

В 2. 14. 2021
перечислено
14. 2021

На правах рукописи

Загородняя Анастасия Викторовна



**ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНЫ
ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка – 2021

Работа выполнена на кафедре «Строительные конструкции и строительная механика» Государственного образовательного учреждения высшего образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Научный руководитель: **Братчун Валерий Иванович,**
доктор технических наук, профессор,
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры», заведующий
кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы».

Официальные оппоненты: **Кондращенко Валерий Иванович,**
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
ФГАОУ ВО «Российский университет
транспорта», профессор кафедры
«Строительные материалы и технологии»;

Нагорная Нина Павловна,
кандидат технических наук, доцент,
ГО ВПО «Донецкий национальный
университет экономики и торговли
им. Михаила Туган-Барановского»,
доцент кафедры товароведения.

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет им. В. И. Вернадского»
г. Симферополь.

Защита состоится «27» января 2022 г. в 10:00 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 учёного совета. Тел. факс: +38(0623) 43-70-33, 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 « » 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 01.006.02



Лахтарина Сергей Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время фактические сроки службы дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями не выдерживаются. Это приводит к ежегодному увеличению объемов ремонтных работ и дополнительным финансовым вложениям в дорожную отрасль. Ежегодные экономические потери Луганской и Донецкой Народных Республик, связанные с неудовлетворительным состоянием автомобильных дорог, составляют около 3,11 млрд. руб. Как следует из материалов статистических обследований, фактические сроки службы асфальтобетонных покрытий до капитального ремонта составляют не более 3...5 лет, а иногда 1 ...2 года.

Резко возросшая интенсивность движения автомобильного транспорта, усилившийся рост нагрузок на дорожное полотно, применение устаревших технологий, невысокое качество дорожно-строительных материалов снижают эксплуатационные характеристики дорожных покрытий, способствуют росту трещин, колеиности, выбоин, пластических деформаций и др., что приводит к снижению сроков эксплуатации асфальтобетонных дорожных покрытий.

Прогрессивным направлением повышения качества покрытий автомобильных дорог является внедрение новых перспективных дорожно-строительных материалов, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Одним из таких эффективных материалов является асфальтополимерсеробетон, который обладает повышенными физико-механическими характеристиками и долговечностью в сравнении с традиционными плотными мелкозернистыми асфальтобетонами.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой для выполнения исследований в области разработки составов комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов повышенной долговечности, являются работы отечественных ученых, таких как Г. С. Бахраха, В. И. Братчуна, В. А. Веренько, В.Д. Галдиной, Л. Б. Гезенцева, Л. М. Гохмана, В. А. Золотарева, С. К. Илиополова, Ю. И. Калгина, А. С. Колбановской, В. И. Кондращенко, Э. В. Котлярского, В. П. Подольского, А. В. Руденского, И. М. Руденской, Д. А. Розенталя, В. И. Соломатова, И. Л. Чулкова, В. В. Ядыкиной и др., а также зарубежных авторов: А. Д. Хойберга, Brule V., Mouillet V. и др.

Несмотря на большое количество исследований проблема разработки эффективных составов битумополимерных вяжущих, обеспечивающих долговечность асфальтобетонных покрытий, остается открытой в дорожной отрасли. В частности, недостаточно изученными остаются технологические свойства асфальтополимерсеробетонных смесей и деформационно-прочностные характеристики асфальтополимерсеробетонов. Отсутствуют данные о температурно-временных режимах и концентрационных соотношениях при производстве битумополимерсерных вяжущих в зависимости от вида технической серы и вида полимера-модификатора. Недостаточно полно сформулированы теоретические положения о закономерностях формирования структуры и физико-механических свойств мелкозернистых асфальтобетонов. Недостаточно изучены явления и процессы, происходящие в битумополимерсерных вяжущих и в асфальтополимерсеробетонах.

Целью исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование получения дорожных асфальтополимерсеробетонов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, комплексной модификацией органического вяжущего дивинил-стирольным каучуком, гранулированной технической серой и аппретирования поверхности минерального порошка дивинил-стирольным блок-сополимером.

Объект исследования – дорожные асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой повышенной долговечности.

Предмет исследования – процессы и явления, определяющие закономерности формирования структуры и свойств высококачественных дорожных асфальтополимерсеробетонов, комплексно модифицированных дивинил-стирольным каучуком и гранулированной технической серой.

Задачи исследования:

- сформулировать теоретические положения о предполагаемых закономерностях формирования структуры асфальтополимерсеробетонов, представленных битумом, комплексно модифицированным дивинил-стирольным блок-сополимером и гранулированной технической серой, а также минеральным порошком поверхностно активированным дивинил-стирольным термоэластопластом;

- изучить процессы структурообразования в комплексно-модифицированном асфальтополимерсерном вяжущем;

- установить оптимальные концентрационные соотношения в системе «битум – дивинил-стирольный блок-сополимер – гранулированная техническая сера – минеральный порошок, который активирован дивинил-стирольным термоэластопластом»;

- изучить стабильность битумополимерсерного вяжущего при хранении при технологических температурах, оценить влияние марки битума на стабильность модифицированного битума при хранении;

- определить параметры технологических режимов укладки и уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей и деформационно-прочностные характеристики асфальтополимерсеробетонов;

- определить технико-экономическую эффективность использования дорожных асфальтополимерсеробетонов; разработать рекомендации по производству и применению асфальтополимерсеробетонных смесей, содержащих гранулированную серу и дивинилстирольный каучук для верхних слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- теоретически и экспериментально доказана возможность получения асфальтобетонов повышенной долговечности модификацией нефтяного дорожного битума дивинил-стирольным блок-сополимером совместно с гранулированной технической серой, и поверхностной активацией минерального порошка дивинил-стирольным каучуком;

- выявлены закономерности структурообразования в системе: «нефтяной дорожный битум – дивинил-стирольный каучук – гранулированная техническая сера»;

- с использованием экспериментально-статистического моделирования установлены оптимальные концентрационные соотношения компонентов в системе: «нефтяной дорожный битум БНД 60/90 (100% м.ч.) – дивинил-стирольный каучук ДСТ 30-01 (3% мас.) – гранулированная техническая сера (30% мас.) – минеральный порошок, поверхностно активированный ДСТ 30-01 (0,7%)»;

- установлено, что асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой (битум, комплексно модифицированный ДСТ 30-01 и гранулированной технической серой) по физико-механическим и деформационным свойствам значительно превосходят стандартные горячие асфальтобетоны.

Практическое значение полученных результатов:

- для ГУП ЛНР «Луганский автодор» разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей для устройства верхних слоев покрытий нежестких дорожных одежд повышенной долговечности»;

- определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения асфальтополимерсеробетонов повышенной долговечности для ГУП ЛНР «Луганский автодор»;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс при подготовке специалистов по специальности 08.05.02 «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей» по направлению «Строительство (реконструкция), эксплуатация и техническое прикрытие автомобильных дорог» в дисциплине «Основы производства дорожных строительных материалов», для магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» по магистерской программе «Проектирование и строительство автомобильных дорог» в дисциплине «Новые композиционные дорожно-строительные материалы».

Методы исследований. Теоретические положения сформулированы на основе закономерностей формирования микроструктуры модифицированных асфальтобетонов. Экспериментальные исследования выполнены с использованием стандартных и специальных методов: термогравиметрия, инфракрасная спектроскопия, оптическая микроскопия прибор Маршалла и прибор для определения параметров уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей. Для обработки и анализа результатов экспериментальных исследований использованы методы математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое и экспериментальное обоснование получения высококачественных составов асфальтобетонных смесей с комплексно-модифицированной микроструктурой;

- закономерности формирования структуры в системе: «нефтяной дорожный битум – дивинил-стирольный каучук – гранулированная техническая сера» (формируется пространственная эластичная структурная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера и коллоидно-диспергированная сера);

- закономерности формирования на поверхности минерального порошка структурно-упрочненного слоя модификатора (ДСТ 30-01), связанного межмолекулярными связями с поверхностью минерального порошка, что приводит к повышению

смачивания поверхности частиц минерального порошка модифицированным органическим вяжущим, сорбции и адгезии компонентов битумополимерсерного вяжущего;

- способы оптимизации состава, комплексно-модифицированного асфальто-вяжущего вещества: «битум – дивинил-стирольный каучук – гранулированная техническая сера – минеральный порошок, поверхностно-активированный дивинил-стирольным сополимером» с использованием экспериментально-статистических методов планирования эксперимента;

- результаты экспериментальных исследований параметров укладки и уплотнения смесей в верхние слои нежестких дорожных одежд, физико-механических и деформационных свойств модифицированных асфальтобетонов;

- ведомственный нормативный документ «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей, для устройства верхних слоев покрытий нежестких дорожных одежд повышенной долговечности» (ГУП ЛНР «Луганский автодор»).

Личный вклад соискателя:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований структурообразования битумополимерсерных вяжущих;

- определены оптимальные температурные интервалы уплотнения комплексно модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей в конструктивных слоях нежестких дорожных одежд;

- показатели физико-механических и деформационно-прочностных свойств асфальтополимерсеробетона;

- «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей, для устройства верхних слоев покрытий нежестких дорожных одежд повышенной долговечности».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: результатами экспериментальных исследований, выполненных с применением современных методов исследований; адекватностью экспериментально-статистической математической модели зависимостям физико-механических свойств битумополимерсерного вяжущего от массовой концентрации полимера и технической серы в битуме, а также концентрации полимера активатора на поверхности минерального порошка; соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены на: межотраслевой научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы современной науки» (г. Луганск, ГОУ ЛНР «ЛНАУ», 11-15 декабря 2017 г.); XVI международной конференции «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 20-22 апреля 2017 г.); II, III, IV Региональных научно-практических конференциях «Возрождение, экология, ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации» (г. Луганск, ГОУ ВПО ЛНР ЛНУ им В. Даля, октябрь 2017, 2018, 2019 гг.); Международной научной конференции студентов и молодых ученых (г. Донецк, ГОУ ВПО «ДНУ», 17-20 октября 2017 г.); II, III, IV, V международных строительных

форумах «Строительство и архитектура» (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», апрель 2018, 2019, 2020, 2021 гг.); I, II республиканских научно-технических конференциях «Реконструкция и восстановление Донбасса. Строительные материалы, конструкции и изделия» (г. Луганск, ГОУ ЛНР «ЛНАУ», ноябрь 2018, 2019 гг.); международной конференции "Научные чтения памяти доцента кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов Александра Дмитриевича Лазько" (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 27 декабря 2018 г.); научно-практической конференции «Интеграция науки и практики как условие продовольственной безопасности» (г. Луганск, ГОУ ЛНР «ЛНАУ», 30 января 2019 г.); II республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Молодые ученые в аграрной науке» (г. Луганск, ГОУ ЛНР «ЛНАУ», 18 апреля 2019 г.); XIII международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России» (г. Волгоград, ФГБОУ ВО «ВГТУ», 21-24 мая 2019 г.); международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы современной науки» (г. Луганск, ГОУ ЛНР «ЛНАУ», 23 января 2020 г.); научно-практической конференции с международным участием «Электроповерхностные явления при формировании структуры строительных материалов на основе минеральных и органических вяжущих веществ» (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 25 декабря 2020 г.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 18 печатных работах, в том числе в 10 рецензируемых научных изданиях: 6 работ в сборниках научных конференций и семинаров.

Общий объем публикаций – 4,9 п.л., из которых 3,4 п.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников из 141 наименования на 15 страницах, 2 приложений на 2 страницах, содержит 128 страниц основного текста, 24 рисунка, 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, приведены основные научные результаты, показано их практическое значение и область реализации.

В **первом разделе** рассмотрено современное состояние вопроса по применению модифицированных асфальтобетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд, а именно: напряженно-деформированное поведение покрытий нежестких дорожных одежд; рассмотрены характерные разрушения, возникающие при эксплуатации нежестких дорожных одежд; обоснование использования битумополимерных вяжущих в качестве эффективного вяжущего материала для дорожных асфальтобетонов.

В работах В.А. Золотарева, Н.Н. Иванова, А.М. Кривисского, Э.В. Котлярского, Б.И. Ладыгина, В.А. Лейвака, А.Г. Малофеева, Б.С. Радовского, А.О. Салля, А.В. Смирнова, А.С. Супруна, А.В. Руденского и др. показано, что

асфальтобетон в процессе эксплуатации испытывает сложное напряженно-деформируемое состояние, вызванное одновременным появлением растягивающих и сжимающих напряжений при действии транспортной нагрузки, которая имеет циклический характер, при этом время действия нагрузки на покрытие составляет 0,1 – 0,4 с, а частотный спектр воздействия может варьироваться в пределах 2,5 – 33 Гц.

Поведение асфальтобетона при положительных температурах при воздействии динамической нагрузки определяет устойчивость к образованию колеи, а модуль жесткости характеризует его работоспособность под воздействием статической нагрузки. Улучшение этих характеристик асфальтобетона в совокупности позволяет обеспечивать необходимую его деформативность при устойчивости к необратимым пластическим деформациям в летний период и повышенную трещиностойкость в зимний период. Коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием определяется, главным образом, его макрошероховатостью, которая зависит от типа макроструктуры асфальтобетона и принятой технологии производства и укладки асфальтобетонного слоя.

Одним из основных способов повышения сроков службы асфальтобетонных покрытий, соответственно и повышения качества органического вяжущего является введение различных модификаторов, что позволяет улучшить свойства битумов в необходимом направлении для практического применения. Показано, что полимерные модификаторы нефтяных битумов в силу своей физико-химической природы оказывают различное влияние на свойства исходного битума. Наиболее эффективное влияние на весь комплекс свойств битумополимерного вяжущего оказывает модификация нефтяного битума термоэластопластиками типа СБС в Европе, ДСТ в Российской Федерации, позволяющие получить пространственную эластичную структурную сетку в битуме при минимальном по сравнению с полимерами других классов концентрации, так как характеризуются способностью к специфическим взаимодействиям. Одновременное воздействие на дисперсионную среду и дисперсную фазу битумов осуществляется полимерами в комплексе с гранулированной технической серой.

Анализ мирового опыта текущего ремонта покрытий автомобильных дорог свидетельствует о том, что помимо асфальтополимербетонных смесей (битумы, модифицированные полимерами), асфальтополимерсеробетонных смесей для строительства и ремонта покрытий нежестких дорожных одежд используют литые асфальтобетонные смеси и модифицированные их аналоги. Недостатками известных горячих литых асфальтобетонных смесей является 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.

Для снижения температуры производства литой асфальтобетонной смеси ее модифицируют технической серой. В результате снижается температура производства смеси с 230°C до 150°C и сокращается расход битума в смеси, так как сера при высокой температуре является разжижителем и обладает высокими адгезионными свойствами.

Во **втором разделе** сформулированы теоретические положения формирования структуры асфальтополимерсеробетона с использованием гранулированной технической серы и дивинил-стирольного каучука.

В дорожных битумах с течением времени происходит повышение вязкости. Степень ее повышения, прежде всего, зависит от качества и состояния исходного битума. Ухудшение эксплуатационных свойств битума при старении обусловлено негативными изменениями его дисперсной структуры, обусловленными снижением доли масляной фракции, увеличением доли асфальтенов, что ведет к росту структурированности битума и, как следствие, к снижению его деформативности.

Для качественного улучшения структуры и свойств дорожных битумов необходим более эффективный способ комплексной модификации состава, позволяющий при направленном воздействии на структуру битума получать качественно новое органическое вяжущее. Таким направлением является модификация битумов высокомолекулярными соединениями - полимерами, в комплексе с активными дисперсными наполнителями, в частности, технической серой позволяющая получить комплексные многокомпонентные органические вяжущие.

Более высокие вязкость и когезионная прочность БПВ определит в асфальтобетоне более толстые пленки вяжущего, что должно уменьшить интенсивность старения, а, следовательно, увеличить долговечность дорожного покрытия.

В качестве модифицируемой среды целесообразно использовать битум III структурного типа, который термостабилен, а мальтеновой части достаточно для диспергирования полимера до надмолекулярного и молекулярного уровней. В этом случае при модификации вяжущего полимерными добавками в битуме образуется самостоятельная пространственная полимерная сетка, прочность которой будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

Решающее значение для формирования физико-механических свойств композиционных материалов имеют состояние и свойства граничных слоев на поверхности раздела фаз. Поверхностная активация полимером поверхности минерального порошка (МП) приведет к лучшему совмещению активированного МП с модифицированным органическим вяжущим (при правильном подборе модификатора), например, с битумополимерным, что обеспечит полное смачивание ее модифицированным органическим вяжущим.

Модификацию битума дивинил-стирольным каучуком ДСТ 30-01 целесообразно вести из раствора в углеводородных фракциях (исследование Гохмана Л.М.).

Можно предположить, что в этом случае при концентрации ДСТ 30-01 2 – 3 % мас. в органическом вяжущем в области эксплуатационных температур сформируется сопряженная с асфальтенами пространственная эластичная структурная сетка. Блоки полистирола трехблочных макромолекул марки ДСТ 30-01 расположены по краям и образуют очень прочные связи между разными макромолекулами при температурах ниже 80°C.

Для упрочнения пространственной сетки битумополимерную композицию следует структурировать технической серой. До 10 % мас. серы вступит в химическое взаимодействие с углеводородами битума, в результате чего произойдет –S–

дегидрирование и образование высокомолекулярных асфальтеноподобных или угледоподобных веществ полимерных сульфидов углерода. Часть серы растворится (20–26 % мас.). Остальная сера диспергируется в битуме до коллоидного состояния. Это приведет к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем в результате взаимодействия частиц серы через прослойки дивинил-стирольного каучука. Таким образом в битумополимерсерном вяжущем возникнет трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

Активация поверхности минерального порошка сополимером ДСТ 30-01 (поверхностная активация из раствора бензина) должна привести к формированию на поверхности структурно-упрочненного слоя полимера, который повысит адгезию битумополимерсерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сополимера ДСТ 30-01 с активными центрами олеофильной поверхности, диффузии макромолекул дивинил-стирольного блок-сополимера в слой ДСТ 30-01 на поверхности минерального порошка. Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией.

Битумополимерное вяжущее при хранении в битумоварочных котлах при технологических температурах должно быть термостабильным и седиментационно-устойчивым.

В третьем разделе приведены характеристики объектов и методов исследования.

В качестве органического вяжущего материала принят нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90, отвечающий требованиям ГОСТ 22245-90. Для комплексной модификации микроструктуры асфальтобетонов использованы блок-сополимер на основе стирола и дивинила марки ДСТ 30-01 (ТУ 38.103267-99); каучук синтетический бутадиенметилстирольный СКМС-30 АРКМ-15 (ГОСТ 11138-78); гранулированная техническая сера (ГОСТ 127.1-93).

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 – 1885 кг/м^3 ; пустотность – 31,8 %; битумоемкость – 50 %.

В качестве крупного заполнителя использовали щебень Успенского карьера (Луганская Народная Республика) (ГОСТ 8267-93). В качестве мелкого заполнителя использовался отсев дробления щебня (ГОСТ 8736-93).

Гранулометрический состав минеральной части, принятых асфальтобетонов, представлен полными остатками на соответствующих ситах (мм). Асфальтобетон типа «Б»: 15...10 – 22,8 %; 10...5 – 17,2 %; 5...2,5 – 17,2 %; 2,5...1,25 – 12,8 %; 1,25...0,63 – 8,3 %; 0,63...0,315 – 6,5 %; 0,315...0,14 – 4,8 %; 0,14...0,071 – 3,2 %; минеральный порошок – 7,2 %.

В диссертационной работе, кроме стандартных, использован ряд специальных приборов и методов исследования: исследование кинетики растворения дивинил-стирольного блок-сополимера в бензине на стереомикроскопе Technival 2 Carl

Zeiss Jena; определение удельной поверхности минеральных порошков на хроматографе «Цвет-100»; теплоты смачивания на калориметре ДАК-1-1а; инфракрасная спектроскопия Spekord IR-75 (Карл Цейс); термогравиметрический анализ и дифференциально термический анализ на дериватографе Derivatograph-C, системы Паулик-Паулик-Эрдей; исследование сдвигоустойчивости асфальтобетонов на приборе Маршалла; определение уплотняемости асфальтополимерсеробетонных смесей, на приборе ХАДИ.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований процессов формирования структуры асфальтополимерсеробетонных смесей.

Данные калориметрических исследований модельной системы (кальцит – нефтяной битум) в изотермическом режиме при температуре 200°C на калориметре ДАК-1-1А свидетельствуют о том, что возможны хемосорбционные процессы между асфальтогеновыми кислотами битума и карбонатом кальция. Установлено, что при смачивании минерального порошка битумами, модифицированными реакционноспособными модификаторами, возможны химические реакции как в объеме битума, так и на поверхности раздела фаз «МП-ОВ».

Сопоставление рассчитанных параметров растворимости (δ) бутадиенмethylстирольного каучука (СКМС-30), дивинил-стирольного сополимера (ДСТ 30-01) и алкановых фракций битума свидетельствует о том, что они имеют близкие значения δ (1).

$$\delta_{\text{СКМС-30}} \approx \delta_p \approx \delta_{\text{ДСТ 30-01}} \quad (1)$$

где $\delta_{\text{СКМС-30}}$, δ_p , $\delta_{\text{ДСТ-30-01}}$ – параметры растворимости бутадиенмethylстирольного каучука, алкановых компонентов битума и дивинил-стирольного сополимера, $\delta_{\text{СКМС-30}} 16,8 \approx \delta_p (15,25 - 16,13) \approx \delta_{\text{ДСТ 30-01}} 17,8 \text{ МДж}^{0,5}/\text{м}^{1,5}$ (табл. 1).

В таблице 1 приведены параметры растворимости для групповых компонентов битума и полимеров-модификаторов.

Таблица 1

Сопоставление параметра растворимости компонентов битума и полимеров

Наименование	Средняя молекулярная масса	Неопределенность, (1), %	Параметр растворимости полимера, δ , $\text{МДж}^{0,5}/\text{м}^{1,5}$
Групповые компоненты битума			
масла	500	2,13	17,8
смолы	800	3,06	18,2
асфальтены	1148	3,06	18,9
Полимеры			
ДСТ-30-01 (СБС)	90000 – 110000 (350) (2)	7,43	17,8
СКМС-30 (БСК)	200000 – 300000 (2)	3,0	16,8

(1) содержание ненасыщенных связей ($-\text{CH}=\text{CH}-$);

(2) молекулярная масса повторяющегося звена.

Непредельность СКМС-30 меньше чем у ДСТ 30-01, что объясняется их строением и определяет их меньшую химическую активность, т. е. с меньшей скоростью происходит реакция с кислородом воздуха из-за меньшей непредельности СКМС-30 и меньшей растворимости в нем кислорода. Процесс окисления сопровождается заметным структурированием, что объясняется окислением боковых винильных групп в структуре каучуков.

Как следует из таблицы 2 оба полимера совместимы с мальтенами битума, следовательно, битумополимерсерное вяжущее в области технологических температур 150 - 155°C должно быть термостабильным и седиментационно-устойчивым.

Таблица 2

Термокинетическая стойкость битумополимерных вяжущих

Наименование полимера (массовая концентрация полимера, % к битуму)	Непредельность (1), %	Параметр растворимости полимера, δ , МДж ^{0,5} /м ^{1,5}	Изменение показателей (ΔA) (2)		
			Пенетрация, P_{25} (0,1мм)	Температура размягчения, °C	Эластичность при 25°C, %
ДСТ-30-01 (СБС)	7,43	17,8	53,0	40,1	52,0
СКМС-30 (БСК)	3,0	16,8	46,0	35,2	58,0

(1) содержание ненасыщенных связей ($-\text{CH}=\text{CH}-$);

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

(3) стирол-дивинил-стирольный блок-сополимер;

(4) бутадиенметилстирольный каучук.

Термограммы ДТА как и данные ИК – спектроскопии свидетельствуют о том, что в системах «битумополимерсерное вяжущее – минеральный порошок, активированный 0,5 % мас. СКМС-30» и «битум – ДСТ 30-01 сополимер – техническая сера – известняковый минеральный порошок, активированный 0,7 % мас. ДСТ 30-01 сополимером», более четко проявляются полосы поглощения битума (ароматика, метильные группы), чем в системе «битумополимерсерное вяжущее – неактивированный минеральный порошок». Следовательно, слой структурированного бутадиен-метилстирольного каучука и структурно-упрочненный слой дивинил-стирольного сополимера на поверхности минерального порошка улучшает смачивание его вяжущим и обеспечивает более сильное межмолекулярное взаимодействие на поверхности раздела фаз.

Микроскопическими исследованиями в проходящем свете с использованием стереомикроскопа Technival-2 Carl Zeiss Jena (увеличение в 125 раз) установлено, что растворение ДСТ 30-01 сополимера в бензине осуществляется в несколько последовательно идущих стадий.

Первая температурная зона I участок (А-В) соответствует изменению температуры от 30 до 50⁰С, присутствует фаза полимера и фаза низкомолекулярного вещества; вторая зона (В-С) лежит в пределах от 50 до 70⁰С, одна фаза представляет раствор низкомолекулярной жидкости в полимере (набухший полимер), а вторая – низкомолекулярную жидкость; третья (С-Д) отвечает интервалу температур от 70 до 100⁰С, одна фаза является раствором низкомолекулярной жидкости в полимере, а вторая – раствором полимера в этой жидкости; четвертая зона (Д-Е) превышает температуру 100+110⁰С, в результате все большего проникновения макромолекул дивинил-стирола в низкомолекулярную жидкость обе фазы стали тождественными, система является гомогенной.

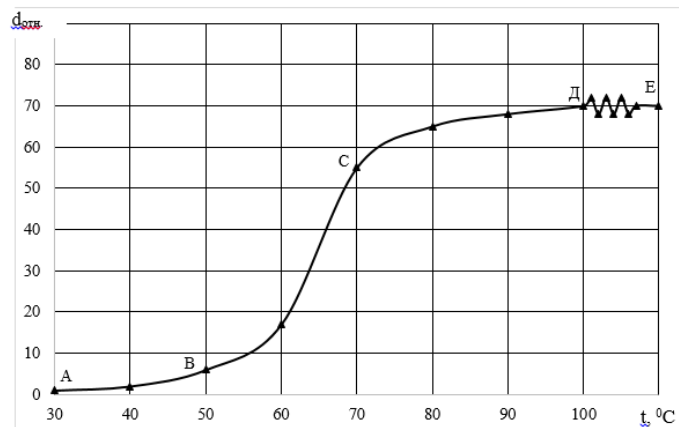


Рис. 1. Относительное изменение размера набухающей частицы ДСТ 30-01 ($d_{отн}$) от температуры (t) в бензине

Составы асфальтополимерсерного вяжущего оптимизированы. В качестве факторов, действующих на оптимизируемую систему, приняты: концентрация полимера активатора (ДСТ 30-01) на поверхности минерального порошка $X_1 = 0,4...1,0\%$; массовая концентрация в битуме гранулированной технической серы $X_2 = 20...30\%$ и ДСТ-30-01 $X_3 = 1,0...3,0\%$. В качестве параметров оптимизации приняты: предел прочности по образующей при 0⁰С Y_1 ($R_{обр.}$ не менее 1,5 МПа), который характеризует поведение асфальтобетонного покрытия под транспортной нагрузкой в зимнее время, а также косвенно характеризует поведение асфальтобетона при низких температурах и сопротивляемость материала к образованию низкотемпературных трещин; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении Y_2 ($K_{вд.}$ не менее 0,88); предел прочности на сжатие при 20 °С Y_3 ($R_{сж.}$ не менее 2,8 МПа). Регрессионный анализ выполнен в программе PlanExp B-D13 v.1.0. с построением графиков функций отклика. $R_{обр.}$ (2), $K_{вд.}$ (3) и R_{20} (4) аппроксимированы полиномами второй степени.

$$Y_1 = 2,34 + 0,176X_3 - 0,322X_1^2 - 0,322X_1^2 - 0,266X_3^2 - 0,181X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 0,945 + 0,025X_3 - 0,047X_1^2 \quad (3)$$

$$Y_3 = 3,783 + 0,239X_2 + 0,511X_3 - 0,648X_1^2 + 0,15X_2^2 - 0,154X_3^2 - 0,201X_1 \cdot X_2 + 0,229X_2 \cdot X_3 \quad (4)$$

Полученные уравнения регрессии (2-4) и рис. 2-4 проверены на адекватность и удовлетворяют критерию Фишера. Определены доверительные интервалы значений для функций отклика. Выделена область оптимальных значений факторов системы «битум – ДСТ-30-01 – техническая сера – МП, активированный ДСТ-30-01», обеспечивающих заданные параметры оптимизации модифицированного асфальтовяжущего вещества (рисунки 2-4, Opt). Характерно, что при всех значениях факторов варьирования предел прочности по образующей (Y_1) обеспечивается.

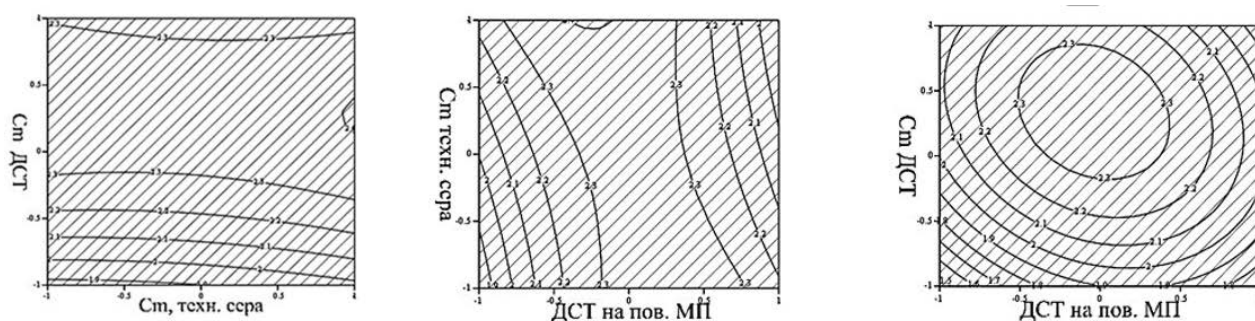


Рис. 2. Геометрическая интерпретация уравнения (2), характеризующего изменение предела прочности по образующей при 0°C ($R_{\text{обр.}}$) от действующих факторов.

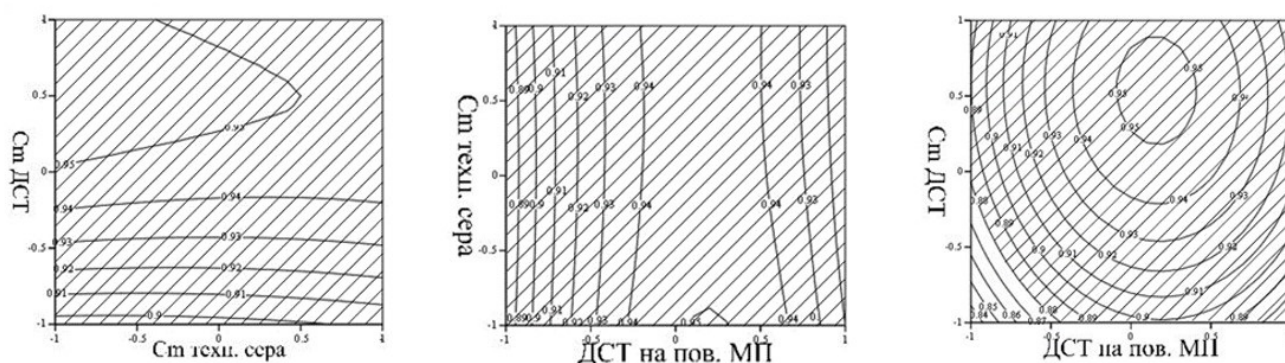


Рис. 3. Геометрическая интерпретация уравнения (3), характеризующего изменение коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении ($K_{\text{вд.}}$) от действующих факторов.

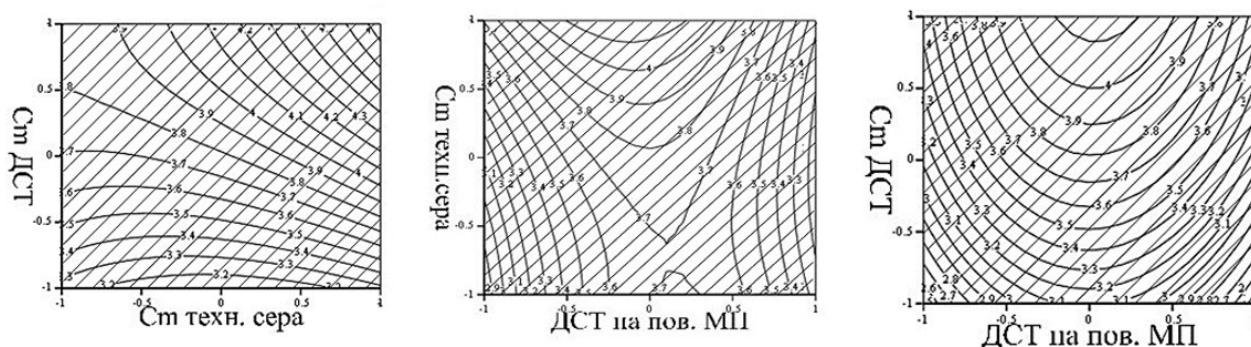


Рис. 4. Геометрическая интерпретация уравнения (4), характеризующего изменение предела прочности при сжатии, при 20°C (R_{20}) от действующих факторов.

Установлено, что оптимальное содержание дивинил-стирольного блок-сополимера на поверхности минерального порошка составляет около 0,65-0,7%. При этом активацию минерального порошка целесообразно вести при введении ДСТ 30-01 сополимера из раствора в углеводородных растворителях, так как при полной растворимости полимера можно получить существенное улучшение структуры, а, следовательно, и свойств битумополимерсерного вяжущего.

Таким образом, возможно взаимодействие активных участков новых поверхностей минеральных частиц дивинил-стирольного блок-сополимера по радикал-радикальному механизму. При этом увеличивается количество контактов сегментов надмолекулярных образований ДСТ 30-01 сополимера с активными центрами олеофильной поверхности (гидрофобной), вследствие чего формируется структурно-упрочненный слой полимера, что приведет к усилению коагуляционного структурообразования в микроструктуре асфальтобетона.

Концентрацию дивинил-стирольного блок-сополимера в битуме следует назначать 2-3% мас., а технической серы 25-30% мас. При дальнейшем увеличении массовой концентрации ДСТ 30-01 сополимера и технической серы происходит повышение роста когезии битумополимерсерного вяжущего, что в условиях длительного водонасыщения, приведет к отрыву пленки модифицированного битума от поверхности минеральных материалов и снижению водостойкости модифицированного асфальтополимерсеробетона.

Введение в нефтяной дорожный битум полимерных добавок (дивинил-стирольный блок-сополимер, бутадиенметилстирольный каучук) значительно повышает адгезию к поверхности минеральных материалов от 22 % до 84 %, приводит к расширению интервала пластичности в среднем на 5⁰ С. Битумополимерсерные вяжущие характеризуются повышенной эластичностью (87-91%), что является свидетельством формирования пространственной эластичной структурой сетки (таблица 3).

Экспериментально определены показатели стабильности битумополимерсерного вяжущего (по пенетрации, температуре размягчения, эластичности) при хранении при технологических температурах. Установлено что наиболее высокой стабильностью обладают полимерно-битумное вяжущее, модифицированное 3% ДСТ 30-01 и структурированное 30% технической серой. Увеличение содержания полимера приводит к потере стабильности битумополимерсерного вяжущего, при этом существует концентрация полимера до которой битумополимерное вяжущее сохраняет относительно высокую стабильность, что обусловлено механизмами агрегативной и седиментационной устойчивости модифицированного вяжущего.

Стабильность битумополимерных вяжущих зависит от консистенции исходного битума и снижается с использованием битумов меньшей пенетрации (и большей температуры размягчения) (табл. 4).

Таблица 3

Свойства органических вяжущих

№ п/п	Вид и состав органического вяжущего	Пенетрация (0,1 мм) при температуре, °С		Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С	Растяжимость (см) при температуре 25°С	Эластичность при 25°С, %	Адгезия, % (ДСТУ Б В.2.7-81-98)
		0	25					
1	Битум БНД 60/90 (П ₂₅ = 76·0,1мм)	25	76	49	-15	90	0	22
2	Битум БНД 60/90 (П ₂₅ = 76·0,1мм) модифицирован 2% СКМС-30 и структурирован техн. серой – 30 % от массы битума	22	60	52	-16	38	87	81
3	Битум БНД 60/90 (П ₂₅ = 76·0,1мм) модифицирован 3 % мас. ДСТ 30-01 и структурирован техн. серой – 30 % от массы битума	26	54	54	-16	45	91	84

Таблица 4

Влияние вязкости исходного битума на расслаиваемость битумополимерсерного вяжущего с 3% ДСТ 30-01

Исходное вя- жущее	П ₂₅ ·0,1мм			Т _р , °С			Э ₂₅ , %		
	Верх	Низ	Расслоение, %	Верх	Низ	Расслоение, %	Верх	Низ	Расслоение, %
БНД 90/130	91	68	34,3	82	71	16,7	84	39	66,2
БНД 60/90	65	22	79,6	77	49	51,6	88	48	48,8
БНД 40/60	63	22	93	72	41	50,2	90	85	14,9

Завершающей стадией структурообразования асфальтополимерсеробетонной смеси является укладка и уплотнение её в конструктивные слои дорожной одежды.

Диапазон температур уплотнения, который, для асфальтополимерсеробетонной смесей составляет 50 – 130°С соответствует наиболее компактному размещению частиц минерального остова (рис. 5). Таким образом, подготовленная для укладки асфальтополимерсеробетонная смесь должна иметь температуру 110 – 140°С. Процесс уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей менее энергоёмкий, чем традиционных горячих асфальтобетонных смесей (табл. 5, рис. 6). Так, средний расход энергии на приращение единицы плотности асфальтополимерсеробетонных смесей составляет $0,81 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$, а для традиционных асфальтобетонных смесей $1,27 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$.

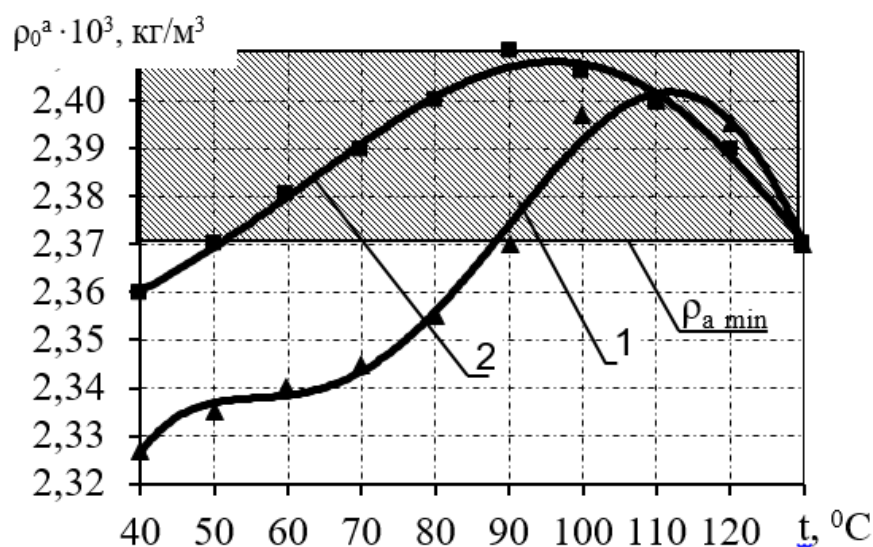


Рис. 5. Зависимость средней плотности ρ_0^a мелкозернистого асфальтобетона (тип Б) от температуры T , отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее – битум нефтяной дорожный $P_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм., минеральный порошок известняковый неактивирован; 2 – вяжущее – битум нефтяной дорожный $P_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм, модифицированный 3 % мас. ДСТ 30-01 и 30 % мас. гранулированной технической серы, минеральный порошок активирован 0,7 % мас. ДСТ 30-01

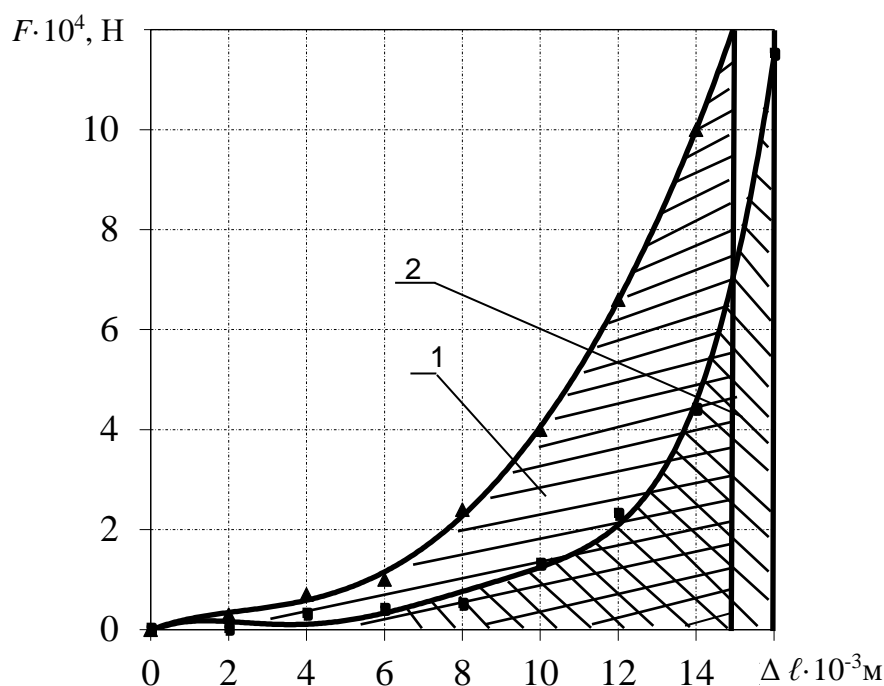


Рис. 6. Диаграмма уплотнения мелкозернистых асфальтобетонных смесей с использованием асфальтовяжущих: 1 - битум дорожный $P_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм, известняковый минеральный порошок неактивирован; 2 - битум дорожный $P_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм с 3 % мас. ДСТ 30-01 и 30 % мас. гранулированной технической серы, известняковый минеральный порошок поверхностно-активирован 0,7 % мас. ДСТ 30-01

Таблица 5

Технологические свойства асфальтополимерсеробетонных смесей

№ п/ п	Состав асфальтобетонной смеси	Работа, за- траченная на уплотне- ние, А, Дж	Прираще- ние сред- ней плот- ности бе- тона $\Delta\rho_6^a$, кг/м ³	Коэффициент уплотнения, K_y $\frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$
1	2	3	4	5
1	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битуме БНД 60/90 ($P_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм.); минеральный порошок – известняковый неактивирован	647	509	1,27
2	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм.) с 3 % мас. ДСТ 30-01 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок известняковый активирован 0,7 % мас. ДСТ 30-01	460	551	0,83

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 асфальтовяжущем веществе.

Рассмотрение модификации микроструктуры асфальтобетонов на их свойства в сравнении с традиционными (ГОСТ 9128-2013) показывают, что модификация битума 2% мас. каучука СКМС-30 и 3% мас. блок-сополимера ДСТ 30-01 приводит к повышению плотности и длительной водостойкости асфальтобетона, снижению температурной чувствительности механических свойств модифицированных систем по сравнению с горячими асфальтобетонами (таблица 6).

Методом Маршалла определены устойчивость, условная пластичность и условная жесткость мелкозернистых асфальтобетонов типа Б, отличающихся видом модификатора нефтяного дорожного битума и видом активатора минерального порошка (табл. 7). Характерно, что модифицированный дивинил-стирольным блок-сополимером и бутадиенметилстирольным каучуком асфальтополимербетоны (состав асфальтобетона №2 и №3) характеризуются более высокими значениями устойчивости и низкой пластичности в отличие от традиционных горячих асфальтобетонов. Это должно обеспечить высокую сдвигоустойчивость и долговременную прочность покрытий автомобильных дорог в области высоких положительных эксплуатационных температур.

Таблица 6

Физико-механические свойства модифицированных асфальтобетонов

Показатели	Состав асфальтовяжущего вещества в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)		
	Битум 60/90, (П ₂₅ = 76·0,1 мм), МП известняковый неактивирован	Битум 60/90 (П ₂₅ = 76·0,1мм) + 3,0 % мас. ДСТ 30-01 + 30% мас. техн. серы; МП активированный 0,7% ДСТ 30-01	Битум 60/90 (П ₂₅ = 76·0,1мм) + 2,0 % мас. СКМС 30 + 30 % мас. техн. серы; МП активированный 0,5% СКМС 30
Средняя плотность, ρ ₀ ^а кг/м ³	2338	2359	2360
Набухание, Н, % от объема	0,6	0,17	0,14
Водонасыщение, W, % от объема	2,94	2,3	2,1
Предел прочности при сжатии, МПа, при:			
0°С	8,5	7,5	8,1
20°С	2,8	4,1	5,2
50 °С	1,1	1,8	2,1
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, К _{вд}	0,79	0,89	0,94
Коэффициент теплоустойчивости, $K_T = \frac{R_0}{R_{50}}$	7,7	4,2	3,9

Таблица 7

Значения показателей, характеризующих сдвигустойчивость асфальтобетонов по Маршаллу

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси	Условная пластичность, l/10, мм	Устойчивость, P, Н	Условная жесткость, A, Н/мм
1	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип «Б»), приготовленная на битуме БНД 60/90; минеральный порошок – известняковый неактивирован.	46	15256	331,6
2	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип «Б»), приготовленная на битумополимерсерном вяжущем (БНД 60/90 с 3,0 % ДСТ 30-01 и 30 % гранулированной технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно активирован 0,7 % ДСТ-30-01.	41	22995	560,9
3	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип «Б»), приготовленная на битумополимерном вяжущем (БНД 60/90 с 2,0 % СКМС 30 и 30 % гранулированной технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно активирован 0,5 % СКМС 30	39	22981	589,3

Асфальтополимерсеробетоны в значительно меньшей мере, на порядок ниже, подвержены технологическому старению, чем традиционные горячие асфальтобетонные смеси. Данные по изменению коэффициента старения в зависимости от времени прогрева (тепловой прогрев выполнен при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении в климатической камере ИП-1) показывают (рис. 7), что на начальном этапе прогрева (600 часов) происходит более интенсивное старение как горячего асфальтобетона, так и асфальтополимерсеробетона. Затем темп нарастания прочности остается постоянным для асфальтобетона и стабилизируется для асфальтополимерсеробетона. Причем коэффициент старения асфальтополимерсеробетона после 2000 часов прогрева при температуре 75°C не превышает критического значения 1,3. В то же время горячий асфальтобетон достигает этого значения через 350 часов прогрева.

Длительная водостойкость асфальтополимерсеробетона, после 90 суток водонасыщения равна 0,8 против 0,59 для традиционного горячего асфальтобетона (рис.8). Коэффициент морозостойкости после 100 циклов замораживания-оттаивания для асфальтополимерсеробетона составляет $F = 0,68$, а для традиционного асфальтобетона $F = 0,53$ (рис.9).

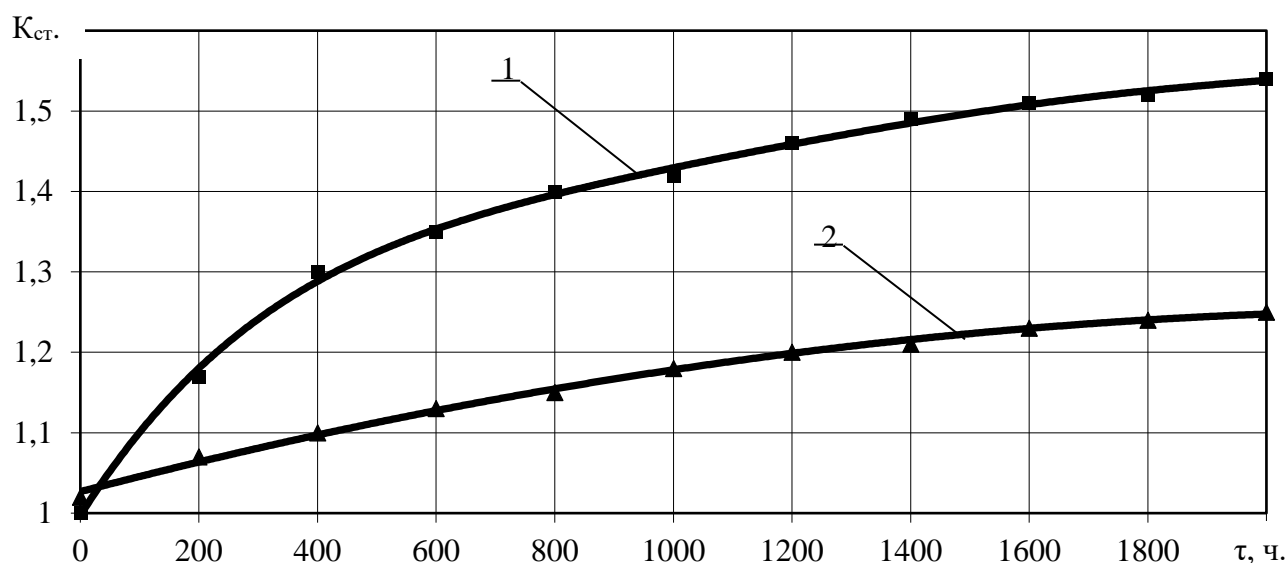


Рис. 7. Зависимость коэффициента теплового старения, $K_{ст}$ от времени прогрева, τ в климатической камере ИП при температуре 75°C мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовязующего вещества: 1 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $\Pi_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм., минеральный порошок извешняковый неактивирован; 2 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $\Pi_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм модифицирован 3 % мас. ДСТ 30-01 и 30 % мас. гранулированной технической серы, минеральный порошок поверхностно-активирован 0,7 % мас. ДСТ 30-01

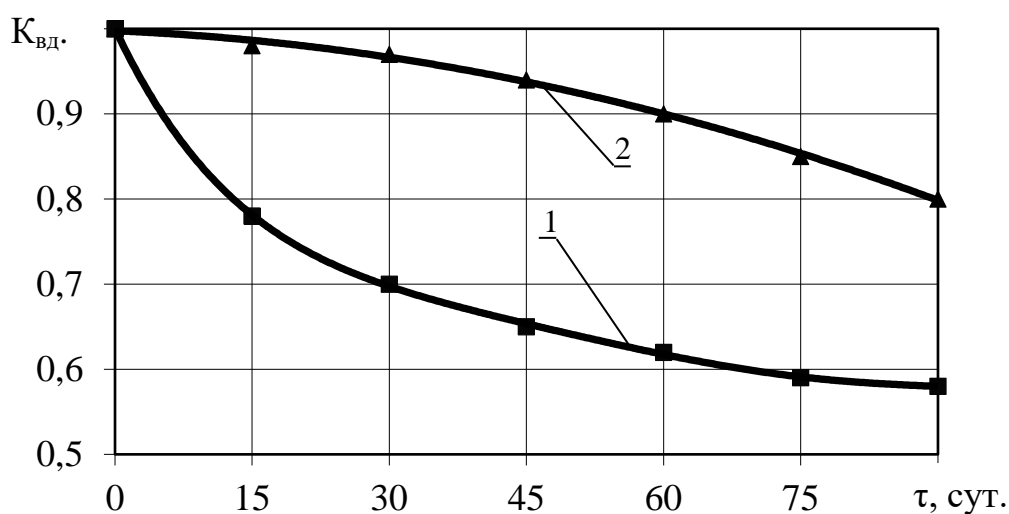


Рис. 8. Зависимость коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд}$ от времени водонасыщения τ мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $\Pi_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм., минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $\Pi_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм., модифицированный 3% мас. ДСТ 30-01 и 30 % гранулированной технической серы, минеральный порошок активирован 0,7% мас. ДСТ 30-01.

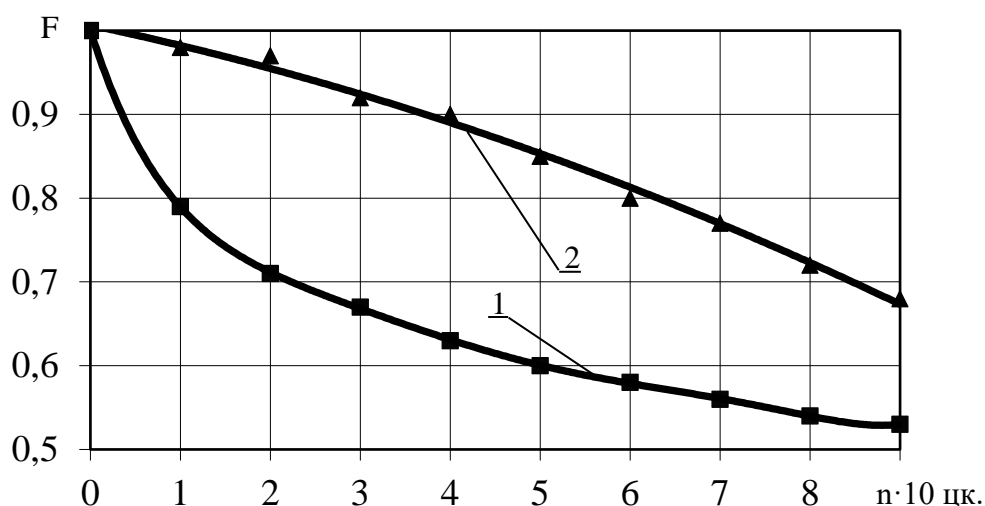


Рис. 9. Зависимость коэффициента морозостойкости F от количества циклов попеременного замораживания-оттаивания мелкозернистых асфальтобетонов (n) и отличающихся видом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $\Pi_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм., минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $\Pi_{25} = 76 \cdot 0,1$ мм., модифицированный 3% мас. ДСТ 30-01 – 30 % технической серы, минеральный порошок активирован 0,7% мас. ДСТ 30-01.

Пятый раздел посвящен практической реализации исследований. Для ГУП ЛНР «Луганский автодор» разработаны «Рекомендации по производству и применению

комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей, для устройства верхних слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности» и определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимерсеробетонных смесей, которая составит 231,80 руб.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально доказано, что эффективным способом получения долговечных асфальтобетонов является комплексная модификация битума дивинил-стирольным блок-сополимером совместно с гранулированной технической серой, и активация поверхности минерального порошка дивинил-стирольным термоэластопластом.

2. С использованием методов ИК-спектроскопии, термогравиметрии, дериватографии доказано формирование адсорбционно-сольватного слоя битумополимерсерного вяжущего (нефтяной дорожный битум, комплексно модифицированный дивинил-стирольным каучуком и гранулированной технической серой) на поверхности минерального порошка, активированного дивинил-стирольным сополимером. Экспериментально получена температурно-временная зависимость растворения дивинил-стирольного сополимера в бензине.

3. С использованием метода экспериментально-статистического моделирования определена оптимальная концентрация дивинил-стирольного каучука (0,7 % мас.) на поверхности известнякового минерального порошка при объединении с нефтяным дорожным битумом, который комплексно модифицирован дивинил-стирольным каучуком (3,0 % мас.) и гранулированной технической серой (30 % мас.).

4. Комплексная модификация микроструктуры дивинил-стирольным блок-сополимером и гранулированной технической серой позволяет повысить основные свойства битумополимерсерного вяжущего. Увеличение концентрации дивинил-стирольного блок-сополимера с 1,5 % до 5 % приводит к росту показателей физико-механических свойств. Изменение консистенции исходного битума от марки БНД 40/60 до марки БНД 90/130 приводит к снижению различий в седиментации верха и низа образца по пенетрации - с 93 % до 34 %; по температуре размягчения - с 50 % до 17 %; по эластичности - с 66 % до 15 %.

5. Асфальтополимерсеробетонные смеси характеризуются повышенной уплотняемостью в интервале температур 50-130°C, а бетоны повышенным сопротивлением сдвигу при высоких положительных температурах (условная жесткость при 60°C – 560,9 Н/мм); они характеризуются повышенной плотностью ($\rho_0 = 2359 \text{ кг/см}^3$), длительной водостойкостью ($K_v = 0,89$). Водостойкость асфальтополимерсеробетона, после 90 суток водонасыщения равна 0,8 против 0,59 для традиционного горячего асфальтобетона; коэффициент теплового старения $K_{ст} = 1,3$ против 1,55 после 2000 часов прогрева в климатической камере ИП - 1 при температуре прогрева 75°C и ультрафиолетовом облучении; коэффициент морозостойкости после 100 циклов замораживания-оттаивания $F=0,68$ против 0,53.

6. По результатам исследований для ГУП ЛНР «Луганский автодор» разработаны «Рекомендации по производству и применению асфальтополимерсеробетонных смесей, содержащих гранулированную серу, для верхних слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности». Определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимерсеробетонов повышенной долговечно-

сти, которая составит 231,80 руб. Результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке специалистов по направлению 08.05.02 «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей» в дисциплине «Основы производства дорожных строительных материалов», для магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» по магистерской программе «Проектирование и строительство автомобильных дорог» в дисциплине «Новые композиционные дорожно-строительные материалы».

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН ДНР:

1. **Загородняя А.В.** Характеристика структуры модифицированных полимерно-битумных вяжущих в асфальтобетоне с учётом климатических особенностей Донбасса [Текст] / А.В. Загородняя // Вестник института гражданской защиты Донбасса. – Донецк: 2017. – Вып. № 1 (9) . – С. 87-92 (*Изучена технология получения модифицированных битумных композиций в асфальтобетонных смесях*);

2. **Загородняя А.В.** Литые дорожные асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности [Текст] / А.В. Загородняя // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2017. – Вып. – 2(124). – С. 57-60 (*Изучены сведения о составе и структуре литого дорожного асфальтополимерсеробетона*);

3. **Загородняя А.В.** Современная и перспективная технология использования пластификаторов для литых асфальтобетонных смесей [Текст] / А.В. Загородняя // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2017. – Вып. – 4(126). – С. 21-23 (*Приведены практические рекомендации по подбору и корректировке состава БМП в производственных условиях*);

4. **Загородняя А.В.** О целесообразности модифицирования нефтяных битумов дорожных асфальтобетонов [Текст] / **А.В. Загородняя**, А.Н. Волчков, О.А. Пшеничных // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2018. – Вып. – 1(129). – С. 66-71 (*Показано что асфальтополимерсеробетонные смеси характеризуются широким интервалом уплотняемости и низкой энергией уплотняемости*);

5. **Загородняя А.В.** Теоретические закономерности формирования структуры литых асфальтополимерсеробетонов [Текст] / А.В. Загородняя // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2018. – Вып. – 4(132) Том 2. – С. 127-132 (*Приведены результаты исследований физико-механических и деформационно-прочностных свойств модифицированного асфальтобетона*);

6. **Загородняя А.В.** О целесообразности определения оптимальной концентрации полимера на поверхности минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси [Текст] / А.В. Загородняя // Сборник научных трудов «Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении». – Луганск: ЛГУ им. В. Даля. 2019. – Вып. – №1(26) – С. 84-90 (*Установлена массовая концентрация ДСТ 30-01 на поверхности минерального порошка*);

7. **Загородняя А.В.** Исследование динамики растворения дивинилстирольного блок-сополимера в углеводородном растворителе [Текст] / **А.В. Загородняя**, А.И. Грицук, И.В. Мартынюк // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2019. – Вып. – 1(135) – С. 75-

80 (*Изучена кинетика и механика растворения полимера и его совместимости с углеводородным растворителем*);

8. Братчун В.И. О комплексной модификации микроструктуры асфальтобетона дивинил-стирольным термоэластопластом [Текст] / В.И. Братчун, **А.В. Загородняя**, В.Л. Беспалов, Е.А. Ромасюк // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2020. – Вып. – 1(141) – С. 5-17 (*Проведен сравнительный анализ параметров растворимости групповых компонентов битума и полимеров-модификаторов*);

9. Братчун В.И. Комплексная модификация микроструктуры асфальтобетона [Текст] / В.И. Братчун, **А.В. Загородняя**, В.Л. Беспалов, Е.А. Ромасюк // Журнал наука и техника в дорожной отрасли. – Москва: МАДИ: 2020. – Вып. 3. 2020 – С. 23-28 (*Изучены дисперсные структуры в битумополимерсерном вяжущем*);

10. **Загородняя А.В.** Методика исследования стабильности битумополимерных вяжущих при хранении [Текст] / А.В. Загородняя // Вестник ДонНАСА. – Макеевка: 2021. – Вып. – 1(147). – С. 68-73 (*Установлено, что увеличение содержания полимера приводит к потере стабильности битумополимерного вяжущего*).

– публикации в других сборниках:

1. **Загородняя А.В.** Использование литых асфальтополимерсеробетонных смесей для ремонта покрытий нежестких дорожных одежд на территории Донбасса [Текст] / А.В. Загородняя // Вестник ЛНУ им. В. Даля. – Луганск: 2017. - №3(5) часть 2. – С. 140-142 (*Приводятся сведения об основных параметрах литых асфальтобетонных смесей*);

2. **Загородняя А.В.** Исследование кинетики и механики растворение полимера типа СБС в низкомолекулярных жидкостях [Текст] / А.В. Загородняя // Научный вестник ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». – Луганск: 2019. – №6(1). – С. 254-261. (*Установлены температурно-временные зависимости растворимости полимера*).

– публикации по материалам научных конференций:

1. **Загородняя А.В.** Современная и перспективная технология использования пластификаторов для литых асфальтобетонных смесей [Текст] / А.В. Загородняя // Сборник тезисов докладов по материалам конференции «Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли» 21 апреля 2017 г.: тезисы доклада, Макеевка ДонНАСА. – Макеевка: - 2017. – С. 176;

2. **Загородняя А.В.** Анализ напряженно-деформированного состояния дорожного покрытия [Текст] / А.В. Загородняя // Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых: «Донецкие чтения 2017», том 1: Физико-математические и технические науки: тезисы доклада, г. Донецк: - 2017. – С. 23-24;

3. **Загородняя А.В.** Поверхностная активация микро-, мезо- и макроструктуры минерального остова асфальтобетона с целью повышения его долговечности [Текст] / А.В. Загородняя // Научные чтения памяти доцента кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Александра Дмитриевича Лазько: Сборник тезисов докладов международной конференции, 27 декабря 2018 г.: тезисы доклада, Макеевка ДонНАСА. – Макеевка: - 2018. – С. 10;

4. **Загородняя А.В.** Исследование кинетики и механики растворение полимера типа СБС [Текст] / А.В. Загородняя // Материалы II республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Молодые ученые в аграрной науке»: тезисы доклада, Луганск ЛНАУ. - Луганск: - 2019. – С. 325-327;

5. **Загородняя А.В.** Исследование динамики растворения дивинил-стирольного блок-сополимера в углеводородном растворителе [Текст] / А.В. Загородняя // Сборник тезисов докладов по материалам конференции «Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли» 19 апреля 2019 г.: тезисы доклада, Макеевка ДонНАСА. – Макеевка: - 2017. – С. 59;

6. **Загородняя А.В.** Битумополимерсерные вяжущие модифицированные стирол-бутадиен-стирольным блок-сополимером ДСТ 30-01 [Текст] / А.В. Загородняя // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы XIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: тезисы доклада, Волгоград ВолгГТУ. - Волгоград: - 2019. – С. 118-121

АННОТАЦИЯ

Загородняя Анастасия Викторовна. Дорожные асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Макеевка, 2021 г.

Диссертация посвящена разработке составов асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой, обладающих повышенной долговечностью по сравнению со стандартными горячими асфальтобетонами.

Теоретические и экспериментальные исследования процессов и явлений, происходящих в битумополимерсерном вяжущем, позволили установить, что нефтяной дорожный битум и дивинил-стирольный сополимер ДСТ 30-01 термодинамически совместимы. Об этом свидетельствуют близкие значения параметров растворимости алкановых фракций битума и полимера. В результате комплексной модификации органического вяжущего дивинилстирольным блок-сополимером совместно с технической серой формируется пространственная эластичная структурная сетка с расчетным количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований дивинил-стирольного каучука с одновременной активацией ДСТ 30-01 полимером поверхности минерального порошка асфальтобетонных смесей. Структурно-упрочненный слой дивинил-стирольного сополимера на поверхности минерального порошка улучшает смачивание его вяжущим и обеспечивает более сильное межмолекулярное взаимодействие на поверхности раздела фаз.

С использованием метода экспериментально-статистического моделирования определены оптимальные концентрационные соотношения в системе «комплексно-модифицированное асфальтополимерсерное вяжущее вещество». Установлено, что оптимальное соотношение компонентов в смеси в массовых частях, составляет: концентрация дивинил-стирольного сополимера – 3 %, гранулированной технической серы – 30 %, концентрация дивинил-стирольного сополимера на поверхности минерального порошка – 0,7 %.

Асфальтополимерсеробетонные смеси отличаются повышенной уплотняемостью при температурах 50 – 130 °С, а бетоны по показателям физико-механических свойств превосходят требования, предъявляемые к горячим асфальтобетонам и характеризуются повышенным сопротивлением сдвигу при высоких положительных температурах (условная жесткость $A=560,9$ Н/мм) и повышенной плотностью ($\rho_0 = 2,36$ кг/м³). Они устойчивы к старению, водостойки и морозостойки.

Для ГУП ЛНР «Луганский автодор» разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей, для устройства верхних слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности». Определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимерсеробетонных смесей, которая составит 231,80 руб.

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум, асфальтобетонные смеси и асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой, полимерный модификатор, деформационно-прочностные свойства, долговечность.

SUMMARY

Zagorodnyaya Anastasia. Road asphaltopolymer serobetons of increased durability. – As a manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.05 – building materials and products. – Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, 2020.

The dissertation is devoted to the development of compositions of asphalt concrete with complex-modified microstructure, which have increased durability compared to standard hot asphalt concrete.

Theoretical and experimental studies of the processes and phenomena occurring in the bitumopolymer binder made it possible to establish that the oil road bitumen and the divinylstyrene copolymer DST 30-01 thermodynamically compatible. This is evidenced by the close values of the $\log K$ -parameters of the solubility of the alkane fractions of bitumen and polymer. As a result of complex modification of organic binding divinylstyrene block copolymer, together with technical sulfur, a spatial elastic structural grid is formed with a calculated number of nodes and kinetic sections of flexible chains from macromolecules and supramolecular formations with one-time activation of DST 30-01 by a polymer of the surface of mineral asphalt concrete mixtures. Therefore, the structurally hardened layer of the divinylstyrene copolymer on the surface of the mineral powder improves the wetting of its binder and provides a stronger intermolecular interaction at the interface.

Using the experimental-statistical modelling method, optimal concentration ratios were determined in the system "complex-modified asphalt-polymer binding substance." It was found that the optimal ratio of components in the mixture in mass parts is: the concentration of divinylstyrene copolymer - 3%, technical sulfur - 30%, the concentration of divinylstyrene copolymer on the surface of mineral powder - 0.7%.

Asphaltopolymer silver concrete mixtures are characterized by increased compactness at temperatures of 50-130 °C, and concretes in terms of physical and mechanical properties exceed the requirements for hot asphalt concrete and are characterized by increased shear resistance at high positive temperatures (560,9 N/mm) and increased density (2,36 kg/m³). They are resistant to aging, water resistant and frost resistant.

For the State Unitary Enterprise LPR "Lugansk Avtodor" developed "Recommendations for the production and use of complex-modified asphalt-mercerobeton mixtures, for the construction of upper layers of non-rigid road clothes of increased durability." The estimated economic efficiency from the introduction of 1 ton of asphaltopolymer silver concrete mixtures, which will amount to 231.80 rubles, has been determined.

Key words: oil road bitumen, asphalt concrete mixtures and asphalt concrete with complex modified microstructure, polymer modifier, strain-strength properties, durability.