

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права
УДК 625.85.06

ЯЦЕВИЧ
Павел Петрович

**МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПОЛИМЕРНАЯ ДОБАВКА
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Брест, 2026

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель: **ВЕРЕНЬКО Владимир Адольфович**, доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **БАРСУКОВ Владимир Георгиевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Машиноведения и технической эксплуатации автомобилей», Учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

КОВШАР Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, декан строительного факультета Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Защита состоится 24 июня 2026 г. в 11⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.09.01 при учреждении образования «Брестский государственный технический университет» по адресу: 224017, г. Брест, ул. Московская, 267, ауд. 5/300. Телефон ученого секретаря (+37529) 722-53-26, e-mail: vvkravchenko@g.bstu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Автореферат разослан 20 мая 2026 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук



В.В. Кравченко

ВВЕДЕНИЕ

Во время эксплуатации дорожных покрытий материалы конструктивных слоев под воздействием транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов утрачивают свои свойства, которые были заложены во время проектирования, что приводит к снижению общей несущей способности конструкции и возникновению различных дефектов. Все эти факторы вызывают объективные требования к свойствам асфальтобетонов, которые применяются при устройстве покрытий, в особенности городских улиц. Асфальтобетоны должны быть адекватно восприимчивы к высоким и низким температурам, устойчивы к агрессивным средам. Требования к свойствам материалов в СТБ 1033-2016 несопоставимо низки по сравнению с оптимальными характеристиками, закладываемыми при проектировании покрытий улиц высоких категорий, характеризующихся значительной интенсивностью дорожного движения и составом транспортного потока. Как результат, возникает объективная необходимость при проектировании составов асфальтобетонных смесей стремиться закладывать повышенные физико-механические свойства асфальтобетона, прибегая к модифицирующим компонентам.

В Республике Беларусь основным методом улучшения показателей асфальтобетонов является применение модифицированного битума. В то время, как в большинстве стран модифицированный битум поставляется сразу с нефтеперерабатывающих заводов, у нас его приготовление осуществляется на асфальтобетонных заводах, что приводит к необходимости применения дорогостоящего оборудования для модификации битума, создания соответствующей инфраструктуры непосредственно на асфальтобетонном заводе, подготовка необходимых узкопрофильных специалистов. В случае, если удастся наладить процесс производства модифицированного битума на нефтеперерабатывающем заводе, следует учитывать короткий срок жизни вяжущего. Модифицированный битум при длительном нагреве, который необходим при транспортировке и хранении, начинает деградировать.

Большая часть модифицирующих добавок являются монокомпонентными, а те из них, которые можно назвать многокомпонентными, в своем составе содержат родственные полимеры, что приводит к перекошу в улучшаемых свойствах асфальтобетонных смесей. Так основная концентрация, в большинстве случаев, направлена на улучшение высокотемпературных свойств, при этом может наблюдаться снижение значений низкотемпературных показателей.

Большинство из применяемых модифицирующих добавок содержат преобладающее количество первичных полимеров, что оказывает финансовое и экологическое давление на конечный продукт, которым является асфальтобетон. Поэтому основной направленностью диссертационных

исследований является получение и применение отечественных многокомпонентных модифицирующих добавок, содержащих ощутимое количество вторичных полимеров. При этом, за счет «средства» с битумом и эффекта от их совместного воздействия на свойства вяжущего достигается равновесное улучшение свойств асфальтобетонных смесей, модифицированных ими.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности. Проведение научных исследований выполнялось:

– в рамках Государственной научно-технической программы «Ресурсосбережение 2015», задание 1.95. «Разработать технологию и освоить производство асфальтобетонных смесей повышенной деформационной устойчивости с применением асфальтогранулятов из отработанных асфальтобетонов дорожных покрытий улиц города Минска»;

– в рамках Государственной научно-технической программы «Ресурсосбережение 2015», задание 1.94. «Разработать составы, технологию получения, освоить производство битумов и асфальтобетонов, модифицированных многокомпонентными добавками на основе вторичных полимерных компонентов»;

– в рамках научно-исследовательского проекта «Исследование долговечности высокоплотных асфальтобетонов различного состава и структуры с разработкой рекомендаций по их применению» ГПОФИ «Строительство и архитектура 26» (ГБ 06-66 от 03.01.2006 г., заказчик – Национальная академия наук Беларуси, Министерство образования Республики Беларусь, № ГР 20061049);

– в рамках Государственной программы научных исследований «Строительные материалы и технологии» по заданию № 23 от 03.01.2011 г. на тему: «Разработка теоретических и методологических основ оптимизации прочностных и деформационных свойств материалов конструктивных слоев дорожных одежд как нелинейных систем с целью направленного регулирования их надежности и долговечности».

Цель и задачи исследования. Целью исследования является получение и применение многокомпонентной модифицирующей полимерной добавки для улучшения свойств асфальтобетонов дорожных покрытий при положительных температурах без ухудшения их трещиностойкости.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи исследования:

– разработать отечественную многокомпонентную полимерную модифицирующую добавку с применением вторичных полимеров, основываясь

на свойствах модифицированных битумов и асфальтобетонов, соответствующих требованиям возросшей транспортной нагрузки;

- разработать технологию ее производства на базе существующего оборудования с минимизацией производственных затрат и воздействия на окружающую среду;

- разработать методику по определению жизненного цикла модифицированного битума и провести исследования вяжущего, приготовленного с применением разработанной добавки. Определить стабильность системы при помощи не материалоемких испытаний;

- разработать методику по определению адгезионных свойств модифицированного битума и провести исследования вяжущих, состоящих из битума и разработанной добавки, в сравнении с аналогами. Определить точки начала лавинообразной потери сцепления в структуре материала;

- провести производственную проверку и технико-экономическую оценку разработанной многокомпонентной полимерной модифицирующей добавки при устройстве асфальтобетонных покрытий.

Объектом исследований являются асфальтобетоны дорожные.

Предметом исследований являются структура и свойства асфальтобетонов, модифицированных многокомпонентными полимерными добавками.

Научная новизна результатов диссертационных исследований заключается в развитии научных представлений о взаимодействии полимеров различной природы в гомогенной структуре полимер-битум с проявлением эффекта от совместного применения термопластов и эластопластов на свойства вяжущего и асфальтобетонной смеси в целом, что позволяет повысить прочностные характеристики асфальтобетона при положительных температурах в 1,5 – 2,2 раза для соответствия возросшим транспортным нагрузкам, без ухудшения коррозионной устойчивости и температурной трещиностойкости. Обоснована методика, основанная теории Гильдебранта, подбора полимерных компонентов для модификации с учетом асфальтеновой и мальтеновой составляющих битумов.

Разработана методика определения жизнеспособности битумно-полимерных систем на основе динамики изменения вязкости в температурно-временном диапазоне при поверхностном зондировании, позволяющая оперативно оценивать на стадии подбора состава модифицированного битума его устойчивость к воздействию технологических процессов без приготовления промышленных объемов.

Разработана методика оценки адгезионных связей вяжущего к каменному материалу на основе вакуумно-температурного воздействия, что позволяет повысить точность, исключая субъективность визуального восприятия при сравнении с изображением эталона.

Положения, выносимые на защиту:

- состав многокомпонентной полимерной добавки с учетом улучшения свойств вяжущего и прочностных характеристик асфальтобетона;
- технология производства многокомпонентных полимерных добавок, позволяющая получать модификатор, который может применяться как для модификации битума, так и асфальтобетонных смесей непосредственно в смесительных установках с различными механизмами подачи добавок;
- методика определения стабильности гомогенной структуры битум-полимер при воздействии технологических температур при помощи выявления искажения вязкости по плоскости при поверхностном зондировании;
- методика оценки адгезионных связей вяжущего к каменному материалу на основе вакуумно-температурного воздействия.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты исследований получены автором самостоятельно. Общая концепция и направление исследований разработаны совместно с научным руководителем В.А. Веренько. В проведении исследований, а также в реализации их результатов, принимали участие сотрудники филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»: Афанасенко А.А., Занкович В.В., Ладышев А.В., Лира С.В., Макаревич А.А. и др.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих научно-практических конференциях: международная научно-практическая конференция «Проблемы надежности дорожных одежд городских улиц и дорог» (БНТУ, г. Минск, 30 июня – 1 июля 2005 г.); республиканская научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Автомобильные дороги – дороги будущего» (БелдорНИИ, г. Минск, 10 марта 2011 г.); международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса» (БНТУ, г. Минск, 22–23 ноября 2017 г.); 4-я международная научно-техническая конференция «Дорожное строительство и его инженерное обеспечение», г. Минск, 2023 г.; международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию БелГУТ, г. Гомель, 2023 г.; конференция «Инновационные дорожно-строительные материалы и технологии», г. Минск, 2025 г.; XIV международная научно-практическая конференция, посвященная пятилетке качества «Проблемы безопасности на транспорте», г. Гомель, 2025 г.

На основе проводившихся исследований разрабатывались новые и вносились изменения в существующие технические условия на асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны, обладающие повышенными прочностными характеристиками, для устройства покрытий наиболее ответственных и загруженных участков улично-дорожной сети г. Минска и г. Бреста.

Результаты диссертационного исследования внедрены в производственный процесс ООО «Дорожно-строительные инновации» при производстве многокомпонентных модифицирующих добавок и ОАО «МАКРОДОР» при выпуске модифицированных битумов и асфальтобетонных смесей.

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 7 статей и 1 монография общим объемом 5,93 авторского листа, из них 5 статей объемом 3,87 авторского листа, соответствующих пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (в редакции указа Президента Республики Беларусь №190 от 02.06.2022).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 137 страницы, в т.ч. 53 иллюстрации, 35 таблиц, список библиографических источников из 108 наименований, 2 приложений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе рассмотрены технологии и способы модификации асфальтобетонных смесей. На основании анализа работ таких ученых, как Веренько В.А., Золотарев В.А., Мозговой В.В., Жданюк В.К., Яромко В.Н., Бусел А.В., Шрубок А.О., Шумчик В.К., Ахметова Р.С., Гохман Л.М., Горшенина Г.И., Михайлов Н.В., Mohamed Rehan Karim, Gabriel Macêdo Duarte, Хуеян Liu, Mohammed Nouali, Джуманов Р.Б., Захаров В.А., Карпентер С.Х., Лаврухин В.П., Долгов А.Н., Мардиролова И.В., Илиополов С.К., Ткачев С.М., Шульженко Ю.П., Jhony Habbouche, Ali Behnood, Estabraq N. Ezzat, Thompson P.D., Дюрье М., Шмидт Г.Г., Огрель А.М., Погорелов А.В., Плотникова Т.Н., Соловьев Е.М., Yinghua Jin, Prabin Kumar Ashish, D. Budelmann, K Van de Velde, Evelien Maaskant, Aswathy Jayakumar, P.K. Athira, Marvin Steube, Занкович В.В., Илиополов С.К., Stephen Brown и др. сделаны следующие выводы.

К настоящему времени модификация асфальтобетонов широко известна и применяется в различных странах мира, в том числе и Республике Беларусь. При этом большинство модифицирующих компонентов представляют из себя первичные полимеры. Производство отечественной добавки на основе вторичных полимеров позволит решить вопросы экологии, экономики, повысить устойчивость покрытий к влиянию эксплуатационных факторов. Большинство полимерных модифицирующих добавок являются узконаправленными по получаемому эффекту.

Анализ результатов исследований показывает, что применение многокомпонентных полимерных модифицирующих добавок, вводимых сухим

способом, приводит к сопоставимому улучшению показателей, сравнимому с модификацией битума.

Широко известна проблема жизненного цикла модифицированного битума, проявляющаяся в его разложении при постоянном нагреве. Но методика оценки подверженности вяжущего этому негативному явлению материалу и финансовозатратна. Испытания модифицированных асфальтобетонов производятся по стандартным критериям, которые косвенно отражают работу материала в покрытии при определенных воздействиях погодно-климатических факторов и транспортной нагрузки. Достаточно важный показатель адгезии вяжущего к каменному материалу оценивается субъективным методом.

По результатам анализа литературных источников и предварительных испытаний наиболее популярных полимерных модифицирующих добавок были сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе приведены теоретические предпосылки получения и применения многокомпонентных добавок для модификации вяжущего асфальтобетонных смесей.

После анализа опыта модификации как битумов, так и асфальтобетонных смесей, были выбраны полимеры для проведения дальнейших исследований.

Наиболее перспективным компонентом, с точки зрения его влияния на свойства вяжущего, а следовательно, и асфальтобетона, являются термоэластопласты. Как показали сравнительные испытания, СБС и СБР наиболее эффективные полимерные модификаторы вяжущего.

При этом СБР придает вяжущему и асфальтобетону в целом большие эластичные свойства. Добавление СБР в битум позволяет создавать эластомерные модифицированные битумы, которые лучше справляются с нагрузками и изменениями температуры, увеличивая долговечность и стойкость покрытий.

Но они подразумевают исключительное их применение для модификации битума, не допуская добавления на стадии производства асфальтобетонной смеси. Это связано с тем, что термопластичная составляющая должна создать в вяжущем подструктуру, которая будет сопротивляться пластическому деформированию и коррозионному разрушению асфальтобетонного покрытия, а эластичная составляющая должна вступить во взаимодействие с асфальтеновой решёткой битума. Время и энергия смешения, которые позволяют получить смесительные установки асфальтобетонных заводов, недостаточны для вступления компонентов во взаимодействие с составляющими группового состава битума, поэтому требуется предварительная гомогенизация.

Дополнительным фактором, ограничивающим применение чистого СБС или СБР полимера, является их высокая стоимость. Эти полимеры являются первичными продуктами, что увеличивает финансовую нагрузку на производителей асфальтобетонных смесей и бюджет строительства или ремонта асфальтобетонного покрытия. Решением этого вопроса может быть применение многокомпонентных добавок, состоящих из СБС/СБР полимера и вторичного происхождения имеющих значительно меньшую стоимость. Как итог, даже с учетом затрат на процессинг по производству добавки, конечная цена получаемого продукта будет значительно ниже стоимости первичного СБС/СБР полимера.

Экологическая составляющая применения СБС/СБР полимеров так же является весомой. Как отмечалось выше, это первичные продукты, соответственно экологическая нагрузка, состоящая из аспектов переработки нефти, энергозатрат, обработки, утилизации и экологического следа полностью ложатся на модификатор. Применение же совместно с чистыми СБС/СБР вторичных полимеров в высоком процентном соотношении снижают эти аспекты не только за счет снижения концентрации первичного полимера, но и за счет утилизации вторичного.

Так же следует учитывать то, что СБС/СБР полимеры весьма восприимчивы к растворителям, в том числе уже после модификации ими битума. Таким образом возникает риск изменения свойств СБС/СБР-модифицированного битума под воздействием таких растворителей, как синтетические и минеральные смазочные материалы, бензин и дизельное топливо, которые из-за несовершенства или физического износа транспортных средств могут попадать на асфальтобетонное покрытие. Этот фактор может нивелироваться применением совместно с СБС/СБР полимерами термопластов, которые, как правило, имеют большую устойчивость к подобному рода растворителям.

Так как в большей степени СБР проявляет результат модификации, свойственный эластомерам, необходимо дополнить композицию битум-СБР ещё одним или несколькими термопластами для придания асфальтобетону способности сопротивляться пластическим деформациям при высоких температурах.

В качестве термопластичной составляющей композиции были выбраны наиболее ярко выраженные термопласты – полиэтилен высокого давления (ПВД) и полиэтилен низкого давления (ПНД).

Механизм взаимодействия смеси полипропиленов с компонентами группового состава битума будет аналогичен поведению серы в среде битумного или дегтевого вяжущего в соответствии с исследованиями И.К. Яцевича и В.А. Веренко, то есть полиэтилены будут выступать в виде активных, армирующих наполнителей системы. При этом масла будут

абсорбироваться на поверхности мелкодисперсных частиц полимера. Какое-либо растворение полиэтиленов или их химическое взаимодействие с битумом маловероятно в силу различия их параметров растворимости. СБР полимер, в свою очередь, за счет «сродства» с легкими фракциями битума, может частично химически взаимодействовать с мальтенами своей каучуковой составляющей. При этом стирольная часть, аналогично полиэтиленам будет выступать в роли армирующего наполнителя системы, абсорбируя на своей поверхности масла, тем самым укрупняя асфальтовую решётку.

Кроме того, были выработаны критерии оценки жизнеспособности модифицированного битума и устойчивости пленки вяжущего на поверхности каменного материала.

Одной из проблем транспортирования, хранения и применения модифицированного битума является его склонность к расслоению, т. е. отделению полимерных материалов от битума. В результате продолжительного нагрева битума при транспортировке и хранении до температур 160°C происходит процесс дегомогенизации. Связано это с тем, что при модификации битума не происходит углубленного химического взаимодействия битума и полимерных модифицирующих добавок с образованием новых молекул. Полимеры лишь создают в объеме битума пространственную подструктуру. Для прохождения углубленной химической реакции с образованием новых молекулярных связей оба вещества (битум и полимер) должны иметь, в соответствии с теорией Гильдебранта, схожие параметры растворимости.

Для описания воздействия физически активной жидкости на деформируемое полимерное тело используется понятие "сродство" веществ, которое основано на сходстве их химической структуры. Когда качественно оценивают "сродство" между жидкостью и полимером, учитывают наличие одинаковых функциональных групп или структурных элементов в молекулах обоих веществ. Для количественной оценки "сродства" между жидкостью и полимером применяется параметр растворимости, обозначаемый как δ , предложенный Гильдебрантом. Параметр растворимости (δ) представляет собой числовое значение, которое характеризует взаимодействие между полимером и растворителем.

Одна из основных концепций, связанных с параметром растворимости Гильдебранта, - "подобие растворителей" и "подобие полимеров". Если параметры растворимости двух веществ близки друг к другу (малое значение разности δ), то есть, если они обладают сходными характеристиками, то вероятность растворения полимера в данном растворителе будет высокой.

В нашем случае, растворителем в системе является битум. Параметр растворимости битума может быть определен, исходя из растворимости

асфальтенов и мальтенов битума в различных растворителях. Именно эти фракции оказывают наибольшее воздействие на свойства битума, модифицированного термоэластопластами, а следовательно, и термопластами, и эластомерами. В соответствии с, параметры растворимости составных фракций битума варьируются от 8,5 до 16,1 (кал·см⁻³)^{1/2}.

Модификация битума, в частности различными видами термоэластопластов, обычно, хоть незначительно, но положительно сказывается на адгезионных свойствах вяжущего. Особенно это проявляется при длительном воздействии высоких положительных температур. Как показано в исследованиях, если рассматривать битум, как систему, состоящую из асфальтенов, смол, ароматических углеводородов и насыщенных углеводородов, адгезия между асфальтенами и заполнителем является самой сильной, а связь между ароматическими соединениями и заполнителем – самой слабой. При этом следует учитывать, что при модификации битума СБС и СБР полимеры наиболее активно взаимодействуют именно с асфальтеновой фракцией битума.

В настоящее время основными методами определения адгезии битума к минеральной составляющей асфальтобетонных смесей являются визуальными такими, как «Метод определения сцепления битума с мраморным песком» и «Метод определения сцепления битума с мраморным песком на сетке», и инструментальными такими, как «Метод определения водостойкости асфальтобетона (TSR)» и «Метод определения водостойкости при длительном водонасыщении». Визуальные методы являются субъективными, так как полностью зависят от визуального восприятия лаборантом контрольных образцов. В последнее время проводятся исследования для усовершенствования этих методов и исключение человеческого фактора при обработке результатов испытания. На инструментальные методы косвенно влияют прочностные свойства испытуемого асфальтобетона, что может приводить к необъективности получаемых результатов.

В третьей главе представлены характеристики материалов, использованных в исследованиях и удовлетворяющих требованиям действующих нормативов. Приведены стандартизированные методики, в соответствии с которыми проводились эксперименты в исследованиях. По результатам контрольных испытаний были рассчитаны в соответствии с методикой данные, необходимые для определения минимального количества испытаний по каждому исследуемому показателю с доверительной вероятностью 0,95, при гарантийном коэффициенте, принимаемом по функции Лапласа, 1,96.

Кроме того, были представлены разработанные методики поверхностного зондирования и определения устойчивости битумной пленки на поверхности каменного материала.

Для лабораторного определения стабильности экспериментальных составов модифицированного битума предлагается метод плоскостного зондирования, основанный на определении пенетрации битума в контрольных точках после разного времени прогрева при 160 °С. В этом случае определяются значения пенетрации битума в 49 точках, фиксированных при помощи прицельной пластины с интервалом прогрева при 160 °С в 12 часов. Экспериментальные испытания показали, что целесообразным является проводить не менее 4 циклов.

Предлагается оценивать адгезию модифицированного битума к минеральному наполнителю, путем выявления такого фактора, как проникновение воды под битумную пленку в асфальтобетоне при различных температурах при остаточном давлении 2000 Па. Преимущество этого метода состоит в том, что он приближает условия проведения испытаний к реальным условиям работы асфальтобетона в покрытии. Отличием от стандартизированного метода испытаний заключается в том, что сосуд с водой из вакуумной установки помещается в теплоизолированный водонепроницаемый короб, оснащенный функцией подогрева, и термостатируется в процессе всего испытания при заданных температурах. Это позволяет получить значения количества поглощаемой образцом воды при остаточном давлении 2000 Па и заданной температуре.

Исследования проводились на трех типах асфальтобетонных смесей, которые наиболее часто используются в верхнем слое дорожного покрытия – смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С, смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа А и смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б. Выбор обусловлен тем, что именно верхний слой покрытия наиболее интенсивно подвергается воздействию климатических факторов и именно для него в наибольшей степени критична адгезия битума к минеральной части. Минеральные части асфальтобетонных смесей проектировались в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Республики Беларусь.

В четвертой главе изложены результаты исследований по выбору оптимального соотношения компонентов для полимерной модифицирующей добавки универсального применения

На основании анализа, выполненного в главе 1, были выбраны полимерные компоненты, которые при модификации битума или «сухом» методе улучшают не только высокотемпературные, но и низкотемпературные свойства асфальтобетонов. Исходя из этого условия и «средства» по критерию параметра растворимости Гильдебранта (δ) было определено, что оптимальными, с точки зрения свойств модифицированного битума и асфальтобетона, является применение смеси термопластов и эластопластов. Экспериментальным путем был получен диапазон соотношения

полимерных компонентов, при котором свойства модифицированного битума находятся в относительном равновесии, т.е. улучшение одних свойств не подавляет или незначительно подавляет другие (рисунок 1).

Таким образом, для проведения второй стадии эксперимента, где моделируется модификация непосредственно асфальтобетонной смеси, приняты следующие соотношения долей содержания термопластов и эластопластов в композиции: «35/15», «30/20», «25/25», «20/30», «15/35».

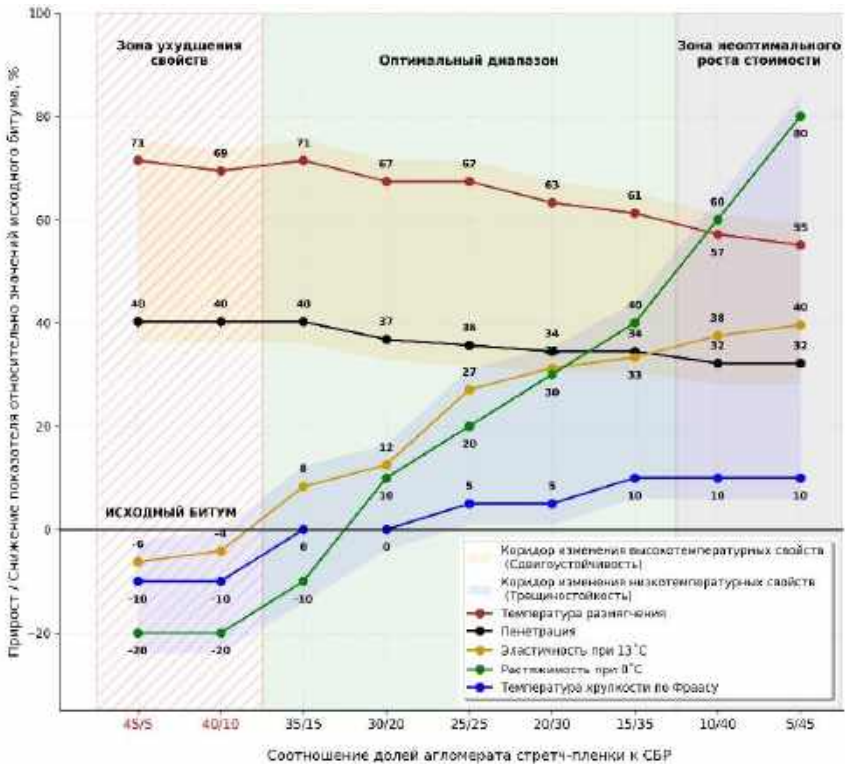


Рисунок 1 – Относительное отклонение показателей модифицированного битума

В качестве экспериментальной смеси асфальтобетона была принята смесь щебеночная мелкозернистая горячая, типа С, с максимальной крупностью заполнителя 10 мм, марки I, с показателем сдвигоустойчивости 2,2 (ЩМСг 10-I/2,2 СТБ 1033-2016).

Для определения оптимального соотношения термопластов к эластомерам в композиции экспериментальная смесь испытывалась на определение значений предела прочности при сжатии при 50 °С, предела прочности при растяжении при 0 °С, внутреннего сцепления и индекса трещиностойкости. Проведя анализ полученных результатов, можно утверждать, что оптимальное соотношение долей термопласта к эластомеру составляет «30/20» (рисунок 2). При этом соблюдается равновесие прочностных показателей, которые позволят асфальтобетону сопротивляться образованию колеи, и индекса трещиностойкости, что гарантирует адекватную работу материала при понижении температуры в осенне-зимне-весенний период и при колебаниях температур через 0 °С, в том числе со значительным градиентом.

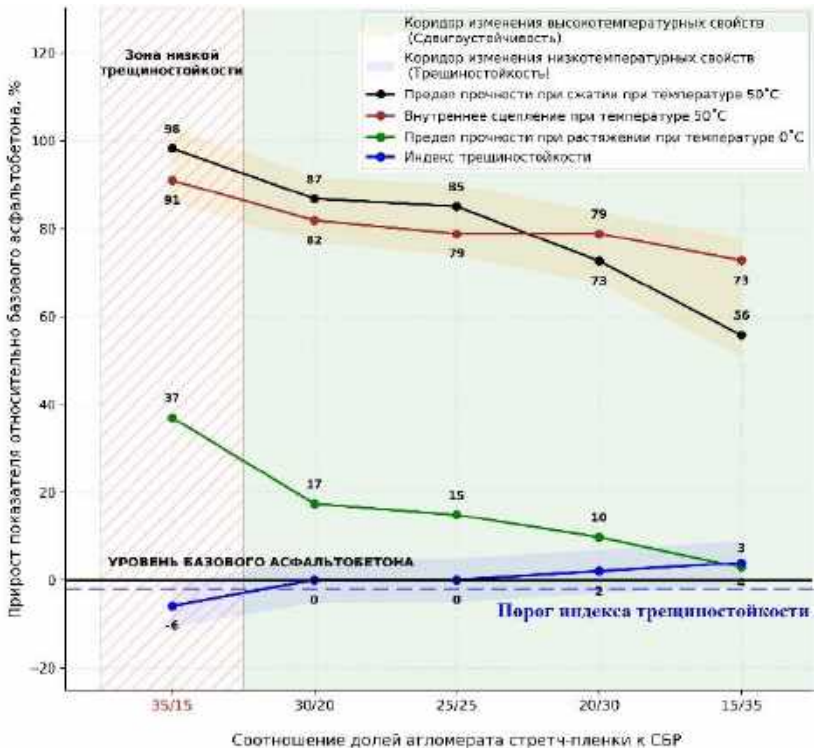


Рисунок 2 – Относительное отклонение показателей модифицированного асфальтобетона

На основании этого было принято решение, что оптимальное соотношение полимерных компонентов модифицирующей добавки составляет 30 частей термопласта и 20 частей СБР в пересчете на массы веществ.

Кроме того, изложены результаты моделирования и определения температурно-временной стабильности модифицированного битума. Проведенные исследования показывают, что при длительном нагреве гомогенная система битум-полимер разрушается.

Контроль стабильности гомогенной системы осуществлялся по возникновению искажения вязкости по плоскости при поверхностном зондировании образца битума в 49 точках, фиксированных при помощи прицельной пластины с интервалом прогрева при 160 °С в 12 часов.

Наихудшие результаты показала композиция смеси полиэтиленов (стрейч-пленка). Это объясняется тем, что параметры растворимости δ полиэтиленов значительно отличаются от значений таковых для всех составных фракций битума. В это же время битум, модифицированный СБР показал большую устойчивость к постоянному воздействию температуры из-за того, что легкие фракции битума имеют схожие параметры растворимости δ с бутадие-стирольным каучуком. Разработанная многокомпонентная модифицирующая полимерная добавка показала хорошие результаты этапа высокотемпературного хранения/применения жизненного цикла вяжущего благодаря тому, что в ее состав входит СБР, который имеет «сродство» с битумом по параметру растворимости с асфальтовой и мальтеновой фракциями.



а – битум, модифицированный смесью полиэтиленов; б – битум, модифицированный СБР; в – битум, модифицированный разработанной добавкой.

Рисунок 3 – Пример искажения вязкости по плоскости при поверхностном зондировании

Так же представлены результаты исследования адгезионных свойств модифицированного вяжущего к каменному материалу.

Испытания контрольного образца щебеночной мелкозернистой смеси типа С показали, что определение показателя водонасыщения в температурных пределах от 10 °С до 40 °С не показывает бурного роста, а значение

изменяются в пределах допустимых регламентируемыми стандартом на асфальтобетон величинах. При температурах 50°C и 60°C образцы поглощают значительно больше количество воды, что объясняется ее проникновением между пленкой битума и каменным материалом, что приводит к потере сцепных качеств между матрицей и каркасом, а, следовательно, материал становится значительно менее восприимчив к различным напряжениям возникающем в слое покрытия. Испытания образцов щебеночной мелкозернистой смеси типа С, изготовленных с применением модифицированных битумов, показали схожие результаты в диапазоне температур от 10°C до 40°C. При этом, в интервале температур от 50°C до 60°C модифицированный асфальтобетон показал лучшую сопротивляемость проникновению воды под битумную пленку. Это объясняется тем, что модифицированное вяжущее само по себе лучше сопротивляется повышенным температурам, нежели вяжущее на товарном битуме. Худший результат среди модифицированных асфальтобетонов показал экспериментальный образец с применением смеси полиэтиленов. Это можно объяснить тем, что полиэтилены, в соответствии с параметрами растворимости, не взаимодействуют с битумом, а лишь распределяются в его объеме, что приводит к тому, что асфальтеновая сетка не укрепляется. Этому может служить подтверждением и то, что образцы, модифицированные СБР и СБС показали значительно лучшие результаты в интервале высоких температур именно из-за того, что при модификации ими происходит химическое взаимодействие с битумом, при этом стирольная и бутадиеновая части способствуют укрупнению и набуханию асфальтеновой части битума.

Аналогичные испытания проводились для асфальтобетонов типа А и Б. Картина изменения значений показателя водонасыщения была почти аналогична, за исключением того, что значительный рост отмечался уже при температуре 40°C, за исключением асфальтобетона, модифицированного смесью полиэтиленов. Еще одной особенностью было то, что разница в значениях при испытаниях при 20°C и при 50°C и 60°C не была столь значительной, как на примере асфальтобетона типа С. При этом, мы наблюдаем, что расхождение значений показателя водонасыщения контрольного образца и асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном смесью полиэтиленов, значительно выше. Это объясняется тем, что в менее каркасных смесях жесткость вяжущего может играть более ощутимую роль из-за того, что в соотношении матрица-каркас, матрица начинает преобладать. Такая же картина наблюдается и на типе Б, что подтверждает предположения.

Так как отрыв происходит в слое вяжущего, то можно говорить о том, что в многощебенистых асфальтобетонах, характеризующихся большим количеством мастики в своем составе и высокой степенью ее структуризации,

при условии разряжения и высоких температур, вода проникает не только под битумную пленку, но и в когезионный разрыв. При этом модифицированный битум эффективнее противостоит когезионному разрыву за счет сформированной полимерами подсистемы, что наглядно демонстрирует проведенное исследование. В случае, когда полимер благодаря сродству с битумом химически с ним соединяется, этот эффект усиливается, что так же подтверждается исследованиями, направленными на определение показателей межфазной энергии, коэффициента диффузии и относительной концентрации СБС-модифицированного битума методом моделирования молекулярной динамики.

В пятой главе представлена технология производства многокомпонентной полимерной модифицирующей добавки. Она была разделена на два этапа: производство суперконцентрата и его гранулирование.

Рассмотрена опытно-промышленная проверка и внедрение исследований в производство. Опытно-промышленная проверка результатов диссертационных исследований проводилась при производстве асфальтобетонных смесей для устройства покрытия улиц г. Минска.

Одним из объектов, на котором был произведен текущий ремонт покрытия, при этом проходило научно-техническое сопровождение работ, была улица Железнодорожная на участке от путепровода Суражской до здания автостанции «Юго-Западная». Автор непосредственно выполнял работы по научно-техническому сопровождению работ при проведении текущего ремонта на ул. Железнодорожная в соответствии с договором между Белорусским национальным техническим университетом и Государственным предприятием «Гордорматериалы». Проводилось уточнения гранулометрического состава, количества битума и модифицирующей добавки на заводе-изготовителе асфальтобетонной смеси ОАО «Макродор». Было выполнено корректирование работы укладочного и уплотняющего звена непосредственно на месте выполнения работ и в течении всего времени устройства слоев покрытия контролировалось соблюдение подрядчиками норм, заложенных в ТНПА. Так же во время укладки асфальтобетонного покрытия отбирались пробы асфальтобетонной смеси с целью контроля ее качества на соответствие техническим условиям. Как показали результаты испытаний, прочностные показатели значительно возросли, что показывает эффективность применения многокомпонентной полимерной добавки. Так предел прочности при сжатии при 50 °С асфальтобетона нижнего слоя составил от 1,79 МПа до 2,03 МПа, при требуемом для аналогичного по зерновому составу асфальтобетона по СТБ 1033 не менее 1,1 МПа, т.е. мы видим рост прочностного показателя практически в два раза. Для верхнего слоя покрытия значения этого показателя варьировались в пределах от 1,74 МПа до 1,79 МПа, при требуемом значении для аналогичного

по гранулометрическому составу асфальтобетона по СТБ 1033 не менее 0,9 МПа. При этом особое внимание уделялось тому, чтобы свойства асфальтобетона при отрицательных температурах строго соответствовало нормам, принятым для Республики Беларусь.

Несмотря на то, что в соответствии с расчетами, выполненными по ТКП, расчетный срок службы покрытия до проведения следующего текущего ремонта составлял 5 лет, и на осень 2025 года покрытие находилось в удовлетворительном состоянии.

Так же в пятой главе была дана оценка экономической целесообразности применения в качестве материала конструктивных слоев покрытия модифицированных асфальтобетонных смесей. Годовой экономический эффект от применения модифицированных асфальтобетонных смесей вместо стандартных из расчета на 1000 м² при толщине слоя в 6 составит одну тысячу сто девяносто шесть рублей восемьдесят четыре копейки в ценах 2025 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Была разработана отечественная многокомпонентная полимерная модифицирующая добавка с учётом возникновения эффекта от применения в ее составе полимерных материалов различной природы и механизма и степени их влияния на вяжущее асфальтобетонных смесей и асфальтобетон в целом [3, 6, 9], что позволило в 1,5 – 2,2 раза увеличить прочностные характеристики дорожных асфальтобетонов [2] для соответствия возросшим транспортным нагрузкам. При этом одной из составляющих добавки является вторичный полимер, что позволяет решать не только вопросы проектирования составов долговечных и высокопрочных асфальтобетонов, но и решать вопросы экологии и ресурсосбережения [1].

2. Разработана технология производства многокомпонентных полимерных добавок, позволяющая получать модификатор, который может применяться как для модификации битума, так и асфальтобетонных смесей непосредственно в смесительных установках с различными механизмами подачи добавок [5, 9, 22]. Кроме того, применение выбранных компонентов позволяет увеличить их эффективность за счет возможности введения углеродных наноматериалов [7].

3. Разработана методика и проведены исследования по поверхностному зондированию образцов модифицированного битума с целью определения деградации и разложения материала, что позволяет исключить выпуск промышленных партий экспериментальных рецептур вяжущего для прогнозирования жизнеспособности материала [4]. Проанализированы результаты выявления проявляемых при этом искажений вязкости по плоскости.

4. Разработана методика и исследована зависимость адгезионных свойств вяжущих, как модифицированных, так и нет, по отношению к каменному заполнителю в широком диапазоне температур, при которых наиболее вероятно возникновение негативных явлений и последствий, связанных с проникновением воды под битумную пленку [8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Практическая и экономическая значимость результатов диссертационной работы заключается в возможности их применения при производстве асфальтобетонных смесей отвечающим повышенным транспортным нагрузкам [10, 11, 12, 13, 14, 15], экономии за счет меньшей материалоемкости и применения вторичных ресурсов.

Применение вторичных полимеров позволяет значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду в Республике Беларусь. Кроме того, внедрение высокопрочных модифицированных асфальтобетонов так же положительно сказывается на экологии и экономике благодаря увеличению межремонтных интервалов [1]. Проведенная техническая апробация результатов испытаний в реальных условиях на улично-дорожной сети города Минска, показала увеличение срока службы покрытия в 1,8 раза, что позволило получать экономический эффект в размере 1196,84 рубля на 1000 м².

Достижение эффекта от совместного применения разнородных полимерных материалов позволяет оптимально регулировать разнотемпературные свойства асфальтобетонов, делая их более устойчивыми к высокоградиентным перепадам температур.

Применение метода поверхностного зондирования с целью выявления искажения вязкости по плоскости позволяет экономить материальные ресурсы и не требует производства промышленных партий для определения жизнеспособности битумо-полимерной композиции при технологических температурах во время транспортировки и хранения модифицированного битума.

Определение адгезионных свойств вяжущих к каменным материалам в условиях вероятного возникновения эффекта проникновения воды под битумную пленку является весьма важным с точки зрения прогнозирования потери сцепления по углу внутреннего трения, что приводит к появлению пластических деформаций в асфальтобетонном покрытии и так же является очагом возникновения коррозионных разрушений. Кроме того, эта методика позволяет минимизировать человеческий фактор при определении адгезии битума к каменному материалу.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ**Монографии**

1. Долговечные асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, мостов и улиц. / В. А. Веренько, В. В. Занкович, А. В. Ладышев, С. В. Лира, А. А. Афанасенко, П. П. Яцевич. – Минск : Арт Дизайн, 2015. – 296 с.

Статьи в рецензируемых журналах

2. Яцевич, П. П. Регулирование свойств асфальтобетона модифицирующими добавками, вводимыми в смесь / П. П. Яцевич, В. А. Веренько, В. В. Занкович // Вестник ХНАДУ. – 2008. – № 40. – С. 51–56.

3 Яцевич, П. П. Исследование устойчивости модифицированных асфальтобетонов к пластическим деформациям и температурным трещинам. Результаты исследований / В. А. Веренько, В. В. Занкович, П. П. Яцевич, П. Полман // Автомобильные дороги и мосты. – 2011. – № 2 (8). – С. 87–95.

4. Яцевич, П. П. Инструментальная оценка жизнеспособности гомогенной системы модифицированного битума под влиянием технологических температур / П. П. Яцевич // Автомобильные дороги и мосты. – 2023. – № 2 (32). – С. 41–48.

5. Яцевич, П. П. Сравнительный анализ изменения свойств модифицированных асфальтобетонов в зависимости от способа модификации и концентрации полимера в вяжущем / П. П. Яцевич // Наука и техника. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 140–150.

6. Яцевич, П. П. Аналитический обзор методов стабилизации асфальтобетонных смесей с повышенным содержанием вяжущего / А. А. Афанасенко, П. П. Яцевич, А. В. Корончик // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 3 (104). – С. 59–70.

7. Яцевич, П. П. Углеродные наноматериалы: перспективы применения в контексте дорожного строительства / С. А. Жданок, Ю. Г. Алексеев, П. П. Самцов, А. А. Афанасенко, П. П. Яцевич, А. В. Корончик, Лю Тинго, Ли Чжуньюй // Автомобильные дороги и мосты. – 2024. – № 1 (33). – С. 59–64.

8. Яцевич, П. П. Методика оценки адгезионных связей вяжущего к каменному материалу на основе вакуумно-температурного воздействия / П. П. Яцевич, А. А. Афанасенко // Наука и техника. – 2024. – Т. 23, № 5. – С. 409–416.

Патенты

9. Полимерный модификатор для асфальтобетона и способ приготовления асфальтобетонной смеси на его основе: пат. 017056 В1 / В. А. Веренько, И. Г. Бриш, В. В. Занкович, П. П. Яцевич. – Опубл. 28.09.2012.

Нормативная документация

10. Смеси улучшенные асфальтобетонные и асфальтобетон для конструктивных слоев дорожных одежд г. Бреста: ТУ ВУ 290396150.001-2014. – Введ. 2014. – Минск : НППРУП «Стройтехнорм», 2014 – 18 с.

11. Полимербитумы для асфальтобетонных смесей повышенной деформационной устойчивости: ТУ ВУ 100019869.005-2014. – Введ. 06.05.2014. – Минск : НППРУП «Стройтехнорм», 2014 – 13 с.

12. Извещение об изменении №1 ТУ ВУ 100019869.001-2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон повышенной деформационной устойчивости для конструктивных слоев дорожных одежд улиц г. Минска»: ТУ ВУ 100019869.001-2011. – Введ. 22.11.2012. – Минск : НППРУП «Стройтехнорм», 2016 – 23 с.

13. Извещение об изменении №2 ТУ ВУ 100019869.001-2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон повышенной деформационной устойчивости для конструктивных слоев дорожных одежд улиц г. Минска»: ТУ ВУ 100019869.001-2011. – Введ. 23.04.2013. – Минск : НППРУП «Стройтехнорм», 2013 – 23 с.

14. Извещение об изменении №3 ТУ ВУ 100019869.001-2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон повышенной деформационной устойчивости для конструктивных слоев дорожных одежд улиц г. Минска»: ТУ ВУ 100019869.001-2011. – Введ. 11.08.2016. – Минск : НППРУП «Стройтехнорм», 2016 – 21 с.

15. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия БЗ.503.9-16.18. Конструкции дорожных одежд улиц населенных пунктов. Материалы для проектирования : Серия БЗ.503.9-16.18 : утв. ГПО «Горремавтодор Мингорисполкома» 09.04.18 : введ. 11.06.18. – Минск : Минстройархитектуры, 2018. – 69 с.

16. Рекомендации по оценке экономической эффективности компонентов асфальтобетонных смесей для устройства покрытий улиц населенных пунктов. Методический документ. – Минск : Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, 2009. – 14 с.

Материалы конференций

17. Яцевич, П. П. Исследование влияния различной начальной влажности материалов на свойства асфальтобетона / П. П. Яцевич, Н. И. Вербило // Проблемы надежности дорожных одежд городских улиц и дорог: сборник трудов международной научно-технической конференции / редкол.: В. А. Веренько (пред.) [и др.] – Минск : БНТУ, 2005. – С. 204–209.

18. Яцевич, П. П. Обзор некоторых направлений модификации асфальтобетонов полимерными модифицирующими добавками / П. П. Яцевич // Автомобильные дороги – дороги в будущее: тезисы докладов / БелдорНИИ – Минск : БелдорНИИ, 2011. – С. 124–129.

19. Яцевич, П. П. Разработка теоретических основ использования модифицированных асфальтобетонных смесей повышенной плотности и удобоукладываемости для устройства долговечных покрытий автомобильных дорог и улиц / П. П. Яцевич, А. А. Афанасенко // Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса: международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–23 ноября 2017 г. / БНТУ; ред. А. В. Бусел [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 30–33.

20. Яцевич, П. П. Оценка адгезионных связей вяжущего к каменному материалу на основе вакуумно-температурного воздействия / П. П. Яцевич // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы IV Международной научно-технической конференции: материалы Международной научно-технической конференции, 26–27 октября 2023 года / редкол.: Е. М. Жуковский (гл. ред.) [и др.]; сост. В. А. Ходяков. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 80–86.

21. Яцевич, П. П. Метод определения температурно-временной нестабильности модифицированного битума и способы предупреждения негативных факторов с учётом параметров растворимости / П. П. Яцевич // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа. В 2-х частях, Гомель, 16–17 ноября 2023 года. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2023. – С. 441–442.

22. Яцевич, П. П. Влияние способа модификации и концентрации полимера на комплекс свойств асфальтобетона / П. П. Яцевич // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной пятилетке качества. Часть 1, Гомель, 20–21 ноября 2025 года. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2025. – С. 358–360.

Яцэвіча Паўла Пятровіча

Шматкампанетны палімерны дадатак для паляпшэння трывальных характарыстык асфальтабетонаў дарожных пакрыццяў

Ключавыя словы: асфальтабетонная сумесь, асфальтабетон, мадыфікуючы дадатак, мадыфікацыя асфальтабетоннай сумесі, мадыфікацыя бітуму, тэрмапласты, тэрмаэластапласты, эластамэры.

Мэта работы – атрыманне і ўжыванне мнагакампанентнага мадыфікуючага палімернага дадатку для раўнаважкага паляпшэння ўласцівасцяў асфальтабетонаў дарожных пакрыццяў.

У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў распрацаваны айчынны мнагакампанентны мадыфікуючы дадатак з высокім утрыманнем другасных палімераў засноўваючыся на ўзнікненні эфекту ад ужывання палімераў рознай прыроды з улікам іх сродства з функцыянальнымі групамі бітуму ў адпаведнасці з параметрамі растваральнасці Гільдэбранта (δ). Пры гэтым вызначана аптымальная тэхналогія для вытворчасці, якая забяспечвае бясперашкоднае выкарыстанне матэрыялу на асфальтабетонных заводах і абсталяванні па мадыфікацыі бітума з рознымі механізмамі падачы дадаткаў у міксерны вузел.

Былі распрацаваны і праведзены даследаванні паверхневага зондавання зразкаў мадыфікаванага бітума з мэтай мінімізацыі матэрыялаёмкасці тэставанняў для вызначэння яго дэградацыі і разлажэння. Выяўлены і прааналізаваны анамаліі, выяўленыя ў скажэннях глейкасці па плоскасці пры паверхневым зондаванні. Была даследавана залежнасць адгезійных уласцівасцей бітумаў, як мадыфікаваных, так і нямадыфікаваных, адносна камянёваму запаўняльніку у шырокім дыяпазоне пазітыўных тэмператур, пры якіх найбольш верагоднае паўстанне негатыўных яўленняў і наступстваў у выніку пранікнення вады пад бітумную плёнку.

Эксперыментальна пацверджана магчымасць прымянення, мадыфікаваных распрацаваным палімерным дадаткам, асфальтабетонных сумесей на вуліцах г. Мінска. Пры гэтым паказана іх эфектыўнасць, як з пункту гледжання атрымання эканамічнай рэзультатыўнасці ад прымянення матэрыялу, так і з пункту гледжання прадаўжэння тэрмінаў службы пакрыцця ў цэлым.

Яцевича Павла Петровича**Многокомпонентная полимерная добавка для улучшения прочностных характеристик асфальтобетонов дорожных покрытий**

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, модифицирующая добавка, модификация асфальтобетонной смеси, модификация битума, термопласты, термоэластопласты, эластомеры.

Цель работы – получение и применение многокомпонентной модифицирующей полимерной добавки для равновесного улучшения свойств асфальтобетонов дорожных покрытий.

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана отечественная многокомпонентная модифицирующая добавка с высоким содержанием вторичных полимеров основываясь на возникновении эффекта от применения полимеров различной природы с учетом их родства с функциональными группами битума в соответствии с параметрами растворимости Гильдебранта (δ). При этом определена оптимальная технология для производства, обеспечивающая беспрепятственное применение материала на асфальтобетонных заводах и установках по модификации битума с различными механизмами подачи добавок в смесительный узел.

Разработаны и проведены исследования по поверхностному зондированию образцов модифицированного битума с целью минимизации материалоемкости испытаний по определению деградации и разложению вяжущего. Выявлены и проанализированы аномалии, выраженные в искажениях вязкости по плоскости при поверхностном зондировании. Исследована зависимость адгезионных свойств вяжущих, как модифицированных, так и нет по отношению к каменному заполнителю в широком диапазоне положительных температур, при которых наиболее вероятно возникновение негативных явлений и последствий в результате проникновения воды под битумную пленку.

Экспериментально подтверждена возможность применения, модифицированных разработанной полимерной добавкой, асфальтобетонных смесей на улицах г. Минска. При этом показана их эффективность, как с точки зрения получения экономической результативности от применения материала, так и с точки зрения продления сроков службы покрытия в целом.

SUMMARY

Yatsevich Pavel

Multi-component polymer additive for improving the strength characteristics of asphalt concrete road pavements.

Key words: asphalt concrete mixture, asphalt concrete, modifying additive, modification of asphalt concrete mixture, modification of bitumen, thermoplastics, thermoplastic elastomers, elastomers.

The work purpose – obtaining and using a multicomponent modifying polymer additive for an equilibrium improvement of the properties of asphalt concrete road surfaces.

As a result of theoretical and experimental studies, a domestic multicomponent modifying additive with a high content of secondary polymers has been developed based on the effect of using polymers of various natures, taking into account their affinity with the functional groups of bitumen in accordance with Hildebrandt solubility parameters (δ). At the same time, the optimal technology for production was determined, ensuring the unhindered use of the material in asphalt concrete plants and bitumen modification plants with various mechanisms for supplying additives to the mixing unit.

Studies on surface probing of modified bitumen samples have been developed and carried out in order to minimize the material intensity of tests to determine the degradation and decomposition of the binder. Anomalies expressed in plane viscosity distortions during surface probing were identified and analyzed. The dependence of the adhesive properties of binders, both modified and not, in relation to stone aggregate in a wide range of positive temperatures, at which negative phenomena and consequences are most likely to occur as a result of water penetration under the bitumen film, has been studied.

The possibility of using asphalt concrete mixtures modified with the developed polymer additive on the streets of Minsk was experimentally confirmed. At the same time, their effectiveness is shown, both from the point of view of obtaining economic efficiency from the use of the material, and from the point of view of extending the service life of the coating as a whole.



Научное издание

ЯЦЕВИЧ
Павел Петрович

**МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПОЛИМЕРНАЯ ДОБАВКА
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Подписано к печати 14.05.2026. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 1,395. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 60. Заказ № 321.

Печать цифровая. Изготовлено и отпечатано в типографии учреждения образования
«Брестский государственный технический университет»
224017, г. Брест, ул. Московская, 267. Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1569 от 16.10.2017 г.