости на основании анализа современных классификаций пористости бетона по радиусу пор и свободной энергии связи воды в них (Дж/кг) установлены следующие закономерности. Классификация пор различного размера в бетоне, предложенная Ю.М. Буттом, А.В. Волженским, Г.И. Горчаковым, М.М. Дубининым, В.М. Казанским, А.В. Лыковым, Т. Пауэрсом, Р. Фельдманом, А.Е. Шейкиным и др., весьма мало отличается друг от друга физически, и больше отличается терминологически. Поэтому физически оценивая влияние пористости на интегральную стойкость бетона, в исследовании принято связывать радиус пор со свободной энергией связи воды в них, предложенной В.М. Казанским. Учитывая снижение поверхностного натяжения водного раствора модифицированной добавкой ЛСТ-Ш к компенса-

ционными отнесены поры, в которых энергия связи превосходит 0,1 Дж/кг, т.е. диаметром $2 \cdot 10^{-6}$ м (менее 0,002 мм).

Установлено, что при концентрации водной суспензии шлама от 10 до 20% от воды затворения и оптимальной дозировке модифицированной добавки в 0,3% от количества цемента, в отвердевающем композиционном материале создается дополнительный ранг структуры, выполняющей стабилизирующую функцию вследствие понижения реакционной способности алюминатной составляющей вяжущего. Своеобразие действия "агрессивного" агента заключается в том, что высокоосновные сульфоалюминаты практически цементируют насквозь микропоры бетона. При этом, как показала электронная микроскопия, сульфоалюминатная составляющая остается пористой, хотя общий объем и размеры пор уменьшаются, а некоторая часть их становится замкнутой или приобретает четочную форму. Это доказано результатами количественного лазерного микроанализа контактной зоны песка и цементного камня. Установлен перенос Al с линиями спектра 3082,16; 3092,71; 2652,49 и 2660,39 А в поры частиц песка и цементного камня. При этом с помощью рентгеновского микроанализатора (МАР-2) также установлено уширение контактной зоны с повышенным содержанием Al и Fe. Исходя из полученных данных можно заключить, что благодаря применению добавки ЛСТ-Ш в структуре бетона увеличивается число контактов на единицу гетерогенных поверхностей, за счет морфологических изменений гидратных новообразований и повышения степени гидратации вяжущего.

Установлено, что открытая пористость бетона, при сокращенном расходе воды до 16% уменьшается: для растворных образцов на 7,7 - 9,8%, для бетонных образцов на 5,3 - 8,2%. Данные получены применением ртутной порометрии при исследовании пор в интервале радиусов от 10 до 10^{-5} м.

При использовании добавки ЛСТ-Ш общее повышение стойкости больше проявилось у образцов высоких марок. Например, у бетона М200 стойкость возросла с F150 до F200, для бетона М300, соответственно с F200 до F300 при коэффициенте стойкости не менее 0,95. С введением добавки водопроницаемость М300 оказалась более 0,8 МПа.

На основании выполненных экспериментальных исследований разработана методика прогнозирования интегральной стойкости

бетона с одновременным назначением состава заданной стойкости. В производственных условиях заводской лаборатории Криворожского ЗЖБИ опробованы различные методы назначения составов бетона. Рассмотрены методы учитывающие применение модифицирующей добавки ЛСТ-Ш и выполнен анализ трех различных методов назначения составов бетона: метода абсолютных объемов, физико-аналитического метода и метода планирования эксперимента. Ко всем методикам назначения составов бетона предъявлялся следующий комплекс требований:

- возможность исключить из методики расчета состава любых коэффициентов, параметров или табличных данных, не подкрепленных опытными лабораторными данными;

- обеспечить учет физико-химического воздействия модифицирующей добавки на свойства бетонной смеси, структурообразование и свойства бетона;

- удовлетворить условие заданной удобоукладываемости бетонной смеси, проектной прочности бетона, и требуемой марки бетона по интегральной стойкости или долговечности;

- оценить допустимые пределы изменчивости трех критериальных условий назначения состава бетона, с целью повышения достоверности прогнозирования его стойкости в эксплуатационный период. В результате анализа лабораторных данных и опытных данных исследования в качестве основного выбран физико-аналитический метод проектирования составов бетона заданной эксплуатационной стойкости, дополненный учетом влияния добавки на свойства микро-, мезо- и макроструктуры бетона.

Основной причиной этого является наиболее полный учет проектных и экономических факторов в принятой методике, изложенной в работе [3]. Метод абсолютных объемов, не учитывающий влияние добавки на свойства бетонной смеси и бетона, благодаря простоте и использованию табличных данных, применяется для назначения опытных лабораторных составов бетона. На основании испытания опытных составов определяется совокупность квалиметров (или коэффициентов качества) исходных материалов с оптимальной дозировкой добавки ЛСТ-Ш.

Определение области наибольшей прочности и стойкости бетона путем оптимизации состава выполнено методом планирования эксперимента с использованием стандартных программ

на персональных ЭВМ.

Сочетание трех различных, взаимодополняемых методик назначения и оптимизации состава бетона позволило разработать надежную методику прогнозирования стойкости бетона с модифицирующей добавкой ЛСТ-Ш. При этом установлены таблицы составов бетона, эквивалентных по прочности (от М150 до М400) и удобоукладываемости бетонной смеси (от ОК = 2 до ОК = 20см) с оптимальной дозировкой ЛСТ-Ш в количестве 0,30-0,45 от массы цемента. Методом планирования экспериментов для различной концентрации добавки от 0 до 0,60% от количества цемента определена область наибольшей стойкости бетона с помощью вероятностно-статистической модели.

Предлагаемая технология изготовления бетона повышенной эксплуатационной стойкости прошла производственную проверку на ЗЖБИ АО "Криворожжелезобетон", что позволило при сокращении расхода цемента на 6-8% получить бетоны повышенной эксплуатационной стойкости на среднеалюминатных портландцементх и портландцементе Криворожского цемзавода. Совокупный экономический эффект от снижения расхода цемента и повышения долговечности изделий заданной стойкости составляет не менее 20% себестоимости изделий, предназначенных для фундаментов промышленных и гражданских сооружений.

Основные выводы и рекомендации.

1. Разработан способ получения пластификаторов повышенной эффективности ЛСТ-Ш на основе технических лигносульфонатов, путем их обработки высокодисперсными водными суспензиями шламов железорудных горно-обогатительных комбинатов с определением оптимальных режимов приготовления добавки.

2. Установлено, что модифицированная добавка позволяет снизить В/Ц бетонной смеси на 17-20% и при этом обеспечить повышение прочности бетона на 10-16% при оптимальном количестве добавки от 0,30 до 0,45% в зависимости от марки и удобоукладываемости бетона. Использование пластифицирующего эффекта при введении в состав бетона добавки ЛСТ-Ш позволяет экономить 9-11% цемента.

3. Раскрыт механизм взаимодействия добавки модифи-

цированной суспензией шлама с клинкерными минералами и различными видами цемента, что обеспечило получение бетонов, на обычных и сульфатостойких цементах требуемой эксплуатационной стойкости.

4. Показано, что под влиянием оптимальной дозировки добавки ЛСТ-Ш 0,30 - 0,45% от массы цемента и водной суспензии шлама 10-20% от объема воды затворения обеспечивается проектная долговечность бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в среде агрессивных сульфатно-хлоридных вод, что определяет требуемую эксплуатационную или интегральную стойкость материала.

5. Исследовано структурообразование, минералогический и морфологический состав новообразований клинкерных минералов и различных цементов с добавкой ЛСТ-Ш. Установлено изменение общей и дифференциальной пористости бетона, а также взаимодействие высокосульфатного агрессивного агента с C_3A , что привело к практически сквозной цементации капиллярных пор и созданию дополнительного стабилизирующего ранга структуры, обеспечивающего "концентрационный барьер".

6. Разработан критерий стойкости и расчетно-экспериментальная методика оценки эксплуатационной стойкости бетона по комплексу исходных параметров состава, структурных характеристик и условий твердения материала, используя зависимость компенсационного фактора от проектной марки интегральной стойкости бетона.

7. Сочетание расчетно - экспериментальной методики определения эксплуатационной стойкости с физико-аналитическим методом позволило разработать метод прогнозирования проектной стойкости бетона с добавкой ЛСТ-Ш на сульфатостойких и среднеалюминатных цементах с содержанием $C_3A < 10\%$.

8. Полученные уравнения регрессии, изолинии прочности и коэффициента стойкости бетона в зависимости от исследуемых факторов позволило оптимизировать составы долговечного бетона М150-М400 с соотношением R_t/R_o не менее 0,95.

9. Произведены опытно-промышленное испытание и внедрение добавки ЛСТ-Ш на заводе ЖБИ АО "Криворожжелезобетон" при изготовлении бетонных и железобетонных элементов из бетона с эксплуатационной стойкостью 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания в сульфатной среде.

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в следующих печатных трудах:

1. Ненапряженные плиты повышенной стойкости для фундаментов домов усадебного типа. //В сб. трудов межд. конференции "Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций". Белгород, 1993, с. 39 (соавтор А.Е. Жданов).

2. Шламовый полифункциональный модификатор бетонной смеси на основе ЛСТ. //Материалы научно-практической конференции. "Ресурсосберегающая технология бетона в транспортном и гидротехническом строительстве". Вып. 1. - Днепропетровск: ДГТУ ЖД, 1995, с. 23-25. (соавт. Дикарев Б.Н.).

3. Назначение составов бетона повышенной стойкости с добавкой полифункционального действия. //Там же. с.34-36. (соавт. Приходько А.П., Дикарев Б.Н.).

4. Методика повышения эксплуатационной стойкости бетонов. 9с. Депонированная рукопись в ГНБ Украины, 1996г. (соавт. Дикарев Б.Н.).

5. Годичный контроль качества бетона с модифицированной добавкой. //Материалы научно-практической конференции "Ресурсосберегающая технология бетона в транспортном и гидротехническом строительстве". Вып. 2. - Днепропетровск: ДГТУ ЖД, -1996, с. 7-8. (соавт. Дикарев Б.Н.; Дзюбан А.В.).

6. Изменение удобоукладываемости бетонной смеси с добавкой ЛСТ-Ш во времени //Там же. с. 37-38. (соавт. Яковенко Г.В.).

Бендерський Ю.Б. Підвищення експлуатаційної стійкості бетонів на звичайних та сульфатостійких цементах.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.23.05 - будівельні матеріали та вироби, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпропетровськ, 1996.

Захищається рукопис, в якому розглянуто і вирішено задачу підвищення експлуатаційної стійкості бетонів за рахунок використання нового виду модифікаційної добавки лігносульфатного складу. На основі місцевих техногенних продуктів

переробки залізної руди - розчинноводних суспензій шламів - отримано добавку до бетону з поліфункціональною дією. Доведено, що внаслідок сепарації ЛСТ змінюється її склад і властивості, а сульфатно-хлоридна суспензія добавки утворює додатковий ранг структури, яка виконує стабілізуючу функцію внаслідок зниження здатності алюмінатних складових цементу.

В результаті проведених дослідів доведена можливість отримання бетонів, які здатні витримати 150-300 циклів тепловмін в сульфатному середовищі при зниженні їх міцності до 5%. Інтегральна стійкість досягнута впливом модифікатора на весь процес структуроутворення від суміші до зрілого бетону, проектування складу якого визначається розрахунково-експериментальним методом.

Результати дисетації опубліковані в 7 наукових працях.

Ключові слова: бетон, стійкість, сульфат, склад, підвищення, добавка.

Bendersky E. V. Increase of exploitation resistance of concrete on the basis of ordinary and sulphide-resistant cements.

Thesis in the form of a manuscript for the academic degree of Candidate of Technical Science on the speciality 05.23.05 - Building Materials and Products, State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 1996.

The manuscript analyses and elaborates the increase of the exploitation resistance of concrete due to using of modified addition in the form of a new type of lignosulphate.

On the basis of regional technogenic products of iron ore processing - shlumm ore aqueous suspension - the addition to concrete with the polyfunctional activity is obtained.

It is proved that as a result of LST separation its content and properties are changed and the addition of sulphate-chloride suspension creates additional structure range which perfoms a stabilizing function due to decreasing

abilities of cement aluminat component
Experimental results prove the possibility to obtain concretes which can resist 150 300 cycles of thermochanging in sulphate media with the decrease of their resistance up to 5%. The integral resistance is obtained by a modifier influence on the full process of structure-forming from the mixture to a final concrete, and projecting of its content is calculated by the numerical-experimental method.

The results of the thesis are published in 7 papers.

Key words: concrete, resistance, sulphate, increase, content, addition.

ПДАБТаА. ВТД I КМТ.

Підп. до печаті 11.03.96 . Формат 60x84 1/16. Папір друкар.

Умовно-печ.ліст. 1.488 Уч.-від.іст. 1.104. Тираж 100 пр.

примірн. Заказ N 10, Безкоштовно.

320600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24-а,
Придніпровська Державна Академія будівництва та архітектури