**Штефан Юрий Витальевич. Разработка технологий для улучшения физико-механических свойств шлаковых асфальтобетонов : Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 Липецк, 2005 184 с. РГБ ОД, 61:05-5/2399**

ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ШТЕФАН ЮРИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ШЛАКОВЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ**

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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук профессор Бондарев Б.А.

**Липецк - 2005**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ 5

\* ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРОБЛЕМАМ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ . 11

1. Методы улучшения свойств асфальтобетона за счет активации

битумного связующего 11

1. [Использование активаторов для наполнителей асфальтобетонов 15](#bookmark6)
2. [Методы улучшения качества дорожных покрытий 17](#bookmark7)
3. Использование отходов от фрезерования асфальтобетонных покрытий в

качестве заполнителей для асфальтобетона 22

1. [Использование шлаковых заполнителей в составах асфальтобетонов 23](#bookmark9)

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ... 39

1. Материалы для асфальтобетона 39

*у* 2.1.1. Заполнители для отходов фрезерования покрытий на шлаковых

заполнителях 45

1. [Кварцсодержащие заполнители для асфальтобетона 45](#bookmark11)
2. [Гранитный щебень 45](#bookmark12)
3. [Кварцевый песок 46](#bookmark13)
4. [Материалы наполнителей для асфальтобетонов 47](#bookmark15)
5. [Минеральные порошки из отходов промышленности 48](#bookmark16)
6. [Шлам Липецкой ТЭЦ-2 50](#bookmark17)
7. [Шлам агломерационного производства 51](#bookmark18)
8. [Шлам силикомарганца 52](#bookmark19)
9. [Наполнитель из молотого известняка 52](#bookmark20)

[. 2.1.3.1.5. Наполнитель из цементной пыли 53](#bookmark21)

[k 2.1.4. Связующие для асфальтобетонов 53](#bookmark22)

1. [Активаторы ГКЖ-10 или ГКЖ-11 54](#bookmark23)

[2.2. Теоретическое обоснование использования наполнителя из шлама ТЭЦ и активатора - гидрофобизующей добавки ГКЖ-11 55](#bookmark24)

з

1. Методы исследований 58
2. Методы испытаний наполнителей 58

\* 2.3.2. Методы испытаний асфальтовяжущего вещества 59

1. Методы испытаний заполнителей для асфальтобетона 60
2. Методы испытаний асфальтобетонов 60
3. [Испытания асфальтобетонов на долговечность 63](#bookmark25)
4. [Выводы по главе 65](#bookmark26)

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

А

АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ 66

1. [Составы и свойства наполнителей 70](#bookmark27)
2. [Исследование влияния порошков на свойства битума 75](#bookmark28)
3. Разработка составов асфальтобетонов с добавками наполнителей из

местных отходов промышленности 79

1. Технология изготовления асфальтобетонов с применением наполнителей.. 84
2. [Выводы по главе 89](#bookmark31)

ГЛАВА 4: ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

НА ШЛАКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ 90

1. Планирование эксперимента с помощью двухфакторного плана 93
2. Сравнительные характеристики шлаковых асфальтобетонов на

^ кварцевом и шлаковом песке 98

1. Определение оптимальных составов асфальтобетонов с применением

трехфакторного плана эксперимента 99

1. Обработка данных с помощью критерия оптимальности ....108
2. Исследование вязкопластичных свойств асфальтобетона с помощью

[планирования эксперимента 118](#bookmark36)

1. [Оценка деформационно-прочностных свойств асфальтобетона 119](#bookmark37)
2. [Определение состава смеси с помощью критерия оптимальности 124](#bookmark39)
3. Выводы по главе 126

ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА ШЛАКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ И ОТХОДАХ ОТ ФРЕЗЕРОВАНИЯ СТАРЫХ ПОКРЫТИЙ

1. Прогнозирование долговечности шлаковых асфальтобетонов
2. Прогнозирование долговечности асфальтобетонов на основе отходов от

фрезерования дорожных покрытий

1. Выводы по главе.

ГЛАВА 6. ВНЕДРЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ДЛЯ ВЕРХНЕГО ПОКРЫТИЯ ГОРОДСКИХ ДОРОГ

1. Расчет конструкции дорожных одежд
2. Исходные данные для расчета
3. Расчетные параметры подвижной нагрузки
4. Расчет конструкции по допускаемому упругому прогибу
5. Определение расчетных характеристик грунта
6. Расчет сопротивления монолитных слоев при изгибе
7. Внедрение асфальтобетонов при ремонтах городских дорог
8. Технико-экономические показатели
9. Выводы по главе

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 ,

**4**

128

128

134

140

141

141

141

142

146

147

148

151

152

157

159

161

169

170

174

175

179

180

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Разработка технологии изготовления оптимальных со­\* ставов асфальтобетонов на основе шлаковых заполнителей для Липецка и области является актуальной проблемой в связи с отсутствием природных плотных заполни­телей для асфальтобетонов. Шлаковые асфальтобетоны имеют повышенную порис­тость и влагопроницаемость. Кроме того, за счет развитой поверхности доменные шлаки требуют повышенного расхода битума. В последние годы в асфальтобетоны на этих заполнителях не вводят порошки, так как некоторые ученые высказывают мнение, что шлаковые заполнители уже содержат пылевидные частицы, играющие роль наполнителя в асфальтобетоне. Минеральные порошки (наполнители) оказы­вают структурирующее действие на битумное вяжущее, повышая его теплостой­кость и вяжущую способность, заполняют мелкие поры, которые все еще остаются в минеральном остове после добавки в основной каркас песка. Изготовление напол­нителей из молотых горных пород или шлаковых материалов требует дополнитель- > ных энергозатрат на помол, поэтому использование готовых дисперсных отходов промышленности, таких как шлам ТЭЦ - отход от умягчения воды известью, также является актуальной проблемой охраны окружающей среды и утилизации этих от­ходов. В теории ИСК, разработанной Соломатовым В.И. и дополненной Рыбьевым И.А. подчеркивается необходимость создания плотных наполненных структур, что обеспечивает достижение максимальных эксплуатационных характеристик при ми- ^ нимальном расходе вяжущего вещества. При этом минимальная толщина битумной пленки с наибольшей эластичностью обеспечивает максимальную прочность сцеп­ления минеральной части асфальтобетона с битумом. Эта структурированность би­тумной пленки обеспечивается путем введения в состав асфальтобетонной смеси определенного количества минерального порошка. В асфальтовяжущем веществе максимально плотной структуры битум и минеральный порошок находятся в опти­мальном соотношении, нарушение которого приводит к резкому снижению его прочности. Оптимальные составы асфальтобетонов с введением наполнителей и ак­тивирующих добавок позволяют повысить плотность и водонепроницаемость шла­ковых асфальтобетонов, снизить расход битума на обволакивание пористых запол-

нителей и минерального наполнителя. Использование активатора, обладающего гидрофобизующим действием, позволяет не только снизить расход битума в смеси, \* но и уменьшить поглощение легких фракций битума порами заполнителей, замедляя его старение. В связи с этим, оптимизация составов и технологии изготовления мно­гокомпонентной шлаковой асфальтобетонной смеси является актуальной.

Цель диссертационной работы - разработка технологии изготовления ас­фальтобетонов на шлаковых заполнителях оптимальных составов с тонкодисперс­ными отходами промышленности, обеспечивающей повышенные эксплуатационные характеристики асфальтового покрытия, а также их внедрение в практику строи­тельства и ремонта автомобильных дорог.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: -разработать технологию введения порошкообразных наполнителей и актива­торов из гидрофобизующих добавок и применить интенсивную раздельную техно­логию, обеспечивающую ускорение технологического процесса;

> -повысить плотность и водостойкость асфальтобетонов на пористых шлако­

вых заполнителях введением наполнителей из тонкодисперсных отходов местной промышленности;

-применение методов математического планирования эксперимента для оп­тимизации составов шлаковых асфальтобетонов;

-исследовать долговечность асфальтобетонного покрытия оптимального со- ч става на основе шлаковых заполнителей и отходов от фрезерования шлаковых ас­фальтовых покрытий;

-внедрить оптимальные составы асфальтобетонов и произвести расчеты тол­щины слоев дорожной одежды с целью их оптимизации.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований явились асфаль­тобетоны на шлаковых и природных заполнителях, а также на отходах от фрезеро­вания старых шлаковых покрытий. Теоретические исследования основывались на методах интенсивных раздельных технологий, принятых для искусственных строи­тельных конгломератов (ИСК) и получении наполненных структур, обеспечиваю­щих максимальную плотность и прочность асфальтобетонных покрытий и увеличе-

ние их долговечности. При экспериментальных исследованиях применены методы математического планирования экспериментов ПФП-8 и ОЦКП. Методы испытаний у соответствовали требованиям нормативно-технической документации. Для анализа полученных результатов использованы методы математической статистики и ЭВМ.

**Научная новизна работы:**

— теоретически обоснована возможность использования в качестве наполните­ля тонкодисперсного шлама ТЭЦ, активированного гидрофобизующей добавкой ГКЖ-11 для асфальтобетонов на пористых шлаковых заполнителях. Эксперимен- а тально подтверждена возможность получения прочных и долговечных шлаковых асфальтобетонов с использованием в качестве наполнителя этого шлама, активиро­ванного ГКЖ-11. Введение этого активатора в шлам способствует не только его гидрофобизации, но и освобождению коллоидносвязанной воды и ускорению его обезвоживания, а также способствует замедлению процессов старения битума;

* разработка структурно-технологических и математических моделей прогно- *у* зирования свойств дорожных покрытий шлаковых асфальтобетонов в зависимости

от соотношения компонентов смеси с использованием критерия оптимальности, по­зволяющего выбрать их соотношение, обеспечивающее повышение физико­механических и деформативных свойств дорожного покрытия;

* применение полиструктурной теории и разработка интенсивной раздельной технологии изготовления шлаковой асфальтобетонной смеси;
* разработана методика прогнозирования долговечности шлаковых асфальто­бетонов на шлаковых заполнителях и на отходах от фрезерования в условиях, ими­тирующих работу асфальтового покрытия в течение года;
* подбор оптимальных соотношений компонентов шлаковой асфальтобетон­ной смеси с помощью уравнений регрессии, полученных в результате математиче­ского планирования эксперимента на ОЦКП.

k - комплексное использование зависимости физико-механических и деформа­

тивных свойств шлакового асфальтобетона от содержания компонентов.

Подана заявка на патент на оптимальный состав и способы изготовления шла­кового асфальтобетона с наполнителем из шлама ТЭЦ и активатором из ГКЖ-11

№2003135730 «Асфальтобетонная смесь и способы ее изготовления» с приоритетом от 08 декабря 2003 г.

**\* Практическое значение работы.**

* Улучшение физико-механических свойств асфальтобетона и повышение не­сущей способности и долговечности покрытий на шлаковых заполнителях.
* Установлен оптимальный вид наполнителя из тонко дисперсных отходов ме­стной промышленности - шлам ТЭЦ, и активирующей добавки к нему, обеспечи­вающие высокие показатели свойств асфальтовяжущего вещества. Утилизация этого

х шлама способствует уменьшению загрязнения окружающей среды промышленной зоны и снижению энергозатрат на помол.

* С помощью математических методов планирования эксперимента получены оптимальные составы асфальтобетонов на основе шлаковых заполнителей, обеспе­чивающие получение экстремальных свойств асфальтобетонных покрытий. Этому способствует и применение интенсивных раздельных технологий при разных спосо-

> бах введения шлама в состав асфальтобетонной смеси.

* Составлен технологический регламент на изготовление асфальтобетона опти­мального состава по разработанной технологии.
* Установлена возможность применения отходов от фрезерования старых шла­ковых покрытий, и на основе прогнозирования долговечности установлена возмож­ность эксплуатации таких асфальтобетонных покрытий в течение 10 лет при введе-

^ нии не более 1 % битумного связующего.

* Оптимальный состав асфальтобетона по разработанной технологии принят к внедрению на АБЗ ОГУП «Доравтоцентр» и ОАО ДСП-1 г. Липецка и использован этими организациями в верхнем слое покрытий при ремонтах городских дорог г. Липецка в 2004 году. Общая площадь покрытия составила 24 тыс. м . Экономиче­ский эффект за счет снижения толщины верхнего слоя покрытия и стоимости мате­\* риалов с учетом приведенных затрат составил 1238 тыс р. Результаты разработок и

методики расчетов использованы в учебном процессе Липецкого государственного технического университета по специальности: 240400 - «Дорожное движение» по дисциплине «Дорожно-строительные материалы».

Значимость для теории и практики. Теоретические и экспериментальные исследования позволили применить методику прогнозирования долговечности ИСК *\** для асфальтобетонов и показать возможность применения в составах асфальтобето­нов отходов ТЭЦ-2 и отходов от фрезерования старых асфальтовых покрытий. Это позволяет улучшить экологию промышленной зоны металлургического завода, теп­ловых электроцентралей, более рационально использовать отходы от фрезерования старых дорожных покрытий. Теоретически обосновано применение шлама ТЭЦ и активатора ГКЖ-11 по сравнению с другими активированными наполнителями.

Обоснованность и достоверность исследований и выводов по работе обеспе­чена методически обоснованным комплексом исследований с использованием стан­дартных средств измерений, применением математических методов планирования экспериментов и статистической обработкой результатов, а также опытными испы­таниями и их положительными практическими результатами, не противоречащими выводам известных положений, сходимостью результатов испытаний.

► Основные положения, выносимые на защиту:

* теоретическое обоснование использования наполнителя из шлама ТЭЦ и ак­тиватора - гидрофобизующей жидкости ГКЖ-11 в составах асфальтобетонов.
* разработанная раздельная интенсивная технология при изготовлении асфаль­тобетонной смеси, позволяющая ускорить процессы приготовления и активации по­рошка и асфальтобетонной смеси, повысить ее однородность и улучшить качество,

„ несущую способность и долговечность покрытий.

* технологические способы введения наполнителя из отходов ТЭЦ во влажном и сухом состояниях, позволяющие ускорить сушку тонкодисперсного шлама.
* полученные с помощью математических методов планирования эксперимента зависимости свойств асфальтобетонов на шлаковых заполнителях от содержания наполнителя, активатора и битума, позволяющие без проведения дополнительных экспериментов прогнозировать показатели свойств верхнего слоя покрытий.
* использование программных продуктов для обработки результатов планиро­вания экспериментов и определения оптимальных составов асфальтобетона с помо­щью критерия оптимальности.
* методика прогнозирования долговечности асфальтобетонов по результатам длительных испытаний образцов в условиях, имитирующих работу дорожного по-

**к**

крытая в течение года.

* разработанная конструкция дорожной одежды, позволившая уменьшить тол­щину верхнего слоя из оптимального состава без снижения несущей способности.

**Апробация работы.** Основные результаты проведенных исследований были доложены и обсуждены на:

* международной научно-технической конфер. (НТК) в г. Брянске в 2001 г.; *к* - международной студенческой НТК в г. Белгороде в 2001 г.;
* НПК, посвященной 45-летаю ЛІТУ в г. Липецке в 2001 г.;
* международном студенческом форуме “Образование, наука, производство” в г. Белгороде в 2002 г.;
* студенч. конференциях ФИТ и ИСФ ЛГТУ в г. Липецке в 2002 и 2003 гг.;
* 10-ой международной НПК «Проблемы строительства, инженерного обеспе­чения и экологии городов», проведенной в г. Пензе в 2002 г.;
* 3-й международной научно-технической интернет-конференции «Актуальные ■>- проблемы строительства и строительной индустрии» в г. Туле в 2002 г;
* международной интернет-конференции «Технологические комплексы, обору­дование предприятий строительных материалов и стройиндустрии» БГТУ им. В.Г. Шухова в г. Белгороде в 2003 г.;
* НПК преподавателей и сотрудников, посвященной 30-летию НИС ЛГТУ в 2003 г.;
* областной НПК «Наука в Липецкой области: истоки и перспективы» в г. Ли­пецке в феврале 2004 г.

*\** - НПК Марийского государственного технического университета в г. Йошкар-

Ола в 2004 г.;

* НТК сер. «Дорожно-транспортное строительство» в г. Воронеже в 2004 г.

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 16

научных работ, общим объемом 43 с., из них автору принадлежит 28 с.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 k глав, основных выводов, списка использованных источников и приложений. Она включает 184 страницы, из них 167 страниц основного текста, 34 таблицы, 26 иллю­страций, 105 наименований используемой литературы и 6 приложений.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны технологические схемы изготовления шлаковой асфальтобетон­ной смеси, отличающиеся упрощением технологического процесса и не требующие дополнительного тонкого помола наполнителя. Его активация производится в про­цессе перемешивания шлама с влажностью 90% с активатором ГКЖ-11, способст­вующим переводу влаги из коллоидносвязанного состояния в свободное, что резко ускоряет процесс его обезвоживания. Активированный наполнитель предлагается вводить двумя способами: в заполнители перед их разогревом или в битум с предва­рительным его высушиванием в распылительной сушилке. Использована интенсив­ная раздельная технология, заключающаяся в интенсивном перемешивании в быст­роходном смесителе наполнителя с активатором и последующей подачей смеси на­сосом в заполнители перед их перемешиванием и разогревом. По второму способу активированный шлам, предварительно высушенный в распылительной сушилке, смешивали в быстроходном смесителе с битумом, а затем полученное наполненное асфальтовяжущее вещество перемешивали с разогретыми заполнителями. Такие технологии позволяют ускорить процессы сушки шлама и уменьшить энергозатраты и пылеунос наполнителя, а также ускорить процесс изготовления многокомпонент­ной асфальтобетонной смеси и повысить качество дорожного покрытия.
2. Выбран оптимальный вид наполнителя по результатам испытаний разных тонкодисперсных отходов промышленности по их влиянию на свойства дорожного битума и шлаковых асфальтобетонов. Наиболее предпочтительным по влиянию на повышение плотности, водостойкости и прочности асфальтобетонов признан шлам ТЭЦ, активированный гидрофобизатором ГКЖ-11, который позволяет уменьшить поглощение легких фракций битума порами заполнителей, замедляя его старение. Использование активатора ГКЖ-11, близкого по химической природе к углеводоро­дам метанового и нафтенового ряда битумов, повышает его сцепление с заполните­лями и наполнителем за счет сближения молекулярных свойств адсорбционного слоя и среды в составе асфальтового вяжущего вещества.
3. Разработаны критерии оптимальности в сочетании с математическими мето­дами планирования эксперимента на ПФП и ОЦКП. Полученные уравнения регрес­сии для физико-механических и деформативных свойств шлаковых асфальтобетонов позволили определить их зависимость от содержания битума, наполнителя и актива­тора в составе смеси. Введение критерия оптимальности позволило учитывать одно­временно все параметры оптимизации и математически получить состав асфальто­

бетона, наиболее полно удовлетворяющий заданным показателям качества. Таковы­ми признаны составы шлаковых асфальтобетонов, обеспечивающие повышение плотности, прочности, снижение водонасьпцаемости и улучшение деформативных характеристик за счет плотной упаковки минеральной смеси и применения гидро- фобизующего активатора, замедляющего процессы старения битума.

1. 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.

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.