

105
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д 05.01.127

На правах рукописи

УДК 691.327-431:666.972.124

ЕРГЕШЕВ РОЗМАТ

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

БИШКЕК 2002

Работа выполнена в научно-исследовательском и проектно-строительных материалов ЗАО «НИИСтромпроект»

Научные консультанты:

доктор технических наук, академик
МИА и РААСН РФ, профессор
Баженов Ю.М.
(Россия)

доктор технических наук,
профессор, академик ИА РК
Соловьев В.И.
(Казахстан)

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор, Заслуженный
деятель науки и техники РФ
Хрулев В.М.
(Россия)

доктор технических наук,
Заслуженный деятель науки и
техники Узбекистана,
профессор Касимов И.К.
(Узбекистан)

доктор технических наук,
профессор, академик ИА РК
Байболов С.М.
(Казахстан)



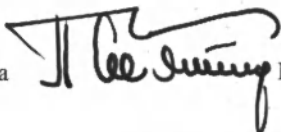
Ведущая организация: Научно-исследовательский и проектно-технологический институт «Стройиндустрия», г. Москва

Защита состоится « 24 » мая 2002 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 05.01.127 Кыргызского Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры по адресу: 720023, Бишкек, ул. Малдыбаева 34-б.

Автореферат разослан «18» апреля 2002 года

Ученый секретарь
диссертационного совета


Белинская Т.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В послании Президента Н.А. Назарбаева народу Казахстана отмечается необходимость импортозамещения и экспортоориентации экономики Республики. Реализация этих государственных задач позволит решить не только структурные вопросы экономики, но и вопросы занятости и бедности. Известно, что от того, как ведется строительство, зависит будущее страны, ее экономики, науки, культуры, престижа и авторитета. Строительство XXI века требует применения новых высокоэффективных материалов, среди которых важное место занимают высококачественные бетоны, в том числе его мелко- и тонкозернистые разновидности.

Последние десятилетия двадцатого века ознаменовались значительными достижениями в теории и технологии бетона. Появились и получили широкое распространение эффективные химические модификаторы технологии, структуры и свойств вяжущих веществ и бетонов, активные минеральные добавки и компоненты, композиционные вяжущие и новые технологические приемы. Расширяется применение многокомпонентных бетонов, позволяющих более эффективно управлять структурообразованием на всех этапах технологии и получать материалы различного назначения с заданным комплексом свойств. Большое распространение получили мелкозернистые бетоны и изделия из них, изготавливаемые по различным технологиям. Однако, как показывает практика, мелкозернистые бетоны имеют повышенную пористость, обладают повышенной усадкой, что приводит к увеличению дефектности структуры цементного камня и снижению долговечности бетона.

В этой связи проблема получения модифицированных мелкозернистых бетонов с высокой эксплуатационной надежностью становится одной из основополагающих в отраслевой программе «Научно-технологическое развитие промышленности Республики Казахстан 2001-2005 гг.». Работа выполнена в соответствии с задачами развития малого и среднего бизнеса, поставленными в послании Президента страны народу Казахстана «Процветание, безопасность и улучшение благосостояния всех казахстанцев. Казахстан-2030». Через «Стратегию-2030» красной нитью проходит мысль о необходимости комплексного развития национальной экономики, гармоничного сочетания сырьевых и обрабатывающих отраслей. Такое развитие воз-

можно только на основе разработки и внедрения в производство современных и постоянно обновляемых технологий, способных обеспечить конкурентоспособность отечественной продукции путем реализации научно-технологических разработок промышленной направленности.

Цель диссертационной работы заключалась в развитии основ технологии мелкозернистого бетона для практического осуществления модифицирования бетона комплексными тонкодисперсными органоминеральными добавками с приданием ему высоких эксплуатационных свойств.

В соответствии с поставленной целью определены **следующие задачи исследований:**

- разработка составов и способов получения комплексных модифицированных тонкодисперсных органоминеральных добавок и вяжущих типа «Гипермод»;
- исследование влияния разработанных модификаторов на свойства цементных паст, бетонной смеси и бетона;
- развитие теории действия разработанных модификаторов на свойства цементно-водных систем, процессы гидратации цемента и получение мелкозернистого бетона с высокими эксплуатационными свойствами;
- разработка технологии получения модифицированных мелкозернистых бетонов с заданным комплексом строительно-технических свойств;
- внедрение технологии модифицированных мелкозернистых бетонов на предприятиях строительной отрасли;
- технико-экономическое обоснование и разработка нормативно-технической документации для внедрения в производство добавок - модификаторов и вяжущих под товарным знаком «Гипермод».

Научная новизна работы:

1. Развита представления о направленном совершенствовании структуры и свойств цементных систем и мелкозернистого бетона с использованием гидрофобномикрокремнеземистого дисперсноволокнистого модификатора и вяжущего на его основе, что позволило разработать композит особого рода - модифицированный мелкозернистый бетон высокой эксплуатационной надежности.

2. Установлена возможность направленного регулирования усадки и деформативных свойств твердеющих цементных систем путем создания мелкопористой структуры с равномерно распределенными замкнутыми порами, достигаемой использованием модификатора, содержащего ингредиенты:

- микрокремнезем, способствующий образованию микрокристаллических продуктов гидратации, которые повышают плотность цементного камня;
- ферросилиций микрогазообразующего действия, сопровождающегося развитием избыточного давления порядка 0,02-0,05 МПа, что позволяет регулировать усадочные деформации цементной системы;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ) - суперпластификатор (водопонижитель высокой степени), обеспечивающий снижение водоцементного отношения на 25-30 %, и гидрофобизатор, обеспечивающий объемную гидрофобизацию структуры материала пролонгированного действия;
- дисперсноволокнистые наполнители - акриловые, полиамидные волокна микроармирующего действия.

Принятые научно-практические положения позволили получить модифицированный мелкозернистый бетон с компенсированной усадкой и высокими заданными эксплуатационными свойствами.

3. Разработано комплексное тонкодисперсное органоминеральное вяжущее «Гипермод» на основе гидрофобномикрокремнеземистого дисперсноволокнистого модификатора, позволяющее обеспечить комплекс важных строительно-технических свойств бетонной смеси и бетона. Получены новые данные о механизме действия разработанного вяжущего в системах с водой. Изучены свойства мелкозернистого бетона на основе предложенного вяжущего.

4. Выдвинута гипотеза синтеза модифицированных мелкозернистых бетонов с высокой прочностью, плотностью, долговечностью и повышенной эксплуатационной надежностью, основанная на теоретических предпосылках более полного использования энергии поргланцемента, создания оптимальной микроструктуры цементного камня, уменьшения макропористости и повышения трещиностойкости, упрочнения контактных зон цементного камня с наполнителем путем целенаправленного использования комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод».

5. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена гипотеза о механизме действия предложенного вяжущего, заключающегося в высоком разжижающем эффекте цементных систем и особенностях структурообразования цементного камня вследствие разукрупнения крупных пор и уменьшения суммарной пористости в сравнении с цементным камнем без добавок.

6. Установлено, что на частицах микрокремнезема образуется слой адсорбционно связанной воды, сопоставимый с объемом этих частиц. Количество свободной воды определяет свойства текучести и вязкости цементных систем, которые зависят от объемной концентрации микрокремнезема в системе, что согласуется с результатами исследований С.С. Каприелова и Ю.М.Баженова.

7. Выдвинута гипотеза о том, что на поверхности мелких зерен твердой фазы могут располагаться субмикроскопические частицы новообразований, отдельные молекулы или их агрегаты различной природы. Эти новообразования, помимо возможного изменения заряда поверхности или ее отдельных частей, создают вокруг себя водные оболочки, которые объединяются на поверхности более крупных частиц в единую систему, резко увеличивая глубину зоны влияния на жидкую фазу и тем самым обеспечивая высокий разжижающий эффект.

8. Показано, что применение тонкодисперсных наполнителей способствует уплотнению первоначальной структуры твердой фазы в бетонной смеси. Степень уплотнения определяется содержанием тонкодисперсного наполнителя и соотношением между цементом и песком. Снижение пустотности твердой фазы в структуре бетонной смеси с добавкой тонкодисперсного наполнителя обеспечивает повышение плотности бетона и тем самым улучшает его эксплуатационные свойства.

9. Предложена концепция получения модифицированных мелкозернистых бетонов высокой эксплуатационной надежности. Основными критериями получения модифицированных мелкозернистых бетонов высокой эксплуатационной надежности являются:

- уровень разработки требований к сырьевым материалам;

- уровень проектирования составов бетона;
- уровень производства;
- уровень качества готовой продукции.

Обобщающим фактором данной концепции является то, что предлагаемые уровни должны функционировать в сфере действия системы менеджмента качества, соответствующей требованиям ISO 9001-2000 года.

Практическое значение работы:

- разработаны новые составы и способ получения комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод» на основе гидрофобно-микрокремнеземистого дисперсноволокнистого модификатора;
- разработаны составы и технология высокоэффективного модифицированного мелкозернистого бетона с использованием комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод»;
- разработаны технологические параметры безвибрационного формования бетонных и железобетонных изделий и конструкций за счет применения комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод»;
- разработаны рекомендации по бетонированию конструкций с применением модифицированного мелкозернистого бетона способом немедленной распалубки изделий;
- разработаны нормативно-технические документы: технические условия на комплексное тонкодисперсное органоминеральное вяжущее «Гипермод», технологический регламент на его приготовление и другие.

Внедрение результатов работы

Разработанные составы высокоэффективных мелкозернистых бетонов на основе комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод» прошли опытно-промышленные испытания в ТОО НПФ "Казантикор" (г. Астана) при производстве способом безвибрационного формования железобетонных конструкций специального назначения.

Результаты работы внедрены фирмой Интра-Бау в Ямало-Ненецком автономном округе при строительстве административного здания в г. Губкин-ский с применением литых тонкозернистых песчаных бетонов, на предприятиях Казахстана и Кыргызстана, в частности на ТОО «Интехстройцентр», АО «Факел».

Результаты исследований, разработанные новые теоретические положения бетоноведения, промышленный опыт внедрения позволяют сделать вывод, что проблема получения высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов в рамках поставленной цели решена.

Экономический эффект от внедрения результатов исследований в зависимости от вида изготавливаемых железобетонных изделий и конструкций составил порядка 200-350 тенге / м³ (1,4 - 2,3 у.е./м³).

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается необходимым объемом статистических данных, применением современных методов расчета и лабораторного оборудования, обеспечивающего уровень надежности измерений.

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертации доложены на международных конгрессах в г. Веймар (Германия, 1997 г., 2000 г.); международных научно-технических и научно-практических конференциях «Вклад корейцев в науку и технику Казахстана», 1997 г., «Новые технологии в исламских странах», 1999 г., «Инженерная наука на рубеже XXI века», 2001 г., «Современное состояние и перспективы развития строительной науки» (Бишкек, 1999), «Наука и образование - ведущий фактор стратегии Казахстана до 2030 года» (Караганда, 1999), «Строительные материалы XXI века. Технология и свойства. Импортзамещение» (Алматы, 2001), «Инженерная наука на рубеже XXI века» (Алматы, 2001), на международной научно-технической конференции, посвященной I съезду инженеров Кыргызской Республики, секция «Строительство» (Бишкек, 2001); на научно-технических конференциях в гг. Белгород, 1997 г., Пенза, 1998 г., Томск, 1998 г., Бишкек, 1999 г.; на конференции профессорско-преподавательского состава Карагандинского государственного технического университета и научных сотрудников ЗАО «НИИСтромпроект». Основные положения диссертационной работы опубликованы в 60 печатных работах, в том числе двух монографиях.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов и приложений, содержит 230 страниц машинописного текста, 89 рисунков, 30 таблиц, список использованной литературы из 320 наименований.

Работа, представленная автором, выполнена самостоятельно.

Автор выражает глубокую благодарность Национальной компании «Шелковый путь – Казахстан» (А. Кулибаеву), Казстройкомитету РК (Ш. Шардарбеку), ОАО холдинговой компании «Курылыс материалдары (В. Зубавленко)», институтам России (МГСУ, НИИЖБ, ВНИИжелезобетон) и Республики Казахстан (КазГАСА, ЮКГУ КарГТУ).

На защиту выносятся:

- состав и способ получения комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод» на основе гидрофобномикрокремнеземистого дисперсноволокнистого модификатора;
- составы высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов на основе комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод»;
- закономерности процессов структурообразования новых высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов;
- механизм действия тонкодисперсных наполнителей бетонной смеси, способствующих уплотнению первоначальной структуры твердой фазы;
- теоретические дополнения к теории надежности высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов;
- результаты исследований влияния эффективных модификаторов на свойства цементных систем;
- результаты исследований строительно-технических свойств мелкозернистых бетонов с комплексными модификаторами;
- новый подход к разработке концепции модифицированных мелкозернистых бетонов высокой эксплуатационной надежности;
- результаты опытно-промышленного внедрения и технико-экономические показатели применения разработанного комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод» в технологии железобетонных изделий и конструкций.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Состояние вопроса и задачи исследований. Последние десятилетия двадцатого века ознаменовались значительными достижениями в теории и технологии бетона. Одним из наиболее перспективных направлений технического прогресса в технологии бетона является формирование благоприятной структуры цементного камня, позволяющей улучшить комплекс физико-технических свойств бетона и значительно повысить его эксплуатационные возможности. Данные задачи во многих случаях могут быть успешно решены с помощью различных химических модификаторов.

Казахстан обладает большими возможностями в получении новых модификаторов на основе продуктов нефтехимии. Внедрение в строительство более дешевых модификаторов является чрезвычайно важным обстоятельством, так как широкое применение синтетических модификаторов, создаваемых разными фирмами, затрудняется из-за их высокой стоимости. Иногда достигаемый эффект улучшения свойств бетона не компенсирует те затраты, которые необходимо сделать при введении в бетон комплексного модификатора.

Большой вклад в разработку химических модификаторов вяжущих и бетонов внесли многие институты Российской Федерации (НИИЖБ, ГНЦ «Строительство», ВНИИ железобетон, МГСУ, НИИцемент, МАДИ, МХТИ, ВНИИГ им. В.В. Веденеева, НИЛ ФХММ и ТП), а также Казахстана (ЗАО «НИИСтромпроект», КазГАСА, Карагандинский политехнический университет) и другие коллективы под руководством и при непосредственном участии Л.А. Алимova, А.А. Акчабаева, Н.В. Ахвердова, А.Р. Ахметова, Ю.М. Баженова, Ш.Т. Бабаева, В.Г. Батракова, В.А. Волженского, В.В. Воронина, Г.И. Горчакова, Б.В. Гусева, И.М. Грушко, Е.А. Гузеева, Г.Д. Диброва, Н.Н. Долгополова, С.С. Каприелова, Е.К. Касимова, Б.А. Крылова, О.В. Кундевича, К.К. Куатбаева, В.М. Курдюмовой, А.В. Лагойды, Л.А. Малининой, С.А. Миронова, А.П. Меркина, В.Б. Ратинова, П.А. Ребиндера, Т.И. Розенберг, Н.К. Розенталя, М.С. Садуакасова, А.В. Саталкина, Б.Г. Скрамтаева, В.И. Соломатова, В.И. Соловьева, М. Тахирова, Ж.Т. Тентиева, В.Р. Фаликмана, М.И. Хигеровича, В.М. Хрулёва, Ю.С. Черкинского, С.В. Шестоперова, А.Е. Шейкина, А.В. Шейнфельда, В.Н. Юнга и других.

Значительные исследования провели зарубежные ученые: В. Адам,

И. Боузель, С. Брунауэр, Ф. Вавржин, Х. Вальтер, М. Венюа, Г. Добролюбов, Д. Конрад, Л. Коппола, М. Коллепарди, Р. Кёнеке, Г. Кюль, Ф.М. Ли, Т. Пауэрс, Б. Райхель, В. Рамачандран, С. Тейлор, К. Хаттори и другие.

В мировой строительной практике используется более 1000 видов химических модификаторов различной природы для улучшения различных свойств строительных смесей, в том числе бетонов. В последние годы опережающими темпами развивается применение в технологии бетона синтетических модификаторов полифункционального назначения, получаемых за счет целенаправленного синтеза продукта с использованием нескольких сырьевых компонентов. Известны модификаторы, полученные совместной конденсацией нафталинсульфокислоты, бензосульфокислоты и формальдегида, уменьшающие содержание воздуха в бетоне и его усадку, продукты конденсации нафталинсульфокислоты, меламин и формальдегида, позволяющие снизить водопотребность и увеличить прочность и трещиностойкость бетона. Следует ожидать дальнейшего расширения номенклатуры полифункциональных модификаторов и их применения в технологии бетона.

В последние годы достигнуты существенные результаты в регулировании структурных характеристик бетона путем применения минеральных тонкодисперсных наполнителей (МТН), в частности микрокремнезема.

Эффективность применения микрокремнезема связана, с одной стороны, с его ролью в процессах структурообразования и гидратации цемента как активного компонента, способствующего образованию продуктов гидратации преимущественно в микрокристаллической форме и повышению плотности цементного камня, а с другой - с оптимизацией гранулометрии и макроструктуры бетона. В последнее время микрокремнезем широко используется в составе полифункциональных комплексных добавок.

В связи с этим предложена рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что для получения мелкозернистого бетона с высокими эксплуатационными свойствами и надежностью необходимо создать такую структуру материала, в которой в наибольшей степени могли бы проявить себя модификаторы, активные минеральные компоненты и композиционные вяжущие материалы.

Известно, что мелкозернистые бетоны вследствие особенностей своей структуры требуют повышенного расхода воды и цемента и отличаются повышенной пористостью и усадкой. Применение известных модификаторов

позволяет в определенной степени решить задачи получения мелкозернистых бетонов с улучшенными свойствами, однако не позволяет свести к минимуму отрицательное влияние высокой удельной поверхности контактной зоны вяжущего и заполнителя, что, в конечном счете, приводит к снижению эксплуатационных свойств мелкозернистого бетона. В связи с этим предполагалось с помощью комплексных тонкодисперсных органоминеральных добавок обеспечить возможность управления структурообразованием цементного камня для достижения требуемой, с элементами микроармирования, структуры мелкозернистого бетона высокой эксплуатационной надежности.

2 Характеристика исходных материалов и методы исследований.

Научно-исследовательские и практические работы выполнены с применением вяжущих, заполнителей и химических модификаторов, выбор которых продиктован не только требованиями современного строительного рынка, но и спецификой местных условий работы строительных предприятий.

В экспериментальной части работы использованы портландцементы Белгородского, Здолбуновского и Усть-Каменогорского заводов, отличающиеся химико-минералогическим и вещественным составами. В качестве заполнителя использован полевошпатовый песок Дмитровского карьера с модулем крупности 2,25 - 2,34, а также природные пески карьеров Караганды, Алматы и Бишкека. Свойства песков определяли по ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» и ГОСТ 10268 «Заполнители для тяжелого бетона. Технические требования».

Для пластификации бетонной смеси в исследованиях применен суперпластификатор «40-03, получаемый сульфированием ароматических углеводородов газойлевых фракций каталитического крекинга и гидролиза нефти с последующей конденсацией формалином и нейтрализацией гидроксидом натрия. Полученный продукт агломинирован в гранулированный порошок.

В качестве минеральных добавок - микрозаполнителей использован микрокремнезем и ферросилиций марки ФС-75 Ермаковского завода ферросплавов. Микрокремнезем характеризуется удельной поверхностью 1800-2000 м²/кг, средним размером частиц 0,25 мкм.

В качестве гидрофобизирующих ингредиентов применяли кубовые остатки синтетических жирных кислот (КОСЖК) и соапстоки масложировой промышленности.

В качестве микроармирующего наполнителя применяли дисперсноволокнистые наполнители типа акриловых и полиамидных волокон.

При постановке экспериментов использованы стандартные методики и нестандартные методы исследования, изложенные в трудах В.Г. Батракова, Ю.М. Баженова, Г.И. Горчакова, И.И. Лифанова, А.П. Меркина, В.Б. Ратинова, П.А. Ребиндера, А.Л. Томашпольского, М.И. Хигеровича и др. При этом были использованы современные методы физико-химического анализа: рентгенофазовый, дифференциально-термический, электронно-микроскопический, дилатометрический, ртутной порометрии, методы определения усадки и ползучести, модуля упругости и другие.

3 Разработка высокоэффективных модификаторов и исследование их влияния на свойства цементных систем.

Технология многокомпонентных бетонов высокой эксплуатационной надежности требует активной модификации структуры и свойств бетонной смеси и бетона для обеспечения его высокого качества.

Успешное применение в технологии бетона микрокремнезема и суперпластификатора поставило задачу получения комплексного модификатора, включающего эти компоненты. Специально выполненными исследованиями по совместному влиянию компонентов комплексного модификатора на свойства бетона установлены технологические зависимости для оптимизации состава модификатора.

Существует предельное содержание суперпластификатора в системе, при котором его влияние на подвижность, тиксотропию, связность системы оптимально. Оптимальное содержание суперпластификатора определяется свойствами цемента, микрокремнезема и составом цементной системы, а применительно к бетонной смеси - содержанием в ней цемента и воды. При содержании суперпластификатора выше оптимального его эффективность значительно уменьшается, так как часть добавки не участвует в должной мере в физических процессах, протекающих в цементной системе при ее затворении водой. Вокруг частиц твердой фазы смешанного цемента при его затворении водой образуются адсорбционно-сольватные слои воды. С отдалением от поверхности частиц адсорбционный слой переходит в объемную

фазу свободной воды, количество которой является определяющим фактором текучести цементной системы.

В табл. 1 приведены расчетные характеристики адсорбционных слоев для наиболее распространенных образцов цемента и микрокремнезема, из которой видно, что на частицах микрокремнезема образуется слой адсорбционно связанной воды, сопоставимый с объемом частицы (графы 4 и 6). Таким образом, количество свободной воды, которая определяет текучесть суспензии, сокращается на величину, сравнимую с объемом кремнезема, а вязкость системы соответственно повышается по мере увеличения в ней объемной концентрации микрокремнезема.

Таблица 1

Характеристика твердой фазы цемента и микрокремнезема

Материал	Удельная поверхность, м ² /кг	Средний размер частиц, м	Средний объем частиц, м ³	Толщина адсорбционного слоя, м	Объем адсорбционного слоя, м ³
1	2	3	4	5	6
Цемент	350	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$8,65 \cdot 10^{-17}$	$2,08 \cdot 10^{-6}$	$3,82 \cdot 10^{-16}$
Микрокремнезем	1800	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-21}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$6,3 \cdot 10^{-21}$

В исследованиях С.С. Каприелова адсорбции суперпластификатора С-3 на различных видах микрокремнезема, различавшегося по химическому составу и дисперсности, показано, что адсорбция увеличивается с увеличением дисперсности микрокремнезема и содержания в нем оксидов Al_2O_3 , CaO , MgO и Cr_2O_3 и практически не зависит от содержания SiO_2 . По мнению автора, это подтверждает мнение, что имеет место преимущественно хемсорбционный характер процесса, который проявляется при наличии на поверхности адсорбента катионов двухвалентных металлов, являющихся как бы своеобразным якорем- посадочной площадкой для анионов суперпластификатора.

Наши эксперименты, проведенные с использованием суперпластификатора «40-03», подтвердили это положение (рис. 1). Из рисунка видно, что изгиб адсорбционных кривых в системе «цемент - микрокремнезем- суперпластификатор», обладающей повышенной адсорбционной способнос-

тью, наблюдается при более высоких дозировках суперпластификатора, чем в обычном бетоне.

Влияние суперпластификаторов на деформации усадки и ползучести бетона изучали как при одинаковом с контрольным составом бетона водосодержании, так и в бетонах, изготовленных из изопластичных бетонных смесей.



Рис. 1 Адсорбция суперпластификатора «40-03» на вяжущем, содержащем разное количество микрокремнезема
1 - без микрокремнезема; 2 - с 10 % микрокремнезема; 3 - с 20 % микрокремнезема

Наиболее подробно рассмотрено изменение прочностных и деформативных характеристик бетона с суперпластификаторами «40-03» и С-3. Бетоны с одинаковым водосодержанием в присутствии суперпластификаторов могут иметь как более высокие, так и более низкие значения прочности, модуля упругости, деформации усадки и ползучести.

При оптимальном содержании суперпластификатора «С-3» в бетонной смеси (0,3-0,75 %) изменения прочности, модуля упругости, деформации

усадки и ползучести выражены менее четко. При одинаковом водосодержании прочность бетона с добавкой 0,3-0,5 % суперпластификатора при сжатии, его модуль упругости, деформации усадки имеют почти такие же значения, как и контрольного бетона, мера ползучести бетона на 7-10% меньше. Прочность при сжатии бетона с добавкой 1,5 % «С-3» из «литой» бетонной смеси получена равной, а призменная прочность и модуль упругости - меньше на 14 и 10 % таких же характеристик бездобавочного бетона, мера ползучести на 75 % выше, чем контрольного бетона. Следовательно, в бетонах из бетонных смесей с равным водосодержанием и разным количеством суперпластификатора наибольшие значения из всех исследованных характеристик отмечаются у меры ползучести. Мера ползучести бетонов, содержащих 1,5 % суперпластификаторов «40-03» и «С-3», на 100 и 75 % выше, чем у контрольных образцов. Диапазон изменения деформаций усадки образцов этой серии значительно меньше. Максимальное увеличение деформации усадки, наблюдавшееся в бетоне с добавками «40-03» и «С-3», составляет соответственно 19 и 7 %. Модуль упругости бетонов с одинаковым водосодержанием и разным количеством добавок «40-03» и «С-3» изменяется в пределах ± 8 %.

Самой чувствительной характеристикой к изменению водосодержания бетонной смеси оказалась мера ползучести бетона, которая уменьшается пропорционально снижению расхода воды затворения. При постоянном водосодержании удельная ползучесть бетона зависит от количества суперпластификатора в его составе. Чем меньше суперпластификатора вводится в бетон для получения «литой» бетонной смеси, тем меньше деформации ползучести и больше прочность бетона с добавкой. Изменение прочностных и деформативных характеристик в бетонах из равноподвижных бетонных смесей с суперпластификаторами определяется комплексом таких взаимосвязанных показателей, как состав бетона, вид суперпластификатора, его количество в бетонной смеси и возможное снижение расхода воды.

С помощью суперпластификаторов в бетоне из равноподвижной бетонной смеси можно получить прочность на 1-2 марки выше прочности исходного бетона и более высокие значения модуля упругости. Усадка бетонов с суперпластификаторами из равноподвижных бетонных смесей снижается на

5-8 %, а мера ползучести - в пределах 30-50 %. Таким образом, с использованием суперпластификаторов можно изменять деформативные характеристики бетонов из равноподвижных бетонных смесей в широких пределах.

Для получения высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов разработаны составы и технология комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод».

Технологическая схема производства комплексного тонкодисперсного вяжущего «Гипермод» (рис. 2) включает: получение модифицирующей добавки; получение вяжущего низкой водопотребности; получение комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод».

Для приготовления вяжущего «Гипермод» в качестве исходных материалов использованы: портландцемент марки 500, микрокремнезем, дисперсно-волоконистые наполнители, суперпластификатор СП «40-03» и гидрофобизатор - soapstock растительных масел или кубовые остатки синтетических жирных кислот.

Принятые в исследованиях соотношения компонентов минеральной и органической составляющих модифицирующей добавки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Составы комплексной модифицирующей добавки

№ состава	Состав, мас. %			МК:ДВ	$\frac{С}{МК + ДВ}$
	МК	ДВ	С		
1	40,0	40,0	20,0	1:1	0,25
2	45,4	36,4	18,2	1:0,80	0,22
3	48,0	40,0	12,0	1:0,83	0,14
4	47,3	42,5	10,2	1:0,90	0,11
5	50,0	41,7	8,3	1:0,83	0,09
6	54,5	39,4	6,1	1:0,72	0,065

Примечание: МК - микрокремнезем; ДВ - дисперсно-волоконистые наполнители; С - soapstock.

Следует отметить, что значительно сокращается время решения рецептурно-технологических задач с применением ЭВМ.

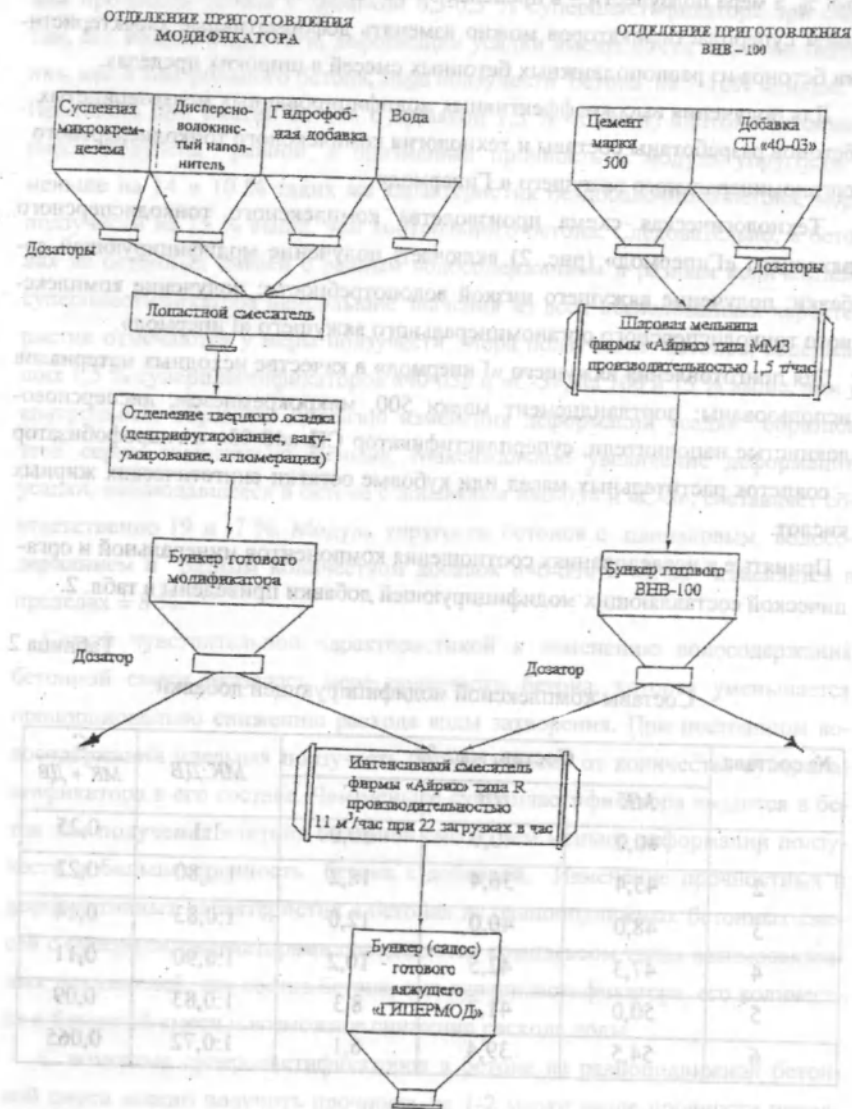


Рис. 2 Технологическая схема получения комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод»

Полученное комплексное тонкодисперсное органоминеральное вяжущее «Гипермод» может быть использовано в мелкозернистых бетонах для производства монолитных и сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, а также в гидротехническом строительстве.

Далее исследовалось влияние вяжущего «Гипермод» на прочность мелкозернистого бетона. Полученные данные показывают (табл. 3), что при постоянной подвижности бетонной смеси и одинаковом расходе вяжущего с увеличением содержания в нем суперпластификатора с 2 до 4 % расход воды затворения снижается в среднем на 15 %.

Бетоны на комплексном тонкодисперсном органоминеральном вяжущем «Гипермод» характеризуется интенсивным нарастанием прочности в ранние сроки твердения: к 3 суткам прочность мелкозернистого бетона достигает 57-60 %, к 7 суткам – 75-80 % от прочности бетона в 28-суточном возрасте.

Повышение прочности вяжущего и бетона на его основе с увеличением в составе вяжущего количества модифицирующей добавки может быть связано с образованием дополнительного количества гидратных цементирующих соединений и их модификацией. Известно, что микрокремнезем при гидратации вяжущего активно вступает в пуццолановую реакцию и способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, характеризующихся по сравнению с высокоосновными гидросиликатами повышенными прочностными свойствами.

Дисперсноволоконистые наполнители заметно повышают прочность мелкозернистого бетона при изгибе. Так, при содержании полимерных волокон в вяжущем 12,5 % («Гипермод-5») и расходе вяжущего 900-700 кг/м³ прочность мелкозернистого бетона при изгибе через 28 суток получена в пределах 13,8-12,6 МПа, а при содержании полимерных волокон 8 % («Гипермод-1») – 12,0-10,8 МПа, то есть на 15-17 % ниже.

Таким образом, полученная комплексная модифицирующая органоминеральная добавка оказывает положительное воздействие на свойства вяжущего низкой водопотребности: микрокремнезем способствует повышению активности вяжущего и позволяет снизить содержание в нем клинкерной составляющей, полимерные волокна повышают прочность при изгибе, гидрофобизирующая добавка способствует сохранению активности тонкодисперс-

Прочность мелкозернистого бетона на модифицированном вяжущем «Гипермод»
(О.К. бетонной смеси 10-12, см)

Обозначение вяжущего	Состав вяжущего, мас. %		Содержание в составе вяжущего, СП «40-03»	Расход материалов, кг/м ³			Предел прочности, МПа					
	ВНВ-100	Модификатор		вяжущее	песок М _к =3,0-3,3	вода	при сжатии		при изгибе			
							ВНВ-100	Модификатор	3	7	28	3
«Гипер мод-1»	80	20	4,0	900	1150	200	70,8	94,0	118,0	7,4	10,0	12,0
«Гипер мод-3»	75	25	3,0	800	1260	190	66,0	88,0	110,0	7,0	9,3	11,6
				700	1370	180	53,0	71,1	89,0	6,5	8,6	10,8
«Гипер мод-5»	70	30	2,0	900	1140	210	75,0	100,0	125,0	7,6	10,0	12,6
				800	1250	200	73,0	97,7	123,0	7,4	9,9	12,4
				700	1360	190	65,0	84,0	110,0	6,9	9,0	11,5
				800	1120	230	76,0	101,0	128,0	8,3	11,0	13,8
				700	1230	220	73,0	99,0	125,0	7,8	10,4	13,0
				700	1340	210	63,0	82,0	112,0	7,4	9,9	12,6

* - цифры в обозначении вяжущего соответствуют номерам составов модифицирующей добавки по табл. 2

ного вяжущего при хранении и обеспечивает последующую объемную гидрофобизацию бетона и связанное с этим повышение его долговечности.

Эффективность полученного вяжущего «Гипермод» можно объяснить влиянием комплексного модификатора на структурообразование в цементных системах. Из данных табл. 4 следует, что образцы цементного камня с добавкой модификатора по сравнению с образцами без добавки, изготовленные из цементного теста при В/Ц= 0,26, характеризуются снижением количества крупных пор и общей пористости. Кроме того, характер распределения пор в этих образцах также различен: в образцах с добавкой «Гипермод» наблюдается разукрупнение крупных пор, вследствие чего объем мелких пор в интервале 10-100 мкм существенно увеличивается.

Таблица 4

Распределение пор по размерам в образцах цементного камня в зависимости от температуры изотермического прогрева

№ п/п	В/Ц	Добавка модификатора «Гипермод», %	°С	Пористость %	Распределение пор (%) по размерам, мкм:					
					10-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500
1	0,26		40	10,1	42,0	37,7	13,6	2,6	1,8	2,3
2	0,26		60	10,3	41,8	32,8	15,4	3,3	3,0	3,7
3	0,26		80	10,7	30,8	30,0	15,8	10,1	5,6	7,7
4	0,26		40	8,6	55,9	27,7	8,4	4,4	1,7	1,9
5	0,26	25,0	60	8,9	59,9	21,7	9,8	5,3	2,3	1,0
6	0,26		80	9,1	60,0	18,1	6,1	5,4	2,4	5,0
7	0,21		40	7,0	68,6	25,8	5,6	-	-	-
8	0,21	25,0	60	7,5	65,0	25,0	4,5	2,9	1,8	0,8
9	0,21		80	7,8	67,9	21,2	4,7	2,6	2,2	1,3

В образцах с добавкой «Гипермод», изготовленных из цементного теста при В/Ц=0,21, общее количество крупных пор в среднем на 3 % ниже, чем в образцах без добавки. Также наблюдается существенное разукрупнение пор, из-за чего увеличивается объем пор размерами 10 - 100 мкм.

4 Исследование строительно-технических свойств мелкозернистого бетона с комплексными модификаторами. Свойства бетона определяются его структурой и природой составляющих компонентов. Макроструктуру мелкозернистой бетонной смеси и бетона можно подразделить на четыре типа.

В структуре первого типа песка содержится меньше объема цементного теста, зерна песка раздвинуты на значительное расстояние и практически не взаимодействуют между собой. Они оказывают влияние лишь на прилегающую зону цементного теста.

В структуре второго типа песка больше, а цементного теста соответственно меньше и оно лишь заполняет межзерновую пустотность песка с незначительной раздвижкой его зерен слоем обмазки, толщина которой в местах контакта составляет всего 1-3 среднего диаметра частиц цемента. В этих условиях зоны воздействия отдельных зерен песка начинают перекрывать друг друга. Между зёрнами песка с адсорбированными слоями цементного теста возникает трение. Для перемещения одних микрообъемов по отношению к другим под действием сдвигающих усилий требуется либо более интенсивное воздействие, либо понижение вязкости теста.

В структуре цементно-песчаной смеси третьего типа цементного теста мало, оно располагается на поверхности заполнителя слоем небольшой толщины, а межзерновая пустотность песка заполняется лишь частично. В структуре возникают крупные воздушные поры, прочность материала значительно понижается.

Структура четвертого типа является особой. В ней заполнитель частично или полностью заменяется вовлеченным по специальной технологии воздухом, и строение материала определяется объемом вовлеченного воздуха, размером и топологией его пузырьков. Возникающая ячеистая структура имеет свои особенности, позволяет в широких пределах изменять плотность, теплопроводность и другие свойства материала и подчеркивает универсаль-

ность и многофункциональность мелкозернистых бетонов, возможность получать на их основе самые различные материалы с широким спектром свойств.

Для получения высокопрочного мелкозернистого бетона используют структуры первого типа. Создание качественной структуры – основа получения мелкозернистого бетона с высокими эксплуатационными свойствами.

В российском бетоноведении в рамках концепции, развитой авторским коллективом (Ю.М. Баженов, В.Г. Батраков, Н.Ф. Башлыков, С.Т. Борыгин, А.В. Гребенюк, И.А. Грингауз, А.М. Звездов, С.С. Каприелов, В.Н. Сердюк, Р.Л. Серых, Ю.В. Сорокин, В.Р. Фаликман, А.В. Шеинфельд), под высококачественными бетонами понимают легко укладываемые бетоны на гидравлических вяжущих, сочетающие высокие прочностные свойства (классы по прочности на сжатие от В 45 до В 90 и выше, что соответствует маркам по прочности М600-М1200 и более) и темпы твердения (прочность в возрасте одних суток естественного твердения не менее 25-30 МПа) с требуемыми показателями других строительно-технических свойств, в том числе:

- водонепроницаемости W 12 и выше;
- морозостойкости F 400 и выше;
- истираемости не более 0,3-0,4 г/см²;
- водопоглощения 1-2,5 мас. %;
- высокой сопротивляемости к проникновению хлоридов;
- высокой газонепроницаемости;
- деформативности (в том числе компенсации усадки бетона в возрасте 14-28 суток естественного твердения).

Для обеспечения этого комплекса свойств требуется высокая технология получения бетона с активным управлением его структурообразованием на всех технологических переделах, новая культура производства и мышления. Высококачественные бетоны являются композитами особого рода, их структура и свойства определяются не только исходными материалами, составом и технологией приготовления, но и последующим твердением за счет сложных физико-химических процессов, происходящих в первоначально сформированной структуре.

Концепция получения высококачественных бетонов и критерии их свойств положены в основу определения эффективности предлагаемой ком-

плексной органоминеральной добавки и полученного на ее основе тонкодисперсного вяжущего «Гипермод». Проведены сравнительные испытания модифицированного мелкозернистого бетона по основным строительно-техническим свойствам (рис. 3 - 8).

Анализ результатов исследований показывает, что предлагаемый модификатор «Гипермод» по своим характеристикам отвечает критериям свойств высококачественных бетонов.

5 Развитие теории и практики получения бетонов высокой эксплуатационной надежности. В конце XX века в технологии бетона вошло понятие эксплуатационной надежности материалов и конструкций. Понятие эксплуатационной надежности шире понятия долговечности в обычном его понимании, когда контролировалась, в первую очередь, прочность материала. Исследование эксплуатационной надежности бетона потребовало более глубокого понимания его структурообразования, роли структурообразующих и деструктивных процессов во время его твердения и эксплуатации, взаимосвязи структуры и свойств, разработки научно обоснованных рекомендаций по гарантированию определенной эксплуатационной надежности. Возникла потребность более активно управлять структурообразованием бетона, чтобы получать структуры с высокой устойчивостью к действию различных внешних факторов.

Современные достижения бетоноведения позволили по-новому подойти к эксплуатационной надежности бетона. В большинстве случаев для этого необходимо обеспечить высокую плотность, неизменяемость и стойкость структуры материала. Это достигается за счет применения многокомпонентных бетонов при низких водоцементных отношениях. Способствует повышению эксплуатационной надежности и применение мелкозернистых бетонов, отличающихся повышенной однородностью структуры.

Теоретическими предпосылками синтеза новых бетонов как строительных композитов гидратационного твердения с высокой прочностью, плотностью и долговечностью являются более полное использование энергии портландцемента, создание оптимальной микроструктуры цементного камня, топологии твердой фазы и макроструктуры бетона, уменьшение макропористости и повышение трещиностойкости, упрочнение контактных зон цементного камня и заполнителей за счет направленного применения эффективных

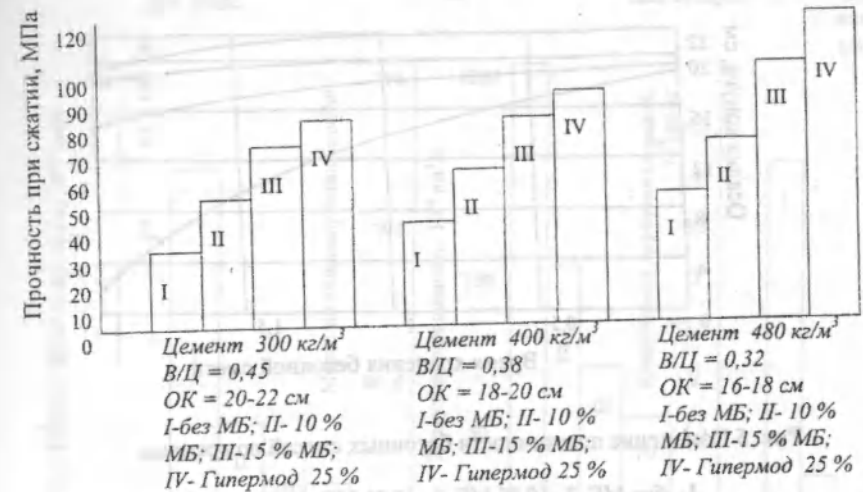


Рис. 3. Прочность мелкозернистого бетона через 28 суток

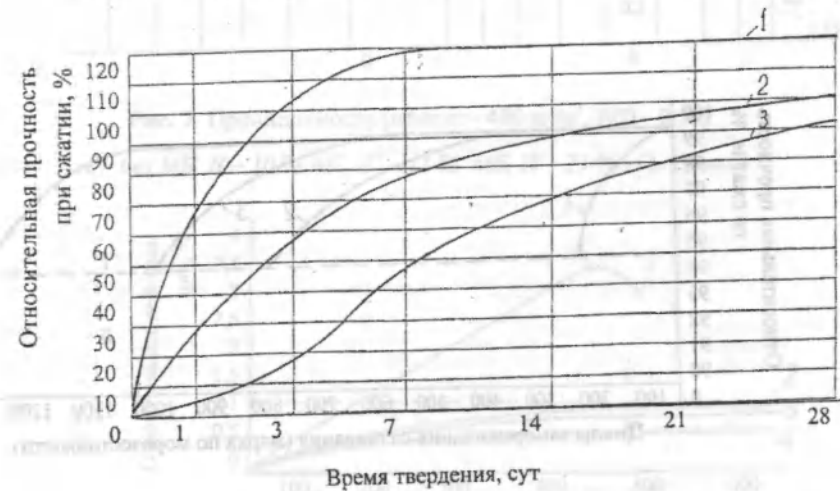


Рис. 4. Кинетика твердения при различных температурах (цемент - 480 кг/м³; вяжущее «Гипермод» - 120 кг/м³; В/Ц - 0,32)

1 - $t = 60 \dots 62$, 2 - $t = 20 \dots 22$, 3 - $t = 3 \dots 5$ °C



Рис. 5 Изменение пластичности бетонных смесей во времени

1- без МБ, 2- 10 % МБ, 3- 15 % МБ, 4- гипермод 20%

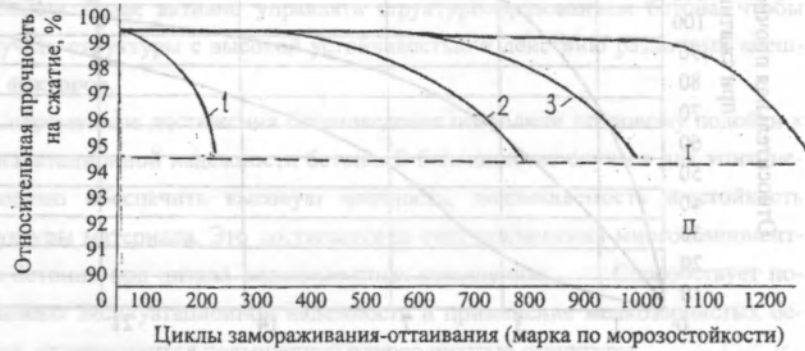


Рис. 6 Морозостойкость высокопрочных бетонов ($R_{сж} = 75-80$ МПа)

(цемент - 480 кг/м³; В/Ц - 0,32)

1- без добавок, 2 - с добавкой СНВ, 3- ГКЖ-94 («136-41»),

4- «Гипермод» 25 %; I - область высокой стойкости,

II - область низкой стойкости

Для воды

Для воздуха

Для ионов хлора

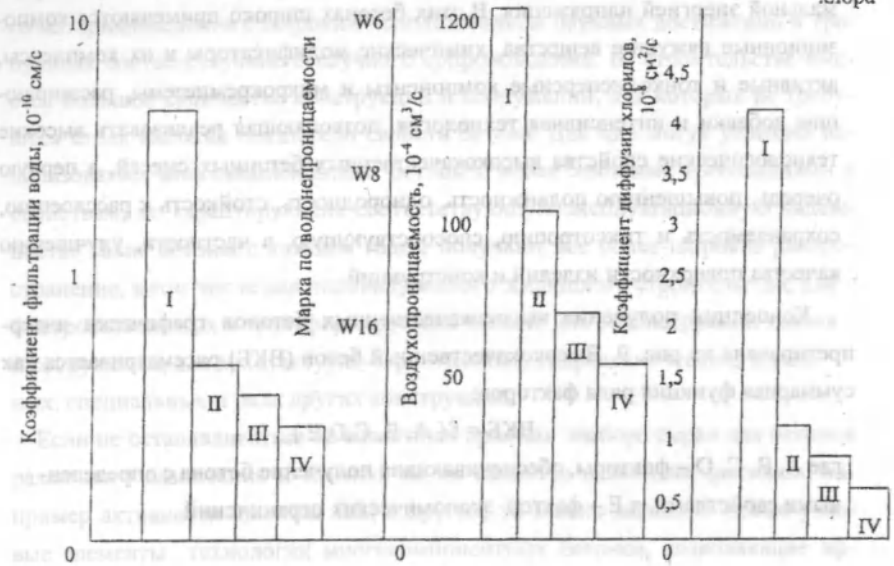


Рис. 7 Проницаемость (цемент - 400 кг/м³, В/Ц - 0,38)

I - без МБ, II - 10 % МБ, III - 15 % МБ, IV - 25 % «Гипермод»



Рис. 8 Сульфатостойкость (5 %-ный раствор Na₂SO₄)

(цемент - 400 кг/м³, В/Ц - 0,38); 1- обычный цемент без добавок, 2- сульфатостойкий цемент без МБ, 3- обычный цемент с 10 % МБ, 4- обычный цемент с 25 % «Гипермод»; I - область низкой стойкости, II - область высокой стойкости; относительные деформации, %

химических модификаторов, высокодисперсных микрокремнеземов с аномальной энергией напряжения. В этих бетонах широко применяются композиционные вяжущие вещества, химические модификаторы и их комплексы, активные и тонкодисперсные компоненты и микрокремнеземы, расширяющие добавки и интенсивная технология, позволяющая реализовать высокие технологические свойства высококачественных бетонных смесей, в первую очередь, повышенную подвижность, однородность, стойкость к расслоению, сохраняемость и тиксотропию, способствующую, в частности, улучшению качества поверхности изделий и конструкций.

Концепция получения высококачественных бетонов графически интерпретирована на рис. 9. Высококачественный бетон (ВКБ) рассматривается как суммарная функция ряда факторов:

$$\text{ВКБ} = f(A, B, C, D, E),$$

где A, B, C, D – факторы, обеспечивающие получение бетона с определенными свойствами, а E – фактор экономических ограничений.



Рис. 9 Графический вид концепции высококачественного бетона

Технология высококачественных бетонов – это, по существу, «высокая» наукоемкая технология, основанная на последних достижениях строительного материаловедения с широким использованием научных достижений и требующая соответствующего научного сопровождения. В строительстве имеется большое количество конструкций и сооружений, для которых не требуются столь высокие показатели свойств бетона. Для них могут успешно использоваться многокомпонентные бетоны с менее жесткими требованиями к свойствам, но гарантирующие соответствующую эксплуатационную надежность. Такие бетоны с каждым годом получают все более широкое распространение, в том числе для индивидуального жилищного строительства, для быстровозводимых и трансформируемых зданий, для реконструкции зданий и сооружений, для архитектурно-строительных, гидротехнических, дорожных, специальных и ряда других конструкций.

Если не останавливаться на известных приемах выбора сырья для бетонов различного назначения и влияния на их свойства известных факторов, например активности цемента, В/Ц и других, то можно выделить новые узловые элементы технологии многокомпонентных бетонов, позволяющие эффективно управлять их структурообразованием и получать бетоны с широким разнообразием свойств и высокой эксплуатационной надежностью.

К ним относятся:

- химические модификаторы структуры и свойств и их комплексы, в том числе органоминеральные модификаторы и комплексы суперпластификаторов в сочетании с активными дисперсными минеральными компонентами и микрокремнеземом;
- композиционные вяжущие вещества, в том числе вяжущие низкой водопотребности;
- мелкозернистые бетоны как наиболее удобные для применения многокомпонентных составов с использованием новых веществ и материалов и совершенствования технологии бетона, изделий и конструкций на его основе;
- многокомпонентные бетоны высокой эксплуатационной надежности (бетоны XXI века).

Предложено, с учетом терминов и основных понятий по ГОСТ 27.002-83 – «Надежность в технике», следующее понятие высокой эксплуатационной надежности. Эксплуатационная надежность – это способность объекта сохранять в установленных пределах значения всех параметров на весь период эксплуатации.

без изменения заданных строительно-технических свойств. Эксплуатационная надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения включает следующие основные показатели:

- уровень разработки требований: повышенные требования к качеству сырьевых материалов;
- уровень проектирования состава бетона: математическое планирование и компьютерное обеспечение;
- уровень производства: высокая технология, современное оборудование; автоматизация и компьютеризация технологических процессов;
- уровень качества готовой продукции: высококачественный бетон (ВКБ).

Концепция получения бетонов высокой эксплуатационной надежности показана графически на рис. 10. Данная концепция требует применение статистических методов с использованием электронно-вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения.

6 Опытное - промышленное внедрение модифицированных мелкозернистых бетонов. Результаты научных исследований внедрены на предприятиях строительной отрасли России, Казахстана и Кыргызстана. Работы осуществляли в соответствии с разработанными технологическими регламентами производства изделий из композиционного мелкозернистого бетона на местных песках.

Фирмой "Интра-Бау" при участии автора возведен объект площадью 8000 м² в Ямало-Ненецком автономном округе из мелкозернистого бетона по монолитной технологии. На основе анализа местного сырья и специально подобранных составов модифицированного мелкозернистого песчаного бетона были определены требования к технологии, гарантирующие получение бетона заданных свойств (с прочностью от 15,0 до 50,0 МПа) и разработан технологический регламент на мелкозернистый песчаный бетон на особо мелких песках Пуровского района Тюменской области для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций. По разработанному технологическому регламенту ведется строительство ряда объектов в г. Губкинский Тюменской области. Применение модифицированного мелкозернистого бетона позволило в два раза ускорить строительство и снизить стоимость бетонных работ на 20 %.

Рис. 9 Графический вид концепции высококачественного бетона

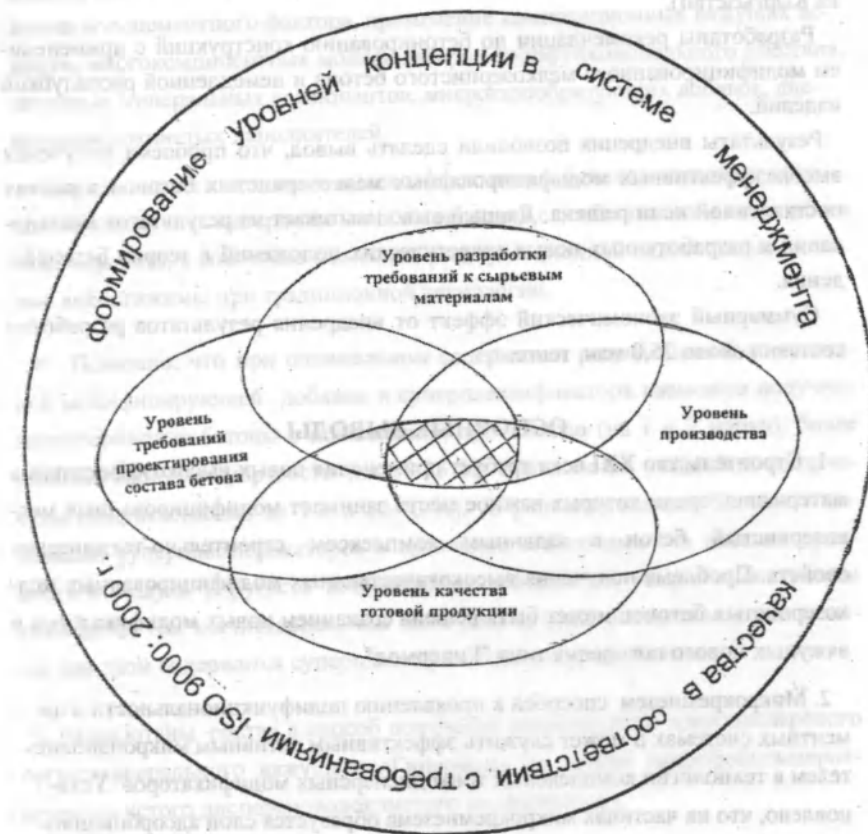


Рис.10 Концепция получения модифицированных мелкозернистых бетонов высокой эксплуатационной надежности
*Заштрихованная часть – область бетонов высокой эксплуатационной надежности

Получены положительные результаты по внедрению модифицированных мелкозернистых бетонов на предприятиях ТОО НПФ «Казанткор», ТОО «Интехстройцентр» (Республика Казахстан), а также АО «Факел» (Республика Кыргызстан).

Разработаны рекомендации по бетонированию конструкций с применением модифицированного мелкозернистого бетона и немедленной распалубкой изделий.

Результаты внедрения позволили сделать вывод, что проблема получения высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов в рамках поставленной цели решена. Данный вывод вытекает из результатов исследований и разработанных новых теоретических положений к теории бетонирования.

Суммарный экономический эффект от внедрения результатов разработки составил около 25,0 млн. тенге.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Строительство XXI века требует применения новых высокоэффективных материалов, среди которых важное место занимает модифицированный мелкозернистый бетон с заданным комплексом строительно-технических свойств. Проблема получения высококачественных модифицированных мелкозернистых бетонов может быть решена созданием новых модификаторов и вяжущих нового поколения типа "Гипермод".

2. Микрокремнезем способен к проявлению полифункциональности в цементных системах и может служить эффективным активным микронаполнителем в технологии комплексных тонкодисперсных модификаторов. Установлено, что на частицах микрокремнезема образуется слой адсорбционно-связанной воды, сопоставимый с объемом этих частиц. Количество свободной воды определяет свойства текучести и вязкости цементных систем. Данные показатели зависят от объемной концентрации микрокремнезема в системе, что согласуется с результатами исследований С.С. Каприелова и Ю.М.Баженова. Микрокремнезем активизирует действие ингредиентов модификатора, в частности суперпластификатора, и тем самым позволяет добиться высоких показателей подвижности бетонной смеси (ОК 20-22 см)

и прочности бетона (80-100 МПа).

3. Доказано, что технология высококачественного мелкозернистого бетона должна включать оптимизацию состава бетона с предельно низкими значениями водоцементного фактора, применение композиционных вяжущих веществ, многокомпонентных модификаторов полифункционального действия, активных минеральных компонентов, микрогазообразующих добавок, дисперсноволокнистых наполнителей.

Новый подход к созданию высокоэффективных бетонов позволяет обосновать и получить материалы нового поколения с особо высоким качеством и рядом свойств, в том числе с высокой эксплуатационной надежностью, которые недостижимы при традиционной технологии.

4. Показано, что при оптимальном содержании разработанной комплексной модифицирующей добавки и суперпластификатора возможно получить мелкозернистые бетоны с повышенной прочностью (на 1 и 2 марки), более высоким модулем упругости (на 10-25 %) пониженной усадкой и ползучестью (соответственно на 5-8 и 30-40 %). В равноподвижных бетонах с добавками суперпластификаторов в сравнении с бетонами без добавок прочность и модуль упругости возрастают, а деформации усадки и ползучести снижаются тем значительнее, чем ниже расход воды затворения и чем меньше при этом содержится суперпластификатора в составе бетона.

5. Разработаны состав и способ получения комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод» на основе гидрофобномикрокремнеземистого дисперсноволокнистого модификатора.

Установлены особенности структурообразования цементных систем с разработанным модификатором. В цементном камне с добавкой «Гипермод» наблюдается разукрупнение пор и уменьшение суммарной пористости на 2-4 % в сравнении с пористостью цементного камня без добавок.

6. Установлено, что действие поля твердой фазы бетонной смеси на контактирующие с ней слои воды постепенно, по мере отдаления водного слоя от твердой поверхности, уменьшается и вода по структуре и плотности (в отли-

чие от адсорбционного слоя) остается близкой по свойствам к обычной воде, хотя подвижность ее несколько ограничена вплоть до слоя, в котором действие молекулярных сил перестает сказываться. Влияние электрических сил возрастает с уменьшением зерен твердой фазы. Поверхностное взаимодействие частиц размерами $(0,1-2) \cdot 10^{-4}$ мм способствует образованию флокул. Это позволяет предположить, что вода в флокулах становится неподвижной, объем пор в флокулах незначителен.

7. Выдвинута гипотеза, что на поверхности мелких зерен твердой фазы могут располагаться еще более мелкие субмикроскопические частицы новообразований, отдельные молекулы или их агрегаты различной природы. Эти частицы, помимо возможного изменения заряда поверхности или ее отдельных частей, также создают вокруг себя водные оболочки со специфическими свойствами, которые объединяются на поверхности более крупных частиц в единую систему, резко увеличивая глубину зоны влияния поверхности частицы на жидкую фазу.

8. Установлено, что пустотность смеси зависит от окатанности зерен песка. С увеличением содержания окатанных зерен пустотность смеси уменьшается. Наименьшая пустотность обнаруживается у песков с прерывистым гранулометрическим составом. Чем выше соотношение $d_{кр}/d_{мелк}$, тем заметнее уменьшение пустотности смеси, особенно этот эффект проявляется при $d_{кр}/d_{мелк} > 8$. В связи с этим на практике получили применение материалы с непрерывным зерновым составом как более стабильные и однородные, которые гарантируют повышенную однородность структуры и свойств мелкозернистого бетона, что имеет большое значение в современных условиях, когда ведется серьезная борьба за качество и конкурентоспособность на рынке строительных материалов.

9. Мелкозернистый бетон характеризуется разнообразием структур, обеспечивающих его многофункциональность и широкие возможности применения. Ряд особенностей структуры бетона - сравнительная мелкозернистость и однородность, повышенная удельная поверхность твердой фазы, как правило, повышенное содержание цементного теста (камня), в том числе с химическими добавками и тонкодисперсными минеральными наполнителями,

обуславливают высокую технологичность цементно-песчаной смеси с возможностью широкого варьирования разными типами структур, в которых высокая связность сочетается с хорошей подвижностью. Все это позволяет активно и целенаправленно управлять технологией мелкозернистого бетона и гарантированно получать материал с заданными свойствами.

10. Установлен механизм формирования структуры модифицированных мелкозернистых бетонов, включающий два периода.

Первый период - формирование структуры, характеризующейся гелеобразными продуктами гидратации цемента. Особо мелкие частицы волокнистой, войлокообразной и пластинчатой формы, заполняющие пространство между зернами, формируют коагуляционную структуру в виде рыхлого каркаса, своеобразную пористую матрицу, которая постепенно заполняется продуктами гидратации.

Второй период раннего структурообразования характеризуется резким увеличением прочности, повышением тепловыделения и контракции за счет роста новообразований и процесса их кристаллизации внутри сложившегося первоначального каркаса. К концу периода формирования структуры пластично-вязкая цементная система преобразуется в твердое тело - цементный камень.

11. В результате обобщений выполненных научных исследований предложен новый подход к разработке концепции модифицированного мелкозернистого бетона с высокой эксплуатационной надежностью. Основными критериями надежности являются: уровень разработки требований к сырьевым материалам, уровень проектирования составов бетонов, уровень производства, уровень качества готовой продукции.

Обобщающим фактором данной концепции является функционирование предлагаемых уровней в рамках действия системы менеджмента качества, соответствующей требованиям ISO 9001 - 2000 года. Управление качеством осуществляется применением статистических методов.

12. Результаты работы внедрены фирмой Интра-Бау в Ямало-Ненецком автономном округе при строительстве административного здания в г. Губкин-

ский с применением литых тонкозернистых песчаных бетонов, а также на предприятиях строительной отрасли Казахстана и Кыргызстана.

Разработаны рекомендации по бетонированию конструкций с применением модифицированного мелкозернистого бетона и немедленной распалубкой изделий.

Результаты внедрения позволили сделать вывод, что проблема получения высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов в рамках поставленной цели практически решена. Данный вывод не только вытекает из результатов исследований, но и обоснован предложенными новыми теоретическими положениями к теории бетоноведения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Ергешев Р.Б. Технология и свойства мелкозернистых бетонов. Учебное пособие. - Алматы: КазГосИНТИ.- 2000.- 195с.
2. Соловьев В.И., Ергешев Р.Б. Эффективные модифицированные бетоны. Алматы: КазГосИНТИ.-2000.-285с.
3. Solowjew W.I., Jergeschew R.B. Theorie und Praxis der modifizierten Feinkornbetons// 14. Internationale Baustofftagung. IBAUSIL. Bundesrepublik Deutschland, Weimar, 20-23. September 2000. Tagungsbericht – Band 2, S. 0553-0561.
4. Ергешев Р.Б., Кажиева Г.М., Родионова А.А. Опыт получения мелкозернистого жаростойкого бетона на модифицированном вяжущем низкой водопотребности //Новости науки Казахстана, Вып.3, 1996.- С. 89-91
5. Ергешев Р.Б., Кажиева Г.М. Исследование структуры мелкозернистого жаростойкого бетона на модифицированном ВНВ // Сб. научн. тр. НИИСтромпроекта «Строительные материалы из местного сырья».- Алматы, 1996.- С.163-168

6. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И. Бетоны с эффективными химическими модификаторами// Тезисы докл. междунар. конгр. по строит. материалам.- Германия, г. Веймар, сентябрь 1997.- 2-0747 - 2-0755.
7. Ергешев Р.Б., Баженов Ю.М. Пути повышения золоемкости бетонов // Тезисы докл. междунар. конгр. по строит. матер. - Германия, Веймар, сентябрь 1997.- 2-0747 - 2-0755.
8. Ергешев Р.Б., Баженов Ю.М., Батаев Д.К. Повышение эффективности технологии бетона // Сборник докл. междунар. конф. «Промышленность строительных материалов и стройиндустрия. Энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений».- Белгород, 1997.- С.3-6.
9. Ergeshev R. B., DiO I.M. Multicomponent concretes with organomineral additives // Сотрудничество. Материалы междунар. научно-практ. конф. «Вклад корейцев в науку и технику Казахстана».- Алматы, 8-11 октября, 1997.- С.162-164.
10. Ергешев Р.Б., Куатбаев А.К., Бессонов Д.В. Активность минеральных вяжущих из побочных продуктов промышленности //Сборник трудов междунар. научно-техн. и учебно-метод. конф. «Наука и образование - эффективные рычаги реализации стратегии Казахстан 20-30», посвящ. 55-летию ЮКГУ им М.Ауэзова.- Шымкент, 22-23 октября, 1998г, Т.1. - С. 169-170.
11. Кулибаев А.А., Соловьев В.И., Ергешев Р.Б. Состояние и перспективы отрасли строительных материалов //Межвузовский сборник научных трудов «Роль строительства в системе устойчивого развития Казахстана».- Алматы, 1998.- С.5-11.
12. А.С. № 1707924.СССР. Вяжущие для бетонной смеси // Ергешев Р.Б., Баженов Ю.М., Бабаев Ш.Т., Соловьев В.И. и др. Оpubл. 19.12.86.
13. А.С. № 1028015.СССР. Бетонная смесь // Ергешев Р.Б., Баженов Ю.М., Бабаев Ш.Т. Оpubл. 05.03.83.

14. А.С. № 1010038.СССР. Способ приготовления бетонной смеси // Ергешев Р.Б., Баженов Ю.М., Долгополов Н. Оpubл. 07.12.82.
15. Yergeshev R.B., Solovjev V.I. About problems building ecology in Kazakhstan // Presentations «New technologies in Islamic countries», Almaty, 1999, 27-30 June.-P.257-262.
16. Yergeshev R.B., Kulibaev A.A., Bajenov J.M. Perceptivities in native building materials and technology development // Presentations «New technologies in Islamic countries», Almaty, 1999, 27-30 June.-P.249-252
17. Yergeshev R.B., Solovjev V. I., Rakhimov M.A. Modified fine concrete on base of low water-demand cement // Presentations «New technologies in Islamic countries», Almaty, 1999, 27-30 June.-P. 160-161.
18. Yergeshev R.B., Nurbaturov K.A., De I.M., Atabekov K.A. The kinetics of plastic shrinkage of paste from multicomponent cement in dependence of disperse medium // Presentations «New technologies in Islamic countries», Almaty, 1999, 27-30 June.- P. 158-159.
19. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И. Бетоны без тепловой обработки на эффективных ВНВ // Тезисы докл. «Состояние и перспективы строительной науки» // Сборник науч. тр. КазГАСА, Алматы, 1997.- С.56-60.
20. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И. Теория и практика модифицированных мелкозернистых бетонов //Вестник ИА РК.- 2000.-№ 1(5).-С.117-122.
21. Ергешев Р.Б., Нурбатуров К.А., Дё И.М., Атабеков К.А. Кинетика избыточного давления при твердении бетона на многокомпонентном вяжущем // Вестник ИА РК.- 2000.- № 1(5).- С.103-108
22. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И. К вопросу о строительной экологии в Казахстане // Вестник ИА РК.- 2000.-№ 1(5).- С.160-165.
23. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И., Шарипов С.М., Ткач Е.В. Аспекты строительной экологии в Казахстане // Межвузовский сб. научн. тр., посвящ. 20-летию КазГАСА «Мировоззренческо-методологические проблемы современной науки и образования».-Алматы, 2000, Ч. 1.

24. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И., Малышев О.А., Исаков С.М. Эффективные модифицированные бетоны // Материалы научно- практ. конф.- Алматы, октябрь 2001.- С.96-103.
25. Ергешев Р.Б., Родионова А.А., Горецкая Е.А. Повышение гидравлической активности золы-уноса и вяжущих на её основе механохимической активацией // Материалы научно- практ. конф.- Алматы, октябрь 2001. - С.142-144.
26. Ергешев Р.Б., Нурбатуров К.А., Идрисов Д.А., Де И.М. Кинетика структурообразования в дезаэрированной системе аргиллит – вода // Материалы научн. практ. конф.- Алматы, октябрь 2001.- С.157-159.
27. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И., Ткач Е.В. Ресурсосберегающие технологии модифицированного бетона // Материалы научно - практ. конф. «Инженерная наука на рубеже XXI века».- Алматы, 2001.- С. 33.
28. Ергешев Р.Б., Родионова А.А., Горецкая Е.А. Сухие смеси с использованием минеральных отходов промышленности Казахстана // Строительные материалы.- 2001.- № 11.-С.9-11.
29. Ергешев Р.Б., Соловьев В.И., Рахимов М. Инженерные аспекты экологических проблем Казахстана // Межвузовский сборник научных трудов.- Алматы, 2001.- С. 9-12
30. Соловьев В.И., Ергешев Р.Б. теория и практика модифицированных мелкозернистых бетонов // Вестник Инженерной академии Республики Казахстан.- 2000.- № 1 (5).- С. 117-118.

Работа посвящена решению проблемы разработки технологии высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов. На основе научно-исследовательских результатов развита теория бетоноведения с учетом использования разработанного комплексного тонкодисперсного органоминерального вяжущего «Гипермод» на основе гидрофобномикрокремнеземного дисперсноволокнистого модификатора.

Технология высококачественного мелкозернистого бетона должна включать оптимизацию состава бетона с предельно низкими значениями водоцементного фактора, применение композиционных вяжущих веществ, многокомпонентных модификаторов полифункционального действия, активных минеральных компонентов, микрогазообразующих добавок, мелких заполнителей и дисперсноволокнистых наполнителей.

Новый подход к созданию высокоэффективных бетонов позволяет обосновать и получить материалы нового поколения с особо высоким качеством и рядом свойств, в том числе с высокой эксплуатационной надежностью, которые недостижимы при традиционной технологии.

Мелкозернистый бетон характеризуется разнообразием структур, обеспечивающих его многофункциональность и широкие возможности применения.

Предложен новый подход к разработке концепции модифицированного мелкозернистого бетона с высокой эксплуатационной надежностью. Основными критериями надежности являются: уровень разработки требований к сырьевым материалам, уровень проектирования составов бетонов, уровень производства, уровень качества готовой продукции.

Обобщающим фактором данной концепции является функционирование предлагаемых уровней в рамках действия системы менеджмента качества, соответствующей требованиям ISO-9001-2000 года.

Результаты внедрения позволили сделать вывод, что проблема получения высокоэффективных модифицированных мелкозернистых бетонов в рамках поставленной цели практически решена. Данный вывод вытекает из результатов исследований и обоснован предложенными новыми теоретическими положениями к теории бетоноведения.

This work is devoted to the problem solving of technology working up of highly effective modified fine-grained concretes. On basis of research results it is developed the theory of concrete science taking into consideration the using of developed integrated finely dispersed organic-mineral knitting "Gipermod" on basis of hydrophobic microsilica disperse fibrous modifier.

The technology of high quality fine-grained concrete should include the optimization of concrete structure with extreme low volumes of water cement factor, using of composite astringents, multi-component modifiers of semi-functional actions, active mineral components, micro aerogenic additive compounds, fine fillers and disperse fibrous fillers.

The new approach to creation of highly effective concrete allows to prove and take materials of new generation with especially high quality and number of properties including high operational reliability that are unattainable in traditional technology.

The fine-grained concrete is characterized with variety of structure providing its many functionality and wide opportunity of using.

It is offered the new approach to development of conception of modified fine-grained concrete with high operational reliability. The basic criterions of reliability are: the level of requirements development to raw materials, the level of projecting of concrete structure, the level of producing, the level of quality of finished commodity.

Summarized factor of this conception is operation of the offered levels in the context of effect of quality management system respective to the requirements of ISO-9001-2000.

The results of application have allowed to make conclusion that the problem of taking of high effective modified fine-grained concrete in the context of problem put by is practically solved. This conclusion follows from the results of research and proved by offered new theoretical provisions to the theory of concrete.

АННОТАЦИЯ

Бул иш жогорку натыйжалуу, модификацияланган майда дандуу бетондорду иштеп чыгуу технологиясынын проблемаларын чечүүгө арналат.

Илимий – изилденген натыйжалардын негизиндеги модификатордун негизинде иштелип чыккан комплекстүү ичке дисперсиясындагы браноминаралдык камдаштыргыч «Гипермодду» пайдалануу аркылуу бетонду өнүктүрүү Жана иштетүү теориясы каралган.

Жогорку сапаттагы майда дандуу бетон технологиясы өз ичине төмөнкүлөрдү камтыйт: бетондун курамындагы төмөнкү чектеги суу-цемент факторун оптимизациялоо композициялык камдаштыргыч заттарды; полифункционалдык аракеттеги көп компоненттүү модификаторлорду, активдүү минералдык компоненттерди, микрогазды пайда кылуучу кошулмаларды, майда толтургучтарды, майда булалуу толтургучтарды колдонуу.

Жогорку натыйжалуу бетондорду өнүктүрүүгө жаңыча мамиле кылуу эски традициялык технологияда өнүктүрүп чыгууга мүмкүн болбогон кээ бир касиетке ээ жаңы муундагы жогорку сапаттагы эксплуатациялык бекемдиктеги материалды негиздөөгө Жана өнүктүрүп алууга шарт түзөт.

Майда дандуу бетон өзүнүн колдонуудагы кеңири мүмкүнчүлүктөрүн Жана көп функционалдуулугун камсыз кылууга структурасынын көп түрдүүлүгү менен мүнөздөлөт.

Жогорку эксплуатациялык бекемдиктеги модификацияланган майда дандуу бетонду өндүрүү концепциясын иштеп чыгуунун жаңы ыкмасы критерийлеринен болуп иштетилбеген материалдарга коюлуучу талаптардын деңгээли, бетондун курамын долбоорлоштуруу деңгээли өндүрүп чыгаруу деңгээли, даяр продукциясынын деңгээли эсептелинет.

Бул концепциянын жалпылагыч факторуболуп ISO – 9001-2000 жылдагы талапка ылайык сапат менеджмент системасынын чегинде сунуш кыланган деңгээлдердин иштөөсү эсептелинет.

Подписано в печать 17.04.2002.

Формат 60x84/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.

Объем 2,3 п. л.

Тираж 100 экз. Заказ 98.

Типография КазгосИНТИ.

480096, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 221.