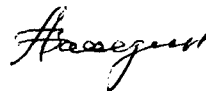


05.23.05  
3-385

На правах рукописи



Захезин Александр Евгеньевич

ЦЕМЕНТНЫЕ ДОРОЖНЫЕ БЕТОНЫ С КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ НА  
ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Специальность 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск 2010

Работа выполнена на кафедре строительных материалов ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Трофимов Борис Яковлевич
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Яковлев Владимир Валентинович кандидат технических наук, ст. научн. сотрудник Алферов Герман Дмитриевич
Ведущая организация	ГОУ ВПО «Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства»

Защита состоится «12» мая 2010 г. в 11-00 на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, просп. им. В.И.Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, главный корпус, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Отзывы на автореферат просим высылать в количестве двух экземпляров, заверенных печатью, по адресу: 454080, г. Челябинск, просп. им. В.И. Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, диссертационный совет ДМ 212.298.08, ученому секретарю Трофимову Б.Я.

Автореферат разослан «б» апреля 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., проф., советник РААСН



Трофимов Б.Я.

### Актуальность работы

Значительное увеличение грузо- и пассажиропотока приводит к росту нагрузок на дорожные покрытия и сооружения, что предопределяет необходимость повышения их пропускной способности и надежности. В нашей стране широко развито дорожное строительство, постоянно проводится ремонт и реконструкция существующих транспортных сооружений. В связи с этим возникает большая потребность в высокоэффективных и долговечных строительных материалах, главным образом, в бетонах.

Дорожные бетоны должны обладать достаточной прочностью при осевом растяжении или растяжении при изгибе, высокой водонепроницаемостью, морозостойкостью, трещиностойкостью. Дорожные бетонные работы часто выполняются при резких перепадах температуры и влажности окружающей среды. Качество бетонного покрытия может значительно снижаться вследствие микротрещинообразования на начальной стадии твердения бетона, которое вызывается совместным воздействием усадочных и температурных напряжений. В процессе эксплуатации цементный бетон подвергается статическим и динамическим нагрузкам, попеременному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию в сочетании с агрессивным воздействием антигололедных реагентов.

Одной из основных характеристик дорожного бетона является его прочность при изгибе. Совместно с морозостойкостью она определяет длительность межремонтных сроков эксплуатации дорожных покрытий. Однако способы радикального повышения прочности бетона при изгибе недостаточно исследованы.

Для получения дорожных бетонов с требуемыми эксплуатационными характеристиками и обеспечения высокой стойкости целесообразно использовать возможности комплексного модифицирования бетона. Обязательной составляющей комплекса добавок является пластификатор, позволяющий повышать удобоукладываемость бетонных смесей или снижать количество воды затворения.

Использование полимерных добавок в виде алифатических эпоксидных смол способствует увеличению трещиностойкости бетонов, повышению прочности сцепления цементной матрицы с поверхностью заполнителей, стержневой и дисперсной арматуры (фибры), а также увеличивает клеящую способность бетонной смеси. Модифицирование цементного камня алифатическими эпоксидными смолами также повышает водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Стойкость бетона к вибрационно-динамическим нагрузкам повышается при введении армирующих волокон (фибры).

Чрезвычайно важно проводить мероприятия по уходу за молодым бетоном (не менее 7 суток после укладки) с целью предотвращения удаления или замораживания влаги. Быстрое высушивание свежеложенного бетона приводит к повышению капиллярной пористости, потере прочностных характеристик и снижению стойкости к агрессивным воздействиям среды.

Помимо традиционных способов ухода за бетоном рекомендуется дополнительно использовать концепцию «внутреннего ухода», согласно которой водонасыщенная пористая добавка, вводимая в состав бетонной смеси, обеспечивает твердеющий бетон водой для снижения усадки цементного геля. Введение данного

материала предотвратит рост пористости в матрице цементного камня, что позволит повысить его непроницаемость.

Использование сложных многокомпонентных добавок продиктовано высокими требованиями к разрабатываемым дорожным бетонам. Отдельные составляющие данных комплексов в свое время изучались достаточно подробно, но совместное применение этих материалов для создания высококачественных дорожных бетонов требует дополнительного изучения, что и определяет актуальность проводимых исследований.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей влияния добавок-модификаторов на свойства цементного камня и бетона и разработке дорожных бетонов при использовании этих добавок в комплексе.

Работа выполнялась по заказу ОГУП «Ремэкс».

### **Цель и задачи исследования**

**Цель работы** - повышение прочности при изгибе и стойкости дорожных цементных бетонов путём модифицирования цементного камня комплексной добавкой на основе алифатических эпоксидных смол.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оптимизировать состав модифицирующей добавки, оценить ее влияние на основные свойства получаемого бетона.
2. Рассмотреть особенности влияния добавок диэтиленгликоля (ДЭГ) и триэтиленгликоля (ТЭГ) на процесс гидратации цемента, динамику набора прочностных характеристик бетона.
3. Выявить влияние комплексной добавки на основе алифатических эпоксидных смол на свойства дорожных цементных бетонов.
4. Оценить влияние добавки дробленого водонасыщенного керамзита на прочностные характеристики, усадочные деформации и непроницаемость бетона.
5. Определить влияние алифатических эпоксидных смол на величину сцепления дисперсной арматуры (фибры) с цементным камнем.
6. Изучить эксплуатационные свойства дорожного бетона с комплексной модифицирующей добавкой.

### **Научная новизна:**

1 Выявлено, что ДЭГ активно адсорбируется на поверхности гидратирующихся зерен цемента, замедляет процессы гидратации и выделения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в жидкую фазу цементного теста, способствуя образованию аморфизированной структуры цементного камня с соотношением  $\text{CaO}/\text{SiO}_2=2,6-2,8$ , что способствует получению бетона с повышенной прочностью при изгибе и осевом растяжении, морозостойкостью и водонепроницаемостью.

2 Установлено, что молекулярная масса, размеры молекулы и меньшее количество гидроксильных групп ТЭГ обуславливают меньшую величину адсорбции его молекул на поверхности гидратных соединений, в сравнении с ДЭГ. В результате этого процесс гидратации не замедляется, а новообразования цементного камня имеют повышенную закристаллизованность, основность которых  $\text{CaO}/\text{SiO}_2=2,4-2,6$ , что обеспечивает более высокие прочностные характеристики и скорость набора прочности бетона.

### **Практическая значимость и реализация работы:**

1. Установлено, что использование суперпластификатора позволяет снизить дозировку алифатических эпоксидных смол при обеспечении требуемых эксплуатационных характеристик бетонов.

2. Предложены комплексные добавки на основе алифатических эпоксидных смол и суперпластификатора, позволяющие изготавливать цементные бетоны для дорожно-строительной отрасли с высокими эксплуатационными характеристиками (прочность при сжатии, осевом растяжении, растяжение при изгибе, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

3. Разработана и внедрена технология сталефибробетонов с разработанными комплексами добавок для устройства и ремонта верхнего слоя покрытия проезжей части мостов в полевых условиях на объектах ОГУП «РЕМЭКС».

4. Выявлено повышение эффективности работы металлической фибры в бетоне за счет использования алифатических эпоксидных смол.

5. Предложены бетоны с пониженной усадкой для ремонта интенсивно эксплуатируемых дорожных покрытий, позволяющие повысить межремонтный срок с 10-20 до 30-50 лет.

### **Автор защищает:**

1. Эффективность использования суперпластификатора и алифатических эпоксидных смол в комплексе для получения синергетического эффекта при модифицировании бетонов.

2. Зависимость модифицирующего действия смол ДЭГ, ТЭГ от молекулярной массы, количества гидроксильных групп и величины адсорбции.

3. Выявленный способ повышения величины сцепления металлической фибры с матрицей цементного камня, позволяющий увеличивать за счет этого прочность бетона на растяжение при изгибе.

4. Результаты исследования влияния водонасыщенного дробленого керамзита на снижение усадочной деформации, повышение водонепроницаемости и прочностных характеристик бетонов.

**Достоверность** полученных результатов и выводов обеспечена применением стандартных методов испытаний, поверенного оборудования, использованием адекватных математических моделей и соответствующей обработкой результатов, статистическим анализом результатов испытаний и необходимым числом образцов в серии для обеспечения доверительной вероятности 0,95. Исследования свойств, фазового состава и структуры цементных композиций проведены с применением комплекса современных физико-химических методов анализа: термического, рентгенофазового, электронной растровой микроскопии и локального рентгеновского микроанализа.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ в 2006, 2007 гг., на 2-й Международной конференции в г. Санкт-Петербург в 2008 г., на Международных чтениях по химии и технологии цемента в г. Москва в 2009 г.

### Публикации

Основные результаты исследований опубликованы в 7 статьях, в т.ч. 2 – в рецендуемых ВАК изданиях. Получен патент на изобретение № 2338713 «Бетонная смесь для гидроизоляции».

### Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, основных выводов и 2 приложений; содержит 138 страниц машинописного текста, 28 таблиц, 39 рисунков, библиографический список из 140 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В первой главе рассмотрены факторы, оказывающие влияние на структуру и свойства цементного камня и бетона, перечислены способы направленной модификации структуры.*

Решающее влияние на свойства цементных композитов оказывают состав и структура цементного камня, полнота гидратации вяжущего, соотношение CSH (I) и CSH (II) фаз, форма и степень кристаллизации новообразований, пористость формирующейся структуры. Высокая стойкость цементного камня к агрессивным воздействиям среды определяется преобладанием в нем гелеобразных гидросиликатов кальция, пониженным содержанием свободного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также минимальной открытой и капиллярной пористостью. Повышенная прочность дорожного бетона на сжатие и растяжение при изгибе зависят, в основном, от прочности сцепления заполнителей с цементным камнем и его плотности.

Для получения прочного и долговечного дорожного бетона необходимо создать благоприятные условия твердения, понизить В/Ц отношение, эффективно диспергировать зерна вяжущего для более полной равномерной гидратации и получить плотную непроницаемую структуру с минимумом дефектов.

Рассмотрев основные факторы, влияющие на получение дорожного бетона заданных свойств, можно выделить наиболее эффективный способ – это введение нескольких модификаторов в бетонную смесь на стадии приготовления.

Особый интерес для обеспечения высокой стойкости цементного камня и бетона представляет введение в цемент добавок полимеров, которые при затворении водой взаимодействуют с ионами  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Al}^{+3}$ , изменяя структуру пор и капилляров бетона, как за счет увеличения плотности бетона, так и за счет разобширения капилляров. По данным А.В. Саталкина и других ученых введение эпоксицирированных водорастворимых смол в количестве от 0,3 до 10% от массы цемента способствует снижению проницаемости бетона и повышению его коррозионной стойкости.

Стойкость цементных бетонов к восприятию агрессивных факторов среды в различные сроки твердения значительно зависит от деформативных свойств. В своих работах А. Е. Шейкин, Михаэлис, Фрейссине, Бернал, Калоузек, З. Н. Цилосани, С.В. Александровский и д.р. раскрыли механизм и физическую природу усадки. Было установлено, что механизм усадки обусловлен совокупностью следующих причин:

- химическими и физико-химическими процессами, протекающими при гидратации цемента (контракция, карбонизация);

- изменением сил капиллярного давления в порах и капиллярах цементного камня при изменении содержания в них влаги;
- изменением объема гелевой структурной составляющей цементного камня при удалении межплоскостной воды.

Одним из эффективных мероприятий по уменьшению усадок является снижение или ограничение расхода цемента в составе бетона, использование качественных заполнителей, введение комплекса различных модификаторов, например, водоредуцирующих, уплотняющих, гидрофобизирующих, воздухоовлекающих (при строгом контроле объема вовлеченного воздуха), а также соблюдение необходимых условий твердения. Дополнительным способом снижения усадочных деформаций является введение в бетонную смесь дробленых пористых компонентов, предварительно насыщенных водой, которые в период твердения «подпитывают» цементный камень.

В процессе эксплуатации дорожных сооружений в бетоне возникают напряжения и объемные деформации материала. Способность бетонных покрытий воспринимать изгибающие нагрузки без разрушения определяет межремонтный срок сооружения. Согласно данным Л.И. Дворкина и методике расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов, увеличение  $R_{изг}$  с 4...5 МПа до 6...6,5 МПа повышает срок службы дорожного покрытия с 20 до 30...50 лет.

Для повышения трещиностойкости цементного камня, прочности бетона на растяжение при изгибе и при осевом растяжении в комплексе с алифатическими смолами следует использовать дисперсное армирование.

При совмещении различных способов модифицирования можно ожидать получение бетона, обладающего высокими эксплуатационными характеристиками, а также интенсивно твердеющего в условиях колебания влажности и температуры.

**Вторая глава посвящена описанию исходных материалов и методам исследования их свойств и структуры.**

Для выполнения работы применяли следующие материалы:

- вяжущее ПЦ400 Д20 по ГОСТ 10178 (Lafarge, Коркинский цементный завод);
- мелкий заполнитель - песок месторождения «Хлебороб» по ГОСТ 8736;
- крупный заполнитель – щебень Новосмолинского карьера по ГОСТ 8267;
- пористый наполнитель – керамзит по ГОСТ 9757-90 (фр. до 10 мм);
- суперпластификатор на нафталиноформальдегидной основе (далее типа С-3), суперпластификатор на основе эфиров поликарбонилатов «Melflux 2651 F» (далее Melflux), концерна BASF;
- алифатическая эпоксидная смола диэтиленгликоль (далее ДЭГ) по ГОСТ 10136-77 и триэтиленгликоль (далее ТЭГ) по ТУ 6-01-5-88, отвердитель полиэтиленполиамин (далее ПЭПА) по ТУ 2413-214-00203312-2002;
- редиспергируемые полимерные порошки (РПП) разных производителей, которые используются как добавки в сухие строительные смеси (ССС). Результаты исследования показали низкую эффективность их применения для повышения прочности при изгибе дорожных бетонов;
- металлическая фибра «Челябинка» НПК «Волвек Плюс» по ТУ 1276-001-70832021-2005.

Оценка свойств исходных компонентов и разработанных материалов производилась по методикам соответствующих ГОСТ. Для качественной оценки фазового состава гидратных составляющих и сравнения степени гидратации цементного камня использовались: калориметрический, термический, качественный и количественный рентгенофазовый анализы, а также электронную растровую микроскопию и рентгеновский микроанализ. Для получения математических моделей исследуемых процессов и их статистической обработки использовали математическое планирование эксперимента.

*В третьей главе приведены результаты исследования влияния комплексных добавок (ДЭГ-1+суперпластификатор; ТЭГ-1+ суперпластификатор) на процессы гидратации вяжущего и состав образующихся гидросиликатов кальция (ГСК), а также на свойства бетонных смесей и бетонов нормального твердения.*

Перед началом эксперимента с целью выбора оптимальной дозировки пластификатора и оценки их совместимости была принята рекомендуемая дозировка смолы – 1,0%. Дозировки пластификаторов подбирали на равноподвижных цементно-песчаных смесях (глубина погружения конуса 8...12 см). В результате дозировка С-3 составила 0,8% от массы вяжущего, а Melflux – 0,3%.

Влияние выбранных дозировок добавок на нормальную плотность цементного теста, водоредуцирование и прочностные характеристики полученного камня приведено в табл. 1,2.

Таблица 1 – Изменение НГ цементного теста при введении добавок

	НГ, %	Водоредуцирование, %
Цемент	27,5	-
Цем.+ 0,8% С-3	22,5	18
Цем.+ 0,3% Melflux	20,0	27
Цем. + 1,0% ДЭГ или ТЭГ	26,0	6
Цем.+ 0,8% С-3 + 1,0% ДЭГ или ТЭГ	22,0	20
Цем.+ 0,3% Melflux + 1,0% ДЭГ или ТЭГ	18,5	33

\*- кол-во повторов  $n=2$ , точность определения 0,1%

Таблица 2– Влияние пластификаторов на прочность цементного камня,  $R_{сж}$

Вид	Прочность при сжатии, МПа / %			
	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут
Цемент	35 / 100%	49 / 100%	55 / 100%	62 / 100%
Цемент+С-3	49 / 140%	60 / 122%	64 / 109%	79 / 127%
Цемент + Melflux	51 / 146%	68 / 139%	73 / 133%	84 / 135%
Цемент + ДЭГ	25 / 71 %	30 / 61%	40 / 72 %	42 / 68 %
Цемент + ТЭГ	24 / 68 %	39 / 80%	43 / 78 %	49 / 79 %
Цемент + С-3 + ДЭГ	38 / 108%	44 / 90%	53 / 96 %	56 / 90 %
Цемент + С-3 + ТЭГ	39 / 111%	44 / 90%	59 / 107%	64 / 103%
Цемент +Melflux + ДЭГ	43 / 123%	56 / 114%	64 / 116%	74 / 119%
Цемент +Melflux + ТЭГ	40 / 114%	50 / 102%	64 / 116%	74 / 119%

\*- кол-во повторов  $n=6$ , точность определения 5%



Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование смол замедляет набор прочности цементного камня, особенно в возрасте до 7 суток.

Наибольший эффект получен при введении 0,3% добавки Meiflux как без смол, так и с ними. Но в ряде случаев у образцов цементного камня с этой добавкой отмечались усадочные трещины. Вероятно, это является следствием интенсивно протекающей контракции. Добавка С-3 повышает прочность цементного камня, как в раннем возрасте, так и в марочном. Совместно со смолами эта добавка практически полностью компенсирует замедление роста прочности цементного камня только со смолами, кроме этого образцы во всех случаях не имели усадочных трещин, поэтому в дальнейших исследованиях применялись смолы ДЭГ и ТЭГ с С-3.

Для определения оптимальных дозировок добавок алифатических смол и суперпластификатора при использовании в комплексе были спланированы и проведены два двухфакторных эксперимента. Варьируемыми факторами являлись:  $X_1$  - дозировка ДЭГ/ТЭГ в % от массы вяжущего, от 1,0 до 2,0%;  $X_2$  - дозировка С-3 от 0,5 до 1,0%. Интервалы дозировок С-3 и ДЭГ/ТЭГ приняли, учитывая литературные данные и результаты предварительно проведенных экспериментов. В качестве откликов приняли водоцементное отношение при постоянной удобоукладываемости бетонной смеси, водонепроницаемость, прочность при сжатии и изгибе, а также прочность сцепления с арматурой.

На рис. 1 показано влияние исследуемых добавок на водо-цементное отношение.

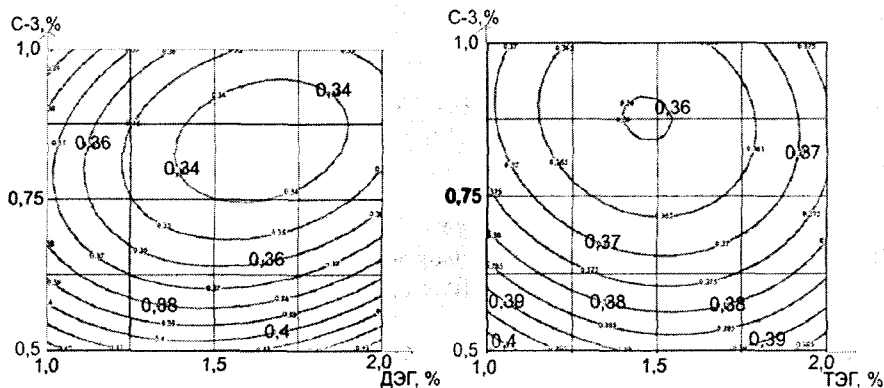


Рисунок 1 – Влияние комплексов добавок на водо-цементное отношение бетонной смеси постоянной удобоукладываемости

Результаты исследований показывают, что введение каждой добавки в отдельности не дает большого эффекта, а совместное введение пластификатора в количестве 0,8%, и смолы ДЭГ/ТЭГ в количестве от 1 до 1,5 % способствует максимальному снижению В/Ц бетонной смеси, что можно объяснить синергетическим эффектом.

Для оценки влияния вводимых комплексов добавок на изменение прочности бетона при сжатии образцы испытывали в 1-е и 28-е сутки (см. рис. 2 и 3). В 1-е сутки твердения введение комплекса со смолой ДЭГ замедляет набор прочности,

особенно при дозировке 1,5-2,0%; комплекс со смолой ТЭГ меньше замедляет набор прочности бетона (см. рис. 3).

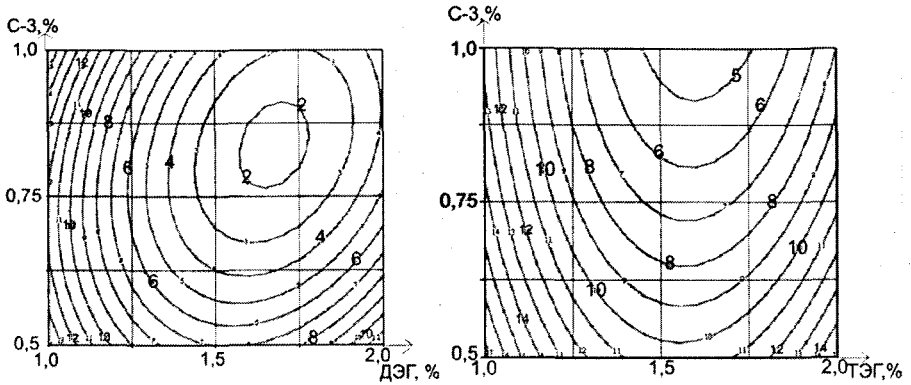


Рисунок 2 – Влияние комплекса добавок «С-3+ДЭГ», «С-3+ТЭГ» на прочность бетона при сжатии в 1 сутки, МПа

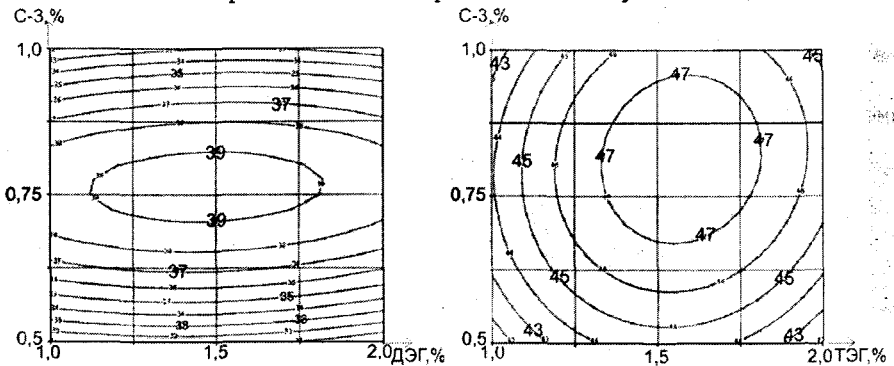


Рисунок 3 – Влияние комплексов добавок «С-3+ДЭГ», «С-3+ТЭГ» на прочность бетона при сжатии в 28 суток, МПа

Из результатов испытаний, представленных в виде изолиний на рис. 4 видно, что комплексная добавка с ДЭГ не снижает прочностных характеристик в марочном возрасте. Комплекс с ТЭГ позволяет получить бетоны более высоких прочностных характеристик.

Очень важной марочной характеристикой дорожного бетона является прочность при изгибе. Повышение ее на 1 МПа увеличивает срок службы дорожного покрытия на 5-10 лет.

Влияние комплексов добавок на прочность бетона на растяжение при изгибе в марочном возрасте (28 сут.) приведено на изолиниях рис. 4.

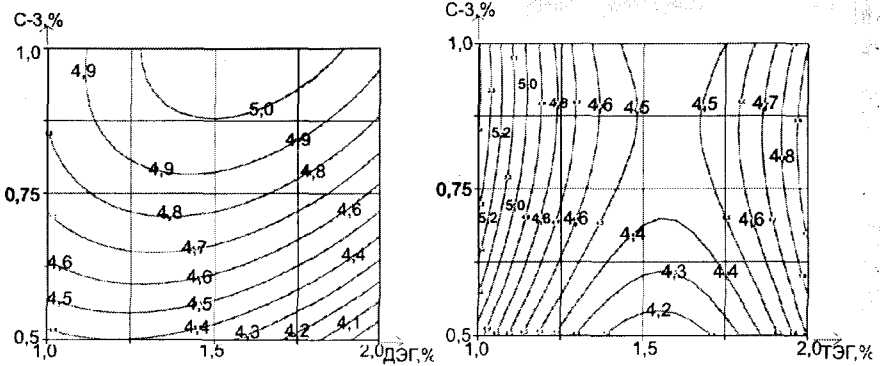


Рисунок 4 – Влияние комплекса добавок на прочность бетона при изгибе, МПа

При использовании комплекса «С-3+ДЭГ» отмечено, что большее влияние на изменение прочности бетона при изгибе оказывает совместное введение суперпластификатора и смолы. Изменение дозировки смолы ТЭГ гораздо сильнее влияет на набор бетоном наибольшей прочности при изгибе, достигая максимального значения при введении 1,0 % смолы и 1,0% С-3.

Проведённые эксперименты показали возможность увеличения прочности бетона на растяжение при изгибе в 2 и более раза по сравнению с прочностью контрольных образцов бетона без добавки смол. Данный результат подтверждает значительное повышение трещиностойкости бетона покрытий воспринимающих изгибающие нагрузки.

Еще одним важным свойством является прочность сцепления бетона со стержневой арматурой. Влияние добавок на данное свойство бетона приведено на изолиниях рис. 5.

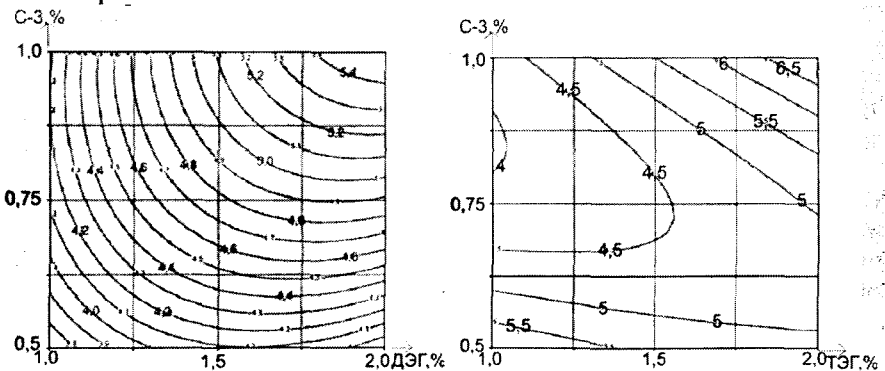


Рисунок 5 – Прочность сцепления бетона с арматурой в 28 суток, МПа

Данные рис. 5 показывают, что введение суперпластификатора С-3 и водорастворимой смолы ДЭГ-1 позволяет регулировать прочность сцепления бетона с арматурой. Наибольшая прочность достигается при введении 1% С-3 и 2% ДЭГ-1. Такой эффект обусловлен способностью водорастворимых смол повышать проч-

ность сцепления металла с бетоном. Из полученных зависимостей следует, что введение добавок в комплексе усиливает эффект действия каждой из них.

Положительный эффект при использовании смол ТЭГ и ДЭГ достигается при введении в комплексе с пластификатором С-3 - прочность сцепления с арматурой увеличивается пропорционально росту дозировок.

Влияние алифатических смол ДЭГ/ТЭГ в комплексе с суперпластификатором на водонепроницаемость бетона показано на рис. 6.

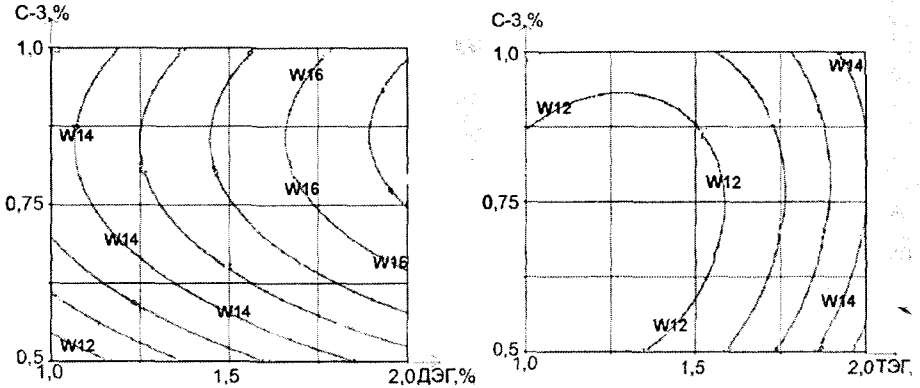


Рисунок 6 – Влияние комплексов добавок на водонепроницаемость бетона

Использование смолы ДЭГ позволяет получить бетоны более высоких марок по водонепроницаемости, чем ТЭГ

Результаты проведенного исследования показывают влияние комплексных модификаторов на основные свойства бетона, - это позволяет выбрать оптимальные дозировки добавок для введения их в комплексе. Использование 0,8% С-3 и 1,0% смолы ДЭГ повышает водонепроницаемость бетонов до W12-14, повышает прочность на растяжение при изгибе в 2-2,5 раза – до 4,7-5,5 МПа. Использование смолы ДЭГ, при этом, снижает динамику набора прочности бетона при сжатии, особенно в начальные сроки твердения, в марочном возрасте достигая 39 МПа.

Бетоны с оптимальными дозировками добавок испытывали на морозостойкость по методике для дорожных бетонов (см. рис. 7).

Использование смолы ТЭГ позволяет получить бетоны более высокой прочности, чем с ДЭГ, однако для них характерна пониженная на 10-15% водонепроницаемость и морозостойкость получаемых бетонов. Достаточная дозировка для комплекса с ТЭГ составляет: 0,8% С-3 и 1,0% смолы.

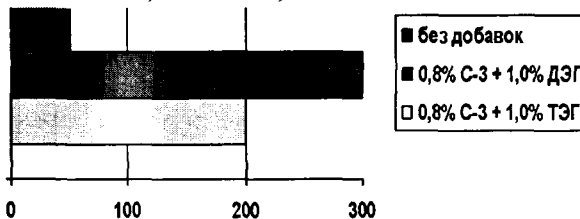


Рисунок 7 – Морозостойкость бетонов, кол-во циклов

Для объяснения отличий в модифицирующем действии ДЭГ и ТЭГ был изучен фазовый состав цементного камня, его структура, скорость и полнота гидратации цемента.

Дериватографический анализ показал, что наименьшее количество свободно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  содержится в образцах, модифицированных смолой ДЭГ. Это может говорить об участии гидроксида кальция в формировании гидратных фаз цементного камня - встраивании его в структуру новообразований.

Анализ данных рентгенофазового анализа цементного камня со смолой ДЭГ подтверждает данные термического анализа по минимальному содержанию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Изучение образцов в растровом электронном микроскопе совместно с данными РФА и ДТА, позволило выявить, что это объясняется способностью молекул ДЭГ активно адсорбироваться на поверхности цементных зерен, останавливая процесс гидратации и выделение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в результате цементный камень формируется слабо закристаллизованными или практически аморфными гидросиликатами кальция с соотношением  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2,4-2,6$ , создающими плотную непроницаемую структуру.

Снижение гидросильных групп в молекуле ТЭГ обуславливает меньшую адсорбцию этой добавки на поверхности цементных зерен, в сравнении с ДЭГ, в результате чего эта добавка не замедляет гидратации цемента и твердения бетона. Новообразование цементного камня с ТЭГ более закристаллизованы и мелкодисперсны, а соотношение в них  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2,4-2,6$ , что несколько ниже, чем с ДЭГ.

Различия в структуре молекул алифатических смол определяют модифицирующее действие диэтиленгликолевой и триэтиленгликолевой смолы в цементном камне, которое отражается в получении бетонов разной водонепроницаемости, морозостойкости и прочности.

*В четвертой главе приведен выбор эффективного пористого наполнителя, определена оптимальная дозировка и дополнительное количество воды, необходимое для насыщения керамзита, показано влияние керамзита с разной степенью насыщенности на прочностные характеристики, водонепроницаемость и деформации усадки.*

В данной работе в качестве водонасыщаемого компонента был использован дробленый керамзит, так как это постоянный по химическому составу и экологически чистый материал, его прочные частицы обладают порами разных размеров. Результаты предварительного исследования величины водопоглощения керамзита, влияния на прочностные характеристики бетона позволили выбрать наиболее эффективный фракционный состав (табл. 3).

Таблица 3 – Свойства дробленого керамзита

Соотношение фракций	Время насыщения, мин	Водопоглощение по массе, %
0,14...2,5 мм ~ 33%	10	38...42
2,5...5 мм ~ 33%		
5...10 мм ~ 33%		

Оценку влияния влагоносителя на свойства бетонов проводили при расходе компонентов, приведенном в табл. 4.

Таблица 4 – Исходный состав бетонной смеси

№	Состав бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>					Свойства смеси
	Цемент	Песок	щебень	С-3	ДЭГ/ТЭГ	
	430	700	1150	3,45	4,3	170 (180)
						ОК, см
						7 ± 2

Свойства бетона изучали, используя метод математического планирования эксперимента. В качестве варьируемых факторов приняты: удельный расход сухого керамзита (5...35 кг/м<sup>3</sup>) и дополнительное количество воды насыщения от массы керамзита (0...70%). Дополнительная вода вводилась сверх зафиксированного исходного В/Ц смеси. Откликами приняты  $R_{сж}$ ,  $R_{изг}$ , водонепроницаемость и усадочные деформации.

Математическая обработка результатов испытания позволила построить зависимости изучаемых откликов от количества вводимой добавки керамзита и величины водонасыщения в различные сроки твердения.

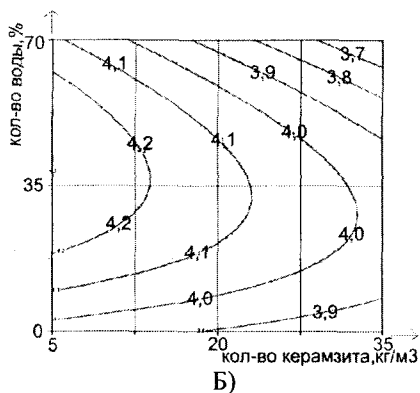
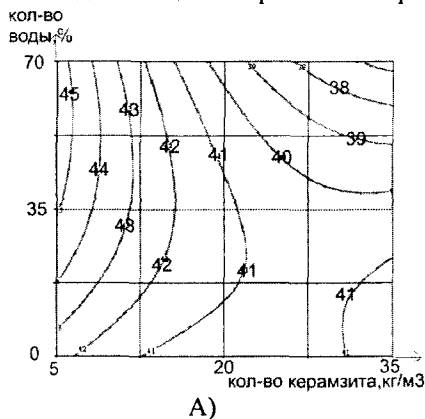


Рисунок 8 – Влияние керамзита и дополнительного количества воды на прочность, МПа: А) при сжатии, Б) при изгибе

Испытания образцов на прочность при сжатии показали, что наибольший прирост (18%) достигается при введении минимальной дозировки керамзита – 5 кг/м<sup>3</sup> и 20-50% (от массы) дополнительной воды для его насыщения (см. рис. 9).

Анализ данных, полученных при испытании на прочность при изгибе, подтверждает выбранный оптимум дозировки керамзита и воды для насыщения – 5 кг/м<sup>3</sup> с величиной водонасыщения 20-50% (см. рис. 8).

Введение в бетонную смесь 5 кг/м<sup>3</sup> комплексного модификатора «смола ДЭГ+С-3» совместно с водонасыщенным керамзитом обеспечивает марку бетона по водонепроницаемости не ниже W14 (см. рис. 9).

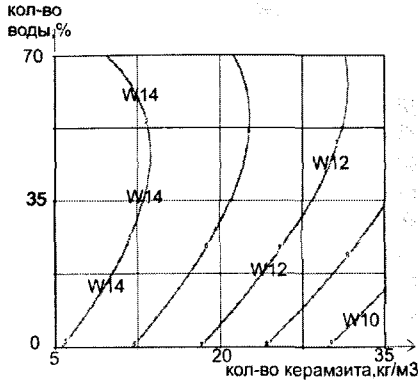


Рисунок 9 – Влияние керамзита и дополнительного количества воды для его насыщения на водонепроницаемость в 28 суток

Влияние выбранной дозировки водонасыщенного керамзита на величину усадочных деформаций (трещиностойкость) бетонов оценивали на образцах  $10 \times 10 \times 40$  см. До начала испытаний образцы хранили во влажных условиях. Деформации измеряли в соответствии с ГОСТ 24544-81.

На рис. 10 приведены результаты измерения усадочные деформации бетонов, модифицированных комплексом добавок «алифатическая смола+С-3», один из которых дополнительно содержит  $5 \text{ кг/м}^3$  водонасыщенного керамзита.

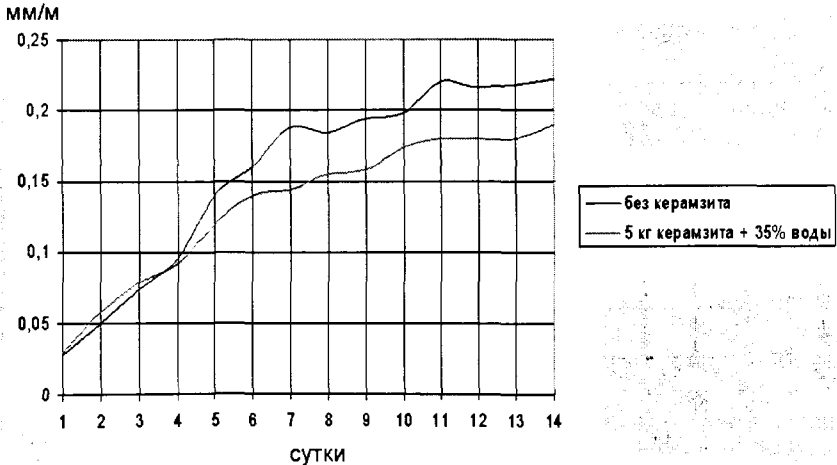


Рисунок 10 – Изменение усадочных деформаций бетонов (количество повторов = 6, точность определения = 5%)

Введение в бетон  $5 \text{ кг/м}^3$  дробленого керамзита со степенью водонасыщения 35% повышает на 18 % прочность при сжатии, на 26% водонепроницаемость и на 15-25% снижает деформации усадки к 14 сут. твердения.

По результатам исследования характеристик цементного камня и бетона с водонасыщенным керамзитом можно предположить, что гидратация вяжущего протекает полнее, снижается количество слабосвязанной воды, в результате структура становится более плотной и содержит меньшее количество дефектов.

*В пятой главе приведены исследования сталефибробетона, получены зависимости свойств дорожного бетона (прочность при осевом растяжении, при изгибе, при сжатии) от дозировки фибры, отмечено влияние комплекса добавок на основе алифатической эпоксидной смолы на адгезию волокон фибры с цементным камнем.*

Для выявления влияния дисперсного армирования на свойства изготовлены образцы бетона двух составов (табл. 5). При повышении дозировки фибры соответственно проводили корректировку по показателю подвижности исходного состава бетонной смеси. Диапазон дозировки фибры составил 0-100 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 5 – Исходный состав бетонной смеси

№	Состав бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>						Свойства смеси ОК, см
	Цемент	Песок	щебень	С-3	ДЭГ/ТЭГ	вода	
1	430	700	1150	3,45	-	165	7 ± 2
2	430	700	1150	3,45	4,3	165	7 ± 2

На основании полученных результатов построены зависимости, которые показывают влияние фибры на изменение прочностных характеристик бетона при постоянном В/Ц и с учетом его повышения (см. рис. 11).

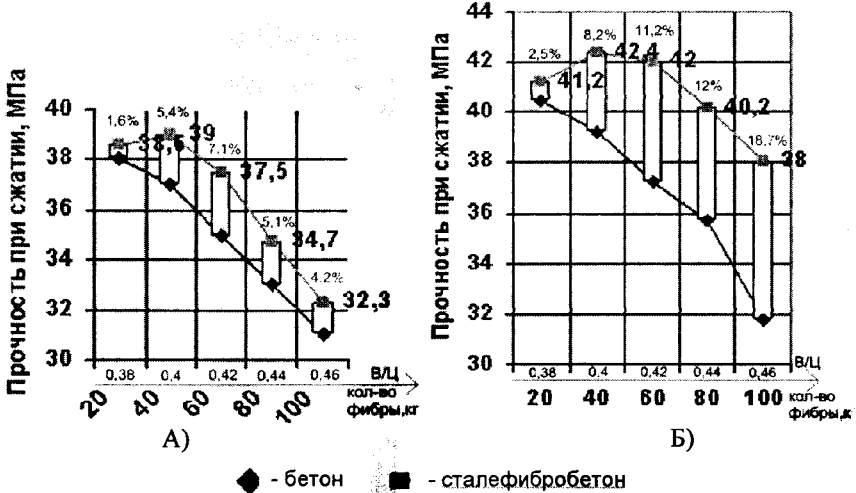


Рисунок 11 – Влияние алифатических смол на прочность сталефибробетона при сжатии в 28 сут., А – состав № 1, Б – состав № 2

Из полученных зависимостей (рис. 11) следует, что при повышении В/Ц с 0,38 до 0,46 прочность бетона с С-3 при сжатии без фибры снижается с 38 МПа до



31 МПа, тогда как использование фибры повышает уровень прочности при сжатии в среднем на 1,5-2,5 МПа. Необходимо отметить также, что введение более 60 кг фибры не целесообразно, так как прирост прочности при сжатии существенно снижается. При введении смолы ДЭГ/ТЭГ прочность при сжатии увеличивается во всем интервале дозировки фибры.

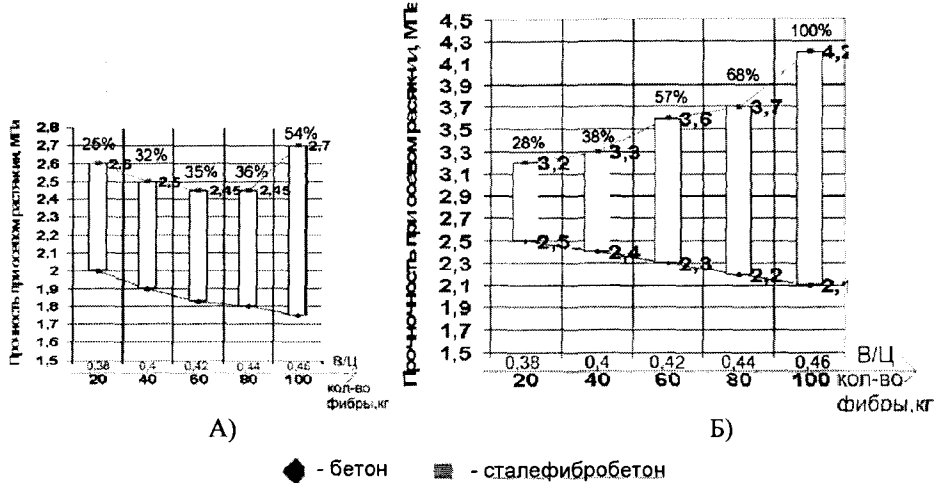


Рисунок 12 – Влияние алифатических смол на прочность сталефибробетона при осевом растяжении в 28 сут., А – состав № 1, Б – состав № 2

Введение в фибробетон алифатической смолы (рис. 12) повышает прочность при осевом растяжении и эффективность работы волокон фибры. Характеристики бетона при испытании на осевое растяжение более чем в 1,5 раза выше, так как повышается сила сцепления волокон фибры с цементным камнем. Результаты испытания в 28 суток на прочность при осевом растяжении показали положительный эффект от использования комплексного модификатора «пластификатор+смола+фибра» во всем исследуемом диапазоне. При ведении 100 кг/м³ фибры прочность при осевом растяжении увеличилась в 1,5 раза, а с комплексным модификатором на основе алифатической смолы – в 2 раза.

Из данных испытаний на прочность при сжатии и осевом растяжении можно сделать вывод, что для получения бетонов, обладающих повышенной прочностью при осевом растяжении, дозировка металлической фибры может быть увеличена до 100 кг/м³. Бетонные смеси с более высоким ее содержанием не удобны в работе, значительно повышают трудоемкость работ, снижают качество формирования и повышают себестоимость.

Разработанные комплексы добавок использовала фирма ОГУП «РЕМЭКС» для приготовления бетонных смесей, предназначенных для ремонта дорожных сооружений. Мосты, отремонтированные полученной бетонной смесью, уже эксплуатируются в течение 4-5 лет. Экономический эффект определяется повышением межремонтного срока. По нашим данным бетоны с предлагаемыми добавками

позволяют удлинить межремонтные сроки в 2-4 раза. С учетом этого, поддержание одного моста в рабочем состоянии в течение 50 лет позволит снизить затраты на 4,5-12 млн. руб.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные дозировки пластификатора типа С-3 – 0,8% и алифатических смол ДЭГ/ТЭГ – 1,0% (от массы цемента), которые позволяют получить цементные дорожные бетоны с морозостойкостью 200-300 циклов, водонепроницаемостью не менее W12, повышенной прочностью при изгибе (до 5,5 МПа) и осевом растяжении (до 4,0 МПа).

2. Выявлены различия в модифицирующем действии комплексов «ДЭГ+С-3» и «ТЭГ+С-3». Молекулы смолы ДЭГ активно адсорбируются на поверхности гидратирующихся зерен цемента, замедляет процессы гидратации, а также процесс выделения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в жидкую фазу цементного теста, что способствует образованию аморфизированной структуры цементного камня с соотношением  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2,6-2,8$ . Молекулы алифатической эпоксидной смолы ТЭГ, в сравнении с ДЭГ, имеют повышенную молекулярную массу, большие размеры и меньшее количество гидроксильных групп, что обуславливает меньшую величину адсорбции ее молекул на поверхности гидратных соединений. В результате этого процесс гидратации не замедляется, новообразования цементного камня более закристаллизованы, мелкодисперсны и имеют основность  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2,4-2,6$ .

3. Модифицирование бетонной смеси алифатической смолой и суперпластификатором повышает прочность дорожного бетона при изгибе ( $R_{изг}$ ) в 2-2,5 раза (до 4,7-5,5 МПа), увеличивает водонепроницаемость с W4 до W12, морозостойкость с F50 до F300, прочность при сжатии ( $R_{сж}$ ) с 36 до 39-45 МПа.

4. Использование дробленого водонасыщенного керамзита способствует более полной гидратации вяжущего, получению более плотной структуры цементного камня, в результате чего на 18% повышается прочность при сжатии, на 15-25% снижаются деформации усадки и на 25% повышается водонепроницаемость.

5. При введении металлической фибры в бетонную смесь, модифицированную алифатическими смолами, величина сцепления волокон с цементным камнем повышается более чем на 50%, что положительно отражается на прочностных характеристиках бетона.

6. Определено, что для получения эффективных дорожных бетонов, обладающих повышенными прочностными характеристиками при осевом растяжении рекомендуется вводить до  $100 \text{ кг/м}^3$  стальной фибры.

7. Разработанные комплексы добавок использованы для приготовления бетонных смесей, предназначенных для ремонта дорожных сооружений. Мосты, отремонтированные полученной бетонной смесью, эксплуатируются уже 4-5 лет.

8. Экономическая эффективность предлагаемых комплексных модификаторов определяется удлинением межремонтных сроков и общей продолжительности эксплуатации мостов. Ожидаемый экономический эффект достигает 4,5-12 млн. руб. на одно сооружение, длина проезжей части которого 20 м, а ширина 6 м.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

1. Захезин, А.Е. Современные химические добавки для сухих строительных смесей и расчет их оптимального количества. / А.Е. Захезин, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, // «Современные материалы и технологии в строительстве»: Международный сборник научных трудов. – №25. – Новосибирск, 2003. – С. 105-108.

2. Захезин, А.Е. Влияние редиспергируемых порошков на свойства цементных строительных растворов / А.Е. Захезин, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных // Строительные материалы. – 2004. – №10. – С. 6-7.

3. Захезин, А.Е. Дорожные бетоны с внутренним уходом / А.Е. Захезин, Т.Н. Черных, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов // Сборник трудов «Строительное материаловедение – практика» Всероссийской научно-практ. конф. – М., 2006. – С. 170-171.

4. Захезин, А.Е. Цементно-полимерные бетоны для нового строительства и ремонта железобетонных конструкций / А.Е. Захезин, Т.Н. Черных, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов // Строительство и образование: Вестник УГТУ-УПИ. – 2006. – №12 (83). – С. 117-119.

5. Захезин, А.Е. Сталефибробетон в современном строительстве / А.Е. Захезин., Б.Я. Трофимов // Стройэксперт. – 2007. – № 10. – С. 25-26.

6. Захезин, А.Е. Особенности применения современных пластифицирующих добавок в цементных композициях / А.Е. Захезин, Е.А. Гамалий, Л.Я. Крамар // Сборник докладов II Международной научно-практической конф. «Популярное бетоноведение'08». – Санкт-Петербург, 2008. – С. 28-33.

7. Пат 2338713 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> С04В 28/00. Бетонная смесь для гидроизоляции / А.Е. Захезин, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов, Т.Н. Черных. – № 2006142830/03; заявл. 04.12.06; опубл. 20.11.08 Бюл. № 32. – 5 с.

Захезин Александр Евгеньевич

**ЦЕМЕНТНЫЕ ДОРОЖНЫЕ БЕТОНЫ С КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ**

Специальность 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 25.03.2010 г.  
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз. Заказ № 75.

---

Отпечатано на ризографе в типографии «Штрих»  
454000, г. Челябинск, ул. Салютная, 25

0628285