

В печать
18.12.2018

На правах рукописи

Беспалов Виталий Леонидович

**ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ
ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Макеевка – 2018

Работа выполнена на кафедре автомобильных дорог и аэродромов Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Научный консультант : доктор технических наук, профессор,
Братчун Валерий Иванович,
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов.

Официальные оппоненты : **Котлярский Эдуард Владимирович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», профессор кафедры дорожно-строительных материалов;

Кондращенко Валерий Иванович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», профессор кафедры строительных материалов и технологий;

Любомирский Николай Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение), профессор кафедры строительного инжиниринга и материаловедения.

Ведущая организация : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Защита состоится «28» марта 2019 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.006.02 при ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал заседаний учёного совета. Тел. факс: +38(062) 343-7033, e-mail: d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Учёный секретарь диссертационного
совета Д 01.006.02



Радионов Тимур Валерьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Расчетный срок службы покрытий асфальтобетонных дорог I-а и I-б технических категорий до капитального ремонта (10 – 12 лет) в Донецкой Народной Республике и в России не выдерживается. После пяти лет эксплуатации они нуждаются в капитальном ремонте.

Свойства асфальтобетона – композиционного материала с коагуляционным типом контактов – определяются, прежде всего, качеством органического вяжущего, рациональным сочетанием типов макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры минерального остова, порового пространства, а также энергией взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал».

Таким образом, необходимо разрабатывать такие способы направленного регулирования структуры и свойств нефтяных дорожных битумов и повышения энергетического взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал», которые бы позволили асфальтобетону, эксплуатируемому в покрытиях нежестких дорожных одежд в климатических условиях и грузонапряженности на автомобильных дорогах Донецкой Народной Республики и в России эффективно противостоять старению, сдвиговым деформациям, низкотемпературному и усталостному трещинообразованию и циклическим транспортным нагрузкам.

Одними из эффективных полимеров-модификаторов нефтяных дорожных битумов и поверхности минеральных материалов являются бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 и этиленглицидилакрилат Элвалой АМ (типичные представители термоэластопластов и терполимеров соответственно).

В связи с возрастающими экологическими и экономическими требованиями к нежестким дорожным одеждам автомобильных дорог актуальной задачей, помимо изыскания новых дорожно-строительных материалов с повышенными расчетными характеристиками, является снижение ресурсоемкости и энергоемкости производства асфальтобетонных смесей и улучшение условий труда при их производстве и строительстве нежестких одежд автомобильных дорог, и, прежде всего, использование техногенного сырья в качестве компонентов асфальтобетонных смесей шламы станций нейтрализации сталепроволочно-канатных заводов (ШСН) и полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (ПОЭС).

Связь работы с научными программами, планами, темами. Основные исследования теоретического и прикладного характера выполнены в соответствии с государственными научно-исследовательскими темами: № М / 214-2006 (Китайская Народная Республика) «Дегтеполимербетоны и асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой для строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, а также литые влажные дегтешлаковые смеси для ямочного ремонта нежестких дорожных одежд в неблагоприятных погодных условиях и литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ремонта покрытий автомобильных

дорог, №0107U008354 (2006 – 2008 гг.)); Д-2-03-09 «Комплексное технико-экономическое обоснование свойств высококачественных строительных материалов и разработка эффективных технологий их производства, №0109U003040 (2009 – 2010 гг.)); Договор №10 (109-34 ИЛ) Переработка ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия» (2009 – 2011 гг.); Д-2-03-11 «Разработка новых высококачественных композиционных материалов в виде стойких к коррозии и высокопрочных бетонов, исследование их работы в условиях объемнонапряженного состояния и повышенных температур, №0111U001805 (2011 – 2012 гг.)); Д-2-04-13 «Новые композиционные материалы для промышленного и дорожного строительства, которые отличаются повышенной долговечностью, пониженной ресурсоемкостью и энгергоемкостью производства, №0113U001920 (2013 – 2014 гг.)); К-2-02-01 «Разработка эффективных материалов и технологий строительства нежестких и жестких дорожных покрытий повышенной долговечности для устройства автомобильных дорог, №0102U002848 (2001 – 2005 гг.); К-2-10-16 «Разработка способов повышения термоокислительной стойкости асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов в процессе производства и эксплуатации в покрытиях нежестких дорожных одежд», №0117D000266 (Министерство образования и науки Донецкой Народной Республики 2016 – 2020 гг.).

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой для выполнения исследований в области разработки составов комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности являются работы Г. С. Бахраха, В. И. Братчуна, А. В. Бусела, М. И. Волкова, В. А. Веренько, Л. Б. Гезенцвея, Л. М. Гохмана, М. Дюрье, В. А. Золотарева, Н. Н. Иванова, М. Иваньски, А. С. Колбановской, Ю. И. Калгина, И. В. Королева, Я. Н. Ковалева, В. И. Кондращенко, Э. В. Котлярского, А. М. Кривисского, Ю. С. Липатова, Н. В. Любомирского, В. В. Мозгового, С. К. Илиополова, В. П. Подольского, Б. С. Радовского, А. В. Руденского, И. М. Руденской, И. А. Рыбьева, В. И. Соломатова, В. М. Смирнова, А. Б. Таубмана, Б. Б. Телтаева, Е. В. Угловой, С. И. Федоркина, В. В. Ядыкиной, К. Н. Weise, J. Novak, G. W. Evstage, G. D. Love, S. M. Prince и др.

В то же время к настоящему времени недостаточно полно сформулированы теоретические положения получения модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности; не исследованы явления и процессы, происходящие в асфальтобетонах с комплексно-модифицированной макро-, мезо- и микро-структурой; отсутствуют данные об оптимальных концентрационных отношениях компонентов-модификаторов; о параметрах технологических режимов производства комплексно-модифицированных органических вяжущих, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей; недостаточно изучены физические и деформационно-прочностные характеристики комплексно-модифицированных асфальтобетонов.

К тому же не выполнены исследования полимерсодержащих отходов производства эпоксидных смол и шламов станций нейтрализации сталепроволочно-канатных заводов как компонентов модифицированных асфальтовяжущих веществ.

Целью исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование способов получения ресурсоэкономичных, технологичных и долговечных комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности путем установления закономерностей формирования структуры модифицированных органических вяжущих и контактной зоны на поверхности раздела фаз «комплексно-модифицированное органическое вяжущее – поверхностно-активированные минеральные материалы асфальтобетона».

Объект исследования – дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной долговечности.

Предмет исследования – процессы и явления, определяющие закономерности формирования структуры комплексно-модифицированных высокотехнологичных асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов повышенной долговечности.

Задачи исследования:

- выполнить анализ условий работы асфальтобетонов в покрытии нежесткой дорожной одежды под действием транспортных нагрузок и атмосферных воздействий;
- сформулировать теоретические положения получения составов бетонов на органических вяжущих с комплексно-модифицированной структурой повышенной долговечности;
- изучить химико-минералогический состав и физико-химические свойства полимерсодержащих отходов производства эпоксидных смол и шлама нейтрализации травильных растворов сталепроволочно-канатных заводов;
- установить оптимальные температурно-временные режимы производства и концентрационные отношения компонентов в комплексно-модифицированных асфальтовяжущих и асфальтополимербетонных смесях;
- определить оптимальные температурные режимы укладки и уплотнения комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей, деформационно-прочностные характеристики и атмосферную стойкость асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой;
- разработать нормативные документы (ТУ и рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности). Выполнить опытно-производственную апробацию комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве. Дать экономическое обоснование целесообразности применения модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для строительства покрытий и конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем :

- изложены новые научно-обоснованные технологические решения получения ресурсо-экономичных и технологичных комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов повышенной долговечности, заключающиеся в установлении общих закономерностей формирования структуры асфальтобетона при модификации олигомерами и полимерами нефтяного дорожного битума и контактной зоны в асфальтовяжущем веществе

и асфальтополимербетоне модифицирующими добавками, которые служат основой для регулирования качества этого материала применительно к условиям эксплуатации, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Донецкой Народной Республики;

- предложены физико-химические модели с экспериментально-статистическим описанием оптимальных структур битумополимерных и битумополимерсерных вяжущих веществ, модифицированных бутадиенметилстирольным каучуком в комплексе с технической серой, этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой, обеспечивающих повышенную долговечность асфальтобетона в конструктивных слоях дорожных одежд;

- сформулированы требования к модифицируемой среде – нефтяным дорожным битумам, модификаторам – полимерам и активным дисперсным наполнителям, а также к активаторам поверхности минерального порошка, песка и щебня, структуре битумополимерного вяжущего и комплексно-модифицированного асфальтобетона;

- определены значения показателей химико-минералогического состава и физико-химических свойств модификаторов асфальтобетонов из техногенного сырья, обеспечивающих более низкую ресурсоемкость и экологическую безопасность: шламы нейтрализации травильных растворов сталепроволочно-канатных заводов; полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол; идентифицирован метакрилатный фрагмент этиленглицидилакрилата (Элвалой АМ): молекулярная масса фрагмента $M = 812$; степень полимеризации $n = 10 - 20$; молекулярно-массовые распределения от $M \approx 8000$ до $M \approx 16000$.

- выявлены закономерности структурообразования в системах: «нефтяной дорожный битум – бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 – техническая сера»; «нефтяной дорожный битум – этиленглицидилакрилат АМ – полифосфорная кислота ПФК-105»; «нефтяной дорожный битум, модифицированный этиленглицидилакрилатом – шлам станции нейтрализации, поверхностно-активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол»;

- определены оптимальные концентрационные отношения в системах: «нефтяной дорожный битум БНД 40/60, БНД 60/90 (100% м.ч.) – бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 (2 – 3% мас.) – техническая сера (25 – 30% мас.)»; «нефтяной дорожный битум БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 130/200 (100% мас.) – этиленглицидилакрилат (2 – 3% мас.) – полифосфорная кислота ПФК-105 (0,2 – 0,3% мас.)»; на поверхности минерального порошка этиленглицидилакрилата (0,65 – 0,7% мас.) – песка (0,65 – 0,7% мас.) – щебня (0,65 – 0,7% мас.);

- установлено, что по атмосферостойкости, сдвигоустойчивости, морозостойкости, усталостной долговечности, в том числе и в агрессивных средах, комплексно-модифицированные асфальтобетоны значительно превосходят традиционные асфальтобетоны, используемые в покрытиях и конструктивных слоях нежестких дорожных одежд (ДСТУ Б.В.2.7-119:2011, ГОСТ 9128-2013).

Практическое значение полученных результатов :

- для Китайской Народной Республики разработаны технические условия «Модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности» (договор № М / 214-2006 (2006 – 2008 гг.).

– для Министерства строительства и ЖКХ Донецкой Народной Республики разработан инновационный проект «Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности»;

– для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности»;

– в ГП «АВТОДОР», филиале Новоазовского автодора (участок №4) выполнено опытно-промышленное внедрение комплексно-модифицированных этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 асфальтополимербетонных смесей (2006 г.).

– определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения комплексно-модифицированных литых асфальтополимерсеробетонных смесей, которая при годовом объеме производства 50000 т литых асфальтополимерсеробетонных смесей составит (в ценах 2017 года) – 90550000 рос. руб.

– результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» и при подготовке магистров по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе «Теория и практика проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов» в дисциплинах: «Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов»; «Современные композиционные материалы для дорожного строительства».

Положения, выносимые на защиту:

1. Методологические принципы получения комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для строительства конструктивных слоев и покрытий нежестких дорожных одежд, обеспечивающих долговечность покрытий асфальтобетонных автомобильных дорог I-а и I-б технических категорий в 1,5–2 раза больше в сравнении с построенными из стандартных асфальтобетонных смесей.

2. Закономерности формирования полимерных сеток в системах: «нефтяной дорожный битум – бутадиенметилстирольный каучук – техническая сера» (формируется трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера и коллоидно-диспергированная сера); «нефтяной дорожный битум – этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота» (в результате реакций ПФК-105 и этиленглицидилакрилата, конденсации и катионной полимеризации, этерификации гидроксилсодержащих компонентов, и ангидридных групп ПФК-105 с эпоксидными группами этиленглицидилакрилата в присутствии протонодоноров – образуется сетчатая структура).

3. Закономерности формирования на поверхности минеральных порошков структурированных слоев модификатора (СКМС-30, ПОЭС, этиленглицидилакрилат), связанных межмолекулярными, водородными и донорноакцепторными связями с поверхностью минерального порошка, что приводит к повышению смачивания поверхности частиц минеральных материалов модифицированным органическим вяжущим, сорбции и аутогезии компонентов битумополимерсерного и

битумополимерного вяжущих на поверхности активированных минеральных частиц асфальтобетона.

4. Способы оптимизации составов и структур комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности, включающих асфальтовяжущие вещества: «битум – бутадиенметилстирольный каучук – техническая сера»; «битум – этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота и поверхностно-активированные олигомерами и полимерами минеральные порошки с экспериментально-статистическим описанием областей допустимых значений факторов».

5. Результаты экспериментальных исследований параметров: технологического процесса производства модифицированных органических вяжущих, комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей; укладки и уплотнения в конструктивные слои нежестких дорожных одежд; физико-механических, деформационно-прочностных свойств и коррозионной стойкости модифицированных асфальтобетонов.

6. Республиканские и отраслевые нормативные документы: инновационный проект «Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности»; «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: значениями экспериментальных данных с доверительной вероятностью $\Phi(t) = 0,95$, полученных на современных приборах: сканирующий растровый микроскоп ИСИ-60А; спектрофотометр «Specord»; сканирующий калориметр ДСК-912; хроматограф «Цвет-100»; калориметр ДАК-1-1А в режиме автоматической компенсации термо – ЭДС; ротационный вискозиметр ПВР-2; прибор Маршалла; дифрактометр УРС-50 с приставкой УР-4 и др.; адекватностью статистических математических моделей структурным превращениям при модификации нефтяных дорожных битумов и контактной зоны минеральных материалов; соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам; опытным строительством и результатами обследования участков автомобильных дорог в течение 5 – 12 лет).

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены на: Международной конференции «Опыт и проблемы современного развития дорожного комплекса Украины на этапе вхождения в Европейское сообщество» (Харьков, ХНАДУ, 2002 г.); Международной научно-практической конференции «Строительство-2004» (институт строительных технологий и материалов) (Министерство образования России: Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону, 2004 г.); Девятой Международной конференции по химии и физико-химии олигомеров «Олигомеры – 2005», Российская Академия Наук, Национальная Академия Наук Украины, Одесса, 2005 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение – теория и практика» (РФ: Москва, 2006 г.); Международной научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог» (Харьков, 2008 г.); Международной конференции «Современные проблемы строительного материаловедения» (Министерство образования и науки Российской федерации: Москва, Московский государственный

строительный университет, 2009 г.); Международной научно-технической конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация нежестких дорожных одежд», которая посвящена 80-летию ХНАДУ и дорожно-строительного факультета (Харьков, ХНАДУ, 2010 г.); Международной научно-технической конференции «Промышленное и гражданское строительство в современных условиях» (РФ: Москва, 2011 г.); Международной научно-технической конференции «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог» (Харьков, ХНАДУ, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физико-химического материаловедения» (Макеевка, ДонНАСА, 2013 г.); XI, XII, XIII, XIV, XV Международных научных конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов (Макеевка, ДонНАСА, апрель 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 гг.); Международной научной конференции : «Долговечность, прочность и механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» (РФ : Санкт – Петербург, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии и инновации» (РФ : Белгород, 2016 г.); IV Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках 4-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики (ДНР : Горловка, 24 мая 2018 г) и др.

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 42 научных изданиях, в том числе 24 публикации – в рецензируемых научных изданиях : 18 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных журналов, утвержденных МОН Украины; 2 – в рецензируемых научных изданиях, утвержденных перечнем ВАК МОН Донецкой Народной Республики; 3 – в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук в Российской Федерации; 1 – в зарубежных изданиях, индексируемых международной реферативной базой цитирования SCOPUS), 1 – патент, 11 – публикаций по материалам научных конференций, 6 – публикаций в других изданиях.

Общий объем публикаций – 11,9 п.л., из которых 7,5 п.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 основных разделов, выводов, 312 списка использованных источников и приложений А, Б, В, Г, Д. Общий объем работы составляет 329 страниц, в том числе 298 страниц основного текста, 39 полных страниц с рисунками и таблицами, 31 страница списка использованных источников, 6 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении : обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования; показана связь работы с научными программами, темами; приведены : научная новизна и практические значение полученных результатов; положения, выносимые на защиту; обоснованность и

достоверность научных положений, выводов и рекомендаций; апробация результатов диссертации; количество публикаций, структура и объем диссертации.

В первом разделе «Состояние вопроса по получению составов модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности» рассмотрено современное состояние научных исследований по повышению долговечности дорожных асфальтобетонов, а именно: «Напряженно-деформационное и атмосферное поведение, расчетные характеристики асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог»; «Роль матрицы асфальтобетона в формировании его свойств»; «Современные аспекты использования битумополимерных вяжущих для производства дорожных асфальтобетонов»; «Современные представления о влиянии активации межфазного контактного слоя в системе “органическое вяжущее – поверхность минеральных материалов” на свойства бетонных смесей и бетонов на органических вяжущих»; «Литые асфальтобетонные смеси и модифицированные аналоги для строительства и ремонта покрытий нежестких дорожных одежд».

Анализ работ Г. С. Бахраха, М. И. Волкова, В. А. Веренько, Л. Б. Гезенцвея, Н. В. Горелышева, В. А. Золотарева, Н. Н. Иванова, С. К. Илиополова, Ю. И. Калгина, Я. Н. Ковалева, Э. В. Котлярского, А. М. Кривиского, В. П. Подольского, Б. С. Радовского, А. В. Руденского, И. А. Рыбьева, А. О. Салля, В. М. Смирнова, Б. Ф. Соколова, Б. Б. Телтаева, Е. В. Угловой, В. В. Ядыкиной и др. свидетельствует о том, что дорожный асфальтобетон является сложным полидисперсным многофазным композиционным материалом с коагуляционным типом контактов, который в зависимости от температуры, времени действия, интенсивности нагрузки и вида напряженного состояния в процессе эксплуатации проявляет свойства вязкопластичных, изотропных и нелинейно деформируемых материалов.

Интегральными характеристиками асфальтобетонного покрытия, которые определяют его долговечность являются: деформационный критерий сдвигоустойчивости (сдвигоустойчивость определяется уровнем сформированности каркаса минерального остова и адгезионно-когезионными свойствами пленочного органического вяжущего, находящегося в межзерновом пространстве); температура стеклования, которая определяется как $R_{\max} = (T)$ (где R_{\max} – максимальное значение предела прочности при изгибе в зависимости от температуры (T), а также из зависимости $\lg E^* = f(T)$ (где E^* – динамический модуль упругости), когда значение динамического модуля упругости достигает 10^4 МПа; коэффициент длительной водостойкости ($K_{\text{вд}}$ не менее 0,88) и морозостойкости ($F > 50$) с учетом пульсирующих гидродинамических давлений на асфальтобетон; коэффициент износа покрытия дорожной одежды); усталостная долговечность асфальтобетонного покрытия (включает три стадии: накопление микротрещин в подошве монолитных слоев наката автомобиля; распространение трещин в вертикальном и продольном направлениях с выходом их на поверхность покрытия; появление вторичных продольных и поперечных трещин с образованием сетки трещин). Основными критериями, характеризующими

усталостную долговечность асфальтобетона являются количество «циклов до разрушения и коэффициент усталости при времени действия нагрузки на покрытие 0,1 – 0,4 с (частотный спектр воздействия от 0,01 Гц до 30 – 50 Гц)».

Характерной особенностью асфальтобетона является его старение на всех этапах технологической переработки и эксплуатации асфальтобетонного покрытия, которое характеризуется необратимым изменением коррозионной стойкости и деформационно-прочностных характеристик в результате деградации пленочного битума на поверхности минеральных материалов под действием кислорода, температуры, транспортных нагрузок и агрессивной окружающей среды : критерии стойкости против действия термоокислительных факторов – коэффициент воздуходоступности $K_w < 2$ (Г. С. Бахрах); критическая потеря органического вяжущего в покрытии дорожной одежды, Δm не более 22 % (В. Д. Шестеркин).

Структуру асфальтобетона принято рассматривать на двух уровнях: макро- и микро. На макроуровне это структура минерального остова, на микроуровне это структура асфальтовяжущего вещества. Важнейшей составляющей этих структурных элементов является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов. М. Дюрье, Н. Н. Ивановым, М. Я. Телегиным, И. А. Рыбьевым, В. И. Соломатовым, В. А. Золотаревым и др. получены количественные зависимости, устанавливающие взаимосвязь между качеством органического вяжущего, микроструктуры и свойствами бетонов с коагуляционным типом контактов.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований, выполненных научными школами под руководством Г. А. Бонченко, В. И. Братчуна, Т. И. Горшениной, Л. М. Гохмана, В. А. Захарова, В. А. Золотарева, С. К. Илиополова, Ю. И. Калгина, Э. В. Котлярского, В. М. Лаврухина, Н. В. Михайлова, В. В. Ядыкиной, М. Г. Яркимбаева, G. Fiebach, J. Novak, B. Fowad, G. D. Love, S. M. Prince и др., свидетельствует, что одним из наиболее перспективных способов изменения состава и структуры дисперсионной среды битумов является модификация органического вяжущего олигомерами, а также полимерами: термоэластопласты типа СБС в Европе, ДСТ в Российской Федерации (из общего количества полимеров, используемых для модификации битумов, термоэластопласты составляют 75 %); термопластичные полимеры (винилацетат, винилметилакрилаты, полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол и др. – 15 %). На остальные разновидности полимеров-модификаторов приходится, не более 10 %. Одновременное воздействие на дисперсионную среду и дисперсную фазу битумов осуществляется полимерами в комплексе с дисперсной или гранулированной серой.

Взаимодействие минеральных материалов и органических вяжущих является важнейшим элементом структурообразования в бетонах на органических вяжущих, так как оно, при прочих равных условиях, определяет прочность и деформативность асфальтобетонов при эксплуатационных температурах, способность противостоять изменяющемуся влажностному режиму и старению. Установлено, что с целью

повышения энергии взаимодействия на поверхности раздела фаз в композиционных строительных материалах поверхность минеральных материалов подвергают активации, используя для этого следующие способы; термические (М. И. Филатов, А. И. Лысихина и др.); механические (В. Н. Елкин, В. Я. Стрельникова, А. М. Васин и др.); физико-химические (А. Ф. Муль, Я. Н. Ковалев, А. В. Бусел, В. И. Соломатов, А. В. Акулич и др.); гидрофобизация поверхности минеральных материалов органическими вяжущими, ПАВ из раствора или перевода активатора в газовое состояние с последующей конденсацией на поверхности минеральных материалов); механохимические (Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Любомирский, А. И. Плотникова, В. Н. Сотникова, И. Б. Курденкова, С. И. Федоркин и др.); интенсивное диспергирование минерального материала в среде ПАВ, олигомеров, органических вяжущих, полимеров. При механохимической активации возникают реакционно-способные новые поверхности минеральных материалов и радикалы-сорбенты, что приводит к созданию на минеральных частицах первичного контактного слоя высокоструктурированного органического вяжущего, изменяющего свойства, прежде всего, минерального порошка и получаемых с его использованием асфальтобетонов повышенной долговечности. Электрофизические (В. А. Матвиенко, Я. Н. Ковалев, А. В. Бусел, О. П. Ким и др.) (контактная электризация, трибоэлектризация, электризация при разбрызгивании).

На основе фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований направленного регулирования структуры композиционных материалов с коагуляционным типом контактов, которые выполнены научными школами под руководством П. А. Ребиндера, Ю. С. Липатова, А. Б. Таубмана, М. И. Волкова, А. С. Колбановской, Л. Б. Гезенцевей, В. А. Золотарева, И. А. Рыбьева, Г. К. Сюньи, С. К. Илиополова, Ю. И. Калгина, В. И. Кондращенко, Э. В. Котлярского, В. В. Ядыкиной, Л. М. Гохмана, В. И. Братчуна и др. можно считать, что одним из эффективных способов регулирования адгезионно-когезионных свойств нефтяных дорожных битумов, которые обеспечивают эластичность асфальтовяжущего вещества и прочную связь на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал», является комплексное воздействие на микро-, мезо- и макроструктуру модификацией нефтяного дорожного битума бутадиенметилстирольным каучуком совместно с технической серой, а также этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 и активацией поверхности минеральных материалов бутадиенметилстирольным каучуком, этиленглицидилакрилатом, полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол.

Одним из самых эффективных дорожно-строительных материалов для строительства и ремонта покрытий нежестких дорожных одежд являются литые асфальтополимербетонные и асфальтосеробетонные смеси, и модифицированные их аналоги. Недостатками известных горячих литых асфальтобетонных смесей являются высокая энергоемкость производства (температура производства 210 – 240°C), узкий температурный интервал вязкоупругого состояния (70 – 80°C), интенсивное старение при производстве и низкие значения деформационно-прочностных характеристик.

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что асфальто-полимербетоны (горячий асфальтополимербетон, литой асфальтополимербетон, щебеночно-мастичный асфальтополимербетон с комплексно-модифицированной микроструктурой, в которых нефтяной дорожный битум модифицирован бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 в комбинации с технической серой или этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой, а поверхность минеральных материалов активирована полимером или олигомером, не исследованы как физико-химические системы. Не разработаны теоретические положения направленного регулирования качества асфальтополимербетонов как с комплексно-модифицированной микроструктурой, так и с модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой; недостаточно исследованы физико-химические процессы взаимодействия на поверхности раздела фаз «модифицированный битум – поверхностно-активированные минеральные материалы»; не изучены деформационно-прочностные характеристики и атмосферная стойкость асфальто-полимербетонов с комплексно-модифицированной структурой.

В первом разделе диссертационной работы разработана блок-схема теоретических и экспериментальных исследований.

Во втором разделе «Теоретико-методологические положения формирования оптимальных структур комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности» сформулированы теоретические положения диссертационной работы

Современные представления об: условиях работы асфальтобетонов в покрытиях нежестких дорожных одежд, о составе и структуре нефтяных дорожных битумов, о закономерностях структурообразования в концентрированных растворах полимеров, наполненных полимерных системах, битумо- и полимербитумных вяжущих, в асфальтовяжущих веществах и в асфальтобетонах, и использование системного анализа позволили: разработать конструктивно-функциональную схему асфальтобетона как открытой системы; обосновать способы направленного регулирования структуры асфальтобетона, например, микро-, мезо- и макроструктур; разработать концептуальные физико-химические модели формирования оптимальных структур асфальтовяжущих веществ, обеспечивающих повышенную долговечность дорожного асфальтобетона в условиях эксплуатации; оптимизировать составы и структуры систем: «битум – бутадиенметилстирольный каучук – техническая сера»; «битум – этиленглицидилакрилат – шлам нейтрализации травильных растворов, активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол» с использованием регрессионного анализа параметров многокомпонентных систем с экспериментально-статистическим описанием областей допустимых значений факторов.

Функционально-физический анализ дорожного асфальтобетона в виде ориентированного графа (вершины – элементы асфальтобетона и объекты окружающей среды, ребра функции элементов (таблица 1, рисунок 1) показывает, что свойства асфальтобетона определяются, в первую очередь, качеством матрицы, представленной органическим вяжущим (ОВ) и минеральным порошком (МП).

Таблица 1 – Анализ функций асфальтобетонов в покрытии нежесткой дорожной одежды

Элемент		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
1	2	3	4
E_1	Щебень	Φ_1	Выполняет в асфальтобетоне роль высокопрочного структурообразующего компонента, заполняющего наибольший объем бетона
E_2	Песок	Φ_2	Заполняет основной объем пустот щебеночного каркаса. Повышает удобоукладываемость асфальтобетонной смеси (способствует переводу трения скольжения в трение качения). Снижает напряжение в монолите при укатке смеси.
E_3	Минеральный порошок	Φ_3	Структурирует нефтяной дорожный битум. Увеличивает поверхность контактирования между зернами песка и щебня. Уменьшает тепловое расширение битума и скольжение при торможении транспорта. Повышает адгезионные и механические свойства битума. Увеличивает плотность минеральной смеси и асфальтобетона.
E_4	Нефтяной дорожный битум	Φ_4	Формирует непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Выполняет роль вяжущего вещества. Придает гидрофобность бетону. Обеспечивает химическую стойкость асфальтобетона.
$E_1 \cdot E_2$	Смесь щебня и песка	$\Phi_1 \cdot \Phi_2$	Обеспечивает заполнение объема монолита. Воспринимает механические и тепловые напряжения в покрытии с последующей передачей их основанию или нижележащему конструктивному слою.
$E_3 \cdot E_4$	Смесь минерального порошка и нефтяного дорожного битума	$\Phi_3 \cdot \Phi_4$	Формирует структурированную непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Повышает плотность, водоустойчивость, морозостойкость и прочность асфальтобетона в области высоких положительных температур.
$E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot E_4$	Асфальтобетон – композиционный материал, полученный уплотнением ($K_y \geq 0,99$) при оптимальной температуре рационально подобранной смеси из щебня, песка, минерального порошка и нефтяного дорожного битума и перемешанной до однородного состояния ($K_{\text{вар. содержания ключевого компонента}} < 7 \%$).	$\Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3 \cdot \Phi_4$	Обеспечивает сдвигоустойчивость, трещиностойкость, усталостную долговечность, морозостойкость, водостойкость, атмосферостойкость, стабильность верхнего слоя дорожной одежды.

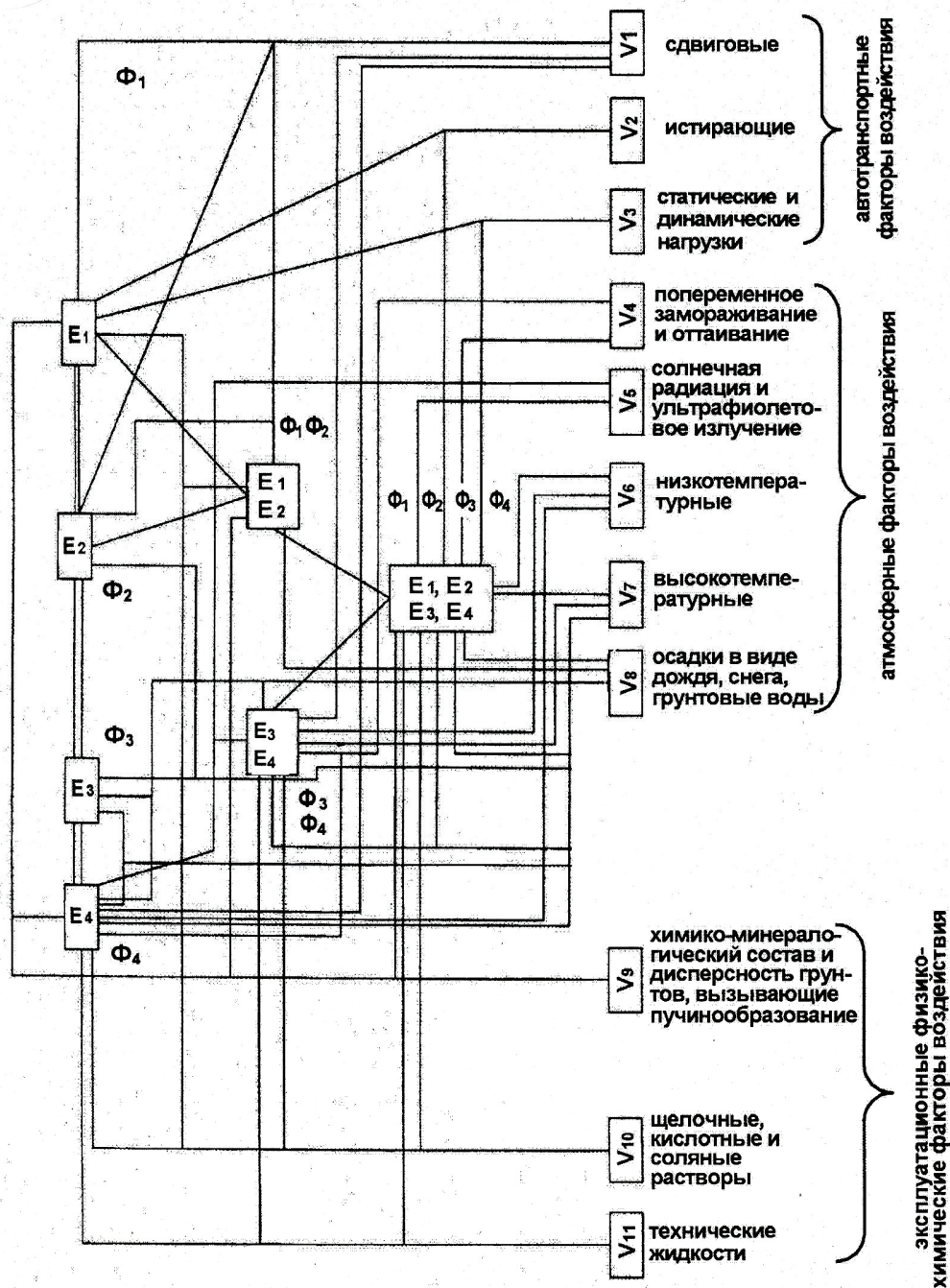


Рисунок 1 – Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона: E_1, E_2, E_3, E_4 – элементы асфальтобетона – щебень, песок, минеральный порошок и нефтяной дорожный битум соответственно; объекты воздействия на асфальтобетон в покрытии внешней среды; V_1 – сдвиговые, V_2 – истирающие, V_3 – статические и динамические нагрузки, V_4 – попеременное замораживание – оттаивание, V_5 – солнечная радиация и ультрафиолетовое облучение, V_6, V_7 – низкотемпературные и высокотемпературные воздействия соответственно, V_8 – осадки в виде дождя, снега и грунтовых вод, V_9 – химико-минералогический состав и дисперсность грунтов, вызывающие пучинообразование, V_{10} – щелочные, кислотные и соляные растворы, V_{11} – технические жидкости; Φ_1, Φ_2, Φ_3 , и Φ_4 – функции (реакции) элементов на действие окружающей среды

При этом получение асфальтобетона с заданной структурой и свойствами достигается при оптимальном количественном соотношении между микро-, мезо- и макроструктурами, а именно : при проектировании долговечных асфальтобетонных необходимо создать устойчивый пространственный каркас, деформационно-релаксирующее с высокими адгезионно-когезионными свойствами асфальто-вяжущее вещество, а объем остаточных пор в бетоне должен быть минимальным.

Для получения сдвигоустойчивого бетона следует проектировать II тип макроструктуры асфальтобетона (поровая), который позволит эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего, разделяющих полидисперсные минеральные частицы, так и пространственного каркаса, образованного зернами щебня и способствующего повышению сдвигоустойчивости за счет увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости (достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности, внутреннего трения и зацепления, исследования В. А. Золотарева).

При качественных компонентах и оптимальной структуре бетона наиболее целесообразным способом управления структурообразованием асфальтобетона является физико-химическая модификация «объемного» и «структурированного» органического вяжущего полимерными добавками (битума термоэластопластами и реакционноспособными терполимерами, и комплексными добавками (полимер+ активный дисперсный наполнитель, катализатор отверждения терполимера), а также повышение энергии взаимодействия на поверхности раздела фаз (ПРФ) «органическое вяжущее – минеральный порошок», активированный олигомером, который содержит функциональные группы, полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (ПОЭС) или растворами полимеров, например, СКМС-30, этиленглицидилакрилат и др.

Необходимым условием эффективного влияния полимера на свойства органических вяжущих является их совместимость, которая определяется прежде всего способностью полимера растворяться в вяжущем до молекулярного и надмолекулярного уровня. Только при этом условии можно получить существенное улучшение структуры и свойств органических вяжущих (например, равенство параметров растворимости полимера и дисперсионной среды органического вяжущего). Оптимальные температурно-временные режимы совмещения полимера и нефтяного битума должны обеспечить растворение полимера в битуме без деструкции последнего при достижении максимального значения битумополимерным вяжущим значений эластичности.

Макромолекулы полимера в среде органического вяжущего должны обладать склонностью к ассоциации. Такими могут быть высокомолекулярные соединения, содержащие в своем составе функциональные группы (NH, OH, CCl и др.), например, этиленглицидилакрилат. Это позволит при минимальном содержании полимера в битуме сформировать термофлуктуационную пространственную сетку, прочность которой будет определяться прочностью связей в узлах сетки (даже при повышенных температурах) и числом узлов, а эластичность гибкостью цепей между ними (при низких температурах). В частности, при получении битумополимерных вяжущих полимер должен образовывать в битуме

такую структурную сетку, которая сохраняет прочность при температуре не ниже 60°C, а эластичность при минимальной температуре данного дорожно-климатического района.

Структура битумополимерных вяжущих (БПВ) должна характеризоваться оптимальным сочетанием измененной полимером дисперсионной среды органического вяжущего и структурно-механическими характеристиками дисперсной фазы органического вяжущего. Для этого ОВ должно иметь оптимально-структурированную среду (нефтяной дорожный битум III структурно – реологического типа).

Структурная сетка полимера должна сформироваться в ОВ после окончания уплотнения асфальтобетонной смеси или обратимо разрушаться при критических напряжениях.

Введение полимера в ОВ должно повышать или не понижать его адгезию к поверхности минеральных материалов.

БПВ при хранении в битумоварочных котлах при технологических температурах должно быть термостабильным и кинетически термоустойчивым.

При модификации маловязких ОВ вместе с полимерами необходимо вводить структурирующие добавки (техническая сера, активный дисперсный наполнитель). Дисперсный наполнитель должен хорошо смачиваться битумополимерной средой. Это будет способствовать более равномерному распределению его в объеме ОВ. Для обеспечения седиментационной устойчивости наполненного БПВ плотность структурирующей добавки должна быть сопоставима с плотностью модифицируемого (битумополимерного) вяжущего. Наполнитель должен содержать полярные и даже реакционноспособные группы, способствующие упрочнению связи на ПРФ «органическое вяжущее – наполнитель». Введение оптимальной концентрации дисперсного наполнителя в БПВ приведет к увеличению общей степени структурированности системы, так как часть раствора полимера перейдет в двумерное состояние с повышенными механическими свойствами. По мере увеличения концентрации наполнителя или уменьшения размера его частиц сформируются коагуляционные структуры из частиц наполнителя и асфальтенов битумов через прослойки пластифицированного полимера. В битумополимерном вяжущем должна сформироваться трехмерная сопряженная сетка, которая обеспечит заданные технологические свойства асфальтобетонных смесей и структурно-механические характеристики комплексно-модифицированного асфальтобетона.

Решающее значение для формирования физико-механических свойств композиционных материалов имеют состояние и свойства граничных слоев на поверхности раздела фаз.

Согласно предложенной концептуальной модели (рисунок 2), поверхностная активация растворами олигомеров или полимеров поверхности минерального порошка (МП) приведет к лучшему совмещению активированного МП с модифицированным органическим вяжущим (при правильном подборе активатора и модификатора), например, с битумополимерным, что обеспечит полное смачивание ее модифицированным органическим вяжущим.

В результате межмолекулярных взаимодействий и диффузионных процессов на границе раздела фаз «активированный МП – модифицированное вяжущее» образуется структурно-упрочненный слой, обеспечивающий высокую адгезионную прочность на ПРФ асфальтобетона.

Модификацию битума бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 целесообразно вести из раствора в углеводородных фракциях.

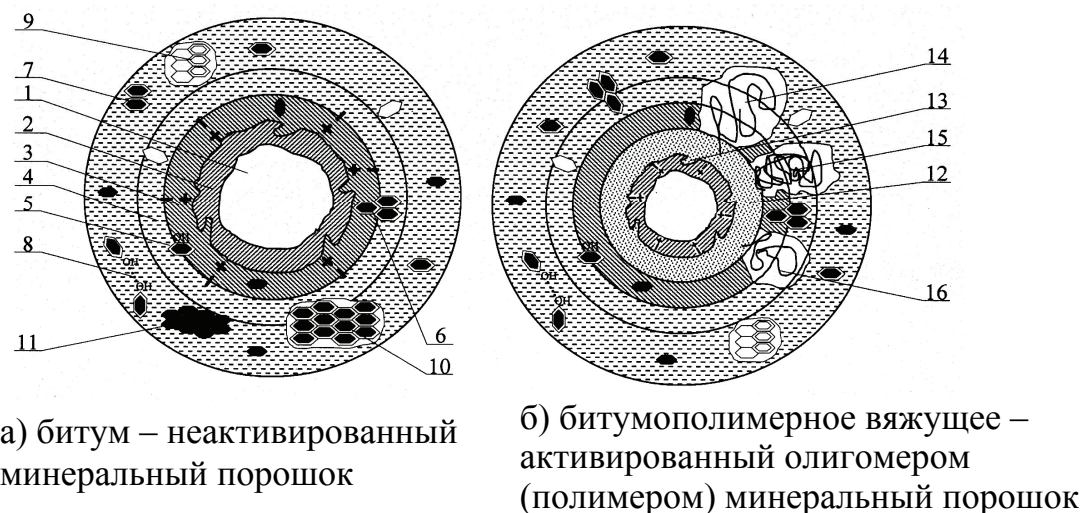


Рисунок 2 – Предполагаемая схема формирования межфазного контактного слоя в системе «битумополимерное вяжущее – активированный олигомером (полимером) минеральный порошок»: 1 – частица минерального порошка; 2, 3, 4 – структурированный, диффузный и объемный слои вяжущего соответственно; 5 – полярное вещество битума; 6 – асфальтены; 7 – смолы; 8 – ассоциативный комплекс; 9 – кристалл полициклического углеводорода; 10, 11 – фрагменты коагуляционной и конденсационной структур; 12 – слой олигомера (полимера) – активатора поверхности МП; 13 – пора, заполненная олигомером; 14 – фрагмент полимерной сетки; 15, 16 – фрагменты структур с аутогезионными взаимодействиями

Можно предположить, что в этом случае при концентрации СКМС-30 2 – 3 % мас. в органическом вяжущем в области эксплуатационных температур сформируется термофлуктуационная пространственная полимерная сетка (исследования Л. М. Гохмана). Узлами цепей из макромолекул и надмолекулярных образований СКМС-30 являются α -метилстирольные блоки, которые объединяются между собой с понижением температуры до точки перехода полистирола в стеклообразное состояние, а также образованными в результате взаимодействия макромолекул СКМС-30 и асфальтенов битума. Прочность термофлуктуационной пространственной полимерной сетки будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность – кинетической гибкостью бутадиеновых цепей между узлами сетки.

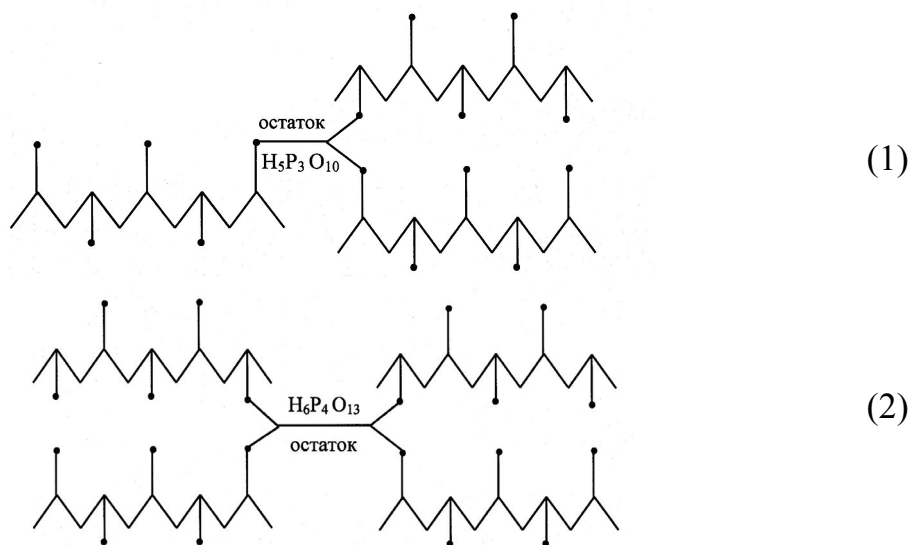
По мере увеличения концентрации элементарной серы (температура объединения битума и серы 150 – 155 °С) должно произойти увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы должна принять участие в вулканизации бутадиенметилстирольного каучука

(образуются преимущественно моносulfидные $-\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}-\overset{|}{\underset{|}{\text{S}}}-\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}-$ и поперечные полисульфидные связи типа $\text{H}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{S}_n-\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H}$). До 10 % мас. серы вступит в

химическое взаимодействие с углеводородами битума. Произойдет $-\text{S}-$ дегидрирование и образование асфальтеноподобных веществ. Часть серы растворится (20 – 26 % мас.). Остальная сера должна диспергироваться в битуме до коллоидного состояния. Это приведет к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия частиц серы через прослойки полимера. В битумополимерсерном вяжущем возникнет трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

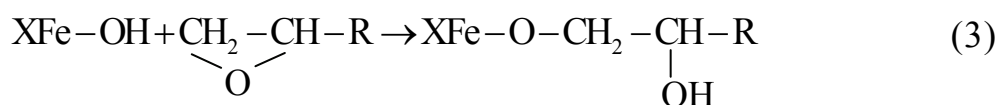
Активация поверхности минерального порошка СКМС-30 должна привести к формированию на поверхности порошка структурно-упрочненного слоя полимера, который повысит адгезию битумополимерсерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сополимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, аутогезии макромолекул СКМС-30 (рисунок 2). Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией, что и определит долговечность модифицированного асфальтобетона.

Еще более высокой структурирующей способностью в нефтяном дорожном битуме должен обладать комплекс «этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота», так как при взаимодействии эпоксигрупп с полифосфорной кислотой должны образовываться как сдвоенные цепи (1), так и узлы (2) полимерной пространственной сетки.



При поверхностной активации шламов нейтрализации растворов травления сталепроволочно – канатных заводов полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол следует ожидать формирования на поверхности раздела фаз

структурно – упрочненного контактного слоя из олигомеров и полимеров эпоксидных смол в результате дисперсионных, донорно-акцепторных, радикал-радикальных, а также хемосорбционных взаимодействий на поверхности гидроксида железа по эпоксигруппам (3) :



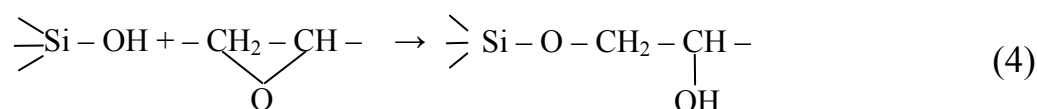
где X – поверхность шлама;

R – остаток ЭД-16.

Структурно-упрочненный слой из надмолекулярных образований ПОЭС на поверхности шлама нейтрализации будет способствовать адгезии битумо-полимерного вяжущего к поверхности минерального порошка через увеличение контактов сегментов надмолекулярных образований этиленглицидилакрилата с активными центрами олеофильной поверхности, аутогезии макромолекул Элвалоя АМ и ПОЭС.

Это должно привести к формированию прочной и эластичной матрицы асфальтополимербетона с высокой адгезией и когезией, которая обеспечит долговечность асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой.

При механоактивации раствором этиленглицидилакрилата кварцевых песков и гранитного щебня, основным компонентом которых является SiO_2 (с тетраэдрами SiO_2 обычно связаны поверхностные гидроксильные группы), эпоксидные группы Элвалоя АМ будут взаимодействовать с поверхностью кислых горных пород по схеме (4) :



Таким образом, должна возникнуть прочная и эластичная матрица асфальтополимербетона с высокой адгезией к структурообразующим элементам микро-, мезо- и макроструктуры.

Следовательно, асфальтополимербетонные смеси с комплексно – модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой должны отличаться от горячих асфальтобетонных смесей более широкими температурными интервалами уплотнения и повышенной уплотняемостью. Это связано не только с меньшей температурной чувствительностью асфальтополимербетона, но и формированием более развитых адсорбционно-сольватных слоев модифицированного вяжущего на поверхности минеральных материалов.

Повышенная уплотняемость асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной структурой должна привести к увеличению количества замкнутых пор в единице объема а, следовательно, к уменьшению агрессивного воздействия воды и растворов противогололедных веществ. Кроме того, модифицированные асфальтобетоны должны отличаться меньшей водопроницаемостью за счет более развитых пленок вяжущего, их более высокой когезии и адгезии к активированной поверхности минеральных

материалов. Естественно, что меньшее количество замкнутых открытых пор будет способствовать меньшему доступу кислорода к вяжущему, что обеспечит более высокую устойчивость комплексно-модифицированных асфальтополимербетонов к старению.

Компоненты комплексно-модифицированного асфальтобетона должны сорбировать большую часть масел и смол и тем самым замедлить интенсивность испарения и избирательной диффузии низкомолекулярных углеводородов внутрь минеральных зерен. Кроме того, должна увеличиться энергия активации реакций поликонденсации групп веществ, составляющих битум. Все это приведет к замедлению старения покрытий автомобильных дорог, построенных из асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой.

Можно предположить, что асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой будут более устойчивы в условиях попеременного водонасыщения – высушивания и замораживания-оттаивания, что связано не только с особенностями поровой структуры бетонов, но и со спецификой напряженного состояния модифицированного асфальтобетона, вызываемого водонасыщением и высушиванием. Специфика напряженного состояния модифицированного асфальтополимербетона должна состоять в том, что циклические знакопеременные напряжения, возникающие в бетоне при периодически повторяющихся водонасыщении и оттаивании, будут в силу повышенной эластичности структурных связей, преимущественно упругими и, соответственно, вызывать обратимые деформации.

Бетон из асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной структурой должен иметь повышенные деформативную и динамическую устойчивость в области низких эксплуатационных температур, прочность и сдвигустойчивость – при положительных.

Во втором разделе диссертационной работы разработаны блок-схемы получения : горячей (литой) асфальтополимерсеробетонной смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой; горячей асфальтополимербетонной смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой, содержащей в качестве компонентов асфальтовяжущего вещества техногенное сырье: шламы станций нейтрализации травильных растворов и полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол; горячей асфальтополимербетонной смеси (щебеночно-мастичной) с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105.

В третьем разделе «Характеристика объектов и методов исследований» приведены объекты и методы исследований

В качестве органических вяжущих приняты нефтяные дорожные битумы марок : БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, соответствующие требованиям ДСТУ 4044-2001 (ГОСТ 22245-90).

Для комплексной модификации микро-, мезо- и макроструктуры асфальтобетонов использованы : каучук синтетический бутадиен-метилстирольный

СКМС-30 АРКМ-15 (ГОСТ 11138-78); техническая сера (ГОСТ 127.1-93); этиленглицидилакрилат, отвечающий требованиям сертификата качества концерна – производителя «DUPON» (США) совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 следующего состава (%): H_3PO_4 – 51, $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ – 42, $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ – 6, $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ – 1.

Использован известняковый минеральный порошок (МП): содержание CaCO_3 – 92 %; удельная поверхность $S_{1,2} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$; плотность – 2715 кг/м^3 ; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 1880 кг/м^3 ; пустотность – 31,8 %; битумоемкость – 50 %.

Щебень и песок получены дроблением и рассевом гранита Каранского карьера (Донецкая область) со следующими показателями качества: дробимость – 6,2 % (марка щебня по прочности – 1400); истираемость щебня в полочном барабане – 2,3 %; насыпная плотность щебня – 1410 кг/м^3 ; истинная плотность – 2670 кг/м^3 ; морозостойкость $F > 200$ циклов; содержание зерен лещадной и игольчатой формы – 6,5 %.

В диссертационной работе приняты горячие асфальтобетоны типов А, Б и ЩМА -10.

На сталепроволочно-канатных заводах в процессе нейтрализации отработанных сернокислотных растворов известковым молоком ежегодно в Украине и в Российской Федерации образуются многотонажные отходы как жидкие шламы, так и отходы из под пресс-фильтров (кек), которые вывозятся в отвалы. Для изучения физико-химических свойств шлам обезвоживали при 105°C и измельчали до прохождения сквозь сито №0071.

При производстве твердых эпоксидных смол, прежде всего, эпоксидно-новолачных (ЭН-6, ЭН6НХ, УП-692, УП-643 и др.) образуются отходы в виде водно-органических эмульсий, содержащих значительное количество твердых смол, а также органических растворителей, направляемых в коллектор сжигания. Физико-химический состав полимерных отходов производства эпоксидных смол изучен совместно с сотрудниками отдела физико-химических методов исследования УкрНИИпластмасс г. Донецка: сумма летучих компонентов 35 – 60%; вода – 25 – 45 %; органические растворители: толуол, ацетон, ИПС и др. 10 – 15 %; зола, менее 12 %; хлористый натрий, менее 7 %; хлор омыляемый, менее 6 %; полимерный остаток 35 – 50 %.

В качестве техногенного сырья использованы: шлам нейтрализации травильных растворов Харцызского сталепроволочно-канатного завода; полимер-содержащие отходы производства эпоксидных смол Горловского химзавода и опытного производства УкрНИИпластмасс.

В диссертационной работе, кроме стандартных, использован ряд специальных методов исследований: калориметрический (микрокалориметр ДАК-I-IA); электронномикроскопический (сканирующий микроскоп ИСИ-60А); инфракрасная спектроскопия (спектрометр Spekord IR-75); ротационная вискозиметрия (пластовискозиметр ПВР-2); рентгенофазовые (дифрактометр УРС-50) и др.; исследование усталостной долговечности при действии

статических и динамических нагрузок в условиях двухстороннего изгиба выполнено на разработанной установке, которая позволяет исследовать стандартные образцы-балочки (16х4х4 см) в режиме постоянных циклических нагружений с определением количества циклов до разрушения и замеров величин прогиба образца. Режимы циклического нагружения: нагрузка от 0,1 до 0,5 с, отдых от 0,2 до 0,9 с. Величина циклической нагрузки 10 – 50% от разрушающей. Температурные режимы испытаний: –20°С; –10°С; 0°С; 10°С; 20°С. Стойкость к колееобразованию образцов асфальтобетона определяли на установке Infratest Кат. 20-4000 при температуре 60°С, определяя глубину формирования колеи после 10000 и 20000 циклов прокатывания нагруженного колеса ($p = 0,7$ МПа) по EN12697-33. Для определения глубины вдавливания штампа при определении пластичности литых асфальтобетонов, подвижности литых асфальтополимерсеробетонных смесей, устойчивости по Маршаллу, моделирования уплотняемости асфальтобетонных смесей на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО «ДонНАСА» изготовлены приборы и оборудование в соответствии с нормативными документами.

В четвертом разделе «Направленное регулирование качества асфальто-вяжущих веществ и комплексно-модифицированных асфальтобетонов» приведены результаты экспериментальных исследований

Асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой, характеризующиеся повышенной долговечностью

Сопоставление рассчитанных параметров растворимости (δ) бутадиен-метилстирольного каучука СКМС-30, этиленглицидилакрилата (Элвалой АМ) и алкановых фракций битума свидетельствует о том, что они имеют близкие значения δ (5).

$$\delta_{\text{СКМС-30}} \approx \delta_p \approx \delta_{\text{элвалоя}}, \quad (5)$$

где $\delta_{\text{СКМС-30}}, \delta_p, \delta_{\text{элвалоя}}$ – параметры растворимости бутадиенметилстирольного каучука, алкановых компонентов битума и этиленглицидилакрилата, $\delta_{\text{СКМС-30}} 16,8 \approx \delta_p (15,25 - 16,13) \approx \delta_{\text{элвалоя}} 17,4 \text{ М Дж}^{0,5}/\text{м}^{1,5}$.

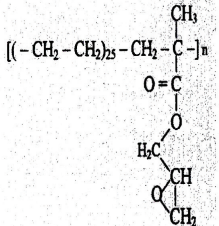

Или, например, при оценке термодинамической совместимости этиленглицидилметакрилата (ЭГМА) и нефтяного дорожного битума параметр растворимости (δ) рассчитывали по структурной формуле ЭГМА, по методу групповых вкладов компонентов этиленглицидилметакрилата (6) :

$$\delta = \frac{\sum F_i}{\sum V_i}, \quad (6)$$

где F_i – константы молекулярного притяжения;
 V_i – мольные объемы атомных групп.

Групповые вклады по Ван Кревелену и расчеты приведены в таблице 2. Там же приведены расчеты для «стирол-бутадиен-стирольного» блок-сополимера с содержанием стирольных блоков 30 % по массе – ДСТ-30Р-01. Исходя из этого состава, на одно стирольное звено приходится 4,54 дивинилстирольных звеньев, что и учтено при расчете δ (таблица 2).

Таблица 2 – К расчету параметров растворимости полимеров

Полимер	Структурная формула повторяющегося звена, ее элементы	Эмпирическая формула	Константа молекулярного притяжения $F \cdot 10^3$, $\frac{\text{Дж}^{0,5} \cdot \text{м}^{1,5}}{\text{моль}}$	Мольные объемы атомных групп $V \cdot 10^6$, $\text{м}^3/\text{моль}$	Параметр растворимости δ , $\frac{\text{МДж}^{0,5}}{\text{м}^{1,5}}$
Элвалой АМ		$\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_3$	$140,4 \cdot 110 = 15444$	–	
	$(-\text{CH}_2-)_3$	–	–	$16,45 \cdot 3 = 871,85$	
	$-\text{CH}_3$	–	–	22,8	
	$-\text{C}-\text{H}$	–	–	9,85	
	$-\text{C}-$	–	256,3	4,75	
		–	256,3	8,5	
Итого			15956,5	938,75	17,0
ДСТ-30Р-01 дивинильный блок	$[-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2-]$	C_4H_6	$(140,4 \cdot 6) \cdot 4,54^{*}) = 3824,5$	–	
	$-\text{CH}=\text{CH}-$	–	–	$27,75 \cdot 4,54^{*}) = 126,0$	
	$(-\text{CH}_2-)_2$	–	–	$(2 \cdot 16,54) \cdot 4,54^{*}) = 149,4$	
Двойная неароматическая связь		–	$164 \cdot 4,54^{*}) = 744,6$	–	
Стирольный блок	$[-\text{CH}_2\text{CH}_2(\text{C}_6\text{H}_5)-]$	C_8H_9	$140,4 \cdot 9 = 1263,6$	–	
	$-\text{C}_6\text{H}_5$	–	–	64,65	
	$(-\text{CH}_2-)_2$	–	–	$2 \cdot 16,45 = 32,9$	
Ароматические двойные связи в кольце	–	–	$272,7 \cdot 3 = 818,1$	–	
Итого			6650,8	373,0	17,8

В таблице 3 приведены параметры растворимости для групповых компонентов битума и полимеров-модификаторов.

Из данных таблицы 4 следует, что битумополимерные вяжущие, содержащие в своем составе этиленглицидилметакрилат, значительно седиментационно-устойчивые, чем битумополимерные вяжущие, которые модифицированы стирол-бутадиен-стиролом и полибутадиен-стиролом.

Таблица 3 – Сопоставление параметра растворимости компонентов битума и полимеров

Наименование	Средняя молекулярная масса	Неопределенность, (1), %	$\delta, \frac{МДж^{0,5}}{М^{1,5}}$
Групповые компоненты битума			
масла	500	2,13	17,8
смолы	800	3,06	18,2
асфальтены	1148	3,06	18,9
Полимеры			
Элвалой АМ (ЭГМА)	~10000 (842) (2)	отсут.	17,4
ДСТ-30Р-01 (СБС)	90000 – 110000 (350) (2)	7,43	17,8

(1) содержание ненасыщенных связей ($-CH=CH-$);

(2) молекулярная масса повторяющегося звена.

Как видно из таблицы 4, оба полимера совместимы с мальтенами битума.

Таблица 4 – Термоустойчивость битумополимерных вяжущих

Наименование полимера (массовая концентрация полимера, % к битуму)	Неопределенность (1), %	Параметр растворимости полимера $\delta, \frac{МДж^{0,5}}{М^{1,5}}$	Изменение показателей (ΔA) (2)		
			Пенетрация P_{25} (0,1 мм)	Температура размягчения, °C	Эластичность при 25°C, %
Элвалой АМ (2)	отсут.	17,4	7,0	-1,0	-6,0
ДСТ-30Р-01 (3)	7,43	17,8	63,0	34,2	58,0
Кратон Д-1186 (3)	---	--- (3)	46,0	56,0	47,0
Бутонал NS 198 (4)	---	--- (4)	14,0	5,0	30,0

(1) содержание ненасыщенных связей ($-CH=CH-$);

(2) $\Delta A = A_{\text{верх}} - A_{\text{низ}}$, где A – абсолютные величины показателей качества модифицированного органического вяжущего вверху и внизу тьюба;

(3) аналог ДСТ-30Р-01;

(4) статистический сополимер бутадиен-стирольный с конгломерированной серой.

Зависимость предела прочности при сжатии асфальтополимерсеробетона имеет максимум при содержании 0,5 % мас. СКМС-30 на поверхности минерального порошка. При данной концентрации термоэластопласта на поверхности минерального порошка формируется олеофильный структурированный слой СКМС-30, который способствует усилению коагуляционного структурообразования в асфальтовязущем веществе.

Составы асфальтополимерсерного вяжущего оптимизированы. Факторы варьирования – массовая концентрация в битуме СКМС-30 $X_1 = 1 \dots 5\%$ мас.

и технической серы $X_2 = 20 \dots 60$ % мас. Параметры оптимизации асфальто-полимерсеробетона, приготовленного на известняковом минеральном порошке, который активирован 0,5 % мас. СКМС-30 : предел прочности при сжатии при 0°C R_0 (Y_1) – не более 12 МПа, при 75°C R_{75} (Y_2) – не менее 1,2 МПа, а также коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд}$ (Y_3) – не менее 0,8. Регрессионный анализ выполнен с помощью ЭВМ по программе, написанной на языке MathCAD. $Y_1(7)$ и $Y_2(8)$ аппроксимированы полиномами второй степени, а Y_3 (9) первой:

$$Y_1(X_1, X_2) = 9,033 + 0,633 \cdot x_1 + 0,825 \cdot x_2 - 0,658 \cdot x_2^2 \quad (7)$$

$$Y_2(X_1, X_2) = 1,367 + 0,177 \cdot x_1 + 0,242 \cdot x_2 - 0,225 \cdot x_2^2 \quad (8)$$

$$Y_3(X_1, X_2) = 0,912 - 0,09 \cdot x_2 \quad (9)$$

Коэффициент корреляции 0,97, 0,98 и 0,94, коэффициент вариации 0,034, 0,028 и 0,043 соответственно. Информационная способность моделей 7, 8, 9 проверена с помощью критерия Фишера. Определены доверительные интервалы значений для функций отклика. Выделена область оптимальных значений факторов системы «битум – бутадиенметилстирольный каучук – техническая сера», обеспечивающих заданные параметры оптимизации модифицированного асфальтовязующего вещества.

Термограммы ДТА, как и данные ИК – спектроскопии, свидетельствуют о том, что в системе «битумополимерсерное вяжущее – минеральный порошок, активированный 0,5 % мас. СКМС-30», более четко проявляются полосы поглощения битума (ароматика, метильные группы), чем в системе «битумополимерсерное вяжущее – неактивированный минеральный порошок». Следовательно, слой структурированного бутадиен-метилстирольного каучука на поверхности минерального порошка улучшает смачивание его вяжущим и обеспечивает более сильное межмолекулярное взаимодействие на поверхности раздела фаз.

Асфальтополимерсеробетонные смеси более технологичны, чем традиционные горячие асфальтобетонные. Оптимальный интервал температур уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей с комплексно-модифицированной микроструктурой 60 – 130°C, а для горячих асфальтобетонных смесей, приготовленных на битуме БНД 40/60, 90 – 130°C. Это позволит продлить строительный сезон, дальность транспортирования асфальтобетонных смесей, увеличить эффективное время уплотнения.

Асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой оптимальных составов характеризуются следующими показателями качества: предел прочности при сжатии, МПа при 0°C $R_0 = 8 - 10$, при 20°C $R_{20} = 5,0 - 6,5$, при 75°C $R_{75} = 1,2 - 1,4$; набухание, % от объема – 0; водонасыщение, % от объема 1,5 – 2,0.

Предел прочности при изгибе при температуре 60°C для асфальтобетона с комплексно-модифицированным асфальтовязующим веществом в 4,2 раза больше, в сравнении с традиционным горячим асфальтобетоном. Это обеспечит более высокую несущую способность и сдвигустойчивость асфальтобетонного покрытия с применением модифицированных асфальтобетонов.

Асфальтополимерсеробетон характеризуется большими критическими напряжениями ($\sigma_{кр} = 0,095$ МПа), чем горячий асфальтобетон (0,045 МПа), а также более широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды (рисунок 3).

Температура стеклования для асфальтополимерсеробетона равна минус 32,5°C, для горячего асфальтобетона на битуме БНД 40/60 – минус 17,5°C, а температура перехода в вязкотекучее состояние для асфальтополимерсеробетона равна 75°C, для горячего асфальтобетона $T_{вп} = 41$ °C (рисунок 3). Следовательно, температурный интервал вязкоупругого состояния модифицированного асфальтополимерсеробетона составляет 107,5°C, что на 49°C больше, чем у горячих асфальтобетонов по ДСТУ Б В.2.7-119:2011 (ГОСТ 9128-2013). Характерно, что модуль упругости асфальтополимерсеробетона при 50°C значительно больше, чем асфальтобетона, приготовленного на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм) (рисунок 3). Коэффициент пластичности асфальтополимерсеробетона в диапазоне изученных температур –20 ... 50°C линеен. Это свидетельствует о малом температурно-временном влиянии на реологические свойства асфальтополимерсеробетона.

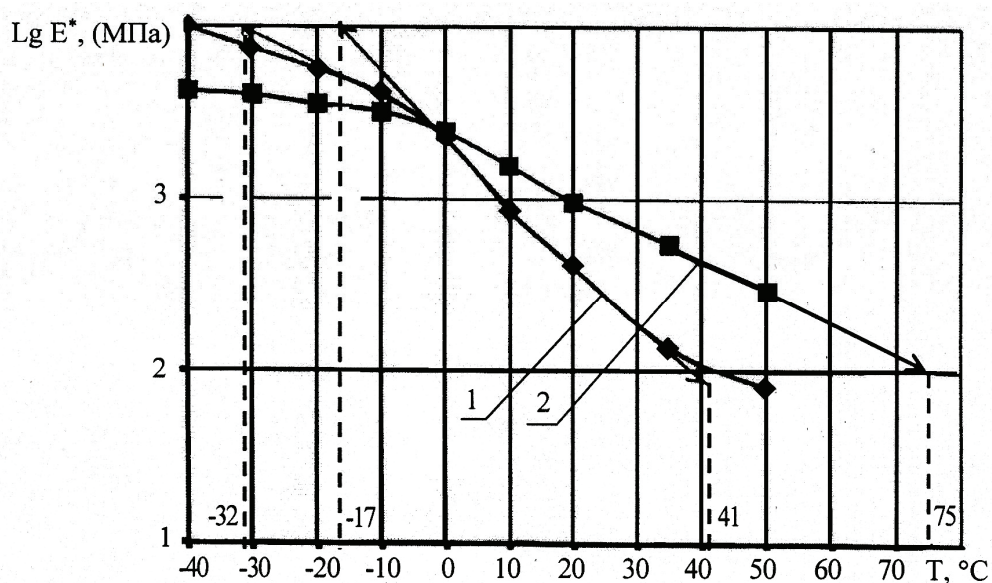


Рисунок 3 – Температурная зависимость комплексного модуля упругости E^* асфальтобетона при частоте деформирования 0,05 Гц: 1 – мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм); 2 – мелкозернистый асфальтополимерсеробетон (битум $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм модифицирован 2% мас. СКМС-30 и 30% мас. технической серы, минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30)

Асфальтополимерсеробетоны более долговечны. Так, коэффициент старения (тепловой прогрев выполнен при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении в климатической камере ИП-1) после 2000 часов прогрева $K_{ст} = 1,25$, а для горячего асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$. Коэффициент водостойкости при водонасыщении в течение 90 суток для асфальтополимерсеробетона составляет $K_{вд} = 0,87$, а для традиционного асфальтобетона $K_{вд} = 0,59$.

Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и устройства слоев износа покрытий нежестких дорожных одежд

Для оптимизации состава бинарной смеси “битумополимерсерное вяжущее – поверхностно-активированный минеральный порошок” использован двухфакторный композиционный несимметричный план на трех целочисленных уровнях (-1; 0; +1) с коэффициентом корреляции между факторами $r_{ij} < 0.1$, $i, j = 1, 2$ и $i \neq j$.

В качестве факторов, действующих на оптимизируемую систему, приняты: массовая концентрация минерального порошка, активированного раствором СКМС-30 (0,5 % мас. СКМС-30 в пересчете на твердое вещество к массе известнякового минерального порошка), X_1 (10 – 20% мас.); массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего (битум БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм) модифицирован 2% мас. СКМС-30 по массе и 30% мас. технической серы), X_2 (6,5 – 10,5 % мас.). В качестве параметров оптимизации состава матрицы асфальтополимерсеробетона приняты: предел прочности на растяжение при изгибе при 0°C, Y_1 ($R_{изг}$, не менее 5,6 МПа); коэффициент длительной водостойкости Y_2 ($K_{вд}$, не менее 0,96); подвижность смеси при 150°C (Y_3 , не менее 30 мм); глубина погружения штампа при 40°C, Y_4 (h , не более 4 мм).

Регрессионный анализ выполнен с помощью программы “Actat 2,0”. Получены уравнения регрессии в виде неполных и полных полиномов 2-й степени (10, 11, 12) :

$$Y_1(X_1, X_2) = 4,96 + 1,68 \cdot x_1 + 1,36 \cdot x_2 + 1,28 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,24 \cdot x_1^2 \quad (10)$$

(м.к.к. = 0,981, $C_v = 10,6\%$)

$$Y_2(X_1, X_2) = 32 + 15,5 \cdot x_1 + 7,3 \cdot x_2 - 2,39 \cdot x_1^2 \quad (11)$$

(м.к.к. = 0,975, $C_v = 14,4\%$)

$$Y_4(X_1, X_2) = 3,43 + 0,33 \cdot x_1 + 0,52 \cdot x_2 + 0,39 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,22 \cdot x_1^2 + 0,32 \cdot x_2^2 \quad (12)$$

(м.к.к. = 0,985, $C_v = 4,7\%$).

Характерно, что при всех значениях факторов варьирования коэффициент длительной водостойкости (Y_3) обеспечивается.

Исходя из ограничений по показателю пластичности литого асфальтополимерсеробетона (глубина погружения штампа) и по показателю подвижности при 150°C (осадка конуса), а также учитывая экономичность литого асфальтополимерсеробетона установлено, что оптимальное содержание в смеси активированного минерального порошка должно быть 17-18 % мас., а модифицированного органического вяжущего 8-9,5 % мас. (рисунок 4).

Литые асфальтополимерсеробетоны характеризуются повышенным сопротивлением сдвига при высоких положительных температурах (условная жесткость по Маршаллу при 60°C 23,1 кН), повышенной плотностью, коэффициентом длительной водостойкости (90 суток), $K_{вд} = 0,89$, коэффициентом морозостойкости после 100 циклов попеременного замораживания-оттаивания $F = 0,85$, коэффициентом теплового старения после 2000 часов прогрева в климатической камере ИП-1 при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении, $K_{ст} = 1,27$.

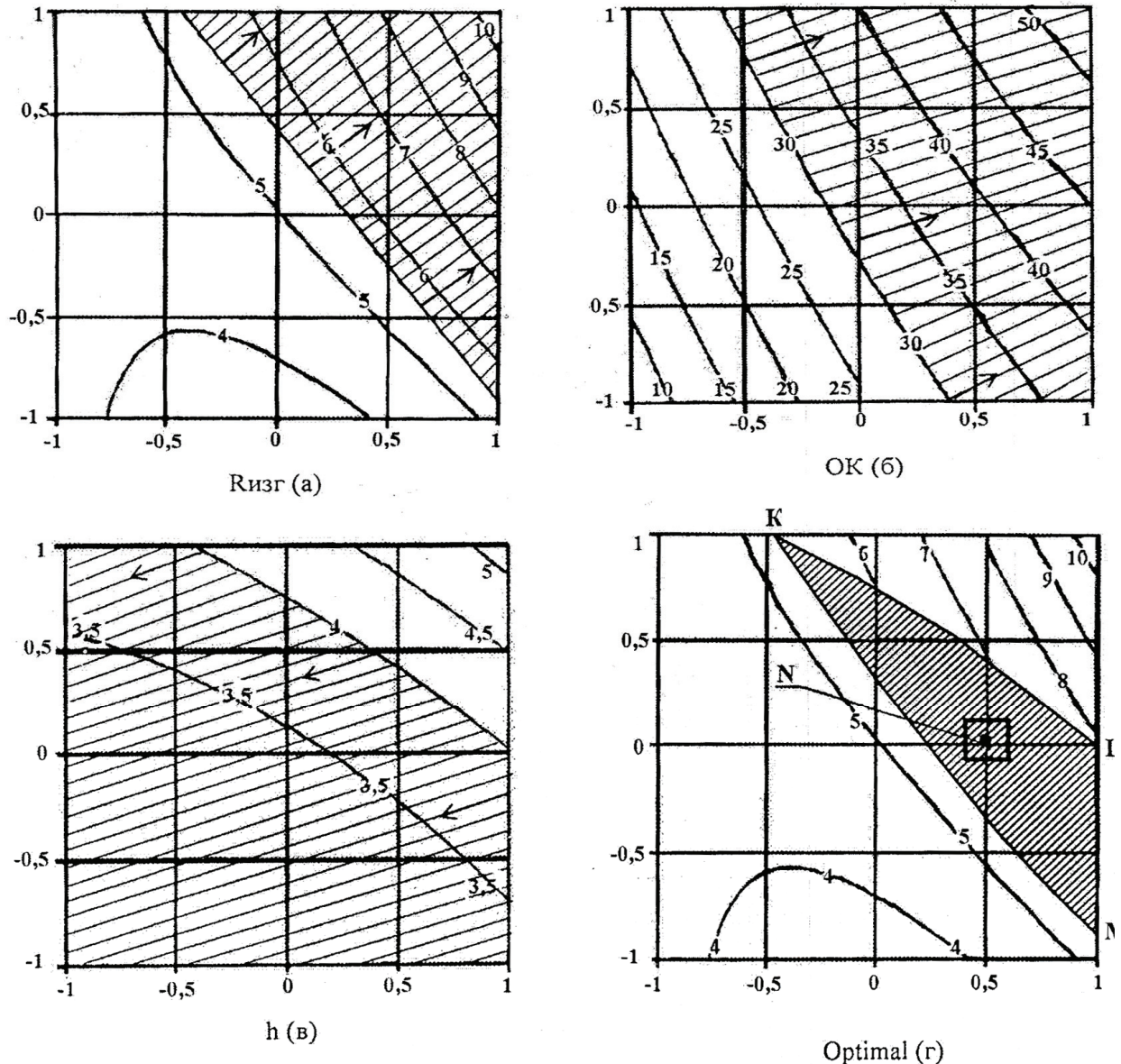


Рисунок 4 – Зависимость: предела прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$ (МПа), при 0°C (Y_1) (а); подвижности асфальтополимерсеробетонной смеси $ОК$ (мм) при 150°C (б); глубины погружения штампа при 40°C , h (мм), (в) и области оптимальных составов Optimal (г) асфальтополимерсерных вяжущих веществ от соотношения в системе поверхностно-активированного бутадиенмethylстирольным каучуком СКМС-30 известнякового минерального порошка и битумополимерсерного вяжущего

Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой и использованием в качестве минерального порошка шлама нейтрализации травильных растворов поверхностно-активированного полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол

Установлено, что шлам нейтрализации – гетерогенная полидисперсная система, представленная жидкой (вода) и твёрдой фазой: частицы недожога извести (CaCO_3) размером $(0,5 - 1,5) \cdot 10^{-2}$ м, частички гидроксидов железа

размером $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$ м, кристаллы двухводного гипса. Средний химический состав шлама нейтрализации следующий, % по массе: оксид железа 30 ± 5 ; оксид кальция 25 ± 5 ; сульфаты 18 ± 5 ; хлориды – до 1; потери при прокаливании до 27; рН = 6 – 8; влажность кека 50 – 60 %.

Методом рентгенографического анализа в составе шлама нейтрализации зарегистрированы такие кристаллические фазы : двухводный гипс (7,52; 4,26; 3,03; 2,82; 2,00; 2,08 Å); кальцит (3,03; 2,44; 2,32; 2,07; 1,91; 1,85 Å); гематит (3,65; 2,65; 2,51; 2,16; 1,92 Å); гётит (4,16; 2,65; 2,42; 2,34; 1,70 Å); гидросульфогеррит кальция (9,92; 5,44; 3,87; 2,81; 2,49 Å).

Двухводный гипс в составе шлама нейтрализации находится в виде тонких игл призматической формы длиной $(8 - 10) \cdot 10^{-5}$ м. Микроскопические исследования показывают, что иглы гипса соприкасаются одной из сторон с гелевидной фазой, представленной железистыми минералами: гётитом (HFeO_2), лепидокритом ($\text{FeO}(\text{OH})$), лимонитом ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Электронные микрофотографии свидетельствуют о большом многообразии форм частиц, которые присутствуют в составе ШН: от игловатых до шаровидных и упакованных в пакеты (типа портландит).

Термограмма гётита характеризуется двумя эндоэффектами при температурах 385°C и 690°C. Лепидокрит характеризуется эндоэффектом при температуре 580°C и экзоэффектом при температуре 600°C.

Высушенный и измельченный ШН характеризуется следующими свойствами: удельная поверхность – 560 м²/кг; плотность – 3460 кг/м³; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 2290 кг/м³; пористость – 66 %; битумоемкость – 92 %. По показателям битумоемкости и пористости ШН не отвечает требованиям ДСТУ Б В 2.7-121:2014. ШН подвергали поверхностной активации ПОЭС.

Предел прочности при сжатии асфальтополимербетона в зависимости от концентрации полимерсодержащих отходов производства эпоксидных смол на поверхности частиц ШН имеет экстремум при двухпроцентной массовой концентрации ПОЭС. Как показывают электронномикроскопические исследования, при данной концентрации ПОЭС на поверхности частиц ШН формируется слой модификатора, полностью насыщающий поверхность МП.

ИК-спектр системы «ШН – 2 % ПОЭС» практически полностью соответствует спектру шлама нейтрализации. Основные полосы поглощения ПОЭС (ОН-группы, простые эфирные связи, ароматика и метильные группы) практически не заметны. Также не проявляются более сильные водородные связи ПОЭС (максимум 3430 см⁻¹) на фоне ВС шлама нейтрализации (максимум 3373 см⁻¹). Это свидетельствует о равномерном распределении полимерсодержащего отхода производства эпоксидных смол на внешней поверхности ШН и в поверхностных порах шлама нейтрализации.

Данные калориметрических исследований модельной системы (шлам нейтрализации – эпоксидиановая смола ЭД-16 с содержанием 17 % эпоксидных групп 1:1) в изотермическом режиме при температурах 110°C и 150°C на

калориметре ДАК-1-1А свидетельствуют о химическом взаимодействии амфотерных гидроксидов железной кислоты или гидроксида трёхвалентного железа, содержащихся в ШН, с эпоксидными группами ЭД-16 как на поверхности раздела фаз «ШН – ЭД-16», так и в порах частиц шлама нейтрализации. Установлено, что толщина слоя эпоксидиановой смолы, в котором происходит сшивка макромолекул эпоксидного олигомера, равна примерно 70 нм (от 1 до 6 глобул смолы).

Определены температурно-временные режимы совмещения системы «битум – этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота»: два часа совмещения битума с терполимером при 165°C (2,5 % мас.), затем необходимо ввести ПФК-105 (0,2 % мас.) и перемешать 20 – 30 минут. Рассмотрение свойств битумополимерного вяжущего (состав 2, таблица 5) и сравнение их со свойствами исходного битума $P_{25} = 151 \cdot 0,1$ мм (индекс 1, таблица 5) показывает, что битумополимерное вяжущее характеризуется повышенными температурами перехода в вязкотекучее состояние без снижения деформативной способности.

Это приводит к значительному расширению интервала пластичности. Например, битумополимерное вяжущее, которое содержит в своем составе 2 % мас. этиленглицидилакрилата и 0,2 % мас. ПФК-105 (состав 2, таблица 6) имеет на 21°C шире интервал пластичности, в сравнении с исходным битумом. Это значительно повышает сдвигоустойчивость асфальтополимербетона без снижения трещиностойкости асфальтополимербетонного покрытия.

Введение в нефтяной дорожный битум этиленглицидилакрилата в комбинации с полифосфорной кислотой значительно повышает адгезию к поверхности минеральных материалов от 18 % до 84 % (таблица 5).

С использованием метода экспериментально-статистического моделирования установлены оптимальные концентрационные соотношения компонентов в системе «битум – этиленглицидилакрилат – шлам станций нейтрализации сталепроволочно-канатных заводов: нефтяной дорожный битум с пенетрацией $P_{25} = 90 - 150$ град. (100 м.ч.), концентрация этиленглицидилакрилата в битуме 1,5 – 2,5 % мас., концентрация ПОЭС на поверхности ШН 2,0 – 2,5 %. мас.

В связи с ростом адгезии и когезии модифицированных битумов (когезия системы 2 в 2,68 раз больше системы 1, таблица 5) асфальтополимербетоны характеризуются повышенными значениями длительной водостойкости $K_{вд} = 0,98$ и морозостойкости, после 100 циклов $F = 0,79$. Битумополимерные вяжущие характеризуются эластичностью, что является свидетельством формирования пространственной полимерной сетки, образованной как в результате химической сшивки фрагментов надмолекулярных образований Элвалоя АМ (система 2, таблица 5), так и в результате реализации диполь – дипольных взаимодействий и водородных связей, и частично – химической сшивки (система 2, таблица 5).

Характерно, что в вяжущем индекса 2, которое в своем составе содержит этиленглицидилакрилат и полифосфорную кислоту в оптимальных стехиометрических соотношениях эпоксигрупп и активных протонов ПФК-105,

формируется более структурированная система. Об этом свидетельствуют, прежде всего, более высокая твердость вяжущего ($P_0 = 11 \cdot 0,1$ мм и $P_{25} = 61 \cdot 0,1$ мм), более высокие значения когезии и температуры размягчения, повышение температуры хрупкости (таблица 5).

Таблица 5 – Свойства органических вяжущих

№ п/п	Вид и состав органического вяжущего	Пенетрация (0,1мм) при температуре, °С		Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С	Дуктильность (см) при температуре, °С		Эластичность, %, при температуре, °С		Адгезия, % (ДСТУ Б.В.2.7-81-98)	Когезия, МПа	Интервал пластичности, °С
		0	25			0	25	0°С	25°С			
1	Битум БНД 130/200 ($P_{25}=151 \cdot 0,1$ мм)	53	151	37	-20	13	78	0	0	18	0,022	57
2	Битум БНД 130/200 ($P_{25} = 151 \cdot 0,1$ мм) модифицирован 2 % мас. Элвалоя АМ (два часа перемешивания при 165°С) и ПФК-105 – 0,2% мас. от массы битума, (30 минут перемешивания с битумополимерным вяжущим при 165°С)	11	67	61	-17	12	43	62	77	84	0,059	78

Реологическим методом на модельной системе (дегтеполимерное вяжущее вещество (ДПВВ): деготь $C_{30}^{10} = 180$ с, модифицированный 1,5 % мас. отсевом поливинилхлорида и структурированный шламом нейтрализации травильных растворов, который поверхностно-активирован 2 % мас. ПОЭС) установлено, что толщина ДПВВ на поверхности ШН составляет при 25°С $h_{25} = 3,22 \cdot 10^{-6}$ м, при 40°С $h_{40} = 2,87 \cdot 10^{-6}$ м. Если ШН не активирован, то $h_{25} = 1,66 \cdot 10^{-6}$ м, а $h_{40} = 1,28 \cdot 10^{-6}$ м. Это подтверждается и электронно-микроскопическими исследованиями (рисунок 5).

Так, например, дегтеполивинилхлоридное вяжущее формирует на поверхности активированного минерального порошка сложную адсорбционно-сольватную пленку (рисунок 5 а).

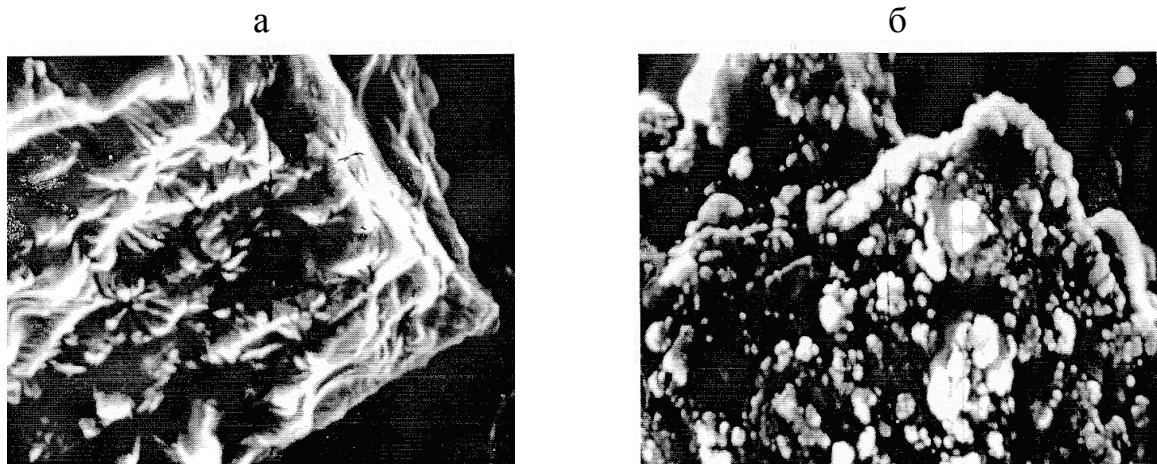


Рисунок 5 – Электронные микрофотографии дёгтеполимерных вяжущих веществ ($\times 3000$) состава: а – дёготь $C_{30}^{10} = 215с$ с 1,5 % ПВХ, минеральный порошок шлама нейтрализации поверхностно-активирован 2 % ПОЭС; б – дёготь $C_{30}^{10} = 215с$ с 1,5 % ПВХ, минеральный порошок ШН неактивирован

В то же время в системе, где минеральный порошок неактивирован ПОЭС, поверхностный слой дегтеполимерного вяжущего не является непрерывным (рисунок 5 б). Наблюдаются участки минерального порошка, которые не покрыты ДПВ.

Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной этиленглицидиакрилатом микро-, мезо- и макроструктурой

Установлено, что оптимальная концентрация этиленглицидиакрилата на поверхности минеральных материалов щебня, песка и минерального порошка составляет 0,7 % по массе.

Олеофильный структурно-упрочненный слой этиленглицидиакрилата при массовой концентрации 0,7 % мас. на активированной поверхности минеральных материалов обеспечивает молекулярное сродство с активированной поверхностью минеральных материалов битумополимерным вяжущим. При этом на поверхности минеральных материалов образуются сетчатые структуры по схемам (1, 2), что определяет монолитность и изотропность модифицированного асфальтобетона. Поверхностная активация зерен щебня, песка и частиц минерального порошка 0,7 % мас. этиленглицидиакрилата приводит к повышению предела прочности при сжатии асфальтополимербетона при 50°C в 1,35 раза и при 20°C в 1,8 раза по сравнению с асфальтополимербетоном, у которого минеральные частицы поверхностно не активированы.

Центральной операцией при формировании структуры асфальтополимербетона является перемешивание отдозированных материалов, так как свойства комплексно-модифицированного асфальтополимербетона определяются энергией связей, возникающих между отдельными полидисперсными поверхностно-активированными частичками минеральных материалов, которые в свою очередь зависят от процессов взаимодействия активированных минеральных материалов и модифицированного нефтяного дорожного битума на

их общей поверхности раздела фаз. Известно, что наиболее эффективно процессы смачивания и адсорбционного взаимодействия органических вяжущих и минеральных материалов происходят при температурах, которым соответствует вязкость органических вяжущих $\eta \leq 0,5$ Па·с. В качестве критерия оптимальной температуры объединения поверхностно-активированных этиленглицидилакрилатом (0,7 % мас.) минеральных материалов и нефтяного дорожного битума, модифицированного этиленглицидилакрилатом (2,0 % мас.) в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.), принят коэффициент однородности производства асфальтобетонной смеси, характеризуемый коэффициентом вариации содержания ключевого компонента смеси, в качестве которого принята фракция песка $d = 2,5 - 1,25$ мм, а также энергоёмкость процесса производства асфальтобетонных смесей.

При температурах производства 155°C и 165°C асфальтобетонных смесей, модифицированных этиленглицидилакрилатом, коэффициент вариации однородности производства асфальтополимербетонной смеси равен $K_{в(155)} \approx 5,5\%$, $K_{в(165)} \approx 4,4\%$. При температуре производства асфальтополимербетонной смеси 145°C коэффициент вариации содержания ключевого компонента в смеси составляет 12,3 %, что значительно выше нормативного значения $K_v \leq 7 \%$.

Энергоёмкость производства модифицированных этиленглицидилакрилатом асфальтобетонных смесей, определенная для замеса массой 1000 кг при начальной температуре $T_n = 20^\circ\text{C}$, при температуре 165°C больше на 8659 кДж, чем при температуре производства 155°C .

Подготовленная для укладки асфальтобетонная смесь с комплексно-модифицированной структурой должна иметь температуру $140 - 155^\circ\text{C}$. Уплотнение асфальтобетонных смесей с комплексно-модифицированной этиленглицидилакрилатом микро-, мезо- и макроструктурой необходимо вести в интервале температур $70 - 150^\circ\text{C}$.

Процесс уплотнения модифицированных этиленглицидилакрилатом асфальтобетонных смесей менее энергоёмкий, чем традиционных горячих асфальтобетонных смесей (ДСТУ Б В.2.7-119:2011).

Так, средний расход энергии на приращение единицы плотности модифицированных асфальтобетонных смесей при 110°C и 120°C составляет 0,79 и $0,81 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ соответственно, а для традиционных асфальтобетонных смесей $1,27 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$.

Рассмотрение влияния комплексной модификации микро-, мезо- и макроструктуры горячего асфальтобетона этиленглицидилакрилатом на стандартные физико-механические свойства и сравнение их с традиционными (ДСТУ Б В.2 7-119:2011) (таблица 6) показывает, что комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом асфальтобетоны характеризуются более высокой средней плотностью и длительной водостойкостью, меньшей

температурной чувствительностью и более высокими значениями предела прочности при сжатии в области высоких положительных температур.

Таблица 6 – Физико-механические свойства асфальтобетона

Показатели	Состав мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б	
	Асфальто-бетонная смесь приготовлена на битуме $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм, известняковый минеральный порошок неактивирован	Асфальтополимербетонная смесь, в которой битум $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм, модифицирован этиленглицидиакрилатом (2,0 % мас.) в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.); минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок) поверхностно активированы этиленглицидиакрилатом (0,7 % мас.)
Средняя плотность, ρ_0^a , кг / м ³	2338	2453
Набухание, Н, % от объема	0,6	0
Водонасыщение, W, % от объема	2,94	0,25
Предел прочности при сжатии, МПа, при:		
0°C	6,8	7,8
20°C	3,1	6,1
50°C	1,2	2,3
75°C	0,3	1,2
Коэффициент длительной водостойкости, $K_{вд}$	0,83	1,0
Коэффициент теплостойкости, $K_T = R_0/R_{75}$	22,7	6,5

Асфальтобетонные смеси, комплексно-модифицированные этиленглицидиакрилатом, в значительно меньшей мере, на порядок ниже, подвержены технологическому старению, чем традиционные горячие асфальтобетонные смеси.

Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой характеризуются более высокими значениями предела прочности на растяжение при изгибе, например, при температуре 20°C, $R_{изг} = 1,9 - 2,3$ МПа.

В интервале температур от +20°C до -10°C усталостная долговечность асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой значительно выше, по сравнению со стандартными асфальтобетонами (рисунок 6).

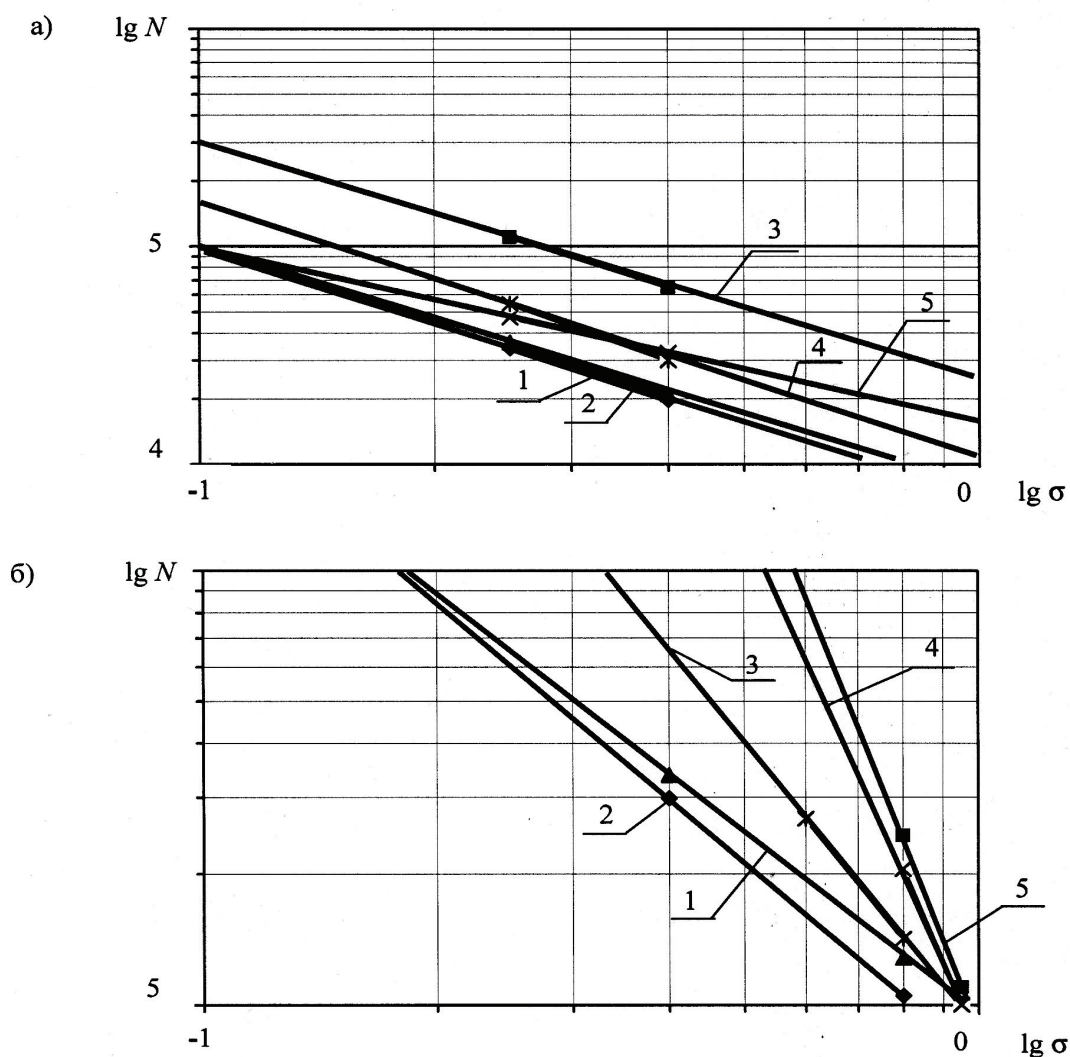


Рисунок 6 – Усталостная долговечность асфальтобетонов: а) 20°C; б) минус 10°C. 1 – асфальтобетон на битуме $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм (тип «Б»); 3 – асфальтобетон на битуме $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм (тип «Б») с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой этиленглицидилакрилатом Элвалой АМ; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой СКМС-30. 5 – ЩМА-10 с добавкой Antrocel-G

Повышение усталостной долговечности в 1,5 – 2 раза наблюдается у асфальтобетона в котором битум модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидил-акрилатом марки Элвалой АМ в комбинации с 0,2 % мас. полифосфорной кислоты ПФК-105, а минеральные материалы поверхностно активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата марки Элвалой АМ и в 1,1 – 1,5 раза у комплексно-модифицированного литого асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиемметилстирольным каучуком СКМС-30 совместно с 30 % мас. технической серы, а минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5 % мас. СКМС-30.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон, минеральные материалы которого поверхностно-активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилатом, а нефтяной

дорожный битум $P_{25} = 75 \cdot 0,1$ мм модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидил-акрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 0,2 % мас., содержащей 0,2 % мас. стабилизирующей целлюлозной добавки «Antrocel-6», характеризуется в 1,6 раза более высокой усталостной долговечностью, чем не модифицированный ЦМА-10.

Наиболее устойчивым к воздействию агрессивных сред является литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой бутадиен-метилстирольным каучуком и технической серой (рисунок 7).

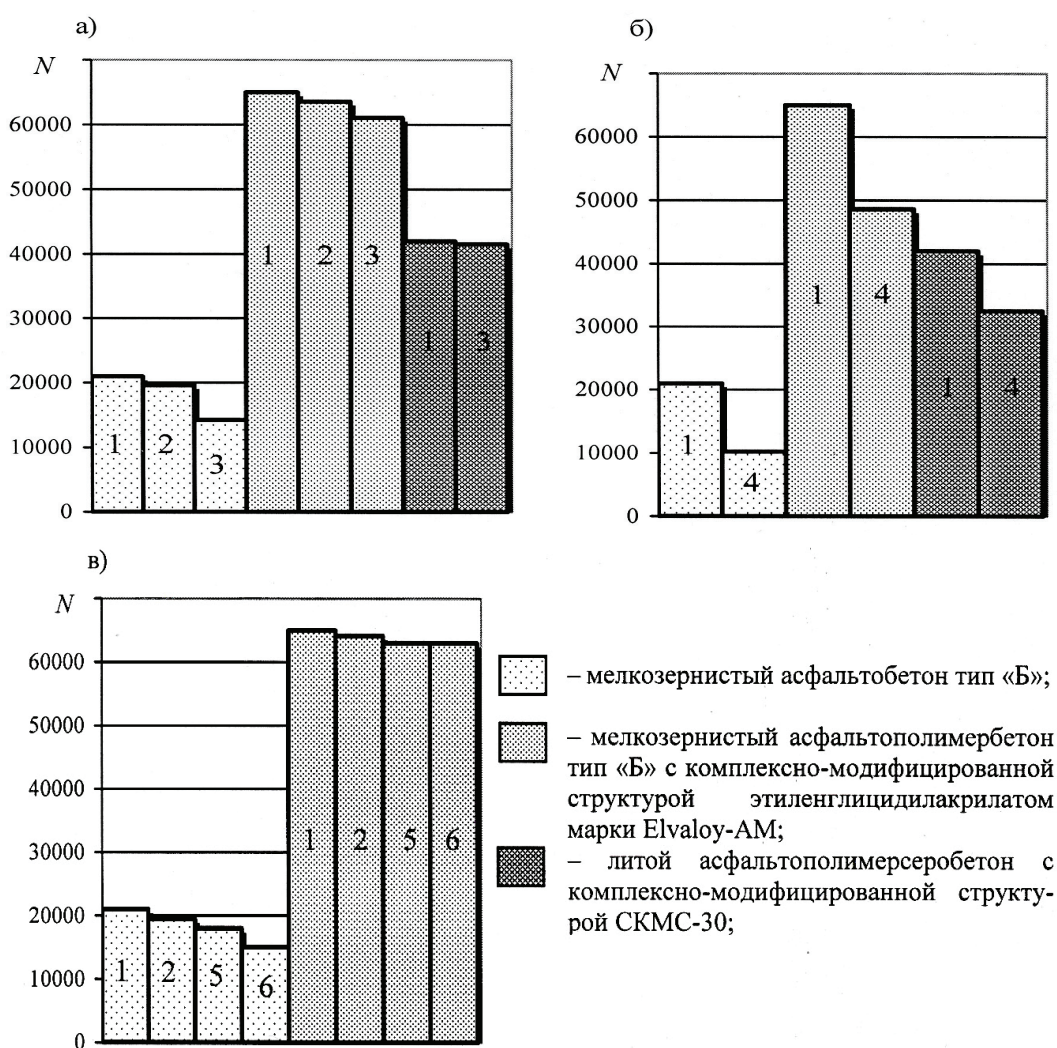


Рисунок 7 – Сравнение значений усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) (время нагружения 0,1 сек, напряжение – 0,4 – 0,45 МПа при температуре $+20^{\circ}\text{C}$) в зависимости от воздействия различных агрессивных сред: а) в зависимости от времени водонасыщения; б) после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания; в) в зависимости от воздействия на асфальтобетоны в течение 15 суток агрессивных сред: 1 – усталостная долговечность асфальтобетона в нормальных условиях; 2 – после водонасыщения 15 суток; 3 – после водонасыщения 30 суток; 4 – после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания; 5 – после 15 суток выдерживания в водном 5 % растворе NaCl; 6 – после 15 суток выдерживания в водном 2 % растворе HCl.

Установлено, что асфальтополимербетон (тип Б) с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом после 10000 циклов прохода нагруженного колеса с шиной при 60°C и 0,7 МПа нагрузки характеризуется глубиной колеи 5,1 мм против 6,6 мм не модифицированного.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон ЦМА-15 с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом после 20000 циклов прохода пневмокатка на установке Infratest Кат. 20-4000 характеризуется глубиной формирования колеи 1,6 мм против 2,5 мм не модифицированного ЦМА-15.

В пятом разделе «Практическое применение результатов исследований» и в приложениях А, Б, В приведены результаты практического внедрения теоретических и экспериментальных исследований. Для: Китайской Народной Республики разработаны технические условия «Модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности» (договор №М / 214-2006 (2006 г. – 2008 г.); Министерства строительства и ЖКХ Донецкой Народной Республики разработан инновационный проект «Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности»; ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности». Разработан ДСТУ Б В.2.7-119:2011. В ГП «АВТОДОР» выполнено опытно-промышленное внедрение комплексно-модифицированных этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 асфальтополимербетонных смесей (2006 г). На асфальтобетонном заводе Новоазовского автодора в 2006 году приготовлено 350 тонн асфальтополимербетонных смесей, которые уложены в покрытие автомобильной дороги – подъезд к поселку «Мангуш». Результаты исследований используются при подготовке специалистов в ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в дисциплине «Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов» в разделах «Дегтебетоны и асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой», «Модифицированные асфальтобетоны»; по направлению 08.04.01 «Строительство» по программе «Теория и практика проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов» в дисциплине «Современные композиционные материалы для дорожного строительства» в разделах «Теоретико-экспериментальные принципы проектирования композиционных материалов для строительства покрытий нежестких дорожных одежд повышенной долговечности»; «Модифицированные литые асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны».

ВЫВОДЫ

1. На основе методологии системного анализа предложенных физико-химических моделей модифицированных асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов с использованием экспериментально-статистического описания разработаны и реализованы новые научно-обоснованные технологические решения получения комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, способных противостоять колейности, усталостному разрушению, трещиностойкости и термоокислению, в результате комплексной модификации органических вяжущих полимерами термодинамически совместимыми с нефтяными дорожными битумами: бутadiенметилстирольный каучук СКМС-30 совместно с технической серой; этиленглицидилакрилат Элвалой АМ с катализатором структурирования надмолекулярных образований высокомолекулярных веществ – полифосфорной кислотой ПФК-105 и формированием в битуме пространственной полимерной сетки с расчетным количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований с одновременной поверхностной активацией олигомерами или полимерами минеральных материалов асфальтобетонных смесей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Донецкой Народной Республики.

2. С использованием экспериментально-статистического метода планирования эксперимента установлено, что оптимальная массовая концентрация бутadiенметилстирольного каучука СКМС-30 в битумах III структурно-реологического типа БНД 40/60, БНД 60/90 должна составлять 2 – 3 % мас., технической серы 25 – 30 % мас., а массовая концентрация СКМС-30 на поверхности минерального порошка 0,5 % мас. При данных концентрационных отношениях формируется структурный слой модификатора, приводящий к усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее – поверхностно-активированный СКМС-30 минеральный порошок». Асфальтополимерсеробетонные смеси отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур 60 – 130°C. Асфальтополимерсеробетоны характеризуются широким интервалом вязкоупругого поведения. Температура перехода в вязкотекучее состояние 75°C, температура стеклования –32,5°C, устойчивость по Маршаллу 23 кН против 15 кН для традиционного горячего асфальтобетона. Они более долговечны, коэффициент старения при 75°C и ультрафиолетовом облучении после 2000 часов прогрева составляет $K_{ст} = 1,25$, для стандартного асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$; коэффициент водостойкости после 90 суток водонасыщения $K_{вд} = 0,87$, коэффициент морозостойкости после 100 циклов, $F = 0,83$, для стандартного асфальтобетона $F = 0,41$.

3. С использованием метода планирования эксперимента оптимизирован состав асфальтополимерсерного вяжущего вещества литой асфальтополимерсеробетонной смеси оптимального состава (массовая концентрация

поверхностно-активированного 0,5 % мас. СКМС-30 известнякового минерального порошка 17 – 18 % мас., битумополимерсерного вяжущего 8 – 9,5 % мас., что обеспечивает подвижность смеси при 150°C, ОК > 30 мм, глубину погружения штампа при 40°C, $h < 4$ мм. Для литого асфальтополимерсеробетона предел прочности при изгибе на растяжение при 0°C, $R_{изг} > 5,6$ МПа, коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд} = 1,0$, устойчивость по Маршаллу $P = 21$ кН, коэффициент морозостойкости после 100 циклов $F = 0,85$, коэффициент старения после 2000 часов прогрева в климатической камере ИП-I при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении $K_{ст} = 1,23$).

4. Установлены оптимальные концентрационные отношения в системе «битум БНД 90/130 100 % мас. – этиленглицидилакрилат Элвалой АМ 1,5 – 2,5% мас. – полифосфорная кислота ПФК-105 0,2 – 0,3 % мас.». При концентрации полимерсодержащего отхода производства эпоксидных смол 2 – 2,5% мас. на поверхности шлама станций нейтрализации травильных растворов сталепроволочно-канатных заводов формируется оптимально-структурированный слой модификатора связанный межмолекулярными, водородными и донорно-акцепторными связями с поверхностью шлама. Модифицированные асфальтобетонные смеси характеризуются повышенной уплотняемостью в интервале 70-130°C, а асфальтополимербетон устойчивостью по Маршаллу 19 кН, коэффициентом длительной водостойкости $K_{вд} = 0,98$, коэффициентом морозостойкости после 100 циклов $F = 0,79$, пределом прочности при сжатии при 50°C $R_{50} = 1,7$ МПа.

5. Оптимизирован состав комплексно-модифицированного этиленглицидилакрилатом горячего асфальтобетона, содержащего поверхностно-активированные 0,7 % мас. этиленглицидилакрилатом минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок, мелкозернистый асфальтобетон тип Б) и модифицированный нефтяной дорожный битум (2% мас. этиленглицидилакрилата совместно с 0,2 % мас. полифосфорной кислоты). Комплексно-модифицированный этиленглицидилакрилатом асфальтополимербетон характеризуется устойчивостью по Маршаллу, $P = 30$ кН; более высокой устойчивостью к формированию колеи, на 23 – 36% меньше, чем не модифицированные асфальтобетоны; водостойкостью после 90 суток водонасыщения – $K_{вд} = 0,91$; коэффициентом морозостойкости после 100 циклов $F = 0,88$, коэффициентом теплового старения после 2000 часов (температура прогрева 75°C при ультрафиолетовом облучении) $K_{ст} = 1,2$).

6. С использованием методов реологии, ИК-спектроскопии, термогравиметрии, хроматографии, дериватографии, дифференциальной сканирующей калориметрии и электронной микроскопии доказано формирование адсорбционно-сольватных слоев комплексно-модифицированных органических вяжущих (битумополимерсерное вяжущее, нефтяной дорожный битум, модифицированный этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой) на поверхности минерального порошка, активированного бутадиен-метилстирольным каучуком или этиленглицидилакрилатом, связанных

химическими и межмолекулярными связями с поверхностью частиц активированного МП.

Структурно-упрочненный слой активатора на поверхности минерального порошка способствует усилению межмолекулярного взаимодействия в системе «БПВ – активированный МП» посредством взаимодействия сегментов пластифицированных надмолекулярных образований СКМС-30 и этиленглицидилакрилата с активными центрами аппретированной СКМС-30, ПОЭС поверхности минерального порошка.

7. Установлено, что в интервале температур от 20°C до минус 10°C усталостная долговечность асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой значительно выше, в сравнении со стандартными асфальтобетонами. Повышение усталостной долговечности в 1,5 – 2 раза наблюдается у асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидилакрилата марки Элвалой АМ+0,2 % мас. ПФК-105, а минеральные материалы поверхностно-активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата и в 1,1 – 1,5 раза у комплексно-модифицированного асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 + 30 % технической серы, минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30. Наибольшей усталостной долговечностью в условиях агрессивных химических сред (5 %-ный раствор соляной кислоты (HCl)) характеризуется литой асфальтополимерсеробетон.

8. Разработаны технологии, обеспечивающие охрану окружающей среды и низкую энергоемкость процесса производства, укладки и уплотнения комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей с использованием техногенного сырья. Результаты исследований вошли в нормативные документы: инновационный проект «Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности» (Министерство строительства и ЖКХ Донецкой Народной Республики). Ожидаемый экономический эффект от внедрения 50 тысяч тонн литых асфальтополимерсеробетонных смесей составит в ценах 2017 года 90550000 рос. руб. При разработке ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия». Для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности». Для ГП «АВТОДОР» разработаны «Рекомендации по производству асфальтобетонных смесей модифицированных этиленглицидил-акрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105». На асфальтобетонном заводе Новоазовского автодора (участок №4) ГП «АВТОДОР» приготовлено 350 тонн асфальтополимербетонных смесей, которые содержат в своем составе битум, модифицированный 2,5 % этиленглицидилакрилата и 0,2 % ПФК-105.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ
ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины :

1. Братчун, В. И. О физико-химических принципах получения асфальто- и дегтебетонов повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, **В. Л. Беспалов**, Е. Э. Самойлова и др. // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. Композиционные материалы для строительства. – Макеевка, 2004. – №1 (43). – Т. 2. – С. 13 – 17 *(сформулированы требования к компонентам комплексно-модифицированного асфальтовязующего вещества)*.

2. Братчун, В. И. О необходимости совместимости компонентов дегтеполимерных и битумополимерных вяжущих, их термостабильности и термостойчивости [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, **В. Л. Беспалов**, Е. Э. Самойлова // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. Композиционные материалы для строительства. – Макеевка, 2005. – Вып. 1 (49). – С. 151 – 154 *(изучена совместимость компонентов дегтеполивинилхлоридного (ДПВ) и битумополимерного вяжущего (БПВ) с использованием Элвалоя АМ)*.

3. Братчун, В. И. Химические процессы и формирование сетчатой структуры в битуме, модифицированным Элвалоем АМ в присутствии полифосфорной кислоты [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, Е. Э. Самойлова, Л. Д. Карат и др. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2006. – Вип. 23. – С. 4 – 10 *(исследовано формирование полимерной сетки в битумополимерном вяжущем)*.

4. Братчун, В. И. Оптимизация состава асфальтовязующего вещества «битум – Элвалой АМ – шлам нейтрализации травильных растворов (ШН)», активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол (ПОЭС) [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные конструкции и материалы. – Макеевка, 2006. – Вып. 5(61). – С. 133 – 138. *(с использованием экспериментально-статистического моделирования оптимизированы концентрационные отношения модификаторов асфальтополимербетона)*.

5. Братчун, В. И. Битумополимерные вяжущие и асфальтополимербетоны, модифицированные Элвалоем АМ в комбинации с полифосфорной кислотой [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер // Современное промышленное и гражданское строительство. – Макеевка, 2007-1. – Т. 3. – С. 17 – 27 *(установлены количественные зависимости между показателями качества микроструктуры и структурно-механическими свойствами асфальтобетона)*.

6. Братчун, В. И. О температурных режимах укладки и уплотнения асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, **В. Л. Беспалов**, М. К.

Пактер и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. Композиционные материалы для строительства. – Макеевка, 2007-1 (63). – С. 24 – 28 (*изучены технологические режимы укладки и уплотнения асфальтополимербетонных смесей*).

7. Братчун, В. И. О целесообразности использования техногенного сырья для производства строительных материалов [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, А. И. Бачурин, С. С. Поливцев и др. // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – Одеса, 2007. – Вип. №27. – С. 37 – 44 (*оптимизированы составы асфальтополимербетонных смесей*).

8. Братчун, В. И. Исследование литых асфальтополимерсеробетонных смесей методом дифференциальной сканирующей калориметрии [Текст] В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, Е. Э. Самойлова, В. П. Демешкин // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – Одеса, 2008. – Вип. 31. – С. 45 – 51 (*изучены явления и процессы, происходящие при формировании структуры битумополимерсерного вяжущего*).

9. Братчун, В. И. Оптимизация состава литой асфальтополимерсеробетонной смеси для ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст] / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, **В. Л. Беспалов**, С. С. Поливцев и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. Композиционные материалы для строительства. – Макеевка, 2008. – Вып. 1 (69). – С. 3 – 11 (*выполнено оптимизацию состава литой асфальтополимерсеробетонной смеси для строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог*).

10. Братчун, В. И. Физико-химические принципы получения бетонов повышенной долговечности с использованием органических вяжущих [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, **В. Л. Беспалов**, Н. А. Столярова // Науковий вісник будівництва №59. – Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – С. 118 – 126 (*исследовано формирование граничных слоев при получении асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой*).

11. Братчун, В. И. Теоретико-экспериментальные принципы получения дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер, Е. Э. Самойлова и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. – Макеевка, 2012. – Вып. 1(93). – С. 25 – 40 (*исследованы процессы взаимодействия составляющих в модифицированных органических вяжущих и на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал»*).

12. Братчун, В. И. Через повышение требований к качеству асфальтобетона к обеспечению долговечности нежестких дорожных одежд [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, А. Г. Доля, В. В. Коновалов и др. // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – Одесса, 2012. – Т. 48, ч. 1. – С. 46 – 52 (*совершенствование государственного стандарта на асфальтобетонные смеси и асфальтобетон*).

13. **Беспалов, В. Л.** О технологических и физико-механических свойствах асфальтобетона с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макро-

структурой [Текст] / В. Л. Беспалов, В. И. Братчун^а, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар^а, М. К. Пактер^а и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. – Макеевка, 2014. – Вып. 1(105). – С. 24 – 32 (*исследованы технологические свойства асфальто-полимербетонных смесей*).

14. Пактер, М. К. Закономерности технологического старения нефтяных дорожных битумов и асфальтобетонных смесей [Текст] / М. К. Пактер, В. И. Братчун, А. А. Стукалов, **В. Л. Беспалов** и др. // Современное промышленное и гражданское строительство, 2014. – Т. 10, №4. – С. 225 – 235 (*изучены процессы, происходящие в нефтяном дорожном битуме и в асфальтобетонных смесях при технологическом старении*).

15. **Беспалов, В. Л.** Технологічні і фізико-механічні властивості асфальтобетонів модифікованих етиленгліцидиакрилатом [Текст] / В. Л. Беспалов, В. І. Братчун, М. К. Пактер, О. А. Стукалов и др. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2014. – Вип. 53. – С. 49 – 54 (*изучены физико-механические свойства модифицированного асфальтобетона*).

16. Ромасюк, Е. А. Исследование усталостной долговечности асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой [Текст] / Е. А. Ромасюк, **В. Л. Беспалов**, В. П. Демешкин // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. – Макеевка, 2015. – Вып. 1(111). – С. 27 – 33 (*исследована усталостная долговечность комплексно-модифицированных асфальтобетонов различных гранулометрических типов при воздействии кратковременных циклических нагрузок*).

17. **Беспалов, В. Л.** Битумополимерные вяжущие и асфальтополимербетоны, модифицированные Элвалоем АМ и бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 [Текст] / В. Л. Беспалов // Современное промышленное и гражданское строительство. – Макеевка, 2015. – Т. 11. – № 1. – С. 27 – 33.

18. **Беспалов, В. Л.** Теоретические принципы получения дорожных бетонов повышенной долговечности [Текст] / В. Л. Беспалов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. – Макеевка, 2016. – Вып. 1(117). – С. 45 – 54.

– публикации в рецензируемых научных изданиях, утвержденных перечнем ВАК МОН Донецкой Народной Республики

19. Братчун, В. И. Идентификация дисперсных структур в нефтяных битумах методом ДСК [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, **В. Л. Беспалов**, Д. В. Гуляк и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка, 2017. – Вып. 2 (124) : Современные строительные материалы – С. 16 – 24. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://donnasa.ru/ublish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-2\(124\).pdf](http://donnasa.ru/ublish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-2(124).pdf) (*методом дифференциальной сканирующей калориметрии изучено формирование дисперсных структур в битуме БНД 40/60*).

20. **Беспалов, В. Л.** Об использовании техногенного сырья в составе модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности [Текст] / В. Л. Беспалов, П. С. Пашковский, А. Ю. Читаладзе, Е. Э. Самойлова и др. //

Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка, 2017. – Вып. 2018 – 1(129): Современные строительные материалы – С. 32 – 40. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-1\(129\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-1(129).pdf) (*оптимизированы составы модифицированных асфальтобетонов и исследованы их физико-механические свойства*).

– публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук в Российской Федерации :

21. Братчун, В.И. Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер, А. Т. Мутташар // Наука и Техника в дорожной отрасли. – Москва, Издательство «Дороги», 2013. – № 3. – С. 35 – 41 (*определены оптимальные температурные режимы укладки и уплотнения асфальтополимербетонных смесей и деформационно-прочностные характеристики асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой*).

22. Братчун, В. И. Асфальтополимербетонные смеси, модифицированные этиленглицидилакрилатом [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер, А. А. Стукалов и др. // Наука и Техника в дорожной отрасли. – Москва: Издательство «Дороги», 2015. – № 1. – С. 33 – 36 (*экспериментально установлена оптимальная концентрация этиленглицидилакрилата на поверхности минеральных материалов*).

23. Братчун, В. И. Усталостная долговечность асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, Е. А. Ромасюк, М. К. Пактер и др. // Наука и Техника в дорожной отрасли. – Москва: Издательство «Дороги», 2017. – №3. – С. 32 – 36 (*установлены оптимальные концентрационные соотношения в системах «битум – этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота»*).

– публикации в зарубежных журналах, индексируемых международной реферативной базой цитирования SCOPUS:

24. **Vitaliy Bespalov** Technique Concepts of Paving Concrete Designing at the Organic Binding Agents of Elevated Longevity / Vitaliy Bespalov, Valeriy Bratchun, Mikhail Pakter, Helen Samoylova and others. // International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, SPbUCEME-2015. – Procedia Engineering, 2015. – №117. – P. 945 – 952 (*оптимизированы составы и параметры технологических режимов производства литых асфальтополимербетонных смесей*).

– публикации по материалам конференций

25. Братчун, В. И. Дорожные асфальтополимерсеробетоны (АПСБ) повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, **В. Л. Беспалов**, Е. Э. Самойлова // Проблемы строительного и дорожного комплексов. Материалы II международной научно-технической конференции (Брянск, 11-13 ноября 2003). – Брянск, 2004. – С. 76 – 80. (*исследованы процессы взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал»*).

26. Братчун, В. И. Влияние строения граничных слоев в системе «минеральные частицы – активатор – модифицированное органическое вяжущее на свойства композиционных материалов» [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, **В. Л. Беспалов**, Е. Э. Самойлова и др. // Моделирование и оптимизация в материаловедении : материалы к 43-му Международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'43. – Одесса: «Астропринт», 2004. – С. 104 – 105 (*изучены закономерности модификации битума комплексной добавкой и активации поверхности минерального порошка полимером*).

27. Братчун, В. И. Модификация дорожного битума реакционноспособным терполимером с использованием катализатора [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов** М. К. Пактер, Е. Э. Самойлова // Сборник трудов : Современные технологии и материалы в дорожном хозяйстве : Материалы Международной научно-технической конференции – Харьков : ХНАДУ, 2006. – С. 76 – 81. (*установлены закономерности модификации битума Элвалом АМ в присутствии полифосфорной кислоты в качестве катализатора*).

28. Братчун, В. И. Методологические принципы получения асфальто- и дегтебетонов повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов** М. К. Пактер, Е. Э. Самойлова // Строительное материаловедение – теория и практика. Всероссийская научно-практическая конференция. – Москва: издательство СИП РИА, 2006. – С. 28 – 35 (*изучено физико-химическое взаимодействие на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал»*).

29. Братчун, В. И. Ресурсо- и энергосберегающие литые органо-минеральные смеси для ремонта и строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, Н. А. Столярова, А. А. Черкасов // «Строительство-2010»: материалы научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГСУ, 2010. – С. 45 – 46 (*разработаны составы литых асфальтополимерсеробетонных смесей для ямочного ремонта покрытий нежестких дорожных одежд*).

30. Братчун, В. И. Битумополимерные органические вяжущие на основе реакционного термопласта Элвалой АМ [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, Е. Э. Самойлова, **В. Л. Беспалов** // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ / по материалам Международной научно-технической конференции «Промышленное и гражданское строительство в современных условиях». – М. : МГСУ, 2011. – Вып. 3. – С. 207 – 211 (*определены показатели качества битумополимерных вяжущих*).

31. **Беспалов, В. Л.** Асфальтобетон с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой [Текст] / В. Л. Беспалов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг». – Харків : ХНАДУ, 2013. – С. 227 – 231.

32. **В. Л. Беспалов**, О технологических и физико-механических свойствах асфальтобетона с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой [Текст] / В. Л. Беспалов, В. И. Братчун, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар, М. К. Пактер и др. // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физико-химического

материаловедения». (Макеевка, 30 сентября – 4 октября 2013) С. 8 (*установлена оптимальная концентрация этиленглицидилакрилата на поверхности минеральных материалов*).

33. **Беспалов, В. Л.** Об особенностях формирования структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами [Текст] / В. Л. Беспалов // Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение». – Орел : Издательство ФГБОУ ВПО Орловский ГАУ, 2015. – №4 (8). – С. 66 – 71.

34. Братчун, В. И. Усталостная долговечность асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк // «Долговечность, прочность и механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов». Сборник докладов IX Академических чтений РААСН – Международной научной конференции СПбГАСУ. – СПб., 2016. – С. 17 – 21.

35. Братчун, В. И. Асфальтополимербетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, Е. А. Ромасюк, Д. В. Гуляк и др. // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018. Материалы IV Международной научно-практической конференции. (Горловка, 24 мая 2018). – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2018. – С. 154 – 159 (*оптимизированы составы асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной структурой*).

– **патенты, авторские свидетельства:**

36. Патент №82922 Україна, МПК СО4В 26/26 СО8L 95/00 Е01С 7/00. Лита асфальтополімерсіркобетонна суміш / Братчун В. І., Столярова Н. О., **Беспалов В. Л.**; заявник і власник патенту Донбаська національна академія будівництва і архітектури №а20607364; заявл. 30.07.2006; опублік. 10.01.2008, Бюл. №10. – 4 с (*выполнены экспериментальные исследования литой асфальтополимерсеробетонной смеси*).

– **публикации в других изданиях:**

37. Братчун, В. И. Модифицированные горячие литые асфальтополимербетонные смеси [Текст] / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, **В. Л. Беспалов** // Современные проблемы строительства : ежегодный науч. тех. сб. – Донецк, 2006. – Вып. 4 (9). – С. 203 – 207 (*разработаны составы и технология производства литых асфальтополимерсеробетонных смесей*).

38. Братчун, В. И. Дорожні асфальтобетони з комплексно-модифікованою мікроструктурою з використанням реакційноздатного термопласту Елвалой АМ [Текст] / В. І. Братчун, **В. Л. Беспалов**, О. М. Ставицький, М. К. Пактер и др. // Автошляховик України : науково-виробничий журнал, 2007. – Вип. №6 (200). – С. 32 – 36 (*изучены технологические свойства асфальтополимербетонных смесей, физические и деформационные показатели асфальтополимербетонов*).

39. Братчун, В. И. О формировании граничных слоев на поверхности раздела фаз «активированная поверхность минерального порошка – модифицированное органическое вяжущее» [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов** // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ. – М. : МГСУ,

2008. – С. 78 – 82 (*исследовано формирование граничных слоев при получении асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой*).

40. Братчун, В. И. О термической стабильности дегтебетонов и асфальтобетонов, работающих в покрытиях нежестких дорожных одежд [Текст] / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер, и др. / Современные проблемы строительства: ежегодный науч.-тех. сб. – Донецк, 2008. – №6 (11) – С. 199 – 204 (*изучена термическая стабильность асфальтовяжущих веществ, определяющих деформационно-прочностные характеристики и долговечность асфальтобетонов*).

41. Братчун, В. И. Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта внутригородских асфальтобетонных автомобильных дорог [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов**, М. К. Пактер, А. Г. Доля // Научный журнал Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2016. – №2 – С. 20 – 22 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dahluniver.ru/images/otdel/izdatelstvo/vestnik/1-2-2016.pdf> (*разработаны ресурсоэкономичные составы литых асфальтополимерсеробетонных смесей*).

42. Братчун, В. И. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, **В. Л. Беспалов** // Научный журнал Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2017. – №3(5). – Ч.2. – С. 105 – 107. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://dahluniver.ru/images/otdel/izdatelstvo/vestnik/13-2_2017.pdf (*установлены оптимальные температурные интервалы производства модифицированных этиленглицидилакрилатом асфальтобетонных смесей*).

АННОТАЦИЯ

Беспалов Виталий Леонидович. Леонидович. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Макеевка, 2019 г.

На основе методологии системного анализа предложенных физико-химических моделей модифицированных асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов с использованием экспериментально-статистического описания разработаны и реализованы новые научно-обоснованные технологические решения получения комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, вносит значительный вклад в развитие Донецкой Народной Республики для устройства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, способных противостоять колебности, усталостному разрушению, трещиностойкости и термоокислению, в результате комплексной модификации органических вяжущих полимерами термодинамически совместимыми с нефтяными дорожными битумами : бутадиевметилстирольный каучук СКМС-30 совместно с технической серой; этиленглицидилакрилат Элвалой АМ с катализатором

структурирования надмолекулярных образований высокомолекулярных веществ – полифосфорной кислотой ПФК-105 и формированием в битуме пространственной полимерной сетки с расчетным количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований с одновременной поверхностной активацией олигомерами или полимерами минеральных материалов асфальтобетонных смесей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Донецкой Народной Республики.

Разработаны технологии, обеспечивающие охрану окружающей среды и низкую энергоемкость процесса производства, укладки и уплотнения комплексно – модифицированных асфальтобетонных смесей с использованием техногенного сырья. Результаты исследований вошли в нормативные документы : инновационный проект «Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и строительства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности» (Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики). Ожидаемый экономический эффект от внедрения 50 тысяч тонн литых асфальтополимерсеробетонных смесей составит в ценах 2017 года 90550000 рос. руб. При разработке ДСТУ Б В.2.7–119:2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия». Для ПАО «Облдорремстрой разработаны «Рекомендации по производству и применению модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности». Для Донецкого объединения облавтодор корпорации «Укравтодор» разработаны «Рекомендации по производству асфальтобетонных смесей модифицированных этиленглицидил-акрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105». На асфальтобетонном заводе Новоазовского райавтодора Донецкого объединения «Облавтодор» приготовлено 350 тонн асфальтополимербетонных смесей, которые содержат в своем составе битум, модифицированный 2,5 % этиленглицидилакрилата и 0,2 % ПФК-105.

Ключевые слова: функционально-физический анализ, комплексно-модифицированный дорожный асфальтобетон, ресурсосбережение, экспериментально-статистическое моделирование, деформационно-прочностные свойства, долговечность.

ANNOTATION

Bespalov Vitaliy. Theoretical – experimental principals of modified robust road asphalt- concretes preparation. – The manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences on the specialty 05.23.05 – Building Materials and Products. – The Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, 2018.

The principles of preparation of complex modified hot, molded, stone mastic asphalt mixtures have been developed and implemented on the base of system analysis methodology of proposed physics-chemical models of asphalt-binding substances and asphalt concretes with the use of experimental statistical description. These mixtures allow solving the problem of providing coating of non-rigid road construction by the ability to withstand simultaneously rutting, fatigue failure, crack

resistance and thermal oxidation stability in the complex modification of organic binding by polymers. The polymers are thermodynamically compatible with the oil road bitumens: butadiene methyl styrene rubber SKMS-30 with technical sulfur; ethylene glycidyl acrylate Elvaloy AM with the catalytic agent for structuring supramolecular substances of high molecular weight – polyphosphoric acid PFC-105 and the formation of spatial polymer network with a calculated number of nodes and kinetically flexible chains of macromolecules supramolecular formations with simultaneous surface activation of mineral materials of the asphalt-concrete mixture by oligomers or polymers in bitumen.

Technologies that ensure environmental protection and low energy intensity of the production process, placing and compacting complex-modified asphalt-concrete mixtures with technogenic row materials have been developed. The results of the research have been included in the normative documents: the innovative project “Molded asphalt-polymer-sulfur-concrete mixtures for patching and construction of non-rigid road coatings for high durability roads (Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Donetsk People's Republic). The expected economic effect of the introduction of 50 000 tons of molded asphalt-polymer-containing aerated concrete mixtures will be 90550000 Russian rubles in the prices of 2017. When developing DSTU BV.27-119:2011 «Asphalt-concrete mixtures and road and airfield asphalt-concrete. Technical conditions”. “Recommendations for the production and use of modified asphalt-concrete for increased fatigue life” have been developed for PJSC Obldorremstroy. “Recommendations for the production of asphalt-concrete mixtures modified with ethylene glycidyl acrylate in combination with polyphosphoric acid PFC-105 have been developed for the State Enterprise “AVTODOR” of the Corporation «Ukravtodor». 350 tons of asphalt-polymer-concrete mixtures containing asphalt, modified 2,5 % ethylene glycidyl acrylate and 0,2 % PFC have been prepared at the asphalt-concrete plant of the Novoazovsky District Automobile Plant of the Donetsk Association “Oblavtodor”.

Key words : functional-physical analysis, complex-modified road asphalt concrete, resource saving, experimental-statistical simulation, deformation-strength properties, durability.