

6

На правах рукописи



004601831

Гладких Александр Сергеевич

**СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ ЖЕСТКИХ
ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ
ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ОСНОВАНИЯ**

05.23.11 - «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

13 МАЙ 2010

Москва-2010

Работа выполнена в ОАО Дорожный научно-исследовательский институт «СоюздорНИИ»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кретов Валерий Андреевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ушаков Виктор Васильевич
кандидат технических наук,
Каменецкий Леонид Борисович

Ведущая организация: ООО «Союздорпроект»


Защита состоится «20» мая 2010г. В 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д212.126.02 в Московском Автомобильно – Дорожном Государственном Техническом Университете (МАДИ) по адресу: 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64, ауд.42, телефон для справок (499) 155-93-24

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просьба высылать в двух экземплярах, а копию отзыва просим прислать на адрес электронной почты: uchsovet@madi.ru

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу диссертационного совета.

Автореферат разослан «16» апреля 2010г.

Ученый секретарь диссертационного совета, проф., канд.техн.наук:

 Борисюк Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ В последние 15 лет происходит резкое повышение темпов автомобилизации России. Эта тенденция сохранится и в обозримой перспективе.

В условиях высокой интенсивности и грузонапряженности во всем мире хорошо зарекомендовали себя жесткие дорожные одежды с асфальтобетонным покрытием, обладающие высокой несущей способностью и хорошо сопротивляющиеся процессу колееобразования, существенно снижающему межремонтные сроки службы дорожных одежд. Однако недостатком конструкций такого типа, не позволяющим использовать все их преимущества в полной мере, является возникновение отраженных температурных трещин в слоях покрытия, в первую очередь над швами и трещинами основания.

В этой связи возникла необходимость в постановке задачи по оценке напряжений, ведущих к такому трещинообразованию, и обоснованию мероприятий по их снижению. Решение данной задачи показало, что одним из реальных и рациональных путей повышения температурной трещиностойкости таких конструкций может быть снижение температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии за счет применения оснований из низко модульных цементобетонов.

ЦЕЛЬ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ – обоснование и разработка пути реализации способа снижения температурных напряжений, ведущих к образованию отраженных трещин в асфальтобетонных покрытиях, лежащих на цементобетонных основаниях.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ Для достижения поставленной цели в работе потребовалось решить следующие основные задачи:

1. рассмотреть механизм температурного напряженно-деформированного состояния асфальтобетонного покрытия, лежащего на цементобетонном основании, и количественно оценить влияние деформационных свойств материала основания на величину температурных напряжений в покрытии;
2. обосновать требования к цементобетону основания, применение которого обеспечивает снижение температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии, и определить пути получения такого материала;
3. опираясь на результаты лабораторных исследований рекомендовать составы цементобетона для оснований жестких дорожных одежд с ориентацией на использование отходов, утилизация которых имеет существенное значение с

точки зрения защиты окружающей среды, применение которых позволит обеспечить снижение температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии;

4. произвести производственную проверку возможности устройства оснований дорожных одежд из смеси предлагаемого состава.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ состоит в:

1. исследовании влияния свойств материала жесткого основания на температурные напряжения устроенного на нем асфальтобетонного покрытия, и обосновании требований к данному материалу с точки зрения снижения таких напряжений;

2. исследовании влияния количества и размеров гранул резиновой крошки, получаемой дроблением изношенных автомобильных покрышек, введенных в состав цементобетонных смесей, на морозостойкость, прочностные и деформативные свойства получаемого цементобетонного основания. Подборе оптимального состава смеси, за счет применения которой будет достигнуто снижение напряжений в асфальтобетонном покрытии при температурных воздействиях и обеспечена требуемая морозостойкость.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ обеспечивается применением теоретически обоснованных расчетных схем, результатом комплекса лабораторных и опытно-экспериментальных исследований.

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ:

1. результаты теоретической оценки влияния деформативных свойств материала цементобетонного основания на величину напряжений в лежащем на нем асфальтобетонном покрытии;

2. результаты исследования влияния введения резиновой крошки в состав цементобетонных смесей на основные физико-механические свойства получаемых цементобетонов;

3. требования к составу морозостойких низко модульных цементных бетонов с добавкой гранул резиновой крошки, рекомендуемых для устройства оснований, применение которых обеспечивает повышение температурной трещиностойкости устраиваемых на них асфальтобетонных покрытий.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ диссертационной работы заключается в:

1. возможности использования результатов исследований при проектировании дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями и цементобетонными основаниями в целях повышения температурной

трещиностойкости и, как следствие, межремонтных сроков службы таких дорожных одежд.

2. обеспечении возможности внедрения технологии производства цементобетонной смеси с добавкой гранул резиновой крошки, одновременно связанной с решением экологической задачи по утилизации изношенных автомобильных покрышек.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ Произведена производственная проверка возможности устройства основания дорожной одежды из укатываемого цементобетона с резиновой крошкой на участке Краснопресненской магистрали от ул. Живописная к центру города силами СУ-802. Предложения переданы в ОАО «СоюздорНИИ» для внедрения через нормативно-методические документы.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ Основные результаты исследований были доложены на научно-техническом семинаре по повышению эффективности строительства автомобильных дорог в г. Тюмень 2006 год; на конференции, проведенной Межправительственным советом дорожников СНГ в г. Москва 2007 год; на 66^{ой} научно-исследовательской конференции МАДИ (ГТУ) в г. Москва 2008 год и научно-методических совещаниях лаборатории дорожных одежд ОАО «СоюздорНИИ».

ПУБЛИКАЦИИ По материалам диссертации опубликовано 4 работы.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка используемой литературы из 152 наименований (из них 19 – иностранные). Работа изложена на 124 страницах машинописного текста, содержит 44 рисунка и 54 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность темы диссертации, изложены цели и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ обобщен опыт эксплуатации различных типов дорожных одежд. Показано, что в условиях высокой интенсивности и грузонапряженности во всем мире хорошо зарекомендовали себя жесткие дорожные одежды с асфальтобетонными покрытиями. Основным недостатком конструкций дорожных одежд такого типа, не позволяющим использовать все их преимущества в полной мере, является возникновение отраженных температурных трещин в слоях покрытия, в первую очередь над швами и трещинами в основании.

Изучению процессов трещинообразования посвящены труды многих ученых как в нашей стране, так и за рубежом: И.И. Баловневой, Г.С. Бахраха, В.М. Безрука, А.М. Богуславского, Л.Б. Гезенцева, В.М. Гоглидзе, Н.В. Горельшова, Э.А. Казарновской, А.С. Колбановской, И.В. Королева, Л.Б. Каменецкого, В.В. Михайлова, Н.А. Никольского, И.А. Плотникова, Л.В. Поздняевой, А.В. Руденского, И.М. Руденской, И.А. Рыбьева, Г.К. Сюньи, Р. Абади, Ж. Антуана, Э. Бенетто, П. Кендла и многих других.

Вопросами повышения температурной устойчивости асфальтобетонных покрытий на трещиновато-блочных основаниях из отечественных ученых занимались: М.К. Блумер, А.М. Богуславский, В.Н. Кононов, В.Д. Казарновский, В.А. Кретов, А.Р. Красноперов, О.Н. Нагаевская, А.А. Надежко, В.А. Чернигов, И.Л. Шульгинский, А.Е. Мерзликин и другие.

В суровых климатических условиях нашей страны с резкими температурными перепадами конструктивные слои дорожной одежды испытывают воздействие значительных температурных напряжений.

В настоящее время из известных способов борьбы с отраженным температурным трещинообразованием наибольшее распространение получил способ, предусматривающий устройство различных армирующих прослоек. Однако применение только этих методов не позволяет полностью решить проблему возникновения отраженных температурных трещин. Опыт эксплуатации дорожных одежд показывает, что применение различных армирующих сеток и трещинопрерывающих прослоек позволяет лишь замедлить процесс трещинообразования, но не предотвратить его совсем. В связи с этим представляется целесообразным пытаться снизить величину возникающих температурных напряжений за счет регулирования свойств материалов конструктивных слоев.

Исследованиями в направлении повышения способности асфальтобетонов

воспринимать растягивающие напряжения занимались: В.М. Гоглидзе, Н.В. Горельшев, Л.А. Горельшева, Л.М. Гохман, Л.С.Губач, Э.А. Казарновская, В.М. Карамышева, Ю.Е. Никольский и другие ученые.

Вместе с тем, анализ литературных источников показал, что одним из факторов, влияющих на отраженное трещинообразование, являются деформативные свойства слоя основания. Однако, исследованиям, направленным на определение возможности снижения величины температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии жестких дорожных одежд за счет регулирования свойств цементобетонного основания, в нашей стране не уделено достаточного внимания.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ представлены результаты проведенного теоретического анализа предложенных различными авторами зависимостей, описывающих процесс отраженного температурного трещинообразования в жестких дорожных одеждах с асфальтобетонным покрытием. В качестве основы для дальнейшей работы была выбрана теоретическая зависимость, предложенная А.Р. Красноперовым, как наиболее полно, по мнению автора, отражающая влияние различных факторов:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{\alpha_o \cdot \Delta T_o - \frac{c_o \cdot L + 2c_{\Pi} \cdot l_o}{2h_o \cdot E_o}}{1 + \frac{h_{\Pi}}{h_o \cdot E_o}} + \beta \cdot \alpha_{\Pi} \cdot \Delta T_{\Pi} \cdot E_{\Pi} \quad (2.1)$$

$$E_{\Pi} \cdot \left(\frac{L}{2l_o} - 1 \right)$$

Где:

σ_{Π} — температурные напряжения в покрытии, МПа;

α_o и α_{Π} — коэффициенты температурных деформаций, соответственно, основания и покрытия, $1/^{\circ}\text{C}$;

h_o и h_{Π} — толщины слоев основания и покрытия, м;

E_o и E_{Π} — расчетные модули упругости материалов основания и покрытия, МПа;

ΔT_o и ΔT_{Π} — расчетный перепад температур основания и покрытия, $^{\circ}\text{C}$;

L — длина плиты основания, м;

l_o — длина участка покрытия, не имеющего жесткого сцепления с основанием (скользящий контакт), м;

β — поправочный коэффициент, отражающий степень податливости соединения покрытия с основанием;

c_o и c_{Π} — удельное трение основания по подстилающему слою и трение основания по покрытию, МПа.

Из формулы (2.1) видно, что на величину σ_{Π} оказывают влияние два параметра, характеризующие свойства материала основания: E_o — модуль упругости и α_o — коэффициент температурной деформации. Проведенный нами при реально применяемых геометрических параметрах конструкций дорожных одежд численный

анализ зависимости (2.1) показал, что одним из возможных практически выполнимых путей повышения температурной трещиностойкости асфальтобетонного покрытия жесткой дорожной одежды может быть использование в качестве основания цементобетона с низким значением модуля упругости (рисунок 2.1).

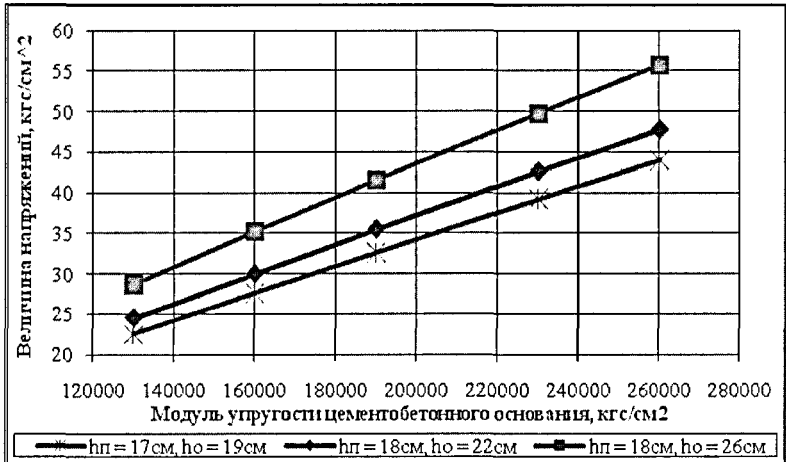


Рисунок 2.1 Зависимость величины температурных напряжений, возникающих в асф.бет. покрытии, от модуля упругости ц.б. основания
(при $\alpha_0 = 10,0 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, $\Delta T_0 = 45^\circ\text{C}$, $L = 20$ м, $l_0 = 0,5$ м, $E_{II} = 70000 \text{ кгс/см}^2$)
 h_0 - толщина ц.б. основания, h_{II} - толщина асф.бет. покрытия

Поскольку модуль упругости цементобетона находится в зависимости от марки по прочности при сжатии (рисунок 2.2), то для снижения величины действующих температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии жестких дорожных одежд представляется целесообразным применять низкомарочный цементобетон.

Минимальный класс цементобетона по прочности на растяжение при изгибе, применение которого допускается нормативной литературой для устройства оснований дорожных одежд, - В_{II} 0,8, соответствующий марке по прочности при сжатии примерно М50, в современной строительной практике для этих целей не используется прежде всего по причине невозможности обеспечения требуемой морозостойкости такого бетона.

В настоящее время существуют два основных пути повышения морозостойкости цементных бетонов. Первый путь направлен на увеличение плотности бетона, устранение капиллярных пор (на практике вследствие неполной гидратации цемента полное зарастание капиллярных пор происходит лишь при В/Ц порядка 0,3) – в чем нет необходимости при проектировании состава низкомарочных бетонов.

Второй путь, обеспечивающий радикальное повышение морозостойкости бетона, направлен на изменение характера пористости. Это достигается добавлением к уже имеющимся порам условно замкнутых пор, не поглощающих воду в обычных условиях. Такую роль играют искусственные воздушные поры, которые должны быть мелкими и равномерно распределенными. Получить такие поры удастся путем введения в бетонную смесь воздухововлекающих или газообразующих добавок. Воздухововлекающие добавки в силу своей специфики работают только в пластичных бетонах с высоким содержанием цемента. Использование газообразующих добавок ограничивается невозможностью гарантированного обеспечения создания замкнутых пор в требуемом количестве (взаимодействие активных компонентов данного типа добавок с цементом и интенсивность реакции по образованию пузырьков газа зависит от множества технологических факторов, совокупное влияние которых на объем образующихся пор учесть в настоящее время не представляется возможным).

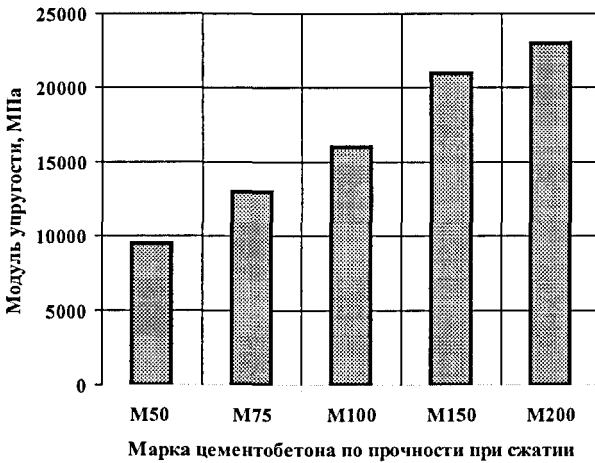


Рисунок 2.2 Зависимость модуля упругости цементобетона от марки по прочности при сжатии (согласно табл.18 СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции»)

В ряде как отечественных, так и зарубежных работ, направленных на исследование влияния легких пористых заполнителей на свойства бетона, отмечается положительное влияние маложестких заполнителей на морозостойкость цементных бетонов. В связи с этим для снижения модуля упругости и, одновременно, обеспечения требуемой морозостойкости, можно предложить включить в состав цементобетона гранулы резиновой крошки, получаемой путем дробления автомобильных шин, утилизация которых, кроме всего прочего, является одной из

важных экологических задач, требующих незамедлительного решения.

Включение в состав цементобетона гранул резиновой крошки может отразиться на коэффициенте температурной деформации получаемого материала, который, как уже было сказано ранее, помимо модуля упругости, оказывает влияние, на величину температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии, что подтверждается графиком (рисунок 2.3), построенном на основании проведенного численного анализа зависимости (2.1).

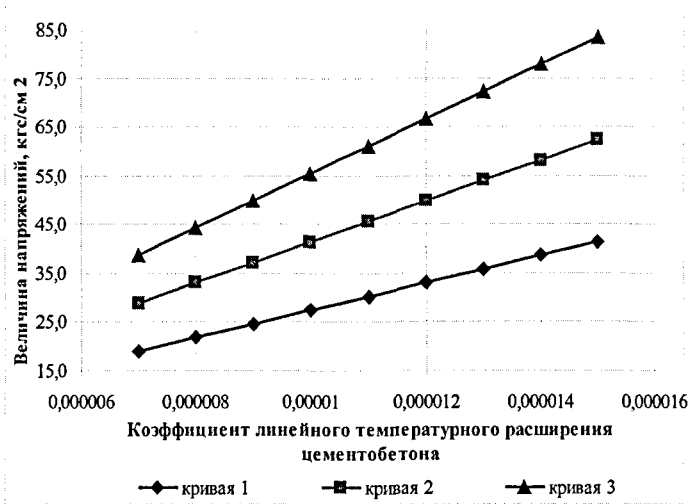


Рисунок 2.3 Зависимость величины температурных напряжений, возникающих в асф.бет. покрытии, от величины коэффициента температурной деформации ц.б. ($\alpha_{ц.б.}$)

Кривая 1 – $\Delta T_0 = 30^\circ\text{C}$, кривая 2 – $\Delta T_0 = 45^\circ\text{C}$, кривая 3 – $\Delta T_0 = 60^\circ\text{C}$. (при $h_{п-22}\text{см}$; $h_0-26\text{см}$; $L = 20\text{ м}$, $l_0 = 0,5\text{ м}$, $E_{п} = 100000\text{ гс/см}^2$; $E_0 = 260000\text{ кгс/см}^2$)

Вопрос влияния гранул резиновой крошки, введенных в состав цементобетона, на его коэффициент температурной деформации, исследован американскими учеными, давно занимающимися вопросами утилизации изношенных покрышек, в том числе и использованием продукта их дробления (резиновой крошки и чипсов) в асфальто- и в цементобетонных смесях.

Полученные американскими учеными результаты показывают, что цементобетон с гранулами резиновой крошки в своем составе является менее чувствительным к воздействию температурного градиента. Так, коэффициент температурной деформации образцов цементобетона ($\alpha_{ц.б.}$), содержащих 3% гранул резиновой крошки по объему ($\approx 35\text{кг/м}^3$), снизился в сравнении с аналогичным показателем

образцов контрольного состава с 6.63 до 5.24 (на 29%). $\alpha_{ц.б.}$ образцов, содержащих в своем составе 15% гранул резиновой крошки ($\approx 180\text{кг/м}^3$), оказался равным 3.23 (снижение по сравнению с образцами контрольного состава на 51%).

Представляет интерес количественная оценка снижения величины напряжений в асфальтобетонном покрытии жестких дорожных одежд за счет применения низкомарочного цементобетонного основания, проведенная на равнопрочных конструкциях.

Согласно таблице 2.3 Методических рекомендаций по проектированию жестких дорожных одежд, были приняты три равнопрочные конструкции жестких дорожных одежд с одинаковой толщиной слоев асфальтобетонного покрытия 18см и основаниями, выполненными из цементобетона марок М150 (конструкция 1), М100 (конструкция 2) и М50 (конструкция 3), толщиной 19; 22 и 26см соответственно.

Численные значения основных параметров сравниваемых равнопрочных конструкций представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Принятые численные значения основных параметров

Параметр	Конструкция 1	Конструкция 2	Конструкция 3
Коеф. темп. деформ. цементобетона $\alpha_{ц.б.}$, $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$	8,6	6,63	5,24
Модуль упругости основания E_0 , МПа	21000	16000	9500
Модуль упругости покрытия $E_{ц}$, МПа	7000		
Перепад температуры $\Delta T_0 = T_2 - T_1$, $^\circ\text{C}$	От плюс 5 до минус 30		
Длина плит основания L, м	15		

В соответствии с рекомендациями Л.Б.Гезенцева, для асфальтобетона температуру T_1 приняли равной плюс 5°C , так как при этой температуре асфальтобетон переходит из вязко-пластичного в упруго-вязкое состояние. За конечную температуру приняли минимальную годовую температуру конструктивного слоя дорожной одежды.

Проведенный численный анализ показал, что устройство основания из цементобетона марки М100 вместо М150 (переход от конструкции 2 к конструкции 1) позволит снизить величину действующих температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии приблизительно на 35%. Переход от марки М100 к марке М50 (от конструкции 2 к конструкции 3) приведет к снижению напряжений приблизительно на 50%, а переход от марки М150 к марке М50 (от конструкции 1 к конструкции 3) – приблизительно на 70% (рисунок 2.4).

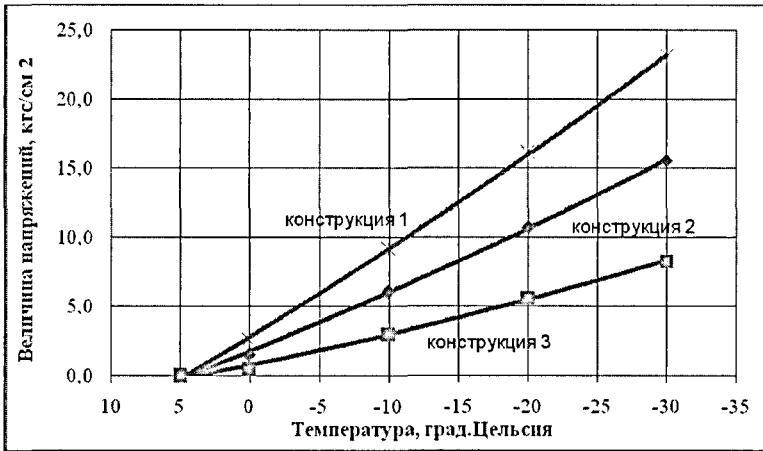


Рисунок 2.4 Зависимость величины температурных напряжений в асф.бет. покрытии от величины перепада температуры п.б. основания

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ представлены результаты лабораторных исследований, направленных на изучение влияния гранул резиновой крошки, введенных в состав цементобетона, на его морозостойкость, прочностные и деформативные свойства.

В результатах проведенных исследований установлено, что с точки зрения повышения морозостойкости цементобетона (испытания проводились согласно ГОСТ 10060.0-95 по второму базовому методу), оптимальное количество вводимых в его состав гранул резиновой крошки составляет 3-5% от объема смеси (рисунок 3.1) при их крупности не более 0,63мм (рисунок 3.2).

Исследования, направленные на определение оптимума количества гранул резиновой крошки в составе цементобетона с точки зрения повышения его морозостойкости были проведены на образцах мелкозернистого цементобетона. Количество введенных гранул резиновой крошки варьировалось от 0 до 7% по объему смеси (контрольный состав, в массовых частях, Ц:П = 1:3,3. Водоцементное отношение у всех смесей принято равным 0,5, подвижность характеризовалась распылом малого конуса в пределах 12,5-13,5см). Состав цементобетонных образцов контрольного состава, используемых для определения оптимума по размеру гранул резиновой крошки с точки зрения повышения морозостойкости цементобетона, в массовых частях, Щ:П:Ц:В = 7,1:5,2:1,1:1; составы с включением гранул резиновой крошки – Щ:П:Ц:В:РК = 7,1:5,2:1,1:1:0,23.

В экспериментах применялся портландцемент ПЦ400Д0 («Михайловцемент»), песок с $M_{кр} = 2,6$ («Вяземское карьероуправление»); гранитный щебень (в составах тяжелых цементобетон) фр.5-20 М1200 («Павловскгранит») и резиновая крошка,

выпускаемая Чеховским регенератным заводом (марка РД 0,5).

Морозостойкость цементобетонов без гранул резиновой крошки в своем составе не отличалась от морозостойкости составов с гранулами резиновой крошкой размером более 0.63мм (рисунок 3.2). Согласно полученным результатам данные бетоны соответствуют марке по морозостойкости F25 (образцы выдержали 5 циклов попеременного замораживания – оттаивания). Образцы цементобетона содержащего в своем составе гранулы резиновой крошки размером менее 0.63мм выдержали 20 циклов, что соответствует марке по морозостойкости F100.



Рис.3.1 Зависимость морозостойкости цементобетона от количества введенных в его состав гранул резиновой крошки

Контрольная проверка полученных результатов было проведена на образцах тяжелого низкомарочного цементобетона, составы серий представлены в таблице 3.1.

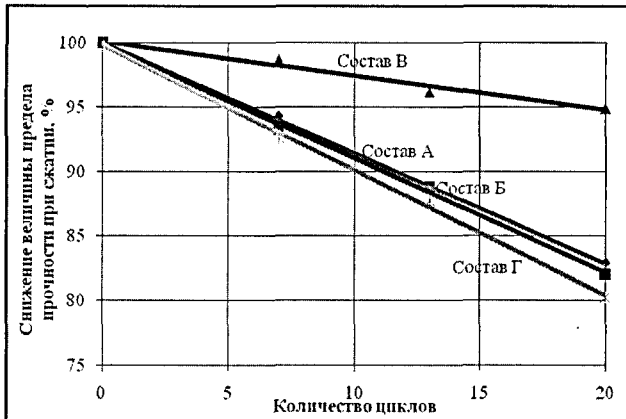
Таблица 3.1

Составы тяжелых цементобетонов

Маркировка серии	Состав, кг/м ³					В/Ц	Примечание
	Щ	П	Ц	В	РК		
А	1150	840	115	165	–	1.45	без резиновой крошки
Б	1150	865	90	165	–	1.85	
В	1150	770	120	165	37.5	1.35	с резиновой крошкой
Г	1150	785	105	165	37.5	1.55	

Результаты проведенных испытаний показали, что образцы с гранулами резиновой крошки в своем составе оказались более морозостойкими по отношению к образцам контрольных составов. Так, образцы состава Г (марка по прочности при сжатии М25) смогли выдержать 7 циклов попеременного замораживания-оттаивания что соответствует марке по морозостойкости F50, а образцы состава В (М50) – 13, что соответствует марке F75. При этом цементобетон контрольного состава А (М75) смог

выдержать 3 цикла попеременного замораживания-оттаивания (марка по морозостойкости F25), тогда как образцы цементбетона состава Б (M50) не выдержали ни одного цикла.



Состав А – контрольный; состав Б с включением гранул резиновой крошки (далее РК) размером 1.25-2.5мм; состав В – РК размером менее 0.63мм; состав Г – с РК размером 0.63-1.25мм.

Рис.3.2 Зависимость морозостойкости цементбетона от размера введенных в его состав гранул резиновой крошки

Первоначальные исследования влияния гранул резиновой крошки, введенных в состав цементбетонной смеси, на прочность получаемого цементбетона было решено проводить на образцах мелкозернистого цементбетона (указанного выше состава). Испытания проводились в возрасте 7, 28, 56 и 90 суток нормального твердения. Было отмечено, что введение гранул резиновой крошки оказывает благоприятное влияние на гидратацию цементного камня, о чем свидетельствует более равномерный во времени набор прочности образцов всех серий с включением гранул резиновой крошки (особенно наглядно проявляется на кинетике набора прочности образцов на растяжение при изгибе (рисунок 3.3)).

По результатам проведенных испытаний был построен график, отражающий зависимость прочности при сжатии образцов мелкозернистого цементбетона от количества введенных в его состав гранул резиновой крошки (рисунок 3.4).

Согласно данным, приведенным в работах А.М.Шейнина, увеличение пористости мелкозернистого цементбетона на 1 % приводит к снижению его прочности при сжатии и прочности на растяжение при изгибе на 4 – 7 % и 2 – 3 % соответственно. Из результатов проведенных нами исследований видно, что гранулы резиновой крошки, введенные в состав мелкозернистого цементбетона, влияют на его прочностные характеристики аналогичную агрегатам вовлеченного воздуха.

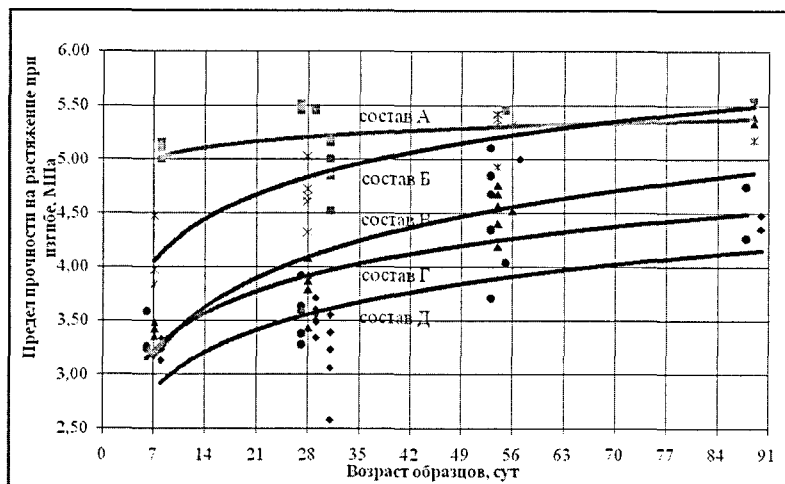


Рисунок 3.3 Кинетика набора образцами прочности на растяжение при изгибе

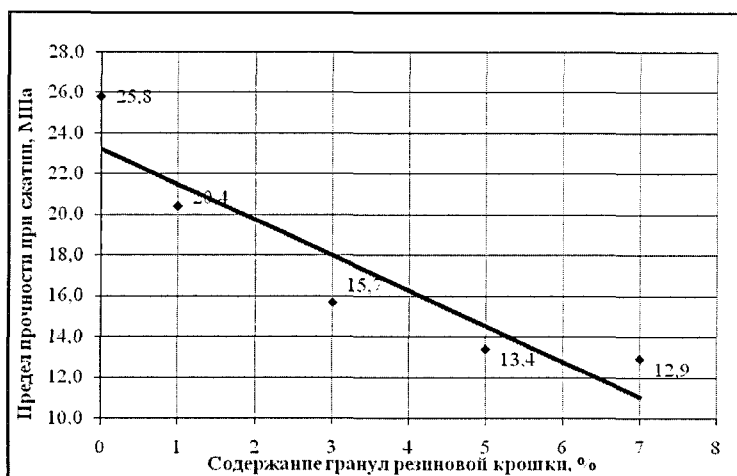


Рисунок 3.4 Зависимость прочности при сжатии мелкозернистого цементобетона от содержания гранул резиновой крошки

Для исследования влияния гранул резиновой крошки, введенных в состав тяжелого цементобетона, на его прочность, был проведен следующий эксперимент в ходе которого были изготовлены серии образцов с гранулами резиновой крошки (количество гранул принято равным 3% от объема смеси) и без них при различном водоцементном отношении ($V/C = 1,1; 1,4; 1,7$). Удобноукладываемость смесей

характеризовалась жесткостью 25секунд.

Результаты испытаний проведенных на 28 сутки нормального твердения представлены на рисунке 3.5.

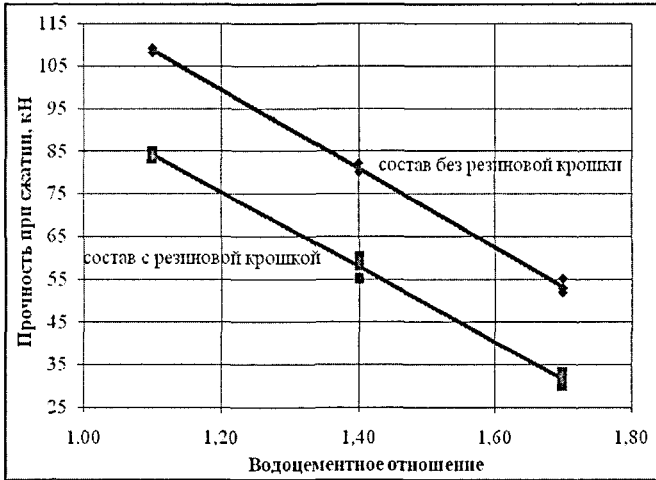


Рисунок 3.5 Зависимость предела прочности при сжатии образцов цементобетона от водоцементного отношения (в возрасте 28сут)

Таким образом, путем некоторого снижения водоцементного отношения цементобетона контрольного состава удалось получить цементобетон с добавкой гранул резиновой крошки с аналогичной маркой по прочности при сжатии. При этом прочность на растяжение при изгибе образцов цементобетона с гранулами резиновой крошки в своем составе, за счет сниженного водоцементного отношения, будет соответствовать более высокой марке нежели прочность контрольного состава. Так, бетон контрольного состава марки на сжатие М50 имел марку по прочности при изгибе М5, а бетон с гранулами резиновой крошки в своем составе при аналогичной прочности при сжатии имел марку на растяжение при изгибе М10.

Следующая серия проведенных экспериментов имела целью изучение влияния гранул резиновой крошки, введенных в состав цементобетона, на его модуль упругости.

В нашем случае модуль упругости образцов мелкозернистого цементобетона с различным процентным содержанием гранул резиновой крошки определялся по формуле:

$$E = \frac{P \cdot l^3}{24 \cdot f \cdot J} \cdot \left(\frac{3a}{l} - \frac{4a^3}{l^3} \right), \text{ МПа}$$

где:

P – нагрузка на образец, вызывающая прогиб f , кН;

l – расстояние между опорами, м.;

f – прогиб образца, м;

J – момент инерции образца, м⁴: $J = \frac{b \cdot h^3}{12}$;

a – расстоянию от опоры до точки приложения силы, м.

b – ширина образца, м;

h – высота образца, м;

Определение прогиба образца производили при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,001мм, ножка которого устанавливалась строго по геометрическому центру нижней растянутой плоскости образца.

Нагружение образца проводили на гидравлическом прессе с максимально возможным усилием 4000 кгс., увеличивая нагрузку ступенями по 100 кгс., снимая при этом показания индикатора. Нагружение проводили до разрушения образца, фиксируя при этом величину максимального прогиба. Полученные расчетным путем значения модулей упругости образцов мелкозернистого цементобетона с включением гранул резиновой крошки в свой состав, сравнивались со значениями модулей упругости цементобетонных сопоставимой прочности, приведенными в нормативной литературе (таблица 3.2, рисунок 3.6).

В данном случае теоретические и расчетные значения модулей упругости отличаются на величину, размер которой не превышает 10%, что говорит о хорошей сходимости результатов эксперимента. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что введение в состав цементобетона гранул резиновой крошки приводит к снижению величины модуля упругости исследуемого материала только за счет снижения его статической прочности.

Таблица 3.2

Экспериментальные данные				Теоретические данные *		
Состав	Содержание гранул резиновой крошки, % по объему	Прочность при сжатии МПа	Модуль упругости, МПа x 10 ²	Класс бетона на сжатие	Средняя прочность образцов при данном классе, МПа	Модуль упругости бетона, МПа x 10 ²
А	0	25,8	204	В20	29,5	224
Б	1	23,0	183	В15	22,9	199
В	3	18,6	161	В12,5	18,0	178
Г	5	15,5	158	В10	14,7	150
Д	7	13,5	146	В7,5	11,4	138

Примечание. * Согласно табл.18 СПиП 2.03.01-84 для мелкозернистых бетонов группы А - бетоны, приготовленные на песке с модулем крупности $M_{кр} \geq 2$.

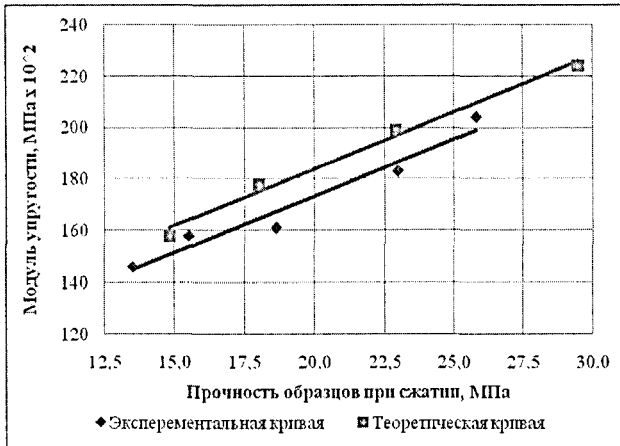


Рисунок 3.6 Зависимость модуля упругости мелкозернистого ц.б. от его прочности

В четвертой главе представлены результаты исследований технологических аспектов устройства оснований из цементобетона с гранулами резиновой крошки в своем составе. Было изучено влияние гранул резиновой крошки на однородность и уплотняемость цементобетонной смеси.

Однородность перемешивания цементобетонной смеси с добавкой гранул резиновой крошки оценивалась по коэффициенту вариации прочности при сжатии образцов размером $10 \times 10 \times 10$ см, испытанных в возрасте 28 суток. При этом коэффициент вариации прочности образцов с добавкой резиновой крошки сравнивался с аналогичным показателем прочности контрольных образцов бетона. Время перемешивание смеси было принято равным 1, 2 и 3 минутам.

Производственные замесы были выполнены на стационарном цементобетонном заводе ООО «Крисмар».

Для проведения данного эксперимента были выполнены шесть замесов бетонной смеси марки БСГ В7.5 Ж4 ГОСТ 7374-78 заводского состава и состава, включающего гранулы резиновой крошки. Объем замеса был принят равным $0,5 \text{ м}^3$. Из каждого замеса было изготовлено по 30 образцов размером $10 \times 10 \times 10$ см. Состав смесей представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Составы смесей

Состав	Состав смеси, кг/м ³					В/Ц
	Щ	П	Ц	В	РК	
без гранул резиновой крошки	1250	800	150	145	-	0.97
с гранулами резиновой крошки	1250	720	150	145	37,5	0.97

Введение необходимого на замес предварительно отвешенного количества резиновой крошки, производилось вручную параллельно с набором инертных материалов непосредственно в подъемный скип. Крошка находилась в сыпучем состоянии без комков.

После 28 суток хранения в нормальных условиях партия образцов была разделена на серии по 6 образцов. Распределение по сериям проводили случайно (при помощи генератора случайных чисел). Для каждой серии рассчитывалось среднее значение прочности при сжатии, среднее квадратичное отклонение, дисперсия и коэффициент вариации прочности.

Коэффициент вариации прочности серий образцов контрольного состава оказался равным 5,0; 3,5 и 2,7% при 1, 2 и 3 минутах перемешивания соответственно. Значения коэффициента вариации прочности серий образцов, содержащих гранулы резиновой крошки в своем составе, оказались равными 4,0; 3,2 и 2,1% при аналогичном времени перемешивания.

При увеличении времени перемешивания как контрольной смеси, так и смеси с гранулами резиновой крошки в своем составе, снижалось и значение коэффициента вариации прочности, и величина его внутрисерийного размаха. При этом значение коэффициентов вариации прочности при сжатии цементобетонных образцов, содержащих гранулы резиновой крошки в своем составе, несколько ниже аналогичных показателей образцов контрольного состава.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что введение гранул резиновой крошки в количестве 3% по объему в состав цементобетонной смеси не требует увеличения времени перемешивания.

В лабораторных условиях жесткие смеси уплотняют на вибростоле, обеспечивающем определенную частоту и амплитуду вибрации. При этом нагрузку от дорожной уплотняющей техники моделируется при помощи пригруза, создающем давление на поверхность образца 40 г/см^2 (при жесткости смеси до 60 секунд). Окончанием уплотнения образца принято считать момент появления на его поверхности цементного молочка.

По сравнению с традиционными инертными заполнителями, входящими в состав цементобетона, резиновая крошка является компонентом пониженной жесткости обладающим, кроме того, упругими свойствами, вследствие чего можно предположить, что резина способна гасить колебания и приводить к общему недоуплотнению цементобетонной смеси.

Для оценки степени уплотнения цементобетонной смеси с резиновой крошкой был проведен эксперимент, который заключался в определении и сравнении степени уплотнения образцов цементобетона контрольного состава и состава с резиновой крошкой. Определение коэффициента уплотнения проводили для составов с

различной жесткостью (20; 40 и 60 секунд). Уплотнение велось до появления на поверхности образца цементного молочка. Составы смесей представлены в табл. 4.2.

При жесткости смеси 20 секунд коэффициент уплотнения ($K_{упл}$) для традиционного состава оказался равным 0,989, при жесткости 40 секунд – 0,982, при жесткости 60 секунд – 0,983. При аналогичных значениях жесткости коэффициенты уплотнения ($K_{упл}$) состава с резиновой крошкой оказались равны 0,994; 0,983 и 0,982 соответственно.

Таблица 4.2

Составы цементобетонных смесей

Состав	Состав, кг/м ³					$\rho_{расч}$, кг/м ³	В/Ц	Жесткость смеси, с
	Щ	П	Ц	В	ПК			
1	1150	740	170	185	-	2245	1,1	20
2	1150	810	150	165	-	2275	1,1	40
3	1150	870	135	150	-	2305	1,1	60
4	1150	610	185	205	37,5	2188	1,1	20
5	1150	710	160	175	37,5	2233	1,1	40
6	1150	790	145	160	37,5	2285	1,1	60

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что введение в состав цементобетона гранул резиновой крошки в количестве 3% по объему практически не влияет на степень уплотнения смеси.

Производственная проверка полученных результатов была выполнена при строительстве участка Краснопресненской магистрали от ул. Живописная к центру города.

Приготовленная смесь (составы представлены в табл.4.1) к месту укладки транспортировалась автомобилями-самосвалами КамАЗ-6520. Разравнивание цементобетонной смеси и планирование поверхности основания производилась автогрейдером НВМ ВГ 190 ТА-3. Уплотнение слоя основания производилось вибрационным катком Bomag 170AD-2AM за 16 проходов по одному следу.

На заводе, сразу после выпуска смеси, была заформована серия контрольных образцов и образцов экспериментального состава (состояла из образцов-кубов размером 10×10×10см для испытания на морозостойкость и образцов-призм размером 10×10×40см).

На 7 сутки после устройства основания, для определения коэффициента уплотнения цементобетонной смеси и прочностных характеристик, из него были выбурены керны. Средний коэффициент уплотнения как для образцов контрольного состава, так и для образцов цементобетона с включением гранул резиновой крошки оказался равным 0,98.

После 28 суток твердения в нормальных условиях образцы, заформованные на заводе, были испытаны на морозостойкость согласно ГОСТ 10060.0-95. Испытания проводили по второму базовому методу.

Согласно проведенным испытаниям, образцы контрольного состава соответствуют марке по морозостойкости F25 (выдержали 4 цикла). Введение в состав цементобетонной смеси резиновой крошки в количестве 3% по объему способствовало увеличению марки по морозостойкости с F25 до F100 (выдержали 13 циклов).

Различие морозостойкости контрольного состава и состава с резиновой крошкой может объясняться различной поровой структурой. Результаты испытаний, проведенных согласно ГОСТ 12730.3-78 и ГОСТ 12730.4-78, позволяют говорить, что при одинаковой величине открытой пористости ($P_o \approx 17.5\%$), величина условно-замкнутой пористости (P_z) у образцов цементобетона с резиновой крошкой выше почти в 2 раза (9% против 5.2%). Кроме того, введение резиновой крошки способствовало более равномерному распределению пор по размеру, о чем косвенно можно судить, анализируя график отражающий кинетику водопоглощения воды образцами (рисунок 4.3).

Таким образом, введение гранул резиновой крошки в состав низкомарочных цементных бетонов при снижении статической прочности позволяет добиться повышения морозостойкости, что объясняется увеличением условно-замкнутой пористости и созданием более равномерно распределенной по размеру поровой структуры образцов.

Уложенный участок находится под непрерывным визуальным мониторингом. Обследования состояния покрытия после зим 2007 - 10 годов показало отсутствие каких-либо трещин.

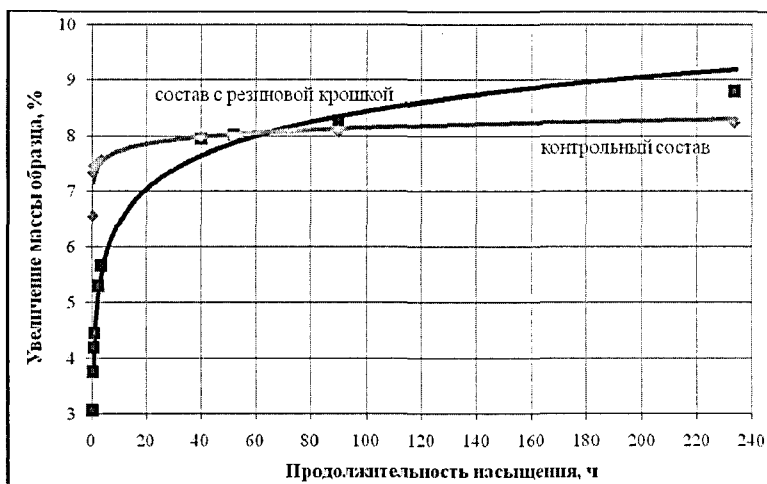


Рисунок 4.3 Кинетика водопоглощения образцами цементобетона

В пятой главе представлены результаты расчетов экономической эффективности применения в качестве оснований низкомарочных цементобетонов.

Эффективность использования в качестве основания низкомарочного цементобетона достигается за счет снижения затрат на содержание покрытия автомобильной дороги. Переход к использованию конструкций, в качестве основания которых применяется низкомарочный цементобетон с включением в свой состав гранул резиновой крошки связано с некоторым (до 7%) увеличением строительной стоимости конструкции. Однако снижение величины действующих в асфальтобетоне покрытия температурных напряжений за счет сокращения вероятности образования и количества появившихся отраженных трещин в асфальтобетонном покрытии снижает требуемые затраты на содержание покрытия дорожной одежды.

Проведенное сравнение суммарных дисконтированных затрат на строительство и эксплуатацию дорожных одежд, устраиваемых при различной интенсивности движения, показало, что применение конструкций, включающих в себя основание из низкомарочного цементобетона, позволяет получить экономический эффект (относительно дорожных одежд с основаниями выполненными из цементобетона марки М150-200, требующих устройство температурных швов через 15 метров) на седьмой – восьмой год эксплуатации.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненные в работе исследования позволили количественно оценить влияние физико-механических свойств материала жесткого основания на величину температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии, устраиваемом на таком основании.

2. Проведенный анализ показал, что одним из возможных путей повышения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий жестких дорожных одежд является использование в качестве основания низкомодульных материалов.

3. В целях снижения величины напряжений и вероятности отраженного трещинообразования асфальтобетонных покрытий в качестве материала жесткого основания целесообразно применять цементобетон марки М50, требуемая морозостойкость которого может достигаться за счет введения в его состав гранул резиновой крошки в количестве 3-5% по объему смеси и размером менее 0,63мм, которые обеспечивают создание дополнительного объема условно-замкнутой пористости материала. Введение гранул резиновой крошки в цементобетон снижает величину модуля упругости и коэффициента температурной деформации, что приводит к уменьшению величины возникающих температурных напряжений.

4. Выполненная производственная проверка показала, что практически никаких технологических осложнений при изготовлении и строительстве цементобетонных слоев с добавкой гранул резиновой крошки не возникает.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В
СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Гладких А.С., Кретов В.А. Влияние модуля упругости цементобетонного основания на величину напряжения в асфальтобетонных покрытиях // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. №1. С. 24-25.
2. Гладких А.С., Кретов В.А. Повышение долговечности «полужестких» дорожных одежд // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. №4. С. 30-32.
3. Гладких А.С., Кретов В.А. Повышение морозостойкости низкомарочных цементных бетонов, используемых для устройства оснований дорожных одежд // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. №4. С. 159-166.
4. Гладких А.С., Кретов В.А. Снижение величины температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии жестких дорожных одежд за счет применения в основании низкомарочных цементобетонов, включающих в свой состав гранулы резиновой крошки // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. №4. С. 166-173.

Заказ № 43-а/04/10 Подписано в печать 12.03.2010 Тираж 100 экз. Усл. п.л. 1



ООО "Цифровичок", тел. (495) 649-83-30
www.cfr.ru ; [e-mail: info@cfr.ru](mailto:info@cfr.ru)