

На правах рукописи



Сошнин Павел Викторович

Оптимизация межремонтных сроков службы городских
автомобильных дорог.

Специальность: 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог,
аэродромов, метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей.

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград 2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Липецком государственном техническом университете.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бондарев Борис Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Подольский Владислав Петрович

кандидат технических наук, доцент
Алексиков Сергей Васильевич

Ведущая организация: Воронежский филиал
ОАО ГипроДор НИИ

Защита состоится 22 мая 2006 года в 13 часов на заседании диссертационного совета К 212.026.02 при ГОУ ВПО Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ауд. Б 203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «20» апреля 2006 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



_____ Казначеев С.В.

2006 А
8747

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Специфичность функционирования городского дорожного хозяйства заключается в том, что в условиях возрастающей интенсивности движения, недостаточности финансирования, ухудшения экологической обстановки не всегда возможно проводить полномасштабные работы по строительству и реконструкции. В связи с этим на первый план выходят вопросы грамотного и эффективного проведения работ по ремонту и содержанию городских дорог и улиц. Кроме того, затраты на содержание и ремонт не могут быть сокращены за счет исключения каких-либо работ. Их номенклатура и объем в настоящее время лишь приближаются к нормативным требованиям, поэтому можно прогнозировать только дальнейшее увеличение материальных, энергетических и финансовых затрат. В связи с этим снижение этих затрат может быть достигнуто за счет внедрения научных исследований в области ресурсо- и энергосберегающих технологий, повышения работоспособности конструкций городских автомобильных дорог, транспортных сооружений и других элементов городской инфраструктуры, применения современной техники, высокопроизводительных машин и механизмов, качественных дорожно-строительных материалов.

Таким образом, появляется возможность увеличения межремонтных сроков, однако научно обоснованных критериев назначения их для городских автомобильных дорог не разработана. В связи с этим оптимизация межремонтных сроков с учетом технологических, экономических и экологических факторов является актуальной научной проблемой.

Цель работы. Разработка параметров оптимизации показателей при использовании прогрессивных технологий ремонта и содержания городских автомобильных дорог для принятия управленческих решений.

Для достижения этой цели решались следующие задачи исследования:

- провести анализ зависимости эксплуатационных, экономических и экологических факторов городских автомобильных дорог от применяемых технологий ремонта и содержания;
- обосновать параметры оптимизации межремонтных сроков городских автомобильных дорог и транспортных сооружений при внедрении прогрессивных технологий ремонта;
- разработать методику определения экономической эффективности дорожно-ремонтных работ и стадийного повышения транспортно-эксплуатационных показателей;
- исследовать долговечность асфальтобетонного покрытия на основе местных дорожно-строительных материалов;
- разработать технологический регламент по приготовлению асфальтобетонных смесей на основе порошкообразных наполнителей и активаторов из гидрофобизирующих добавок на основе местных материалов;

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С. Петербург
09 2006 акт 350

- разработать методику по определению показателей функциональности конструктивных элементов городских дорог и элементов городской инфраструктуры;

- разработать методику прогнозирования циклической долговечности элементов конструкций проезжей части городских транспортных сооружений с применением современных конструкционных материалов.

Научная новизна работы:

- разработана методика определения экономической эффективности дорожно-ремонтных работ и стадийного повышения транспортно-эксплуатационных показателей;

- разработана методика по определению показателей функциональности конструктивных элементов городских дорог и элементов городской инфраструктуры;

- исследована долговечность асфальтобетонных покрытий на основе шлаковых заполнителей и отходов фрезерования старых покрытий;

- разработан технологический регламент по приготовлению асфальтобетонных смесей на основе местных материалов, позволяющий улучшить транспортно-эксплуатационные показатели городских автомобильных дорог;

- разработана методика прогнозирования циклической долговечности элементов конструкций проезжей части городских транспортных сооружений;

- разработана вероятностная математическая модель, базирующаяся на теории массового обслуживания, позволяющая определять число бригад дорожных служб, занимающихся ремонтом и содержанием городских автомобильных дорог;

- предложена структура симметричной модели «Автомобиль-транспортный поток-окружающая среда» и вид критерия оптимальности, учитывающего качество окружающей среды с применением метода смешанного управления.

Достоверность исследований и выводов по работе обеспечена методически обоснованным комплексом исследований с использованием стандартных средств измерений и подтверждается применением вероятностно-статистических методов обработки результатов испытаний, а также опытными испытаниями и их положительными практическими результатами, не противоречащими выводам известных положений, сходимостью результатов испытаний.

Практическая значимость и реализация результатов научных исследований заключается в:

- разработке рекомендаций по научному обоснованию межремонтных сроков службы городских автомобильных дорог;

- апробации диаграмм изменения показателя функциональности конструктивных элементов городских автомобильных дорог;

- составлении технологического регламента по применению асфальтобетонной смеси принятого состава;

- апробации методики определения долговечности асфальтобетонных принятого состава;

- разработке технологии устройства покрытия путепровода на автомобильной дороге Орел-Ливны-Елец-Липецк-Тамбов и набережной р. Воронеж в г. Липецке с применением композиционных материалов;

- использовании результатов диссертационных исследований при обучении студентов по дисциплинам «Дорожно-строительные материалы», «Долговечность строительных материалов и конструкций» при подготовке специалистов на инженерно-строительном факультете ЛПТУ.

Апробация работы.

Основные результаты проведенных исследований были доложены на:

- научно-практической конференции преподавателей и сотрудников, посвященной 30-летию НИС ЛПТУ в 2003 г.;

- областной научно-практической конференции «Наука в Липецкой области: истоки и перспективы в г. Липецке в 2004 г.»;

- VI-ой научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Липецке в 2005 г.;

- II, III научно-практических конференциях «Новые технологии в дорожном строительстве» в г. Звенигороде в 2004 г., г. Туапсе в 2005 г.

Публикации.

Результаты исследований диссертационной работы опубликованы в 8-ми печатных работах объемом 27 стр., из них автору принадлежит 16 стр.

На защиту выносятся:

- методика определения экономической эффективности дорожно-ремонтных работ и стадийного повышения транспортно-эксплуатационных показателей;

- методика по определению показателя функциональности конструктивных элементов городских дорог и элементов городской инфраструктуры;

- методика прогнозирования долговечности асфальтобетонных по результатам длительных испытаний образцов в условиях, имитирующих работу дорожного покрытия в течение года;

- теоретическое обоснование использования наполнителя из шлака ТЭЦ и активатора – гидрофобизирующей жидкости ГКЖ-4 в составах асфальтобетонных;

- обеспечение параметров оптимизации эксплуатационных показателей на основе вероятностной модели теории массового обслуживания;

- симметричные математические модели «Автомобиль-транспортный поток-окружающая среда» для оценки качества окружающей среды в городских условиях;

- теоретические и экспериментальные исследования циклической долговечности композиционных материалов в элементах конструкций городских транспортных сооружений.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов и рекомендаций, приложений. Она включает 211 страниц, из них 185 страниц основного текста, 37 таблиц, 45 иллюстраций, 143 наименований используемой литературы, 5 приложений.

Автор благодарит научного консультанта д.н.т., профессора Корнеева А.Д. за помощь в решении задач и проблем настоящей работы.

Содержание работы

Во введении определена актуальность темы, цели и задачи работы, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту научная и практическая значимость работы.

В первой главе представлен анализ литературных источников по результатам исследований приведенных в области ремонта и содержания городских автомобильных дорог. Показаны особенности проведения работы по содержанию и ремонту в городских условиях. Приведены объективные характеристики существующих и перспективных технологий ремонта и содержания городских автомобильных дорог. С учетом актуальности рассматриваются проблемы, сформулированы цели и задачи исследований.

Во второй главе, исходя из задач исследований, изложена программа и методика проведения экспериментов, описаны элементы конструкций из асфальтобетона и полиэфирного полимербетона ПН-609-21М и технологии их изготовления. Для испытаний на долговечность были изготовлены образцы-цилиндры общепринятых размеров диаметром 71,4 мм. Опытные элементы для исследования циклической долговечности композиционных материалов в элементах конструкций проезжей части городских транспортных сооружений были изготовлены в виде призм размерами 100x100x400 мм и балок размерами 40x80x1000 мм с расчетным пролетом $L = 880$ мм. Растянутая зона армировалась двумя-четырьмя стержнями СПА $d = 6$ мм, имеющей площадь рабочего сечения $A_s = 0,56 - 1,12 \text{ см}^2 \mu = 1,77 - 3,54$. Применяли стеклопластиковую арматуру, выполненную из алюмоборосиликатного волокна на эпоксифенольном связующем. Характеристики СПА следующие: разрывное усилие $P = 39$ Кн; предельная растяжимость $\epsilon_{br} = 278,2 \times 10^{-4}$; временное сопротивление разрыву $R_{gt} = 1378$ МПа. Состав полимербетонной смеси (массе %): щебень гранитный фр. 5 – 10 мм – 52; песок кварцевый крупностью 0,6 – 1,25 мм – 28; андезитовый микронаполнитель фр. 0,15 мм – 11; полиэфирная смола ПН-609-21М – 9; нафтенат кобальта – 8 (от массы смолы); гипериз – 4 (от массы смолы). Технология приготовления полимербетонной смеси общепринятая.

Экспериментальные исследования проводили на испытательной машине ГРМ-2А, с пульсатором, армированные элементы при изгибе на специально сконструированном стенде, позволяющем создавать

пульсирующую нагрузку с помощью электромагнита и регулируемой частотой приложения нагрузки.

В третьей главе приведены результаты исследований долговечности асфальтобетонов, как на шлаковых заполнителях с активированным наполнителем из шлама ТЭЦ-2, так и на заполнителях из отходов фрезерования старых покрытий по аналогии с полимербетонами. По этому методу образцы асфальтобетонов испытывали в агрессивной среде в условиях максимально приближенных к условиям эксплуатации. Длительность испытаний составила 360 циклов, по результатам которых определяли коэффициент химической стойкости (K_{xc}) по потерям массы или прочности. При этом полагали, что под действием агрессивной среды в течение 360 циклов снижение K_{xc} не должно превышать 50%. Длительность каждого цикла составляла 8 часов.

Для имитации работы образцов в естественных условиях работы покрытия осуществляли попеременное замораживание – оттаивание образцов в 30%-ном растворе поваренной соли NaCl. В воду помимо соли добавляли кварцевый песок, поскольку гелевые оболочки из кремниевой кислоты, образующиеся на зернах кварцевого песка при его увлажнении, могут переходить в воду, усиливая агрессивность среды. Зависимости потерь массы и прочности от продолжительности испытаний представлены на рисунке 1, откуда видно, что вначале, при насыщении в воде до 15 суток, происходит снижение прочности, а при испытании до 90 циклов, ее рост.

По потере прочности рассчитывали K_{xc} . При этом установлено, что прогнозируемая долговечность асфальтобетона оптимального состава не менее 10 лет, поскольку потери массы не превышают 0,5%, прочность после испытаний остается достаточно высокой и K_{xc} не ниже 0,5.

С целью утилизации при ремонтах дорог отходов от фрезерования старых покрытий были исследованы составы асфальтобетонов на этих заполнителях. Эксперименты показали, что расход битума в них не может быть до 1% и при нагревании до температуры 130...150°C его можно не вводить, т.к. такой заполнитель имеет дефектную структуру, была исследована долговечность асфальтобетона и на этих заполнителях по методике, описанной выше, при расходе битума 0% и 1%. Анализ этих результатов позволил сделать вывод, что долговечность асфальтобетона на отходах от фрезерования также составит не менее 10 лет. При введении 1% битума прогнозируемая долговечность такого покрытия увеличивается, по сравнению с асфальтобетоном без добавки битума.

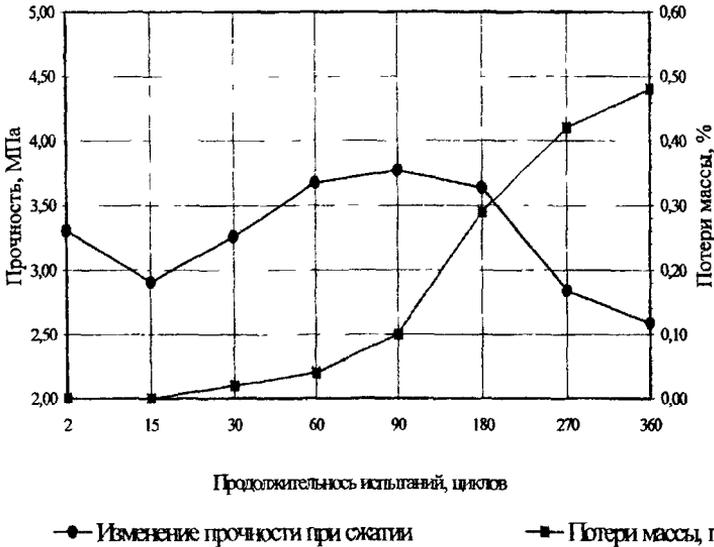


Рисунок 1. Изменение прочности и потери массы в зависимости от продолжительности испытаний

В четвертой главе рассматриваются экономико-экологические аспекты оптимизации межремонтных сроков городских автомобильных дорог. В качестве одного из основных критериев оптимизации предлагается показатель функциональности.

Метод прогнозирования межремонтных сроков по этому показателю состоит из следующих основных этапов.

1 этап. По фактическим результатам диагностики автомобильных дорог или теоретическим расчетам (по скорости разрушения материала в данных агрессивных условиях производства) определяют (вычисляют) сроки службы всех конструктивных элементов дороги (подстилающий слой, основание).

2 этап. Устанавливаются основные конструктивные элементы, влияние которых оказывает существенное влияние на работу всей дороги, чаще всего это подстилающий слой. От его физического износа зависит функциональность других элементов, например, основания и дорожного покрытия. Из этих выбранных конструктивных элементов главную роль играет элемент покрытия, т.к. разрушение ведет к разрушению всей конструкции дорожной одежды.

3 этап. По результатам обследований и диагностики устанавливается физический износ всех конструктивных элементов дороги, составляется дефектная ведомость, вычисляется стоимость ремонтных работ, необходимых для устранения этих дефектов и восстановления нарушенных

функций данных конструктивных элементов C_p , а также их восстановительную стоимость $C_{в.}$.

4 этап. Строится график зависимости показателя функциональности главного конструктивного элемента от времени эксплуатации в данных условиях (при отсутствии ремонта) и на его основе строится график зависимости показателя функциональности дорожного покрытия на весь период работы главного конструктивного элемента (основания см. рис. 2). При этом руководствуемся следующим положением.

1) показатель функциональности конструктивного элемента определяется по формуле (1)

$$P_{\phi} = 1 - \frac{C_p}{C_{в.}}, \quad (1)$$

где C_p - стоимость ремонтных работ по восстановлению функции конструктивного элемента, руб.; $C_{в.}$ - восстановительная стоимость конструктивного элемента (балансовая), руб.

- 2) зависимость вида ремонта от показателя функциональности
- текущий (выборочный) - 1,0 - 0,8;
 - текущий (комплексный) - 0,8 - 0,6;
 - капитальный (комплексный с заменой) - 0,6 - 0,4.

5 этап. С помощью графика зависимости показателя функциональности дорожного покрытия слоя определяется для него межремонтные сроки, составляется перспективное планирование ремонтов конкретного вида дорожного покрытия и его экономическую эффективность при разных видах материалов дорожного полотна.

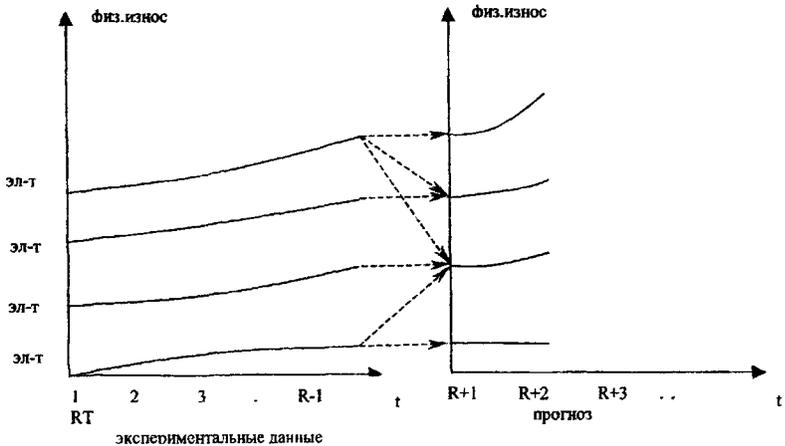


Рисунок 2. Оценка физического износа конструктивных элементов дороги

Введем обозначения:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=0}^{T-t_j} x_{ijt} z_{ijt} \leq C - \text{физический износ } i - \text{го конструктивного элемента в}$$

момент времени t ; $i = 1, \dots, N$, $t = 1, \dots, T$.

Здесь N – количество конструктивных элементов, может варьироваться в зависимости от типа дороги;

R – длительность периода эксплуатации дороги.

τ – момент времени от начала периода планирования, для которого строится прогноз.

Состояние конструктивного элемента в момент времени $T+\tau$ прогнозируется с использованием так называемой сигномиальной функции. Регрессионная модель имеет следующую нелинейную структуру:

$$y_{i(T+\tau)} = \sum_{i=R-E}^R \sum_{i=1}^N a_{ii} \phi_i(y_{ii}) + \sum_{i=R-D}^R c_i \exp\left(\sum_{i=1}^N b_{ii} y_{ii}\right), \quad (2)$$

- где $y_{i(T+\tau)}$ - значение износа конструктивного элемента в момент времени τ от начала периода планирования; a_{ii} - оценки коэффициентов регрессии линейной части, определяемые по экспериментальным данным; $\phi_i(y_{ii})$ - базисные функции, выбираемые из условия максимальной адекватности модели; c_i и b_{ii} - оценки коэффициентов нелинейных составляющих регрессионной зависимости; E и D - количество составляющих линейной и нелинейной частей модели, выбираемые из условия максимальной адекватности.

Исходными данными для задачи планирования ремонтных работ являются оценки показателей функциональности всей дороги, ее отдельных конструктивных элементов, оценки стоимости ремонтных работ, объем выделенных финансовых средств.

В зависимости от показателя функциональности дороги используется один из критериев для принятия решения о проведении ремонтных работ.

1. Аварийное состояние (показатель функциональности – от 0 до 0,4). Решение о проведении комплексного капитального ремонта принимается специалистами.

2. Показатель функциональности от 0,4 до 0,6 В этом случае проводится комплексный капитальный ремонт, в первую очередь для дороги с наиболее низким показателем функциональности.

3. Значение показателя функциональности лежит в пределах от 0,6 до 1. В этом случае проводится выборочный капитальный ремонт. Решение о распределении финансовых средств принимается по результатам решения оптимизационной задачи, критерием которой является максимизация экономического эффекта от проведения ремонтно-восстановительных работ.

В задаче распределения финансовых средств учитывается, что стоимость ремонтно-восстановительных работ для любого конструктивного элемента с течением времени изменяется в связи с тем, что увеличивается физический его износ.

План выборочных капитальных ремонтов записывается в виде множества таблиц. для каждой дороги, входящей в план составляется таблица следующего формата.

Таблица 1. План выборочных капитальных ремонтов

Время	Конструктивный элемент			
	Подстилающий слой $i=1$	Основание $i=2$...	Дорожное покрытие $i=4$
1	$З_{11} Э_{11}$	$З_{21} Э_{21}$		$З_{41} Э_{41}$
2	$З_{12} Э_{12}$	$З_{22} Э_{22}$		$З_{42} Э_{42}$
3	$З_{13} Э_{13}$	$З_{23} Э_{23}$		$З_{43} Э_{43}$
...				
T-1	$З_{1T-1} Э_{1T-1}$	$З_{2T-1} Э_{2T-1}$		$З_{4T-1} Э_{4T-1}$
T	$З_{1T} Э_{1T}$	$З_{2T} Э_{2T}$		$З_{4T} Э_{4T}$

Масштаб времени может быть выбран произвольно, поэтому индексы времени 1,2,3..., T-1, T могут обозначать дни, недели, декады и т.д.

В каждой ячейке таблицы занесены стоимости оценки затрат на ремонт конструктивного элемента №i здания №j в момент времени t.

Задача планирования сводится к построению оптимального графика проведения выборочных капитальных ремонтов. период ремонта конструктивного элемента дороги на этой таблице можно условно обозначить, к примеру, затемнением.

Для формального описания задачи введем следующие обозначения:

x_{jt} – булева переменная, определяемая следующим образом:

$x_{jt} = \{1, \text{если } i - \text{ый элемент } j - \text{ой дороги подлежит ремонту в момент } t;$

0, иначе;

τ_{jt} – нормативное время ремонта i – го конструктивного элемента j – ой дороги в момент времени t;

T – длительность периода планирования;

$З_{jt}$ – затраты на ремонт i – го конструктивного элемента j – ой дороги в момент времени t;

c – объем финансирования ремонтных работ на период планирования;

$Э_{jt}$ – экономическая выгода от ремонта i – го конструктивного элемента j – ой дороги в момент времени t;

W – максимальное количество одновременно проводимых работ.

Необходимо решить следующую оптимизационную задачу:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=0}^{T-t_j} x_{jt} (Э_{jt} - З_{jt}) \rightarrow \max \quad (3)$$

при следующих ограничениях:

1. Ограничение на объем финансовых средств

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=0}^{T-t_j} x_{jt} З_{jt} \leq C. \quad (4)$$

2. Ограничение на количество одновременно проводимых работ

$$\max_{v_i} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \leq W, \quad (5)$$

где $w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_{j0} \leq t \leq t_{j0} + \tau_{ij}, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$ t_{j0} – момент начала ремонта i – го конструктивного элемента j – ой дороги.

Таким образом, используя вышеприведенные данные можно построить математическую модель, позволяющую построить оптимальный график проведения капитального ремонта городской автомобильной дороги.

В работе Говорова В.В. приведена методика определения сроков начала ремонта и содержания дорог общего пользования на основе теории массового обслуживания. Однако ремонт городских автомобильных дорог имеет свои особенности, и он может вестись в различных точках города и не носить линейный характер. В связи с этим вышеуказанная методика претерпевает ряд изменений. Пусть имеется определенный объем работ по ремонту городских улиц и дорог, расположенных в различных точках города (Q). Добиться n равнозначных участков можно лишь суммированием объемов работ, желательно на городских дорогах, расположенных вблизи друг от друга. Пусть m – количество городских улиц и дорог, ждущих очереди на ремонт. Математическая модель разработана для n равнозначных участков на автомобильной дороге с интенсивностью ремонта λ , а также для максимального числа участков, ждущих ремонта «в очереди», m . Очевидно, что суммарное число участков, на которых проводятся работы и ожидающих своей очереди для ремонта не должно превышать величины N :

$$n+m < N \quad (6)$$

Если поступило k заявок при условии выполнения ограничений $k < n$, то все они ремонтируются.

Если на обслуживании находится $(n+r)$ участков, причем $n < r$, то из них n обслуживаются, а r стоят в очереди до начала обслуживания.

Примем также, что время ожидания $t_{ож}$ подчиняется экспоненциальному закону распределения:

$$P(t_{ож} < t) = 1 - \exp(-vt), \quad (7)$$

где v – интенсивность обслуживания, мин^{-1} .

Заявка на обслуживание не может быть принята, если в очереди все m мест заполнены, то есть бригады по ремонту и техника заняты. Кроме того, примем, что участок покрытия может ремонтироваться во внеурочное время бригадой или другим управлением, если в ожидании потеряно время $t > t_{ож}$.

Обозначим через $S_0, S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_{n+r}, \dots$ – состояние системы массового обслуживания:

- S_0 – в системе на всех участках закончен ремонт и все бригады свободны; S_k – имеется k , и все они ремонтируются, $k = 1, 2, \dots, n$; S_{n+r} – имеется $n+r$ участков, из них n участков ремонтируются, а r – ждут в очереди, $r = 1, 2, \dots, m$.

Обозначим также через $P_k(t)$, $k = 0, 1, 2, \dots, n, n+1, n+2, \dots, n+m$, вероятность того, что объекты массового обслуживания в момент t находятся в состоянии S_k .

Переходы в системе массового обслуживания можно описать теорией графов. Вероятности указанных состояний описываются дифференциальными уравнениями Колмогорова.

Система классических линейных дифференциальных уравнений Колмогорова решалась при граничных условиях:

$$P_0(0)=1; P_k(0)=0 \quad k = 1, 2, \dots, n+m$$

Стационарное состояние было получено при $t \rightarrow \infty$ и вероятности $P_k(t)=0$ при $k=0, 1, \dots, n+m$.

Знание вероятности P_k позволяет вычислить:

- длину очередности ремонта:

$$m^* = \sum_{k=n+1}^{n+m} (k-n)P_k; \quad (9)$$

- среднее общее число ремонтируемых участков на автомобильной дороге:

$$N^* = \sum_{k=1}^{n+m} kP_0; \quad (10)$$

- среднее число свободных от ремонта участков:

$$n^* = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k)P_k; \quad (11)$$

- среднее число бригад и техники, занятых ремонтом:

$$n - n^*; \quad (12)$$

- вероятность отказа ремонта участков в виду занятости бригад и техники:

$$P_{отк} = 1 - (n - n^*)/\alpha; \quad (13)$$

- среднее время ожидания ремонта участка в очереди (заявки на ремонт):

$$m_0 = m^*/\lambda. \quad (14)$$

С помощью данной математической модели решается вариационная задача определения оптимального числа ремонтных бригад на отдельных участках, для обеспечения высшего качества содержания обслуживаемого участка автомобильной дороги при условии достаточного финансирования и отсутствии очереди на ее содержание и ремонт.

Учет эколого-экономических факторов при проектировании и содержании городских автомобильных дорог может быть осуществлен в помощью математических моделей.

При их разработке возникает проблема выбора адекватной структуры математической модели.

Наиболее целесообразным для решения данной задачи является применение симметричных моделей и методов смешанной идентификации и управления. Термин «Смешанное управление» связан с тем, что задана часть координат как входных воздействий, так и состояний, требуется же определить оставшиеся неизвестные координаты входа и состояния. Пусть в системе «Автомобиль-транспортный поток-окружающая среда» v – входное управление, x – состояние узлов. Окрестности узлов системы по входу и состоянию в простейшем случае имеют вид:

$$\begin{aligned} O_v[1] &= \{1\}; O_v[2] = \{2\}; O_v[3] = \{3\}; \\ O_x[1] &= \{1,2,3\}; O_x[2] = \{1,2,3\}; O_x[3] = \{1,2,3\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Узел 1 представляет собой при детальном описании совокупность отдельных систем типа «Автомобиль», узел 2 – совокупность систем типа «Транспортный поток», узел 3 – «Окружающая среда». В симметричной системе уравнения узлов имеют следующий вид (обозначения узлов заменены их номерами)

$$\begin{aligned}\Omega[1,1]x[1]+\Omega[1,2]x[2]+\Omega[1,3]x[3]&= \Xi[1,1]v[1], \\ \Omega[2,1]x[1]+\Omega[2,2]x[2]+\Omega[2,3]x[3]&= \Xi[2,2]v[2], \\ \Omega[3,1]x[1]+\Omega[3,2]x[2]+\Omega[3,3]x[3]&= \Xi[3,3]v[3].\end{aligned}\quad (16)$$

По экспериментальным данным проведена параметрическая идентификация системы.

Разработка подходов для эффективного управления, в частности, минимизирующего вредные экологические последствия, требует задания критерия оптимальности. Подходящим является использование одного из самых распространенных – квадратичного. Формирование симметричной модели приводит к включению в критерий как состояния, так и входных воздействий:

$$J = \sum_{i=1}^N (x_i - x_i^0) \quad (17)$$

где – выбранные показатели из числа компонент состояний узлов системы; – экстремальные значения соответствующих показателей, задаваемые экспертами (например, экологами); – то же для компонент входа.

Возможность использования окрестностных моделей для повышения эффективности функционирования автотранспортных систем была апробирована не только при исследовании влияния изменения скорости автомобиля на массу вредных веществ с отработавшими газами, но и расход топлива, уровень шума и другие показатели.

Наиболее общим критерием для оптимизации процесса последовательности и сроков проведения мероприятий по стадийному повышению транспортно-эксплуатационных качеств дорог являются приведенные затраты.

$$C = K_1 + \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_{t_1} + \mathcal{E}_{d_1}}{(1+E)^i} + \frac{K_2}{(1+E)^2} + \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_{t_2} + \mathcal{E}_{d_2}}{(1+E)^i} + \dots + \frac{K_n}{(1+E)^n} + \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_{t_i} + \mathcal{E}_{d_i}}{(1+E)^i} \rightarrow \min, \quad (18)$$

где K_1 – капитальные затраты на строительство дорог, соответствующие первому транспортно-эксплуатационному состоянию; $K_2 \dots K_n$ – капитальные затраты, связанные с переходом из первого транспортно-эксплуатационного состояния во второе, из второго в третье и так далее до n -го эксплуатационного состояния; $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ – соответственно год перехода из предыдущего транспортно-эксплуатационного состояния в последующее; $\mathcal{E}_{t_1}, \mathcal{E}_{d_1}, \mathcal{E}_{t_2}, \mathcal{E}_{d_2} \dots \mathcal{E}_{t_n}, \mathcal{E}_{d_n}$ – транспортные и дорожные затраты, соответствующие определенному транспортно-эксплуатационному состоянию; E – коэффициент приведения разновременных затрат (принимается $E = 0,08 \dots 0,12$).

Транспортно-эксплуатационные расходы Эт (тыс. руб.) зависят от интенсивности движения, себестоимости перевозок и определяются по формуле

$$\text{Э}_T = 0,365N_0\varphi(t)LS, \quad (19)$$

где N_0 – среднегодовая суточная интенсивность движения на исходный год, авт/сут; $\varphi(t)$ – закономерность изменения во времени интенсивности движения; L – длина участка дороги, км; S – себестоимость перевозок.

Для определения себестоимости перевозок можно использовать формулу

$$S = \frac{a_2 + b_3V}{V}, \quad (20)$$

где V – средне-техническая скорость движения по городской дороге; – параметры себестоимости для среднеприведенных автопоездов с учетом мощности двигателей, средней скорости и расходной ставки каждого из автопоездов.

Дорожно-эксплуатационные расходы Эд (тыс. руб.) включают ежегодные расходы на проведение текущего ремонта и содержания автомобильных городских дорог, а также расходы на проведение средних ремонтов, приведенных к одному году. Дорожно-эксплуатационные расходы определяются на основе усредненного значения себестоимости расходов, отнесенных к 1 брутто-тоне с учетом интенсивности движения, вычисляются по формуле

$$\text{Э}_D = 0,365S_D L B_N N_0 \varphi(t), \quad (21)$$

где B_N ; $N_0\varphi(t)$ – суммарное количество брутто-тонн, прошедших по дороге за рассматриваемый год; B_N – средняя масса автомобиля в потоке, брутто-тон; L – длина участка, км.; S_D – себестоимость затрат на средний ремонт, содержание и устранение негативного воздействия дороги на окружающую среду.

Применение стадийного принципа с целью повышения транспортно-эксплуатационных качеств увеличивает эффективность использования капитальных вложений и позволяет управлять процессом развития дороги во времени.

Исходными данными для определения оптимальных сроков стадийного повышения транспортно-эксплуатационных качеств является информация об их транспортно-эксплуатационном состоянии, характере изменения интенсивности движения. Поэтому точность конечных результатов зависит от достоверности исходного материала, что указывает на необходимость тщательного их анализа.

На рисунке 3 приведена блок схема алгоритма стратегии развития городской автомобильной дороги. Алгоритм реализован в программе, составленной для ЭВМ.

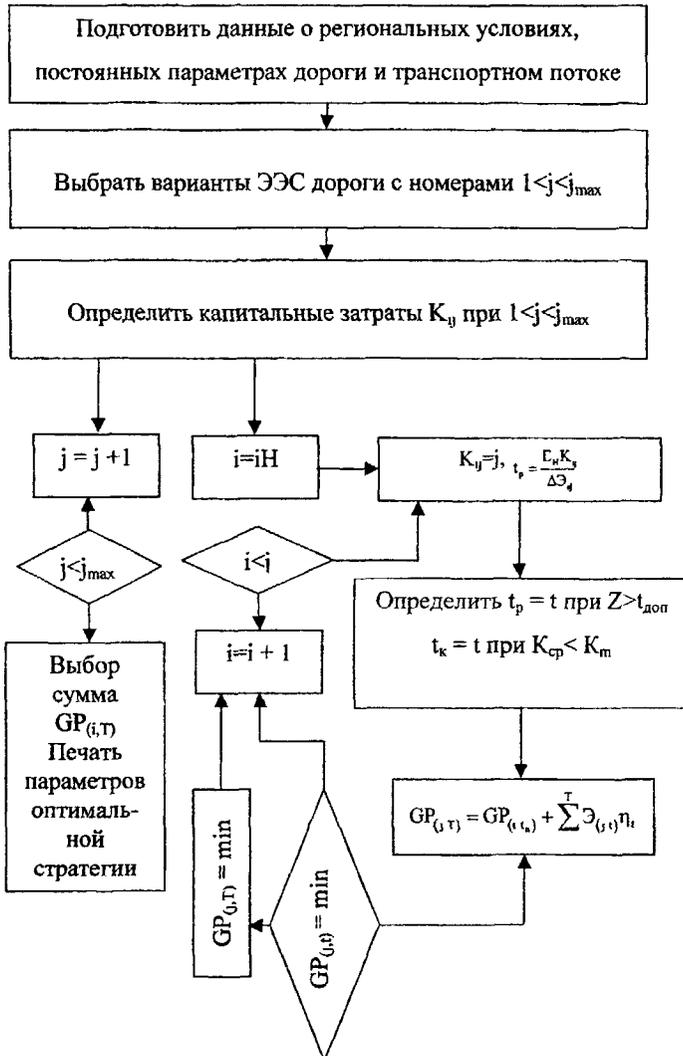


Рисунок 3. Укрупненная блок-схема алгоритма оптимизации развития городской автомобильной дороги.

В пятой главе рассматривается возможность применения в элементах конструкций городских транспортных сооружений композиционных материалов. Для создания прочных, долговечных дорожных покрытий, обладающих повышенной износоустойчивостью и стойкостью к различным агрессивным реагентам (вода, соли, масла и т.д.) исследовали полимербетоны

на основе полиэфирных фурфуролацетоновых, эпоксидных и карбамидных смол. Наиболее перспективным материалом для конструкций проезжей части является полиэфирный полимербетон, имеющий стоимость в 2-3 раза ниже эпоксидного, способный отверждаться при отрицательных температурах. Полиэфирные полимербетоны обладают достаточной водостойкостью ($K_v = 0,7-0,85$), морозостойкостью 300-500 циклов, истираемостью 0,3-1,0 мг/см^2 . Высокая агрессивная стойкость к различным щелочам и кислотам и изменяемость его окраски позволяет получать агрессивнотрещиностойкие покрытия проезжей части мостов.

Для изготовления образцов применялась полимербетонная смесь, приготовленная в соответствии с требованиями СН-525-80 с корректировкой на местные наполнители, исходя из размеров и армирования образцов.

Исследования велись по трем направлениям: исследование выносливости, полиэфирного полимербетона, СПА и стеклопластполимербетонных (СПБ) элементов.

Испытания на выносливость проводили на образцах в виде призм сечением 100 x 100x400мм на испытательной машине ГРМ-2А с частотой приложения нагрузки 670 циклов в минуту и коэффициентами асимметрии цикла $\rho = 0,1; 0,3; 0,6$. Предел выносливости у образцов, испытанных с коэффициентом асимметрии цикла $\rho = 0,1$ оказался равным $0,34R_b$, а корреляционное уравнение в области ограниченной выносливости имеет вид:

$$a_N = 80,21 - 8,951 \lg N; \quad (20)$$

Предел выносливости полимербетона при $\rho = 0,3$ $\sigma_N = 0,39R_b$, а уравнение имеет вид:

$$a_N = 76,85 - 7,751 \lg N, \quad (21)$$

при $\rho = 0,6$ $\sigma_N = 0,45R_b$, а уравнение запишется так:

$$a_N = 72,30 - 6,051 \lg N \quad (22)$$

На рисунке 4 приведены построенные по уравнениям 20, 21, 22 корреляционные прямые в полулогарифмической системе координат.

Испытания на выносливость стеклопластиковой арматуры велись на испытательной машине ГРМ-2А с пульсатором. Для захвата арматурного стержня были изготовлены специальные конусные зажимы. Всего было испытано 36 образцов по 12 в каждой серии длиной по 800 мм, при $\rho = 0,3; 0,6; 0,8$ и частоте приложения нагрузки 330 циклов в минуту и образцы доводились до разрушения.

По результатам испытаний получены уравнения эмпирической линии выносливости СПА (рис. 5, 6):

$$\text{при } \rho = 0,3 \quad \sigma_N = 2004,06 - 215,6 \lg N; \quad (23)$$

$$\text{при } \rho = 0,6 \quad \sigma_N = 2001,2 - 204,32 \lg N; \quad (24)$$

$$\text{при } \rho = 0,8 \quad \sigma_N = 1509,5 - 111,83 \lg N; \quad (25)$$

$$\text{на базе } 2 \times 10^6 \text{ циклов } \sigma_N = 0,47R_{gl}, \text{ при } \rho = 0,3;$$

$$\sigma_N = 0,53R_{gl}, \text{ при } \rho = 0,6;$$

$$\sigma_N = 0,58R_{gl}, \text{ при } \rho = 0,8. \quad (26)$$

Для исследования прочности, жесткости и трещиностойкости СПБ элементов изготавливались плиты размером 600x1000мм и толщиной 80мм,

армирование СПА диаметром 6мм. Степень предварительного натяжения принималась равной 0,4;0,5;0,6 временного сопротивления СПА. Напряжения в полимербетоне от обжатия составили 17-22% предела прочности. После спуска натяжения и длительной выдержки данные плиты были испытаны на изгиб кратковременной возрастающей нагрузкой на машине ГМС-100А. Испытания показали, что трещиностойкость армополимербетонных плит возрастает по сравнению с обычными в 2-2,6 раза. Суммарные потери предварительного напряжения не превышают 30% начальных контролируемых.

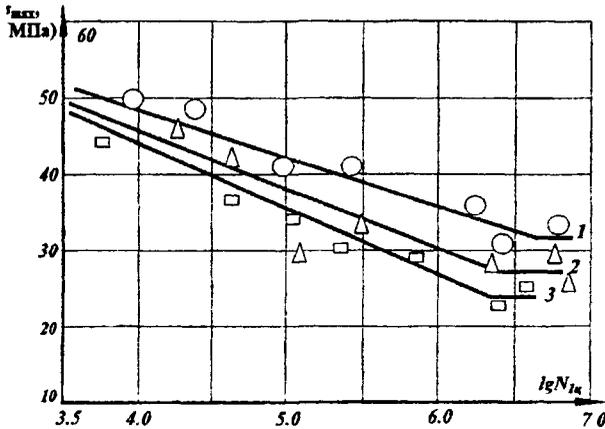


Рисунок 4. Кривые выносливости сжатых полимербетонных элементов в координатах « σ_{max} - $lg N$ »: 1 - $\rho = 0,6$; 2 - $\rho = 0,3$; 3 - $\rho = 0,1$.

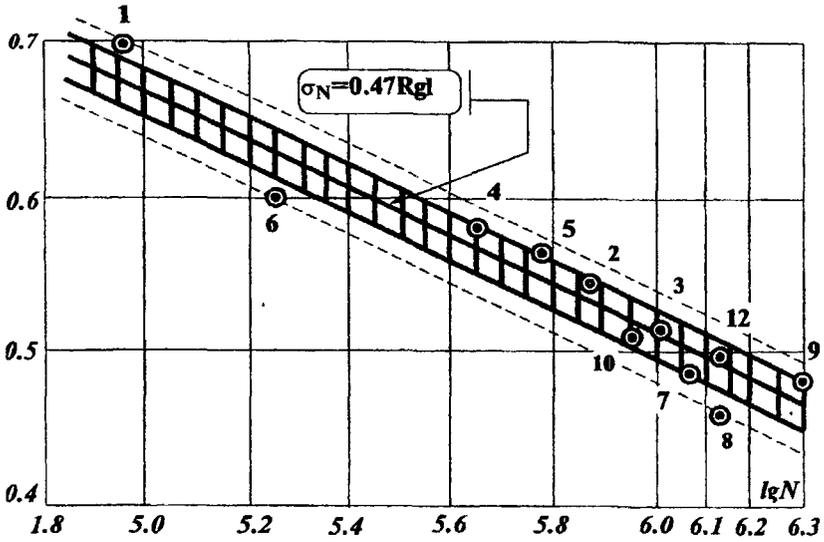


Рисунок 5. Линия выносливости стеклопластиковой арматуры при $\rho = 0,3$.

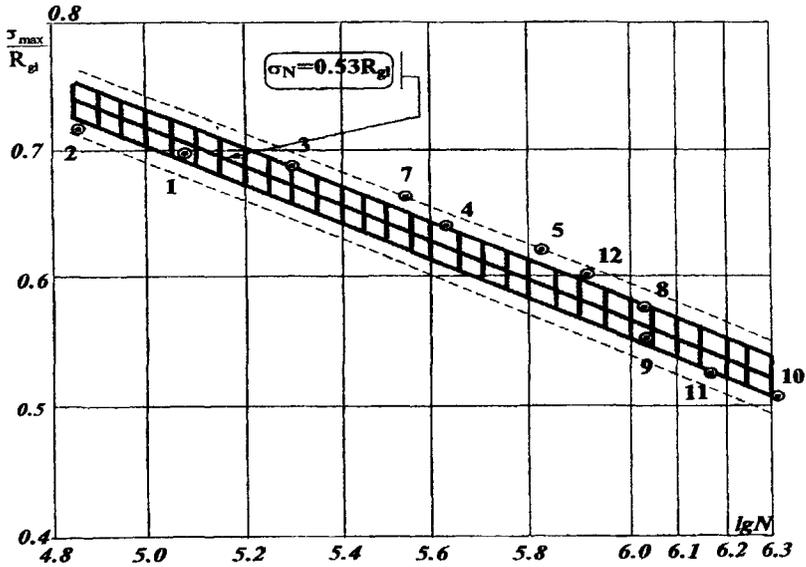


Рисунок 6. Линия выносливости стеклопластиковой арматуры при $\rho = 0,6$

В шестой главе осуществлялась разработка конструкции дорожной одежды с верхним покрытием из разработанного оптимального состава. Разработана и предложена к внедрению конструкция в соответствии с требуемым модулем упругости. Расчеты вели по допускаемому упругому прогибу и по напряжениям в монолитных слоях при прогибе, с учетом перспективной интенсивности движения. Расчеты установили возможность уменьшить толщину верхнего слоя дорожного покрытия с 6 до 5 см без снижения его несущей способности за счет повышенной плотности и прочности асфальтобетона оптимального состава с повышенными показателями физико-механических свойств. Такая конструкция дорожной одежды была внедрена на опытных участках с верхним слоем асфальтобетонного покрытия из разработанного оптимального состава. Ее схема представлена на рисунке 7. В результате расчетов установлена более высокая несущая способность дорожной конструкции, по сравнению с базовой, при снижении толщины покрытия с 6 до 5 см.

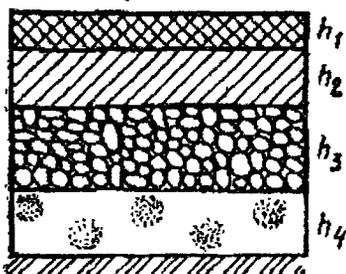


Рисунок 7. – Предложенная конструкция, $E_{TP}=252$ МПа:

h_1 – мелкозернистый асфальтобетон; h_2 – крупнозерн. асф.; h_3 – щебень шлаковый; h_4 – песок среднезерн.

Практическое использование разработанных составов и предложенной конструкции дорожной одежды осуществлялось предприятиями ООО «Автобаи-Липецк» г. Липецка. Укладка горячей шлаковой асфальтобетонной смеси производилась в верхний слой двухслойного покрытия по набережной р. Воронеж в г. Липецке.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана структурная модель оптимизации транспортно-эксплуатационных показателей городских автомобильных дорог с разработкой методики их стадийного улучшения.
2. Разработана методика по определению показателей функциональности конструктивных элементов городских дорог и элементов городской инфраструктуры.

3. Установлено, что применение симметричной модели и метода смешанного управления для нахождения сочетания параметров обеспечивает минимальный эколого-экономический ущерб от автотранспорта.

4. Предложена вероятностная математическая модель, базирующаяся на основе теории массового обслуживания, позволяющая определить число бригад дорожных служб, занимающихся ремонтом и содержанием городских автомобильных дорог и межремонтные сроки.

5. Разработана методика прогнозирования долговечности шлаковых асфальтобетонов, отличающаяся имитацией условий работы дорожного покрытия в течение года. Условия испытаний были более жесткими по сравнению с требованиями нормативных документов. По результатам длительных испытаний производилось прогнозирование долговечности по потере массы, прочности и снижению коэффициента химической стойкости для шлаковых асфальтобетонов оптимального состава и асфальтобетона на основе отходов от фрезерования старых шлаковых покрытий. Прогнозируемый срок службы в обоих случаях составил не менее 10 лет.

6. Выполненный расчет по допускаемому упругому прогибу и по напряжениям, возникающим в монолитных слоях при прогибе под действием повторных кратковременных нагрузок, с учетом перспективной интенсивности движения, толщины слоев дорожной одежды показал возможность снижения толщины верхнего слоя из разработанного состава с 6 до 5 см без снижения его несущей способности. Это достигнуто за счет более высокого коэффициента уплотнения наполненной асфальтобетонной смеси на шлаковых заполнителях. Внедрение оптимального состава при капитальных ремонтах городских дорог Липецка позволило достичь экономического эффекта за счет снижения толщины верхнего слоя покрытия и стоимости материалов с учетом приведенных затрат в размере 1238 тыс р.

7. Разработан и научно обоснован расчетно-теоретический метод прогнозирования циклической долговечности композитных материалов в элементах конструкций транспортных сооружений. Экспериментально установлены значения пределов выносливости композиционного материала на основе полиэфирного полимербетона и стеклопластиковой арматуры, которые соответствуют $\sigma_N = 0,34R_b$ и $\sigma_N = 0,47R_{cl}$ при $\rho = 0,1$ для самых неблагоприятных условиях работы покрытия.

8. Осуществлена практическая реализация исследований в городском хозяйстве. Разработанный состав полиэфирного полимербетона ПН-609-21М и методика прогнозирования его циклической долговечности были применены при реконструкции путепровода на автомобильной дороге Орел-Ливны-Елец-Липецк-Тамбов (район Цемзавода) с экономическим эффектом в сумме 72,6 руб. на 1 м² покрытия проезжей части путепровода. Разработанный состав асфальтобетонной смеси, и предложенная конструкция дорожной одежды были использованы при строительстве набережной р. Воронеж и на городских дорогах в г. Липецке в 2005 году ООО «Автобан-Липецк». Экономический эффект по приведенным затратам составил 1238 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Сошнин, П. В. Экологические аспекты проектирования и строительства дорожных одежд с использованием металлургических шлаков [Текст] / А. И. Урюпин, П. В. Сошнин // Наша общая окружающая среда: сб. тез. 6-ой науч.-практ. конф. / ЛЭГИ.- Липецк, 2005. – С. 12-13.
2. Сошнин, П. В. Все начинается с дороги [Текст] / П. В. Сошнин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев // ЖКХ. Строительство и недвижимость. – 2005. - №1. – С. 59 – 60.
3. Сошнин, П. В. Одежда для наших дорог [Текст] / П. В. Сошнин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев // ЖКХ. Строительство и недвижимость. – 2005. - №2. – С. 22 – 30.
4. Сошнин, П. В. Пути повышения долговечности дорожных одежд городских автомобильных дорог [Текст] / П. В. Сошнин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. трудов. Выпуск 4 / БГИТА. Брянск, 2005. – С. 28-29.
5. Сошнин, П. В. Выносливость композиционных материалов в элементах конструкций городских транспортных сооружений [Текст] / П. В. Сошнин, В. В. Бузин, А. Б. Бондарев // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. трудов. Выпуск 4 / БГИТА – Брянск, 2005. – С. 30-32.
6. Сошнин, П. В. Сопротивление усталости композиционных материалов в элементах конструкций городских транспортных сооружений [Текст] / П. В. Сошнин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев // Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении: международ. сб. науч. трудов / НГАУ. – Новосибирск, 2005. – С. 5-6.
7. Сошнин, П. В. Применение щебеночно-мастичных асфальтобетонов при ремонте городских автомобильных дорог [Текст] / П. В. Сошнин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев // Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении: международ. сб. науч. трудов / НГАУ. – Новосибирск, 2005. – С. 91-93.
8. Сошнин, П. В. Применение армирующих материалов для повышения трещиностойкости элементов конструкций городских транспортных сооружений [Текст] / П. В. Сошнин, Б. А. Бондарев, В. В. Бузин, А. Б. Бондарев // Региональные технологические и экономико-социальные проблемы развития строительного комплекса Волгоградской области. Наука. Практика. Образование: II науч.-практ. конф. / ВолГАСУ – Волгоград, 2005 – С. 54-57.

Сошнин Павел Викторович

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖРЕМОНТНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ
ГОРОДСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Автореферат

Подписано в печать 11/04/2006г. Формат 6084 1/16
Бумага офсетная. Ризография
Печ.л.1,0 Тир. 100 экз. заказ № 58
Типография ЛГТУ. 398600 Липецк, Московская, 30

05.23
2006 A
8747

№ - 8747



30 МАЙ 2006