

На правах рукописи



МИХАЙЛОВА ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА

**ТЕПЛЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ
НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОСКОВ**

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Белгород – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ядыкина Валентина Васильевна

Официальные оппоненты: **Калгин Юрий Иванович**,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», профессор
кафедры «Строительство и эксплуатация
автомобильных дорог»

Братчун Валерий Иванович,
доктор технических наук, профессор
«Донбасской национальной академии строительства и архитектуры» - филиала
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», заведующий кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Защита состоится « 28 » ноября 2025 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.2.276.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» по адресу: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, ауд. ГУК 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» и на сайте https://gos_att.bstu.ru/dis/mihaylova

Автореферат разослан «03» октября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Суслов Денис Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Возрастающие требования к качеству и долговечности дорожного покрытия, важность решения задач, связанных с проблемами экологии и экономии энергоресурсов, диктуют необходимость разработки материалов, позволяющих снизить температуры приготовления и укладки асфальтобетонных смесей без потери качества асфальтобетона.

Одним из способов снижения температур приготовления и укладки асфальтобетонных смесей и получения асфальтобетона с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными показателями является применение органических добавок – синтетических и природных восков и парафинов. Воски снижают температуру приготовления асфальтобетонных смесей и улучшают деформационную стойкость асфальтобетона, но они способны снижать низкотемпературную устойчивость и трещиностойкость асфальтобетона. Также, до недавнего времени в России органические добавки были представлены исключительно импортными продуктами. В условиях необходимости импортозамещения, актуальным представляется использование новых отечественных добавок, обладающих преимуществами по сравнению с известными зарубежными аналогами.

Перспективным решением обозначенной проблемы является разработка комплексной полифункциональной добавки на основе синтетических восков, модифицированных пластификатором и поверхностно-активными веществами для усиления температуропонижающего эффекта, улучшения низкотемпературных свойств и адгезии вяжущего к каменным материалам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы развития «Приоритет-2030».

Степень разработанности. Добавки на основе восков широко используются для получения теплых асфальтобетонных смесей зарубежной индустрией строительства дорог. Однако способность восков ухудшать низкотемпературные характеристики, а также недостаток исследований, посвященных применению подобных добавок в составе отечественных марок асфальтобетонов, препятствует внедрению этих технологий в России. Недостаточно исследований, посвященных получению и применению комплексных модификаторов на основе синтетических восков, включающих компоненты, позволяющие нивелировать недостатки известных аналогов. Остаются открытыми вопросы о влиянии этих добавок на свойства битумного вяжущего, на качественные характеристики и долговечность асфальтобетона.

Цель работы. Разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего производство теплых асфальтобетонных смесей с улучшенными характеристиками, посредством модифицирования битума полифункциональной добавкой, содержащей синтетические воски, катионные ПАВ и пластификатор на растительной основе.

Для достижения поставленной цели реализованы следующие **задачи**:

– обоснование и подбор рационального состава полифункциональной до-

бавки для получения теплых асфальтобетонных смесей с улучшенными характеристиками и повышенным сроком службы асфальтобетона;

- исследование влияния разработанной добавки на физико-химические характеристики и реологию битумного вяжущего;

- разработка составов асфальтобетонов разных типов, содержащих битум, модифицированный полифункциональной добавкой;

- оценка влияния температуропонижающего эффекта полифункциональной добавки на технологические режимы приготовления и укладки асфальтобетонной смеси и физико-механические и эксплуатационные характеристики асфальтобетона;

- обоснование технико-экономической эффективности применения исследуемой добавки в составе асфальтобетонной смеси; разработка нормативной базы для внедрения результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научная новизна работы. Обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение по модифицированию битума полифункциональной добавкой на основе синтетических восков и его применению в рецептурах теплых асфальтобетонных смесей для производства асфальтобетона с улучшенными характеристиками и повышенной долговечностью дорожного покрытия. Благодаря рациональному соотношению восков, пластификатора растительного происхождения и ПАВ, добавка изменяет структуру и свойства битумного вяжущего, что позволяет: снизить температуру приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей без потери качества асфальтобетона; повысить устойчивость к пластическим деформациям, прочность и долговечность, а также улучшить устойчивость асфальтобетона к воздействию низких температур. В отличие от импортных аналогов, разработанная добавка не снижает трещиностойкость асфальтобетона.

Обоснован механизм влияния компонентов полифункциональной добавки на структуру и характеристики модифицированного битумного вяжущего. При введении добавки в битумное вяжущее, содержащиеся в ней воски понижают вязкость битумного вяжущего при высоких технологических температурах и повышают ее при температурах эксплуатации. Воски создают однородную связнодисперсную структуру, обеспечивающую расширение температурного интервала пластичности вяжущего, повышение когезионных свойств. Пластификатор на основе растительных масел обеспечивает сохранение пластичности вяжущего при низких температурах. ПАВ на основе амидов и имидазолинов улучшают адгезионные свойства битумного вяжущего и замедляют интенсивность его старения благодаря хемосорбционному взаимодействию с поверхностью минерального заполнителя.

Выявлены взаимосвязи между составом полифункциональной добавки и физико-химическими свойствами модифицированного битумного вяжущего, а также между концентрацией добавки в составе асфальтобетонной смеси и физико-механическими и эксплуатационными показателями теплого асфаль-

тобетона. Это позволило подобрать рациональные рецептурно-технологические параметры получения добавки, разработать составы асфальтобетона с улучшенными характеристиками.

Теоретическая и практическая значимость работы. Дополнены теоретические сведения о механизме воздействия добавок, представляющих собой многокомпонентные системы на основе восков, модифицированных пластификаторами и ПАВ, на структуру и свойства битумного вяжущего и асфальтобетона, позволившие обосновать снижение температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси, замедление интенсивности старения, повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

Предложен состав и технология производства многокомпонентной органической добавки в качестве модификатора асфальтобетонной смеси.

Подобраны составы асфальтобетонных смесей типа **Б** (в соответствии с ГОСТ 9128-2013) и типа **А16Вн теплая** (ГОСТ Р 58406.2-2020) с пониженными на 25°C температурами приготовления и уплотнения с улучшенными показателями: типа **Б** с пределом прочности (R_0 ; R_{20} и R_{50}): 8,2 МПа, 4,5 МПа и 1,6 МПа соответственно; водостойкостью при длительном водонасыщении – 0,86; трещиностойкостью 3,8 МПа; типа **А16Вн теплая** с разрушающей нагрузкой и деформацией по Маршаллу – 15040 Н и 2,2 мм соответственно; водостойкостью – 0,94; глубиной колеи 2,3 мм после 20 тысяч проходов нагруженного колеса, увеличенным расчетным сроком службы покрытия в 2,2 раза.

Разработан состав литого асфальтобетона типа **ЛА16Вн(ПТ)** (ГОСТ 54401-2020) с пониженной на 30°C температурой приготовления и укладки и повышенной устойчивостью к пластическим деформациям, обладающий следующими физико-механическими показателями: содержанием воздушных пустот 0,54%, глубиной вдавливания штампа – 2,45 мм и увеличением глубины вдавливания штампа через 30 минут – 0,35 мм.

Методология и методы исследования. В качестве основополагающей методологической базы использовались результаты трудов учёных в области дорожно-строительного материаловедения. Качественные показатели битумных вяжущих определялись в соответствии с ГОСТ 11508, ГОСТ 12801 и ГОСТ 33133. Структура модифицированного вяжущего исследовалась при помощи микроскопа поляризационного ПЛМ-2 с цифровой камерой МС-8.3С. Моделирование старения битумного вяжущего проводилось по ГОСТ 18180, 33140; 70243, Р 58400.5. Механизмы термоокислительного старения и адгезии вяжущего изучались методом ИК-спектроскопии. Свойства асфальтобетона типа **Б** определялись по ГОСТ 12801; асфальтобетона типа **А16Вн** – по ГОСТ Р 58406.2; литого асфальтобетона – по ГОСТ 54400. Оценка устойчивости асфальтобетона типа **А16Вн** к образованию колеи выполнялась методом прокатывания нагруженного колеса по ГОСТ Р 58406.3.

Положения, выносимые на защиту:

- технологическое решение по модифицированию битума полифункциональной добавкой на основе синтетических восков и его применению в рецептурах теплых асфальтобетонных смесей для производства асфальтобетона с улучшенными характеристиками и повышения долговечности дорожного покрытия;
- механизм влияния компонентов полифункциональной добавки на структуру и характеристики модифицированного битумного вяжущего;
- взаимосвязь между составом полифункциональной добавки и ее концентрацией с физико-химическими свойствами модифицированного битума, а также физико-механическими и эксплуатационными показателями теплого асфальтобетона;
- состав и технология получения полифункциональной добавки на основе синтетических восков, модифицированных катионными ПАВ и пластификатором на растительной основе;
- составы и результаты исследований физико-механических характеристик и долговечности теплого асфальтобетона с применением полифункциональной добавки на основе синтетических восков;
- результаты апробации.

Достоверность полученных результатов. Обеспечена применением материалов, соответствующих актуальной нормативной документации, поверенных измерительных приборов и аттестованного оборудования, а также сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Оценка свойств модифицированных битумных вяжущих, а также асфальтобетонов производилась на основе стандартизированных методов, одобренных в Российской Федерации и за рубежом. Результаты не противоречат общепринятой теории и работам других исследователей.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования представлялись на конференциях: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова в 2022 и 2023 году; XV Международный молодежный форум (Белгород – 2023); VI Международная научно-практическая конференция «Сибирские дороги – 2024» (Иркутск); Семинар по обмену опытом «Проблемы и перспективы региональной автомобильной отрасли» в рамках конференции молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова совместно с ДонНАСА, (Белгород – 2024); Центрально-Азиатская международная конференция «Дороги будущего» (Астана – 2024), XI Республиканская конференция «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строительно-архитектурной отрасли» (Макеевка – 2025).

Внедрение результатов исследований. Для обеспечения нормативной базы внедрения результатов исследований разработаны документы: стандарт организации СТО «Полифункциональная добавка для битума и асфальтобетона Вискодор ПВ-2. Технические условия»; Технологический регламент производства полифункциональной добавки для битума и асфальтобетона

Вискодор ПВ-2.

Апробация технологии получения асфальтобетона с использованием добавки Вискодор ПВ-2 проведена в ООО «Автодорстрой-Подрядчик» при изготовлении асфальтобетонной смеси А16Вн и укладке на участке а/д в мкр. «Шишино-84» ул. 70 лет Победы км 0+30 по км 0+230; в ООО «ДСУ-Инж-Строй» при производстве ЩМА-16 на АБЗ-1 п. Мстихино; в ТОО «CITIC Construction Co LTD» (Казахстан) при производстве асфальтобетонных смесей для реконструкции автомобильной дороги на участке а/д Центр Юг Астана-Караганда-Балхаш-Алматы км 1666-1713; в ООО «CAPITAL ROAD CONSTRUCTION» (Узбекистан) при производстве ПЩМА-20.

Результаты работы применяются в учебном процессе в рамках образовательных программ для подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 – «Строительство», магистров по направлению 08.04.01 – «Строительство», а также специалистов по направлению 08.05.02 – «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей».

Публикации. Основные положения диссертации представлены в 12 публикациях, в том числе 4 – в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад. Проведено теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение целесообразности использования многокомпонентной добавки на основе синтетических восков в составе теплых и литых АБС. Выполнен комплекс основных исследований с анализом полученных данных. Проведена апробация результатов работы.

Объём и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Содержит 228 страниц машинописного текста, включающего 49 рисунков и фотографий, 57 таблиц, библиографический список из 210 наименований, 11 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость, приведена методология исследований, выносимые на защиту основные положения работы, сведения, подтверждающие достоверность полученных результатов, информация об апробации работы, представлены общие сведения о структуре и объёме работы.

В первой главе приведены литературные данные об опыте применения добавок на основе синтетических восков в составе теплых асфальтобетонов с улучшенными характеристиками.

Проведён анализ преимуществ и недостатков существующих технологий производства теплых асфальтобетонных смесей, а также различных видов температуропонижающих добавок. Проанализированы исследования по влиянию добавок, снижающих температуру приготовления и укладки, на свой-

ства битумного вяжущего и асфальтобетонных смесей. Представлены литературные данные о применении восковых добавок в составе литых асфальтобетонов с повышенной устойчивостью к пластическим деформациям.

Сформулирована рабочая гипотеза исследований, которая заключается в возможности создания тёплых асфальтобетонных смесей с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами за счет компонентов, входящих в состав полифункциональной добавки. В качестве компонентов добавки предложено использовать смесь восков, пластификатор Унипласт-3 на основе модифицированных растительных масел и добавку ДАД-ТА в качестве промотора адгезии, представляющую собой катионное ПАВ на основе аминов, амидов и имидазолинов. Предполагалось, что введение полифункциональной добавки позволит изменить реологическое поведение, улучшить адгезионные и низкотемпературные свойства вяжущего, что снизит температуру приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси и повысит качество теплого, в том числе литого асфальтобетона.

Во второй главе представлена характеристика сырьевых материалов и методы исследований. Для разработки состава комплексной добавки на основе синтетических восков Вискодор ПВ-2 использовались: смесь синтетических восков, пластификатор Унипласт-3, катионная адгезионная добавка ДАД-ТА. Для сравнения использованы импортные восковые добавки Licomont BS-100 и Sasobit. В качестве исходного битумного вяжущего применялись битумы марок БНД 70/100 и БНД 100/130. В составе асфальтобетонных смесей использовались минеральные заполнители: гранитный щебень фракций 5 – 20, 4 – 8 и 8 – 16 мм; песок из отсевов дробления фракции 0 – 10 мм и 0 – 4 мм; минеральный порошок МП-2.

Третья глава посвящена теоретическому обоснованию состава комплексной добавки, подбору рецептурно-технологических факторов ее получения, анализу физико-химических и реологических свойств модифицированного разработанной добавкой битумного вяжущего. Показаны результаты оценки эффективности добавки Вискодор ПВ-2 в сравнении с известными импортными восками Licomont BS-100 и Sasobit.

Для получения асфальтобетонной смеси с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками необходимо, чтобы добавка обеспечивала температуропонижающий эффект, расширяла температурный интервал пластичности, повышала сцепление с минеральным материалом, замедляла интенсивность старения битумного вяжущего.

На основании вышеуказанных требований подобран рациональный состав и технологический режим приготовления комплексной добавки Вискодор ПВ-2 на основе синтетических восков, пластификатора и ПАВ.

Воски при температуре выше их плавления переходят в жидкое агрегатное состояние, снижая вязкость и повышая гомогенность битумного вяжущего, способствуя уменьшению температуры приготовления асфальтобетонной смеси. При снижении температуры воски переходят в твердое состояние,

за счет чего повышается вязкость, температура размягчения и снижается пенетрация, что позволяет повысить устойчивость асфальтобетона к нагрузкам и пластическим деформациям. Триглицериды и жирные кислоты, содержащиеся в пластификаторе, проникают в микроструктуру битума и увеличивают расстояние между асфальтенами, снижая его вязкость, благодаря чему усиливается температуропонижающий эффект добавки. Кроме того, пластификатор способствует повышению однородности структуры вяжущего и устойчивости асфальтобетона к растрескиванию и воздействию циклических нагрузок. ПАВ на основе имидазолинов и амидоаминов концентрируются на поверхности раздела между битумом и минеральным заполнителем, ориентируясь полярными группами к поверхности минеральной фазы, а неполярными группами к битуму, повышая адгезионные свойства вяжущего и замедляя интенсивность его старения.

Для определения рецептурно-технологических параметров приготовления комплексного модификатора была построена математическая модель взаимосвязи входных параметров, включающих в себя содержание в составе добавки восков, пластификатора и ПАВ. В качестве функции отклика были выбраны величины изменения температуры размягчения и температуры хрупкости битумного вяжущего. Рациональное содержание компонентов включало 77,5% восковой смеси, 15 % пластификатора на основе растительных масел и 7,5% катионного ПАВ. Разработана технология производства добавки.

С целью оценки влияния разработанной добавки на химический состав битумного вяжущего и сравнения с импортными аналогами, исследованы ИК-спектры битума БНД 70/100 и модельных составов на его основе, содержащих Вискодор ПВ-2 и импортные добавки. При модифицировании вяжущего добавками Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100, на ИК-спектрах выявлены пики групп NH-, CN- и полоса поглощения карбонильных групп в третичных амидах. Это доказывает наличие в указанных добавках амидных соединений, таких как амиды и имидазолины, обеспечивающие изменение структуры и свойств вяжущего, положительно влияющих на качественные характеристики асфальтобетона. Установлено, что добавка Sasobit вызывает незначительное изменение ИК-спектра битума.

Исследование изменения структуры вяжущего, модифицированного исследуемыми добавками (рис. 1), показало, что они создают в битумном вяжущем связнодисперсные структуры, отличающиеся по своему строению. Причем, Вискодор ПВ-2 создает более тонкодисперсную и однородную структуру, чем импортные аналоги, что объясняется наличием в со-

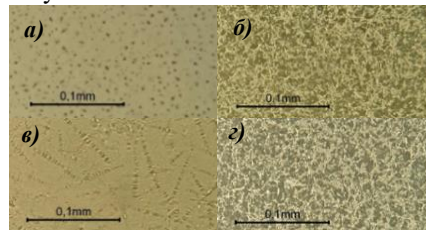


Рис. 1. Структура вяжущего:
а – без добавок; б – с Вискодор;
в – с Sasobit; з – с Licomont

ставе добавки пластификатора, ослабляющего взаимодействие между макромолекулами воска и способствующего лучшему его распределению в битуме.

Оценка эффективности разработанной добавки по сравнению с импортными проведена на битумах БНД 100/130 и БНД 70/100. Результаты исследований физико-химических свойств исходного и модифицированного БНД 100/130 (табл. 1), подтверждают, что все исследуемые восковые добавки обладают структурирующим эффектом, о чем свидетельствуют пропорциональные росту концентрации снижение показателей пенетрации и растяжимости, повышение температуры размягчения и когезии битумного вяжущего. Это обеспечит повышение устойчивости асфальтобетона к пластическим деформациям.

Таблица 1. Физико-химические свойства образцов исходного и модифицированного битумного вяжущего на основе БНД 100/130

Концентрация добавки, %	Глубина проникания иглы, при температуре		Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С	Интервал пластичности, °С	Растяжимость, см, при температуре		Максимальное усилие при растяжении, Н, при температуре	
	0°С	25°С				0°С	25°С	0°С	25°С
	БНД 100/130 без добавки								
0	35	113	45,0	-20,5	65,5	4,5	>150	131	0,60
С добавкой Вискодор ПВ-2									
1,5	31	105	60,0	-22,0	82,0	4,6	79	149	1,79
2,0	30	102	63,0	-22,0	85,0	4,4	75	152	3,05
2,5	28	87	66,0	-21,0	87,0	3,4	70	160	3,13
3,0	27	66	76,0	-21,0	97,0	3,2	64	161	3,43
С добавкой Licomont BS-100									
2,0	27	77	63,0	-20,0	83,0	4,3	72	179	3,39
2,5	27	71	70,0	-19,0	93,0	3,4	67	179	3,70
3,0	26	63	82,0	-19,0	101,0	3,0	62	180	4,00
С добавкой Sasobit									
2,0	23	65	62,0	-19,0	81,0	4,2	73	147	3,30
2,5	22	61	67,0	-18,0	86,2	3,2	68	169	4,46
3,0	22	58	72,0	-18,0	90,0	2,9	65	191	5,62

В отличие от импортных аналогов, добавка Вискодор ПВ-2 в меньшей степени снижает пенетрацию при 0°С и в испытанных концентрациях не повышает, а понижает температуру хрупкости, что свидетельствует о сохранении пластических свойств битумного вяжущего при отрицательных температурах и обеспечит улучшение низкотемпературной устойчивости асфальтобетона при эксплуатации в зимний период. Это связано с пластифицирующим действием присутствующих в составе указанной добавки растительных масел и катионных ПАВ. Аналогично исследуемые добавки изменяют физико-химические свойства вяжущего на основе битума БНД 70/100.

Важным показателем, влияющим на устойчивость асфальтобетона к воздействию воды и выкрашиванию, является адгезия битумного вяжущего к минеральным материалам. Результаты испытаний на сцепление с минеральным заполнителем показали, что Вискодор ПВ-2 значительно увеличивает адгезию битумного вяжущего и превосходит в этом импортные аналоги. Это объясняется содержанием в составе катионных ПАВ и подтверждено анализом ИК-спектров модифицированного добавкой битумного вяжущего до и после взаимодействия с каменным материалом (рис. 2).

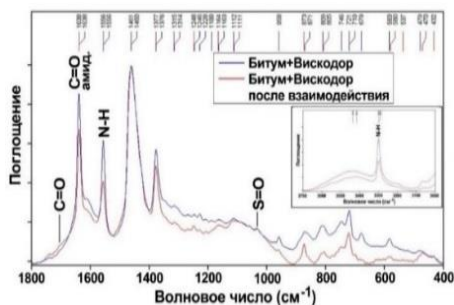


Рис. 2. ИК-спектры битума, модифицированного Вискодор ПВ-2, до и после взаимодействия с каменным материалом

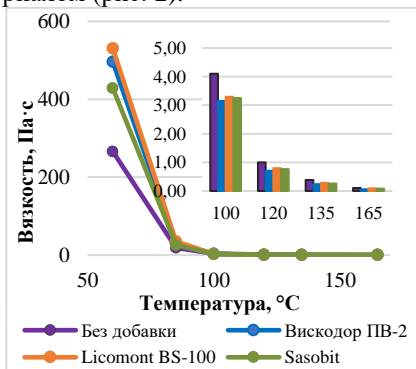


Рис. 3. Изменение динамической вязкости вяжущего

Результаты исследования динамической вязкости (рис. 3) демонстрируют, что при высоких температурах приготовления и укладки асфальтобетона исследуемые добавки снижают вязкость вяжущего, а при температурах эксплуатации повышают ее в сравнении с исходным битумом. Наименьшая вязкость при высоких температурах выявлена у вяжущего, модифицированного Вискодор ПВ-2, что связано с составом добавки. Это обуславливает возможность снижения температур приготовления и укладки и повышение прочностных свойств асфальтобетона при эксплуатации.

На основании приведенных результатов рациональные концентрации введения добавки Вискодор ПВ-2 в битум БНД 100/130 для испытаний ее влияния на свойства теплых асфальтобетонных смесей составили 1,5 и 2%. В качестве импортного аналога выбрана добавка Licomont BS-100 в концентрации 2%, так как добавка Sasobit более значительно снижала реологические свойства и низкотемпературные характеристики вяжущего. При модифицировании битума БНД 70/100 рациональная концентрация введения всех исследуемых добавок для испытания литых асфальтобетонов – 2,5%.

Для оценки функциональных свойств битумных вяжущих, модифицированных исследуемыми добавками, проведены испытания согласно требованиям объемно-функционального проектирования. Определен температурный

диапазон эксплуатации битумного вяжущего, позволяющий классифицировать марку вяжущего по PG в соответствии с ГОСТ Р 58400.1 (табл. 2).

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что применение Вискодор ПВ-2 позволяет расширить температурный интервал эксплуатации битумного вяжущего, повышая верхний предел и сохраняя нижний (улучшает марку с PG 58-22 до PG 64-22). Это будет способствовать повышению эксплуатационных характеристик асфальтобетона. Также разработанная добавка повышает усталостную устойчивость, характеризующую способность битумного вяжущего сопротивляться растрескиванию под воздействием транспортных нагрузок. Это повысит срок службы дорожного покрытия. Известные восковые модификаторы повышают на 6°С как верхний, так и нижний температурный предел эксплуатации вяжущего, что является негативным фактором при эксплуатации в регионах России.

Таблица 2. Реологические свойства битумного вяжущего

Наименование показателя	Фактические показатели			
	битум без добавок	Licomont BS-100	Sasobit	Вискодор ПВ-2
Сдвиговая устойчивость при температуре, °С	1,40	1,69	1,47	1,52
Усталостная устойчивость, кПа	58	64	64	64
при 28°С	1096	1176	984	1134
при 25°С	792	835	719	829
Максимальная температура слоя, °С	58	64	64	64
Минимальная температура слоя, °С	минус 22	минус 16	минус 16	минус 22
Марка вяжущего по ГОСТ Р 58400.1	58-22	64-16	64-16	64-22

Большое влияние на качественные характеристики асфальтобетона влияют процессы старения вяжущего, происходящие как на стадии производства и укладки асфальтобетонной смеси, так и в течение всего срока эксплуатации дорожного покрытия.

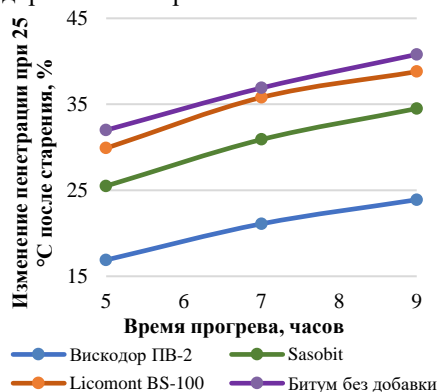


Рис. 4. Изменение пенетрации после старения

Результаты испытаний вяжущего после старения методами RTFOT, УСК и прогрева в тонком слое по ГОСТ 18180-72 показали, что разработанная комплексная добавка способствует замедлению интенсивности старения битумного вяжущего, что выражается в снижении потери массы после прогрева, меньшем изменении пенетрации (рис. 4), температуры размягчения и хрупкости, вязкости (табл. 3) модифицированного вяжущего по сравнению с показателями битума без добавок и с импортными аналогами.

Ингибирующее влияние Вискодор ПВ-2 на термоокислительные процессы обусловлено наличием аминных поверхностно-активных веществ в составе добавки и подтверждается результатами ИК-спектрометрии, по изменению пиков, относящихся к C=O и S=O группам.

Таким образом, компоненты разработанной добавки оказали положительное влияние на свойства вяжущего, что должно привести к повышению физико-механических и эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

Таблица 3. Изменение динамической вязкости в процессе старения битума

Вид добавки в вяжущем	Динамическая вязкость, Па·с				Изменение, %	
	до старения		после старения			
	135°С	165°С	135°С	165°С	135°С	165°С
Без добавки	0,33	0,10	0,74	0,14	124,2	55,6
Вискодор ПВ-2	0,24	0,06	0,29	0,08	21,4	12,5
Sasobit	0,28	0,08	0,44	0,12	57,1	50,0
Licomont BS-100	0,30	0,09	0,35	0,1	19,4	11,1

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния полифункциональной добавки Вискодор ПВ-2 на физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонных смесей типа Б, типа А16Вн и литой асфальтобетонной смеси типа ЛА16Вн.

Полученные результаты (табл. 4) показали, что асфальтобетонные смеси типа Б с применением Вискодор ПВ-2, приготовленные при температуре 135°C и заформованные при 110°C, не только не уступают по физико-механическим свойствам горячей асфальтобетонной смеси, приготовленной с использованием битума без добавок при 160°C и заформованной при 135°C, но и превосходят их.

Таблица 4. Результаты испытаний асфальтобетонной смеси типа Б

Наименование показателя		Требования по ГОСТ 9128	Без добавки	С Вискодор ПВ-2		С Licomont BS-100
Количество введенной добавки, %		Не нормируется	0	1,5	2,0	2,0
Предел прочности при сжатии, МПа	50°C	Не менее 1,1	1,2	1,4	1,6	1,5
	20°C	Не менее 2,0	3,5	3,8	4,5	4,3
	0°C	Не более 13,0	8,6	8,1	8,2	8,6
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения		Не менее 0,81	0,93	0,94	0,94	0,94
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге		Не менее 0,36	0,37	0,40	0,42	0,42
Трещиностойкость		3,0 – 7,5	3,7	3,7	3,8	3,5
Водостойкость		Не менее 0,70	0,83	0,89	0,90	0,89
Водостойкость при длительном водонасыщении		Не менее 0,60	0,69	0,83	0,86	0,85

Так, для асфальтобетона типа Б предел прочности при сжатии при 20°C образцов с введением 1,5 и 2 % Вискодор ПВ-2 возрастает на 8,6 и 28,6 %, а при 50°C – на 16,6 и 33,3 % соответственно, в сравнении с асфальтобетоном на битуме без добавок. Сцепление при сдвиге при температуре 50°C с 1,5 и

2% Вискодор ПВ-2 на 8,1 и 13,5% выше, чем для асфальтобетона смеси без добавки. Также разработанная добавка повышает водостойкость, что положительно отразится на долговечности дорожного покрытия.

Выявлено, что введение Вискодор ПВ-2 не только не снижает, но и повышает трещиностойкость, в отличие от добавки Licomont BS-100, что связано с наличием в составе разработанной добавки ПАВ и пластификатора.

Результаты исследования свойств асфальтобетона А16Вн (табл. 5), показывают, что содержание воздушных пустот и пустот в минеральном заполнителе в образцах с Вискодор ПВ-2 не выше, чем в контрольном образце без добавок, следовательно, снижение температуры приготовления и укладки на 25 °С не вызывает ухудшения уплотняемости смеси.

Таблица 5. Физические свойства асфальтобетонных смесей А16Вн

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2	Вид добавки в вяжущем		
		без добавки	с Вискодор ПВ-2	с Licomont BS-100
Содержание воздушных пустот, %	от 2,5 до 4,5	3,1	2,9	3,1
Пустоты в минеральном заполнителе, %	≥12,0	14,2	14,6	14,5
Пустоты, наполненные битумным вяжущим, %	67,0 – 80,0	78,2	79,8	78,3
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	≥5340	10650	15040	12350
Деформация по Маршаллу, мм	от 2,0 до 4,0	3,4	2,2	3,0

Установлено, что Вискодор ПВ-2 значительно эффективнее улучшает показатели разрушающей нагрузки и деформации по Маршаллу асфальтобетона, чем Licomont BS-100. Такое увеличение способствует повышению устойчивости асфальтобетона к необратимым деформациям.

Наиболее высокие температуры требуются для приготовления и укладки литой асфальтобетонной смеси. Поэтому возможность снижения температуры приготовления и уплотнения особенно актуальна. Результаты испытаний (табл. 6) свидетельствуют, что введение разработанной добавки позволяет снизить температуру укладки смеси на 30°С и улучшить физико-механические показатели литого асфальтобетона.

Таблица 6. Физико-механические свойства литых асфальтобетонных смесей

Наименование показателя		Требования ГОСТ Р 54401	Вид добавки в вяжущем	
			без добавки	с Вискодор ПВ-2
Содержание воздушных пустот, %		не более 1,5	0,60	0,54
Удобоукладываемость смеси, мм, при температуре:	185°С	-	17	33
	200°С	-	25	39
	215°С	не менее 30	35	49
Глубина вдавливания штампа, при 40°С, мм		от 1,0 – 4,0	3,31	2,45
Увеличение глубины вдавливания штампа через 30 мин., мм		не более 0,6	0,49	0,35

Так, добавка Вискодор ПВ-2 позволила снизить содержание воздушных пустот на 16,7%, а глубину вдавливания штампа – на 10,3%, что свидетельствует о лучшей уплотняемости и большей устойчивости к пластическим деформациям литой асфальтобетонной смеси.

Важными эксплуатационными показателями, которые позволяют оценивать долговечность асфальтобетона, являются водостойкость и устойчивость к образованию колеи. Результаты исследования эксплуатационных характеристик асфальтобетонной смеси А16Вн (табл. 7) показывают, что применение комплексной добавки позволило повысить водостойкость асфальтобетона с 0,89 до 0,94. Это объясняется наличием в добавке пластификаторов и катионных ПАВ, улучшающих адгезионные свойства вяжущего и уплотнение при формовании образцов, что положительно отразится на долговечности асфальтобетонного покрытия.

Таблица 7. Эксплуатационные свойства асфальтобетона А16Вн

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020	Составы на основе вяжущего		
		Битум без добавок	С Вискодор ПВ-2	С Licomont BS-100
Коэффициент водостойкости	не менее 0,85	0,89	0,94	0,91
Средняя глубина колеи, мм	не более 4,5	3,9	2,3	2,6
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000 циклов	не более 0,20	0,12	0,06	0,06

Результаты исследования влияния добавки Вискодор ПВ-2 на устойчивость к колееобразованию асфальтобетона А16Вн в сравнении с импортной добавкой Licomont BS-100 (рис. 5) свидетельствуют о существенном повышении устойчивости асфальтобетона к воздействию пластических деформаций. Наименьшая глубина колеи после 20000 проходов выявлена на образцах асфальтобетона, модифицированного Вискодор ПВ-2 – 2,3 мм, в то время как для асфальтобетона без добавок этот показатель составил 3,9, а для образца с добавкой Licomont BS-100 – 2,6 мм.

Расчет долговечности по критерию устойчивости к пластическим деформациям показал, что добавка Вискодор ПВ-2 повышает срок службы асфальтобетонного покрытия с 4,9 до 10,9 лет, а Licomont BS-100 – до 7,8 лет.

Оценка влияния исследуемых добавок и снижения температуры приготовления на интенсивность старения асфальтобетонной смеси по изменению предела прочности при сжатии при 50 и 20°C, водостойкости и тре-

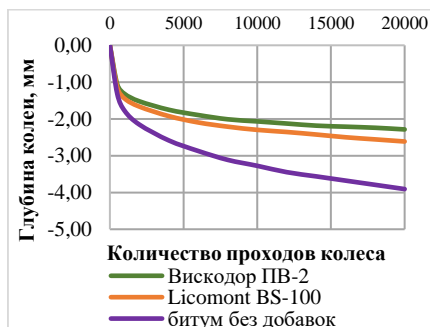


Рис. 5. График колееобразования образцов асфальтобетона А16Вн

щностойкости при термостатировании образцов при температуре приготовления (рис. 6) показала рост исследуемых показателей, что характерно для первой стадии технологического старения.

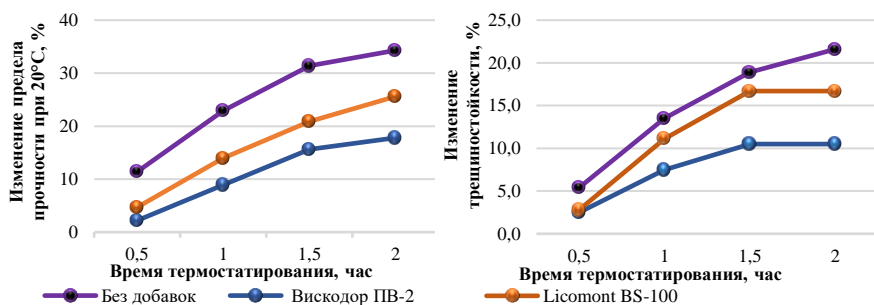


Рис. 6. Изменения свойств асфальтобетона в результате термоокислительного старения асфальтобетонной смеси:

а – предела прочности при 20°C; *б* – трещиностойкости

Установлено, что при использовании добавки Вискодор ПВ-2 показатели пределов прочности, водостойкости и трещиностойкости изменяются в меньшей степени, что свидетельствует о снижении интенсивности протекающих термоокислительных процессов, повышающих жесткость битумного вяжущего. Это связано со снижением температуры приготовления смеси, а также с присутствием в добавке катионных ПАВ, которые адсорбируются на полярных участках асфальтенов и поверхности минерального заполнителя и блокируют активные компоненты битума, способные к окислению. Замедление деструктивных процессов позволит лучше сохранить пластические свойства битумного вяжущего и повысит срок службы дорожного покрытия.

Таким образом, обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение по модифицированию битума полифункциональной добавкой на основе синтетических восков и его применению в рецептурах теплых асфальтобетонных смесей, обеспечивающее производство и укладку смесей при более низких температурах, улучшение их физико-механических и эксплуатационных показателей, что позволяет существенно повысить срок службы дорожного покрытия.

В пятой главе приведены результаты апробации, экономическая эффективность применения полифункциональной добавки на основе синтетических восков в составе битумного вяжущего за счет замены импортных дорогостоящих добавок, увеличения межремонтного срока и снижения энергозатрат, а также экологическая эффективность за счет снижения затрат топлива и эмиссии углекислого газа. Экономия за счет замены импортной добавки Licomont на Вискодор ПВ-2 при устройстве покрытия с использованием асфальтобетонной смеси типа А16Вн составила 5,2%. Чистый дисконтирован-

ный доход (ЧДД) от применения добавки за счет снижения затрат на ремонтные работы составит 5724750 рублей и позволит получить экономию в 36,6%. Снижение выбросов углекислого газа составит 21,6%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования. Дополнены теоретические сведения о механизме воздействия добавок, представляющих собой многокомпонентные системы на основе восков, модифицированных пластификаторами и ПАВ, на структуру и свойства битумного вяжущего и асфальтобетона, позволившие обосновать снижение температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси, замедление интенсивности старения, повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

Обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение по модифицированию битума полифункциональной добавкой на основе синтетических восков и его применению в рецептурах теплых асфальтобетонных смесей для производства асфальтобетона с улучшенными характеристиками и повышенной долговечностью дорожного покрытия. Благодаря рациональному соотношению восков, пластификатора растительного происхождения и ПАВ, добавка изменяет структуру и свойства битумного вяжущего, что позволяет: снизить температуру приготовления и укладки уплотнения асфальтобетонных смесей без потери качества асфальтобетона; повысить устойчивость к пластическим деформациям, прочность и долговечность, а также улучшить устойчивость асфальтобетона к воздействию низких температур. В отличие от импортных аналогов, разработанная добавка не снижает трещиностойкость асфальтобетона.

Обоснован механизм влияния компонентов полифункциональной добавки на структуру и характеристики модифицированного битумного вяжущего. При введении добавки в битумное вяжущее, содержащиеся в ней воски понижают вязкость битумного вяжущего при высоких технологических температурах и повышают ее при температурах эксплуатации. Воски создают однородную связнодисперсную структуру, обеспечивающую расширение температурного интервала пластичности вяжущего, повышение когезионных свойств. Пластификатор на основе растительных масел обеспечивает сохранение пластичности вяжущего при низких температурах. ПАВ на основе амидов и имидазолинов улучшают адгезионные свойства битумного вяжущего и замедляют интенсивность его старения благодаря хемосорбционному взаимодействию с поверхностью минерального заполнителя.

Выявлены взаимосвязи между составом полифункциональной добавки и физико-химическими свойствами модифицированного битумного вяжущего, а также между концентрацией добавки в составе асфальтобетонной смеси и физико-механическими и эксплуатационными показателями теплого асфаль-

тобетона. Это позволило подобрать рациональные рецептурно-технологические параметры получения добавки, разработать составы асфальтобетона с улучшенными характеристиками.

Предложен состав и технология производства многокомпонентной органической добавки в качестве модификатора асфальтобетонной смеси.

Подобраны составы асфальтобетонных смесей типа Б (в соответствии с ГОСТ 9128-2013) и типа А16Вн (ГОСТ Р 58406.2-2020) с пониженными на 25°C температурами приготовления и уплотнения с улучшенными показателями: типа Б с пределом прочности (R0; R20 и R50): 8,2 МПа, 4,5 МПа и 1,6 МПа соответственно; водостойкостью при длительном водонасыщении – 0,86; трещиностойкостью 3,8 МПа; типа А16Вн с разрушающей нагрузкой и деформацией по Маршаллу – 15040 Н и 2,2 мм соответственно; водостойкостью – 0,94; глубиной колеи 2,3 мм после 20 тысяч проходов нагруженного колеса, увеличенным расчетным сроком службы покрытия в 2,2 раза.

Разработан состав литого асфальтобетона типа ЛА16Вн(ПТ) (ГОСТ 54401-2020) с пониженной на 30°C температурой приготовления и укладки и повышенной устойчивостью к пластическим деформациям, обладающий следующими физико-механическими показателями: содержанием воздушных пустот 0,54%, глубиной вдавливания штампа – 2,45 мм и увеличением глубины вдавливания штампа через 30 минут – 0,35 мм.

Для обеспечения нормативной базы внедрения результатов исследований разработаны документы: стандарт организации СТО «Полифункциональная добавка для битума и асфальтобетона Вискодор ПВ-2. Технические условия»; Технологический регламент производства полифункциональной добавки для битума и асфальтобетона Вискодор ПВ-2.

Теоретические и экспериментальные результаты исследования могут быть **рекомендованы** для внедрения при производстве теплых и литых асфальтобетонных смесей для верхних и нижних слоев дорожного покрытия.

Перспективы дальнейших исследований включают в себя исследования по использованию многофункциональной комплексной добавки Вискодор ПВ-2 для получения различных марок битумных вяжущих по классификации ГОСТ 58400 и ГОСТ Р 52056 для расширения применения добавки в различных типах асфальтобетонных смесей.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ, В КОТОРЫХ ИЗЛОЖЕНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

***В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий,
рекомендованных ВАК РФ***

1. *Михайлова, О. А.* Влияние добавок Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 на скорость технологического старения асфальтобетонной смеси / О. А. Михайлова, В. В. Ядыкина // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры – 2025. – № 3(173). – С. 76-86. – EDN FNOLTJ. (K2, ИФ – 0,310)

2. *Ядыкина, В. В.* Влияние добавок на основе синтетических восков на адгезионные свойства битумного вяжущего / В. В. Ядыкина, **О. А. Михайлова**, М. С. Лебедев, Е. В. Фомина // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 6(100). – С. 984-1001. – DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-6-984-1001. – EDN QVKREJ. (K2, ИФ – 0,752).

3. *Ядыкина, В. В.* Интенсивность термоокислительного старения битума, модифицированного добавками на основе синтетических восков / В. В. Ядыкина, **О. А. Михайлова**, М. С. Лебедев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 8(788). – С. 44-56. – DOI 10.32683/0536-1052-2024-788-8-44-56. – EDN FHFJYO. (K1, ИФ – 0,455).

4. *Ядыкина, В. В.* Влияние температуропонижающих добавок на основе синтетических восков на свойства битума / В. В. Ядыкина, **О. А. Михайлова** // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 3. – С. 8-18. – DOI 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18. – EDN OFVUEB. (K1, ИФ – 0,817).

В сборниках трудов конференций и иных изданиях

5. *Михайлова, О. А.* Применение модификатора реологии на основе растительного сырья для повышения качества битумного вяжущего / О. А. Михайлова, Е. В. Фейзер. // Вестник КаздорНИИ. — 2024. — № 1. — С. 42-47. (Республика Казахстан).

6. *Михайлова, О. А.* Перспективы применения синтетических восков как структурирующих и температуропонижающих добавок для асфальтобетонов / О. А. Михайлова, Е. В. Фейзер. // Молодой ученый. — 2024. — № 18 (517). — С. 96 – 100. – EDN MFLPLN.

7. *Михайлова, О. А.* Исследование влияния добавок на основе синтетических восков на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси / О. А. Михайлова, Р. С. Колесников // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том 9. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 234-239. – EDN LJYBLE.

8. Фейзер, Е. В. Перспективы применения литых асфальтобетонов с добавками на основе синтетических восков / Е. В. Фейзер, **О. А. Михайлова** // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 117-122. – EDN MSHORT.

9. *Михайлова, О. А.* Эффективность использования комплексной добавки на основе синтетических восков для приготовления битумного вяжущего с улучшенными физико-химическими показателями / О. А. Михайлова, Р. С. Колесников // Мир дорог. — 2023. — №152. — С.82-85.

10. **Михайлова, О. А.** Перспективы применения органических добавок для производства теплых асфальтобетонных смесей / О. А. Михайлова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 9. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 222-226. – EDN CRPEDF.

11. Ядыкина, В. В. Изменение свойств битума, модифицированного температуропонижающими добавками / В. В. Ядыкина, В. С. Холопов, **О. А. Михайлова** // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – № 3(155). – С. 100-104. – EDN CFWPLM.

12. **Михайлова О. А.** Сравнительные испытания свойств битума, модифицированного российским модификатором «Вискодор ПВ-2» и импортными восковыми модификаторами/ О. А. Михайлова// Дорожная держава. – 2022. – №111. – С.73-75.

МИХАЙЛОВА ОЛЬГА АНАТОЛЬевна

**ТЕПЛЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ
НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОСКОВ**

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 26.09.2025
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,16 Тираж 100 экз. Заказ № 116

Отпечатано в Белгородском государственном
технологическом университете им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46