

На правах рукописи

В печать
26.06.2024

Пшеничных Олег Александрович

**КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ
АСФАЛЬТОБЕТОНЫ, МИКРОАРМИРОВАННЫЕ ВОЛОКНАМИ
ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА**

2.1.5. Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка 2024

Работа выполнена на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Научный руководитель:

Братчун Валерий Иванович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры», заведующий
кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы».
Заслуженный строитель Донецкой Народной
Республики

Официальные оппоненты:

Калгин Юрий Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры строительства и эксплуатации
автомобильных дорог.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
Золотарева Виктория Владимировна,
кандидат технических наук, доцент,
кафедры товароведения.
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
университет экономики и торговли
им. Михаила Туган-Барановского»,

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
технический университет», г. Донецк

Защита состоится «10» октября 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.484.02 при ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, Российская Федерация, ДНР, г.о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал учёного совета. Тел: +7-856-343-7033, e-mail: 24.2.484.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, Российская Федерация, ДНР, г.о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан « » 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.484.02

Лахтарина Сергей Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Свойства дорожного асфальтобетона композиционного материала с коагуляционным типом контактов определяются прежде всего качеством органического вяжущего, рациональным сочетанием типов макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры минерального остова, а также энергией взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее-минеральный материал». Применяемые битумы для производства горячих асфальтобетонных смесей в Донецкой Народной Республике, Российской Федерации, Белоруссии марок БНД 50/70, БНД 70/100 характеризуются невысокими температурами размягчения, отсутствием эластичности, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами.

В эксплуатационных условиях нежесткие дорожные одежды на автомобильных дорогах общего пользования в последнее десятилетие подвергаются значительному росту осевых нагрузок (нагрузка на ось автомобиля свыше 80 кН (до 115 кН)) и интенсивности воздействия автомобильного транспорта (более 15 тыс. автомобилей в сутки), вследствие чего верхние слои дорожной одежды подвергаются действию нормальных и касательных, а также ударных нагрузок в зонах контакта колеса автомобиля с покрытием в сочетании с действием солнечной радиации, дождя, снега и температуры.

Это приводит к большому разнообразию разрушений и деформаций покрытия: колейность, волны, усталостные трещины. К тому же в процессе производства, термостатирования в термобункерах, транспортирования к месту укладки в слои покрытия дорожной одежды и в условиях эксплуатации в покрытии нежесткой дорожной одежды автомобильной асфальтобетона дороги подвергается старению. Это приводит к тому, что срок службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в ДНР и Российской Федерации составляет 5–7 лет вместо 12 до капитального ремонта.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Основные исследования теоретического и прикладного характера выполнены в рамках государственной научно-исследовательской темы № К-2-10-16 «Комплексно-модифицированные дорожные асфальтополимербетоны, повышенной долговечности» (Министерство образования и науки Донецкой Народной Республики, 2021–2025 гг.).

Степень разработанности темы.

В работах по проектированию комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимербетонов теоретической основой служат труды В. И. Братчуна, В. А. Веренько, Л. Б. Гезенцева, Н. В. Горельшева, Л. М. Гохмана, А. Ю. Дедюхина, В. А. Золотарева, М. Ивански, Ю. И. Калгина, Я. А. Ковалева, И. В. Королева, Э. В. Котлярского, В. П. Подольского, Б. С. Радовского, А. В. Руденского, И. А. Рыбьева, В. В. Ядыкиной, M. Ghouse Baig, H. I. Al-Abdul Wahhab и других отечественных, и зарубежных исследователей, которыми разработаны теоретические положения и методические рекомендации по проектированию и технологии производства комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонных смесей, характеризующихся широким интервалом укладки и уплотнения в слоях дорожных одежд и повышенными деформационно-прочностными характеристиками дорожных асфальтополимерсеробетонов.

Одним из эффективных способов повышения деформационно-прочностных характеристик дорожных комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов является микроармирование их хризотил-асбестовыми волокнами.

В то же время не сформулированы методологические положения формирования оптимальной структуры комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами, не изучены параметры технологических режимов укладки и уплотнения, а также не исследованы деформационно-прочностные характеристики и коррозионная стойкость микроармированных асфальтополимерсеробетонов.

Это свидетельствует об актуальности исследования дорожных комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами.

Целью исследования: является теоретическое и экспериментальное обоснование составов технологичных дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей для устройства долговечных покрытий нежестких дорожных одежд установлением закономерностей формирования оптимальной структуры комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами.

Объект исследования – дорожные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные хризотил-асбестовыми волокнами, с комплексно-модифицированной структурой.

Предмет исследования – процессы и явления, определяющие закономерности формирования структуры и свойств долговечных комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами.

Научная гипотеза: Микроармирование хризотил-асбестовыми волокнами комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетонного вяжущего вещества при равномерном распределении в объеме асфальтовяжущего вещества фиброволокон позволит создать трехмерную сопряженную сетку, которая должна обеспечить проектируемые технологические свойства, микроармированных асфальтополимерсеробетонных смесей и структурно-механические характеристики комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона.

Задачи исследования:

– выполнить анализ напряженно-деформированного состояния дорожных асфальтобетонов в покрытии нежесткой дорожной одежды для определения уровня напряжений и деформаций, возникающих в комплексно-микроармированном асфальтополимерсеробетоне при эксплуатации;

– сформулировать теоретические положения проектирования оптимальных составов дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами;

– оптимизировать состав микроармированного хризотил-асбестовыми волокнами асфальтополимерсеробетона;

- определить оптимальные температурные режимы укладки и уплотнения микроармированных асфальтополимерсеробетонных смесей;
- изучить деформационно-прочностные характеристики дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами;
- изучить тепловое старение, длительную водостойкость и морозостойкость асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами, а также определить степень влияния этих факторов на долговечность и стойкость в покрытии нежесткой дорожной одежды;
- разработать «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста».

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- теоретически и экспериментально установлены оптимальные концентрационные соотношения в системе «органическое вяжущее – хризотил-асбестовое волокно», обеспечивающие технологические свойства комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей и долговечность микроармированных асфальтополимерсеробетонов;
- определены оптимальные температуры укладки и уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных волокнами хризотил-асбеста;
- установлено, что по атмосферостойкости, сдвигоустойчивости, длительной водостойкости, морозостойкости и усталостной долговечности комплексно-модифицированные дорожные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные хризотил-асбестовыми волокнами, значительно превосходят традиционные асфальтобетоны (ГОСТ 8269.1-97, ГОСТ 12801-98, ГОСТ Р 52128-2003, ГОСТ Р 52129-2003, ГОСТ 9128-2013, ГОСТ 33133-2014, ГОСТ 33136-2014, ГОСТ 33138-2014, ГОСТ 33142-2014, ГОСТ Р 58406.2-2020).

Практическое значение полученных результатов:

- для ООО "ДОНСПЕЦПРОМ" разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста»;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс в качестве учебного материала в дисциплинах: Б1.В.02 «Дорожно-строительные материалы» (4 семестр, объемом 4 з.е.), Б1.В.ДВ.03.01 «Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов» (5 семестр, объемом 3 з.е.) при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» и Б1.В.04 «Современные композиционные материалы для дорожного строительства» (3 семестр, объемом 4 з.е.) при подготовке магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» по программе «Теория и практика проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов».

Методы исследования. Экспериментальные исследования дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных волокнами хризотил-асбеста, выполнены с применением стандартных и специальных методов исследования

технологических и физико-механических характеристик материалов, включая методы определения энергоемкости, температур укладки и уплотнения, сдвигоустойчивости, а также циклической и статической усталостной долговечности.

Положения, выносимые на защиту:

Методологические положения получения комплексно-модифицированных горячих асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотил-асбестом, 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;

– результаты экспериментальных исследований оптимальных температур укладки и уплотнения комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами;

– деформационно-прочностные характеристики дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами;

– данные, характеризующие кинетику теплового старения, длительную водостойкость и морозостойкость асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами.

Личный вклад соискателя заключается в: формулировании цели и задач исследования; определении оптимального состава асфальтополимерсеробетона, армированного хризотил-асбестовыми волокнами; определении оптимальных температур укладки и уплотнения дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотиласбестовыми волокнами: исследовании деформационно–прочностных характеристик дорожных микроармированных асфальтополимерсеробетонов; изучении теплового старения, длительной водостойкости и морозостойкости микроармированных дорожных асфальтополимерсеробетонов. Приведенные в диссертационной работе результаты получены автором самостоятельно. Отдельные составляющие результатов диссертационной работы выполнены с соавторами научных работ, которые приведены в списке публикаций.

Степень достоверности результатов научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: значениями экспериментальных данных, полученных с доверительной вероятностью ($F(t)=0,95$) на современных приборах, таких как дифрактометр УРС-50 с приставкой УР-4, прибор Маршалла, приборы для моделирования процессов уплотнения асфальтобетонных смесей и исследования усталостной долговечности комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов при действии статических и динамических нагрузок в условиях двухстороннего изгиба; адекватностью экспериментально-статистических математических моделей, учитывающих структурные превращения при модификации хризотил-асбестовыми волокнами комплексно-модифицированного асфальтовяжущего вещества, а также соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационного исследования доложены на: V Международной научно-практической конференции

«Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках пятого Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (22 мая 2019 года, г. Горловка); VII Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» (25 мая 2021 года, г. Горловка); VIII Республиканской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строительной-архитектурной отрасли» (22 апреля 2022 года, г. Макеевка); VII Международной научной конференции, посвященной 85-летию Донецкого национального университета, «Донецкие чтения 2022 г.: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (27–28 октября 2022 года, г. Донецк); XVII Международной научно-практической конференции «Высшее и среднее профессиональное образование России: вчера, сегодня, завтра» (23 мая 2023 года, г. Казань).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 12 печатных работах, в том числе в 9 рецензируемых научных изданиях: 3 работы в сборниках трудов научных конференций и семинаров.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников из 203 наименований на 22 страницах, трёх приложений на 7 страницах, содержит 139 страниц основного текста, 28 рисунков, 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования. Приведены основные научные результаты, описано их практическое значение и область применения.

В **первом разделе** «Состояние вопроса по получению составов микроармированных дорожных асфальтополимерсеробетонов повышенной долговечности» рассмотрено напряженно-деформированное состояние дорожных асфальтобетонов в покрытии нежесткой дорожной одежды и факторы, определяющие долговечность дорожных покрытий. Интенсивная транспортная нагрузка, включая высокие нагрузки на ось колеса 115 кН, и нормативное давление 0,8 МПа вызывают износ покрытия. Нормальные и касательные нагрузки от пневмоколес автомобильного транспорта, а также ударные нагрузки в зонах контакта колеса с покрытием в сочетании с воздействием солнечной радиации и температур приводят к появлению различных повреждений и деформаций покрытия, таких как колейность, выбоины, трещины и волны.

Для повышения долговечности покрытий нежестких дорожных одежд используют асфальтополимербетонные смеси, в которых нефтяные дорожные битумы модифицированы термоэластопластами, термопластами, олигомерами, а также комплексными добавками, например, полимер в сочетании с активным дисперсным наполнителем или полимер совместно с поверхностно-активным веществом. Асфальтобетоны, содержащие битумополимерное вяжущее, характеризуются упругостью и способностью релаксировать напряжения, возникающие от действия нагрузок

автотранспорта и низкотемпературных воздействий. Это обусловлено тем, что при оптимальной концентрации, например, дивинилстирольного каучука в органическом вяжущем образуется термофлуктуационная сетка, в которой формируется оптимальное сочетание узлов пространственной сетки из полистирольных блоков и эластичных цепей из надмолекулярных образований ДСТ-30.

При введении в асфальтобетонные смеси фиброволокон дисперсные волокна структурируют минеральные частицы в структуре асфальтополимерсеробетона, прежде всего в микро- и мезоструктурах. При введении 1% дисперсных волокон увеличивается предел прочности асфальтополимерсеробетона при растяжении на 20%. Применение волокон длиной 1,5 мм также повышает сопротивление сдвигу на 15%. Структурированность минеральных частиц с применением дисперсных волокон увеличивает устойчивость к трещинам на 30% и повышает усталостную долговечность до 5000 циклов в сравнении с 3000 циклами без применения волокон.

Целесообразность применения дисперсных волокон в асфальтополимерсеробетонной смеси обусловлена тем, что дисперсные волокна в структуре асфальтополимерсеробетона равномерно распределяют нагрузку от пневмоколес автомобиля и прежде всего растягивающие напряжения. Переплетения армирующих волокон и минерального порошка создают микроармированную микроструктуру асфальтобетона. Благодаря высокой прочности микроволокон при растяжении, возникновение трещин существенно замедляется.

Во **втором разделе** сформулированы теоретические положения получения оптимальной структуры микроармированного хризотил-асбестом комплексно-модифицированного дорожного асфальтополимерсеробетона.

Теоретической основой для выполнения исследований в области разработки составов комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотил-асбестом, являются работы В. И. Братчуна, В. А. Веренько, Л. Б. Гезенцева, Н. В. Горельшева, Л. М. Гохмана, А. Ю. Дедюхина, В. А. Золотарева, М. Ивански, Ю. И. Калгина, Я. А. Ковалева, И. В. Королева, Э. В. Котлярского, В. П. Подольского, Б. С. Радовского, А. В. Руденского, И. А. Рыбьева, В. В. Ядыкиной, M. Ghouse Baig, H. I. Al-Abdul Wahhab и других отечественных и зарубежных исследователей. Комплексная модификация асфальтобетонных смесей решает проблему устойчивости асфальтобетона к воздействиям жидких сред, химических веществ, УФ-излучений, устойчивости к сдвиговым нагрузкам, циклическим и статическим нагрузкам.

Для достижения прочной связи на поверхности раздела фаз «хризотил-асбестовое волокно – асфальтополимерсерное вяжущее» и обеспечения совместной работы вяжущего и минерального остова в дорожном асфальтополимерсеробетоне необходимо создать оптимальные физико-химические условия.

Для обеспечения эффективного армирования материала и предотвращения избыточных деформаций модуль упругости хризотил-асбестового волокна должен быть примерно в 6-8 раз выше, чем модуль упругости армируемого материала. Значение модуля упругости для хризотил-асбестового волокна составляет $E=68000-70000$ МПа, в то время как расчетное значение модуля упругости дорожного асфальтобетона, приготовленного на битуме марки БНД 50/70, составляет 8600 МПа. Следовательно, модуль упругости

армирующего волокна превышает модуль упругости дорожного асфальтобетона в 7,9 раза, что соответствует указанному требованию.

Прочность армирующего волокна на растяжение должна быть значительно выше прочности армируемого материала. Хризотил-асбестовые волокна характеризуются пределом прочности при растяжении в пределах от 910 до 3100 МПа, в то время как дорожный горячий асфальтобетон, приготовленный на нефтяном дорожном битуме марки БНД 50/70, имеет расчетное значение предела прочности при растяжении 10 МПа.

Модификация асфальтополимерсеробетона выполняется сухим перемешиванием компонентов. В процессе тепловой активации и механического перемешивания минеральных компонентов оптимального состава, хризотил-асбестовые волокна вводятся в количестве, составляющем 1% мас. общей смеси. Данный процесс перемешивания продолжается в течение 3-5 минут до тех пор, пока не будет достигнуто равномерное распределение волокон в структуре смеси. Применение данного метода модификации обеспечивает предотвращение возможного неравномерного размещения хризотил-асбестовых волокон в матрице асфальтополимерсеробетона и их скопления в ограниченных участках смеси, что могло бы негативно повлиять на его свойства. Соблюдение коэффициента вариации содержания ключевого компонента, не превышающего 16%, является одним из важных факторов для обеспечения стабильности качества и однородности материала.

Армирующие волокна обладают небольшой ползучестью, что положительно должно влиять на длительные температурные напряжения, возникающие как при низких отрицательных температурах, так и при повышенных температурах. В диапазоне температур от -100 °С до +750 °С хризотил-асбест сохраняет свою упругость, что обеспечивает стабильные значения деформационно-прочностных характеристик при изменении температурных условий без значительной деформации или разрушения.

Хризотил-асбест является нерастворимым в воде соединением, что обеспечивает сохранение прочности асфальтополимерсеробетона при воздействии воды.

При применении микроволокон хризотил-асбеста марки А-6К-30 (ГОСТ 12871-93, производитель УРАЛАСБЕСТ) формируется структурированное асфальтовязущее вещество, армированное асбестовыми волокнами. Фракционный состав волокон обеспечивает создание линейных контактов с частицами известнякового минерального порошка, повышая деформационно-прочностные характеристики дорожного асфальтополимерсеробетона. Один элемент хризотилового волокна длиной более 1 мм способен связывать до 19 частиц порошка, а так как концентрация волокон длиной более 1 мм марки А-6К-30 составляет 30% массы, то одновременно реализуется 6 линейных контактов. Таким образом, в плоскости формируется 36 межмолекулярных связей, а в объеме 2,74 мм³ образуется 216 контактов. В одном см³ таких связей образуется 78838. Это значительно повысит деформационно-прочностные свойства комплексно-модифицированного дорожного асфальтополимерсеробетона, армированного микроволокнами хризотил-асбеста марки А-6К-30.

Однородное распределение хризотил-асбестовых волокон в объеме асфальтополимерсеробетона приведет к равномерному распределению растягивающих напряжений за счет зацепления и переплетения армирующих волокон с частицами минерального остова. Высокая прочность микроволокон при растяжении замедлит рост

трещин. Каждая минеральная частица, особенно в микро- и мезоструктуре дорожного асфальтобетона, структурируется волокнами хризотил-асбеста, имеющего адсорбционно-сольватные слои битумополимерсерного вяжущего на своей поверхности. Это создаст прочную пространственную матрицу, что позволит значительно повысить предел прочности дисперсно-армированного асфальтополимерсеробетона при растяжении, сдвигоустойчивость, трещиностойкость и усталостную долговечность нежестких дорожных одежд (Рисунок. 1).

Армирующий материал (фибра) должен быть экологически безопасным и соответствовать требованиям, установленным для строительства и эксплуатации дорожных покрытий. Применение изделий из хризотил-асбеста, который является одной из разновидностей строительных материалов, разрешено в Российской Федерации согласно техническим нормам ГН 2.1.2/2.2.1.1009-00, утвержденных главным санитарным врачом России.



Рисунок 1 – Блок-схема получения горячей асфальтополимерсеробетонной смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой, дисперсноармированной хризотил-асбестовыми волокнами.

В **третьем разделе** приведены характеристики объектов и методов исследований.

В качестве объектов исследования приняты; дорожный нефтяной битум марки БНД 50/70; модификаторы микроструктуры асфальтобетона: каучук синтетический бутадиенметилстирольный СКМС-30 АРКМ-15 ГОСТ 11138-2019; техническая сера, соответствующая требованиям ГОСТ 127.1-93.

Щебень и искусственный песок получены из гранита Каранского карьера (Донецкая Народная Республика) с показателями качества: дробимость – 6,2%; марка щебня по прочности – 1400; истираемость щебня в полочном барабане – 2,3%; насыпная плотность щебня – 1410 кг/м³; истинная плотность щебня – 2670 кг/м³; морозостойкость (F>200 циклов); содержание зерен лещадной и игловатой формы – 6,5%; гранулометрический состав минеральной части асфальтобетона 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%.

Использован известняковый минеральный порошок (МП) с показателями качества: содержание CaCO₃ – 92%; удельная поверхность $S_{1,2} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$; плотность – 2715 кг/м³; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 1880 кг/м³; пустотность – 31,8%; битумоемкость 50%; хризотил-асбест марки А-6К-30 (ГОСТ 12871-2013, производитель УРАЛАСБЕСТ) с фракционным составом: d=1,35мм – 30%, d=0,4 не >20%, массовая доля гали – 0,6%, удельная эффективная активность естественных радионуклидов 15 Бк/кг (менее 59,8).

Изучение оптимальных температур уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей осуществляли как методом, моделирующим укатку асфальтобетонных смесей катками с жесткобарабанными вальцами, так и энергетическим методом. Определение предела прочности при изгибе выполнено на приборе МИИ-100 в диапазоне температур 0°С...60°С. Сдвигоустойчивость (устойчивость), условную пластичность и условную жесткость микроармированных асфальтополимерсеробетонов определяли на приборе Маршалла при температуре 60°С. Исследования усталостной долговечности при действии с постоянной амплитудой статических и динамических нагрузок в условиях двустороннего изгиба выполнено на разработанной и аттестованной установке, которая позволяет исследовать стандартные образцы-балочки (16x4x4 см) в режиме циклических нагружений с определением количества циклов до разрушения и величин замеров деформации образца. Тепловое старение комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотил-асбестовыми волокнами, выполнено в климатической камере ИП-1.

Процессы и явления, происходящие в асфальтополимерсерном вяжущем, изучали методами дифференциальной сканирующей калориметрии (комплекс Du Pont 9900) и дериватографии Q-1500.

В четвертом разделе выполнены экспериментальные исследования.

Для того, чтобы учесть взаимодействие факторов (таблица 1), влияющих на дисперсно-армированный асфальтобетон, таких как массовая концентрация модифицированного органического вяжущего и концентрация хризотил-асбестовых волокон, использован метод экспериментально-статистического планирования эксперимента. Это позволило определить оптимальное соотношение органического вяжущего и армирующих волокон в составе асфальтополимерсеробетонной смеси, которое обеспечивает необходимые деформационно-прочностные свойства, а именно: предел прочности при сжатии при R_{20} , U_1 , не более 6,5 МПа и предел прочности при изгибе R_{20} , U_2 , не менее 2,2 МПа (таблица 1)

Таблица 1 – Значение факторов варьирования, которые действуют на асфальтовяжущее вещество, представленное «битумополимерсерным вяжущим – хризотиласбестовыми волокнами»

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. изм.	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1	X ₁	Массовая концентрация хризотил-асбестовых волокон	%	0,5	0,5	1,0	1,5
2	X ₂	Массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего	%	0,5	5,0	5,5	6,0

Получены уравнения регрессии в виде полиномов второй степени (уравнение 1 и 2).

Для предела прочности при сжатии:

$$Y_1 = 5,56 + 0,01 \cdot X_1 + 0,05 \cdot X_2 - 0,64 \cdot X_1^2 - 0,52 \cdot X_2^2 + 0,065 X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

Для предела прочности при изгибе:

$$Y_2 = 3,81 + 0,10 \cdot X_1 + 0,05 \cdot X_2 - 0,66 \cdot X_1^2 - 0,6 \cdot X_2^2 + 0,165 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

Коэффициент корреляции 0,96 и 0,95, коэффициент вариации 0,032 и 0,030 соответственно. Информационная способность моделей 1 и 2 проверена с помощью критерия Фишера. Определены доверительные интервалы значений для функций отклика. Выделена область оптимальных значений факторов системы, а именно массовая концентрация хризотил-асбестового волокна 0,75-1,2% и массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего вещества 5,25-5,7%.

Определение стандартных физико-механических свойств дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества, показало, что микроармирование хризотил-асбестовыми волокнами дорожного асфальтополимерсеробетона приводит к существенному росту предела прочности при сжатии в области положительных температур $R_{50A} = 2,2 \text{ МПа} > R_{50C} = 1,2 \text{ МПа}$ (где R_{50A} и R_{50C} – соответственно предел прочности при сжатии при 50°C микроармированных и стандартных дорожных асфальтобетонов) и высокому значению коэффициента длительной водостойкости $K_{вдA} = 1,0 > K_{вдC} = 0,85$ (таблица 2). Характерным также является более пологая зависимость предела прочности при сжатии от температуры $K_{та} < K_{тс}$. Относительное значение температурно-прочностных характеристик в диапазоне 0°C...50°C снижается в 1,8 раза (таблица 2).

Выполнен сравнительный анализ стандартных физико-механических свойств дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества (таблица 2).

Модифицированные асфальтобетонные смеси более технологичны (Рисунок. 2), чем асфальтобетонные горячие смеси. Оптимальный интервал температур уплотнения микроармированных асфальтобетонных смесей с комплексно-модифицированной микроструктурой – 53...140°C, а для горячих асфальтобетонных, приготовленных на нефтяном дорожном битуме БНД 50/70 – 90...130°C. Это позволит продлить

строительный сезон и увеличить дальность транспортирования асфальтобетонной смеси, а также эффективное время уплотнения.

Следовательно, приготовленная для укладки асфальтополимерсеробетонная смесь, микроармированная хризотил-асбестовым волокном (Рисунок. 2), должна иметь температуру 140...155°С. Уплотнение микроармированных асфальтополимерсеробетонных смесей необходимо вести в интервале температур 53...140°С.

Таблица 2 – Физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества

№ п/п	Показатели	Состав асфальтовяжущего вещества в мелкозернистом асфальтобетоне (тип «Б»)		
		Битум БНД 50/70 (P ₂₅ =59•0,1 мм), МП известняковый не активирован (Б=5%)	Битум БНД 50/70 (P ₂₅ =59•0,1 мм) модифицирован комплексной добавкой 2% термоэластопласта СКМС 30 и 30% мас. технической серы; минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30 (Б=5%)	Битум БНД 50/70 (P ₂₅ =59•0,1 мм) модифицирован комплексной добавкой 2% термоэластопласта СКМС-30 и 30% технической серы; минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтобетонная смесь микроармирована 1% мас. хризотил-асбестовым волокном (Б=5,5%)
1	Средняя плотность, кг/м ³	2400	2410	2415
2	Водонасыщение, W, % от объема	2,9	1,2	1,4
3	Предел прочности при сжатии, МПа, при 0°С 20°С 50°С	7,8 3,1 1,2	7,2 3,9 1,7	8,0 5,8 2,2
4	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, K _{вд}	0,85	1,0	1,0
5	Коэффициент теплостойкости, K _т =R ₀ /R ₅₀	6,5	4,2	3,6

Установлено, что при комплексной модификации асфальтовяжущего вещества и микроармировании его хризотил-асбестовыми волокнами в 12 раз возрастает способность сопротивления напряжениям, формируемых пластические деформации микроармированного хризотил-асбестовым волокном асфальтополимерсеробетона в сравнении со стандартным мелкозернистым асфальтобетоном типа Б методом определения коэффициента подвижности по И. А. Рыбьеву. Устойчивость по Маршаллу составляет 26,83 кН в сравнении с 15,26 кН у традиционных асфальтобетонов (таблица 3).

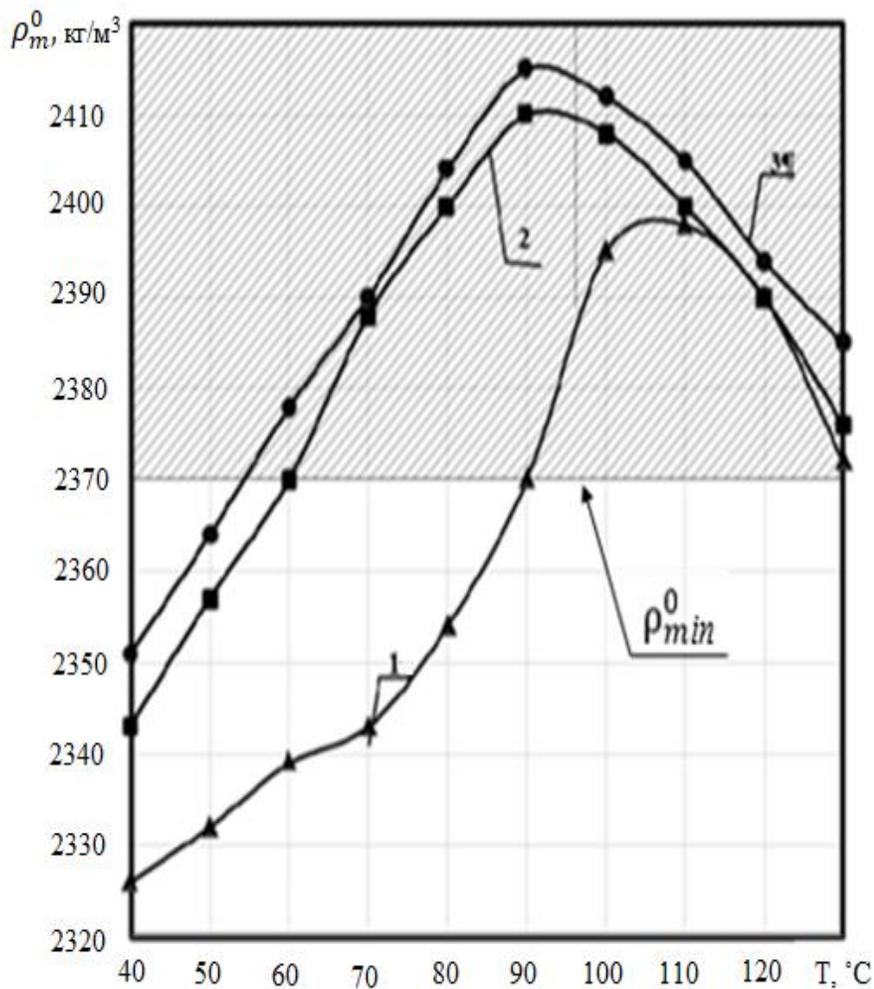


Рисунок 2 – Зависимость средней плотности ρ_m^0 мелкозернистого асфальтобетона (тип «Б») от температуры T , отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный ($P_{25}=59\cdot 0,1$ мм), минеральный порошок известняковый поверхностно не активирован; 2 – органическое вяжущее – нефтяной дорожный битум ($P_{25}=59\cdot 0,1$ мм) модифицирован 2% мас. термоэластопласта СКМС-30 и 30% технической серы, минеральный порошок поверхностно активирован 0,5% мас. СКМС-30; 3 – органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный ($P_{25}=59\cdot 0,1$ мм) модифицирован 2% мас. термоэластопласта СКМС-30 и 30% технической серы, минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтополимерсеробетонная смесь структурирована 1% мас. хризотил-асбестовыми волокнами марки А-6К-30.

Кроме того, микроармированные асфальтополимерсеробетоны характеризуются большим пределом прочности при изгибе при положительных температурах (от 0 до 60°С) в сравнении с не микроармированным асфальтобетоном (таблица 4).

Таблица 3 – Значение показателей, характеризующих сдвигоустойчивость асфальтобетонов (тип «Б») по Маршаллу (температура испытаний 60°С)

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси	Условная пластичность, 1/10 мм	Устойчивость, Р, Н	Условная жесткость, А, Н/мм
1	Мелкозернистый асфальтобетон (тип «Б»), приготовленный на битуме БНД 50/70 ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм); минеральный порошок известняковый не активирован; содержание битума 5% мас. сверх 100% минеральной части	46	15256	3317
2	Мелкозернистый асфальтобетон (тип «Б»), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм) с 2% мас. бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и 30% мас. технической серы); минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. терпоэластопластом СКМС-30; содержание модифицированного битума 5% мас. сверх 100% минеральной части	39	22981	5892
3	Мелкозернистый асфальтобетон (тип «Б»), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм) с 2% мас. бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и 30% мас. технической серы); минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтополимерсеробетонная смесь структурирована хризотил-асбестовыми волокнами 1% мас.; содержание модифицированного битума 5,5% мас. сверх 100% минеральной части	32	26830	8383

Сравнительный анализ результатов армирования хризотил-асбестовыми и стеклянными волокнами асфальтобетонных смесей показывает увеличение усталостной долговечности дисперсно-армированных асфальтобетонов при различных режимах деформирования. Оптимальное содержание хризотил-асбестовых волокон составляет 1% от массы горячей асфальтобетонной смеси типа «Б», что обеспечивает повышение усталостной долговечности на 32% при кратковременных циклических нагрузках соответственно (Рисунок. 3). При введении микроволокон в мелкозернистую асфальтобетонную смесь типа «Б» усталостная долговечность модифицированного

асфальтобетона при длительных статических нагрузках увеличивается в среднем в 1,9-2,1 раза.

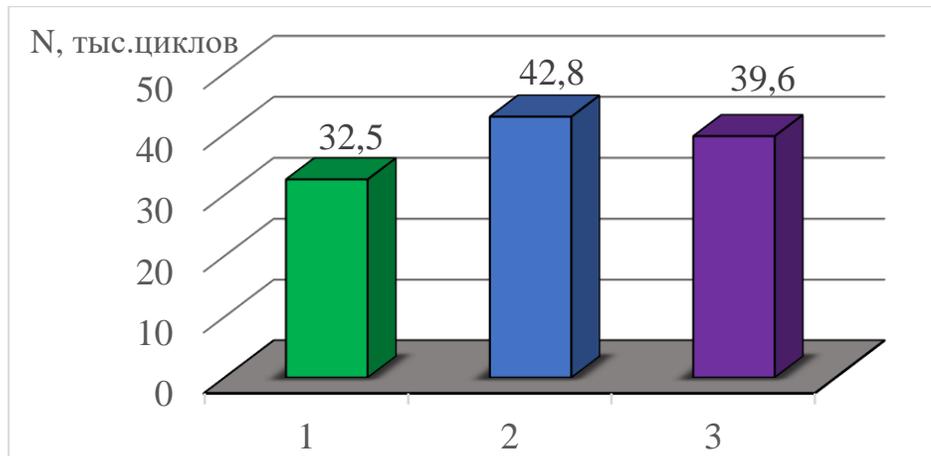


Рисунок 3 – Сравнительная диаграмма усталостной долговечности при циклическом нагружении стандартного асфальтобетона типа «Б» (1), дисперсно-армированного стекловолокном 1,0% мас. (2), дисперсно-армированного хризотил-асбестовым волокном 1,0% мас. (3).

Таблица 4 – Значение предела прочности асфальтобетона при изгибе, $R_{изг}$, МПа

Индекс бетона	Состав асфальтовяжущего в мелкозернистом асфальтобетоне (тип «Б»)	Температура, °С			
		0	20	40	60
1	Асфальтовяжущее вещество: органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм); минеральный порошок известняковый неактивированный; содержание битума 5% мас. сверх 100 % минеральной части	7,5	1,5	0,5	0,2
2	Асфальтовяжущее вещество: органическое вяжущее-битум нефтяной дорожный ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм), модифицированный 2% термоэластопласта СКМС-30 и 30% технической серы; известняковый минеральный порошок активирован 0,5% мас. СКМС-30; содержание модифицированного битума 5% мас. сверх 100% минеральной части	6	3,5	1,6	0,7
3	Органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм), модифицированный 2% термоэластопласта СКМС-30 и 30% технической серы; минеральный порошок поверхностно активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтополимерсеробетонная смесь структурирована хризотил-асбестовыми волокнами 1% мас.; содержание комплексно-модифицированного органического вяжущего 5,5% мас. сверх 100% минеральной части	7,02	4,1	1,8	0,9

Комплексно-модифицированный асфальтополимерсеробетон, микроармированный хризотил-асбестовыми волокнами, характеризуется более высоким значением коэффициента длительной водостойкости ($K_{вд} = 0,83$ после 90 суток водостойкости), в то время как у стандартного асфальтобетона этот показатель равен $0,57$.

Кроме того, комплексно-модифицированный асфальтобетон, армированный хризотил-асбестовым волокном, характеризуется высокой устойчивостью к циклическому замораживанию и оттаиванию. После 100 циклов попеременного замораживания-оттаивания коэффициент морозостойкости (F) для комплексно-модифицированных асфальтобетонов составляет $F=0,82$, тогда как у стандартного асфальтобетона этот показатель равен $F=0,40$.

Как следует из термограммы (Рисунок. 4) в битумополимерсерном вяжущем, структурированном хризотил-асбестовыми волокнами, наблюдаются температурные переходы в области $-34,45^{\circ}\text{C}$, $-4,33^{\circ}\text{C}$, $25,59^{\circ}\text{C}$, и $49,87^{\circ}\text{C}$, которые можно интерпретировать как размораживание молекулярной подвижности отдельных структур модифицированного органического вяжущего с температурами стеклования, которые определены вышеуказанными температурами.

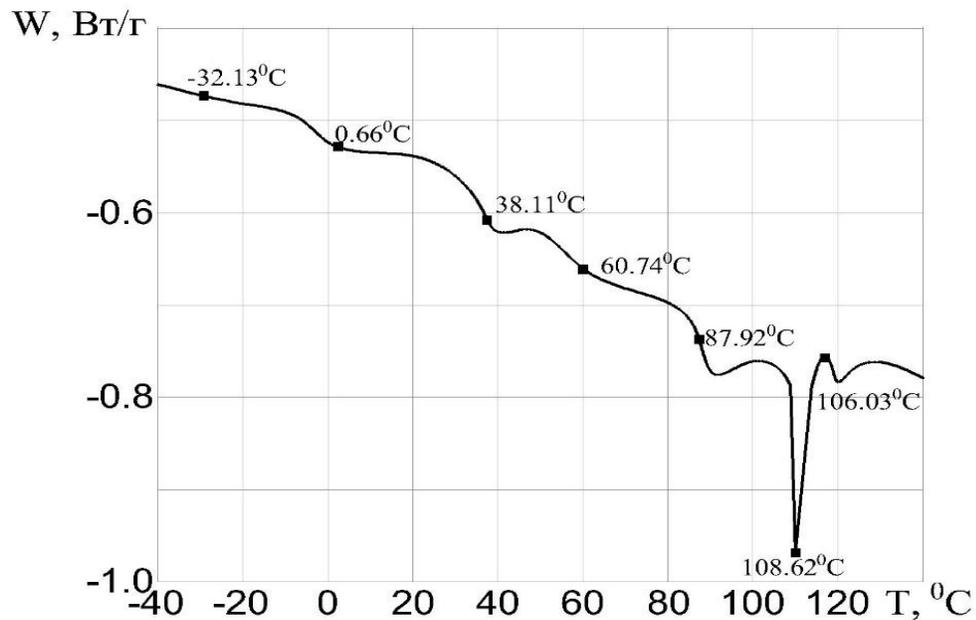


Рисунок 4 – Зависимость теплового потока W от температуры T асфальтополимерсерного вяжущего, структурированного хризотил-асбестовым волокном марки А-6К-30, приготовленного на битумополимерсерном вяжущем ($P_{25}=59 \cdot 0,1$ мм), который модифицирован 2% мас. СКМС-30 и 30% мас. технической серы); минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30; асфальтополимерсеробетонная смесь структурирована хризотил-асбестовыми волокнами 1% мас.

Характер эндотерм свидетельствует о весьма широком наборе структурных элементов, составляющих комплексно-модифицированное органическое вяжущее, микроармированное хризотил-асбестовым волокном.

В дальнейшем, в диапазоне температур 60°C, 74–92,5°C идет полное растворение до молекулярного уровня бутадиенметилстирольного каучука. При температурах 108,65°C–114,75°C происходит плавление технической серы, полимеризация циклооктасульфана в зигзагообразные барикадные цепи. При этом молекулы серы S₂, S₃, S₄ характеризуются высокой реакционной способностью, обусловленной существованием их в виде бирадикалов или диполей. Именно бирадикалы серы до 10% вступают в химическую реакцию с битумом с образованием связей сера-углерод, образуются полисульфиды, обладающие высокой структурирующей способностью.

С использованием дериватографа Q-1500 в диапазоне температур 0–1000°C изучены физико-химические процессы, характеризующие термоокислительную деструкцию асфальтополимерсерного вяжущего, структурированного хризотил-асбестовыми волокнами.

Пятый раздел посвящен практической реализации исследований. Для ООО "ДОНСПЕЦПРОМ" Министерства транспорта ДНР разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста». Рассчитана предполагаемая экономическая эффективность от внедрения комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста. Себестоимость одной тонны смеси составила 5875,26 рос. руб. Результаты исследований внедрены в учебный процесс в качестве учебного материала в дисциплинах: Б1.В.02 «Дорожно-строительные материалы» (4 семестр, объемом 4 з.е.), Б1.В.ДВ.03.01 «Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов» (5 семестр, объемом 3 з.е.) при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» и Б1.В.04 «Современные композиционные материалы для дорожного строительства» (3 семестр, объемом 4 з.е.) при подготовке магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» по программе «Теория и практика проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов».

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально установлено, что оптимальное сочетание гранулометрии минерального остова асфальтобетона, микроармированного хризотил-асбестом (II тип макроструктуры), и комплексной модификацией микроструктуры асфальтовяжущего вещества с применением органического вяжущего, модифицированного бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 и технической серой, совместно с поверхностной активацией минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30, является эффективным способом повышения долговечности асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах в региональных условиях Донецкой Народной Республики и регионах Российской Федерации, относящихся к III, IV и V дорожно-климатическим зонам.

2. С использованием экспериментально-статистического моделирования установлены оптимальные массовые концентрации компонентов в составе комплексно-модифицированного микроармированного асфальтополимерсеробетона с применением хризотил-асбестового волокна марки А-6К-30, рациональная массовая концентрация которого в минеральной части составляет 1% мас., а массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего вещества – 5,5%.

3. Экспериментально доказано, что для обеспечения эластичности асфальтовяжущего вещества и прочной связи между комплексно-модифицированным битумом и минеральным материалом, эффективным способом является активация поверхности минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30. При массовой концентрации СКМС-30 на поверхности минерального порошка 0,5%...1,0% формируется структурированный слой модификатора. Это обеспечивает повышенную адгезию и когезию пленочного битумополимерсерного вяжущего, что способствует прочной связи на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный порошок».

4. Асфальтополимерсеробетонные смеси, микроармированные хризотил-асбестом, характеризуются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур (от 53 до 140°C), в отличие от традиционных горячих асфальтобетонных смесей (от 90 до 130°C). Это обусловлено тиксотропными свойствами модифицированного асфальтовяжущего вещества, развитыми адсорбционно-сольватными слоями битумополимерсерного вяжущего на поверхности минеральных материалов и более пологой зависимостью вязкости асфальтовяжущего вещества от температуры.

5. Микроармированные хризотил-асбестовыми волокнами асфальтополимерсеробетоны обладают широким диапазоном вязкоупругого поведения в дорожных покрытиях (от температуры механического стеклования, которая составляет минус 32,5°C до температуры перехода в вязкотекучее состояние 75°C). Они характеризуются повышенным сопротивлением сдвигу и динамическим модулем упругости при положительных температурах. Микроармированные хризотил-асбестом асфальтополимерсеробетоны характеризуются низким показателем температурной чувствительности в диапазоне температур 0...60°C ($K_T=0,011$) в сравнении с горячим асфальтобетоном ($K_T=0,025$), что обеспечивает необходимый комплекс деформационно-прочностных характеристик покрытия дорожной одежды в диапазоне эксплуатационных температур. Коэффициент старения комплексно-модифицированного асфальтобетона, микроармированного хризотил-асбестовым волокном, после 1200 часов прогрева при 75°C и ультрафиолетовом облучении составил $K_{ст}=1,24$, для стандартного асфальтобетона $K_{ст}=1,48$. Комплексно-модифицированные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные волокнами хризотил-асбеста, характеризуются высокой долговечностью в условиях длительного водонасыщения. Так, коэффициент длительной водостойкости стандартного горячего асфальтобетона после 90 суток водостойкости равен $K_{вд}=0,57$, а комплексно-модифицированного микроармированного хризотил-асбестом – $K_{вд}=0,83$. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны, армированные хризотил-асбестовыми волокнами, после 100

циклов попеременного замораживани-оттаивания, характеризуется коэффициентом морозостойкости $F=0,82$, а стандартный горячий асфальтобетон – $F=0,40$.

6. Для ООО "ДОНСПЕЦПРОМ" Министерства транспорта Донецкой Народной Республики разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста». Результаты исследований по комплексной модификации дорожного асфальтобетона с использованием хризотил-асбестового волокна внедрены в учебный процесс. Экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимерсеробетонных смесей, армированных хризотил-асбестовыми волокнами, составляет 202,26 руб.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН ДНР:

– Публикации в ВАК ДНР:

1. Пшеничных, О. А. Опыт применения дисперсно-армированных асфальтобетонов в дорожном строительстве / О. А. Пшеничных, Д. С. Скорик. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. - 2020. - Выпуск № 1 (141). - (Современные строительные материалы). - С. 121-127. – ISSN 2519-2817. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-1\(141\)_maket.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-1(141)_maket.pdf)

(Приведен сравнительный анализ зарубежных и отечественных исследований традиционных и дисперсно-армированных асфальтобетонов с применением синтетических фиброволокон и сравнение основных физико-механических, и деформационно-прочностных характеристик).

2. Пшеничных, О. А. Деформационно-прочностные характеристики дисперсно- армированных асфальтобетонов / О. А. Пшеничных. – Текст: электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. - 2020. - Выпуск – № 3 (143). (Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий)- С. 41-43. – ISSN 2519-2817. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-3\(143\)_maket.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-3(143)_maket.pdf)

(Приведены физико-механические свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов, армированных как хризотилowymi, так и синтетическими волокнами).

3. Братчун, В. И. Комплексно-модифицированные дорожные горячие и литые асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, Е. А. Ромасюк, А. В. Загородняя, О. А. Пшеничных. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2021. – Выпуск №3. – Т. 17. – С. 157-174. – ISSN 19933495. – URL:

http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/20213/03_bratchun_bespalov_romasyk_zagordnya_pshenichnih.pdf *(Приведены способы управления структурой и свойствами*

нефтяных дорожных битумов с целью повышения энергетического взаимодействия на границе раздела «органическое вяжущее – минеральный материал» в асфальтобетоне).

4. Пшеничных, О. А. Армирование асфальтобетонных смесей синтетическими волокнами / О. А. Пшеничных. – Текст: электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск № 1 (147). (Современные строительные материалы) – С. 80-86. - ISSN 2519-2817. – + [http://donnasa.nl/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-1\(147\).pdf](http://donnasa.nl/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-1(147).pdf) *(Приведен анализ эффективных методов дисперсного армирования дорожных асфальтобетонных смесей с учетом свойств армирующих полимерных волокон).*

5. Братчун, В. Л. О формировании структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк, П. В. Пономаренко, Т. А. Васильева, Д. И. Коваль, С. С. Присяжнюк, И. А. Каминский. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск № 1(153). – (Современные строительные материалы). - С. 114-121. – ISSN 2519-2817. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-1\(153\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-1(153).pdf) *(Приведены теоретические аспекты формирования структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего на поверхности минеральных компонентов дорожного асфальтобетона).*

6. Братчун, В. И. Дорожные асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, В. П. Попова, А. А. Якимов, Е. В. Мороз, Ю. П. Шевченко. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – Выпуск № 1(159). – (Современные строительные материалы). – С.5–11. – ISSN 2519-2817. – URL: , [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/vestnik_2023-1\(159\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/vestnik_2023-1(159).pdf) *(Приведены результаты оптимизации состава асфальтовяжущих смесей с использованием бутадиенметилстирольного каучука (СКМС-30) и минерального порошка, активированного синтетическим каучуком).*

7. Братчун, В. И. Комплексно-модифицированные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные хризотил-асбестовыми волокнами / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, В. Л. Беспалов, А. И. Сердюк, Т. В. Родзина. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. Выпуск № 1(159). – (Современные строительные материалы). С. 98-108. – ISSN 2519-2817. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/vestnik_2023-1\(159\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/vestnik_2023-1(159).pdf) *(Приведены результаты исследования комплексной модификации асфальтополимерсеробетона хризотиласбестовыми волокнами марки А6-К-30, что приводит к повышению его технических характеристик и эксплуатационных свойств)*

8. Пшеничных, О. А. Исследование усталостной долговечности дисперсно-армированных асфальтобетонов / О. А. Пшеничных. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – Выпуск № 1(159). – (Современные строительные материалы). – С. 109-115. – ISSN 2519-2817. – URL: [http://doiinasa.ru/publish_hiose/journals/vestnik/2023/vestnik_2023–1\(159\).pdf](http://doiinasa.ru/publish_hiose/journals/vestnik/2023/vestnik_2023–1(159).pdf)

(Приведены результаты исследования влияния дисперсной арматуры в виде различных типов волокон (стекловолокно, полипропиленовые волокна и хризотил-асбестовые волокна) на усталостную долговечность комплексно-модифицированного асфальтобетона при различных типах нагрузок).

– **Публикации в РИНЦ:**

1. Братчун, В. И. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, Д. В. Гуляк, Е. А. Ромасюк, **О. А. Пшеничных**. – Текст : электронный // Агротехника и энергообеспечение. – 2020. – Выпуск № 1(26). – (Перспективные проекты). – С. 78–95. – URL: <https://sciup.org/agrotech-orel/2020-1-26> *(Разработаны новые технологии получения модифицированных асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий, обладающих высокой долговечностью и устойчивостью к различным видам повреждений).*

Материалы конференций РИНЦ:

1. Братчун, В. И. Дорожные асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности : [презентация] : материалы Международной научной конференции (Казань, 23 мая 2023 г.) / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, Е. А. Ромасюк, **О. А. Пшеничных**, Э. Л. Радюкова. – Текст : электронный // электронный журнал. – URL: <https://roads-kgasu.ru/> (дата обращения: 18.06.2023).

2. Братчун, В. И. Экологическая безопасность производства литых асфальтополимерсеробетонных смесей / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, **О. А. Пшеничных**, Н. С. Леонов – Текст : непосредственный // Материалы VII Международной научной конференции, посвященной 85-летию Донецкого национального университета, «Донецкие чтения 2022 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». – Т. 2. – Физические, технические и компьютерные технологии. Под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. – Донецк : Изд-во ДонНУ, 2022. – С. 48–51.

3. **Пшеничных, О. А.** Дисперсно-армированные стекловолокном дорожные асфальтобетоны / О. А. Пшеничных // Сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса», 25 мая 2021 г. – Горловка. – АДИ ГОУ ВПО ДОННТУ, 2021. – С. 9. Текст : непосредственный.

АННОТАЦИЯ

Пшеничных Олег Александрович «Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны, микроармированные волокнами хризотил-асбеста» – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия. – ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Макеевка, 2024 г.

Диссертация посвящена разработке составов комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста, характеризующихся повышенными технологическими свойствами дорожных асфальтобетонных смесей для устройства долговечных покрытий нежестких дорожных одежд.

Теоретически и экспериментально установлено оптимальное сочетание минерального остова асфальтобетона, микроармированного хризотил-асбестом (II структурный тип макроструктуры), и комплексно-модифицированной микроструктуры асфальтовяжущего вещества с применением органического вяжущего, модифицированного бутадиеметилстирольным каучуком СКМС-30 и технической серой, совместно с активацией поверхности минерального порошка бутадиеметилстирольным каучуком СКМС-30. Комплексная модификация повышает долговечность асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах в региональных условиях Донецкой Народной Республики и регионах Российской Федерации, относящихся к III, IV и V дорожно-климатическим зонам.

Разработан состав комплексно модифицированного асфальтополимерсеробетона, микроармированного хризотил-асбестовым волокном, который содержит нефтяной дорожный битум марки БНД 50/70, микроармированный бутадиеметилстирольным термоэластопластом СКМС-30 (2% мас.), технической серой (S=25–30% мас.), механоактивированный 0,5% мас. СКМС-30 минеральный порошок и хризотил-асбестовые волокна 1% мас. в композиции с минеральным остовом с концентрацией щебня 45–55% мас. с минимальной межзерновой пустотностью не >16%.

Асфальтополимерсеробетонные смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой, микроармированные хризотил-асбестом, отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в широком диапазоне температур (53–140°C). Характеризуются повышенными деформационно-прочностными характеристиками, например, имеют повышенную жесткость, которая в 12 раз выше, чем у традиционного асфальтобетона.

Для ООО "ДОНСПЕЦПРОМ" разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста» и определена экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимерсеробетонных смесей, армированных хризотил-асбестовыми волокнами, которая составила 202,26 руб.

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум; хризотил-асбест; комплексно-модифицированный асфальтополимерсеробетон, армированный хризотил-асбестовыми волокнами.

SUMMARY

Pshenichnyh Oleg Alexandrovich “Complex-Modified Fiber-Reinforced Road Asphalt Concretes with Chrysotile Asbestos” – By manuscript.

Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 2.1.5. Building Materials and Products – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture”, Makiivka, 2024.

The dissertation is devoted to the development of compositions of complex-modified road asphalt-polymer concretes, micro-reinforced with chrysotile asbestos fibers, characterized by enhanced technological properties of asphalt concrete mixes for the construction of durable pavements for flexible road dressings.

The optimal combination of the mineral skeleton of asphalt concrete, micro-reinforced with chrysotile asbestos (II structural type of macrostructure), and the complex-modified microstructure of asphalt binder with the use of organic binder, modified with styrene-butadiene rubber SKMS-30 and technical sulfur, together with the activation of the surface of the mineral powder by styrene-butadiene rubber SKMS-30, has been theoretically and experimentally established. Complex modification increases the durability of asphalt concrete pavements on roads in the regional conditions of the Donetsk People's Republic and regions of the Russian Federation belonging to III, IV, and V road-climatic zones.

A composition of complex-modified asphalt-polymer concrete, micro-reinforced with chrysotile asbestos fiber, has been developed, which contains petroleum road bitumen grade BND 50/70, micro-reinforced styrene-butadiene thermoplastic elastomer SKMS-30 (2% by mass), technical sulfur (S=25–30% by mass), mechanically activated 0.5% by mass SKMS-30 mineral powder, and chrysotile asbestos fibers 1% by mass in a composition with a mineral skeleton with a gravel concentration of 45–55% by mass with a minimum intergranular void content not exceeding 16%.

Asphalt-polymer concrete mixes with a complex-modified microstructure, micro-reinforced with chrysotile asbestos, are distinguished by increased ease of laying and compacting over a wide range of temperatures (53–140°C). They are characterized by increased deformational and strength properties, for example, having increased stiffness, which is 12 times higher than that of traditional asphalt concrete.

For the State Unitary Enterprise of the Ministry of Transport of the Donetsk People's Republic "AVTODOR," "Recommendations for the Production and Use of Complex-Modified Road Asphalt-Polymer Concretes, Micro-Reinforced with Chrysotile Asbestos," have been developed, and the economic efficiency from the implementation of 1 ton of asphalt-polymer concrete mixes, reinforced with chrysotile asbestos fibers, has been determined to be 202.26 rubles.

Key words: petroleum road bitumen; chrysotile asbestos; complex-modified asphalt-polymer, concrete reinforced with chrysotile asbestos fibers.