

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.855.063

БАВИЛОВ

Павел Валерьевич

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
С УСКОРЕННЫМ НАБОРОМ ПРОЧНОСТИ,
ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ
ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Минск, 2018

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете и республиканском дочернем унитарном предприятии «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ».

Научный руководитель

Кравченко Сергей Егорович,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

Яглов Валерий Николаевич,

доктор химических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой «Химия» Белорусского национального технического университета;

Бочкарев Дмитрий Игоревич,

кандидат технических наук, доцент, декан строительного факультета Белорусского государственного университета транспорта

Оппонирующая организация

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится «16» февраля 2018 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, просп. Независимости, 65, главный корпус, ауд. 202. Телефон ученого секретаря (+37517) 265-95-87. E-mail: kovshar-36@tut.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «16» января 2018 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук



С.Н. Ковшар

© Вавилов П.В., 2018

© Белорусский национальный
технический университет, 2018

ВВЕДЕНИЕ

В основных направлениях Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2015-2019 годы отмечается необходимость дальнейшего развития дорожной сети республиканских и местных дорог и поставлены задачи по устройству покрытий усовершенствованного типа на гравийных участках республиканских дорог и обеспечению твердым покрытием грунтовых местных дорог (общей протяженностью более 11 тыс. км).

Отечественный опыт возведения и эксплуатации дорог свидетельствует, что для решения поставленных задач дорожные эмульсионно-минеральные смеси являются эффективным и экономичным материалом. Вместе с тем материал конструктивного слоя из эмульсионно-минеральных смесей обладает специфической особенностью: для достижения нормативных значений показателей свойств необходим определенный продолжительный благоприятный период времени. В течение периода интенсивного формирования структуры происходит становление физико-механических свойств материала слоя, поэтому важно минимизировать возможность любых негативных внешних воздействий. Анализ мировой дорожно-строительной практики показал, что существуют различные способы сокращения периода времени, необходимого материалу слоя для набора нормируемой прочности, т. е. достижения показателем нормативного значения, означающего фактическую готовность материала выдерживать проектную транспортную нагрузку. Ускорение кинетики набора прочности позволит повысить надежность материала из эмульсионно-минеральной смеси на начальном этапе эксплуатации и, как следствие, увеличить долговечность материала слоя.

В настоящее время отсутствует методика проектирования составов эмульсионно-минеральных смесей, учитывающая период формирования структуры материала конструктивного слоя (достижения нормативных физико-механических свойств), и оценки его эксплуатационной долговечности. Влияние дополнительных компонентов дорожных эмульсионно-минеральных смесей (осадка фильтрационного, циклогексанона, эмульсии на основе этерифицированного касторового масла) из местного сырья изучено недостаточно, хотя их введение может существенно ускорить кинетику роста прочности и повысить долговечность конструктивных слоев из эмульсионно-минеральных смесей. В этой связи предлагаемое исследование, направленное на получение эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным набором нормируемой прочности материала, является актуальным.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планом НИОКР Департамента «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь: тема 10.389.3.2007 (ГР № 20071425) «Исследование, совершенствование составов, технологии получения и применения эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным сроком формирования» в период 2007-2008 гг., тема 10.474.2.2009 (ГР № 20090803) «Исследование свойств и разработка технологии получения и применения структурированных волокнистыми добавками эмульсионно-минеральных смесей» в период 2009-2010 гг.

Цель и задачи исследования. Цель работы – получение и применение дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным набором прочности при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд.

Задачи исследований:

1. Установить экспериментальным путем закономерности влияния добавок из местного сырья на кинетику роста прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей с целью определения наиболее эффективных добавок и их оптимальной дозировки с позиции сокращения периода набора нормируемой прочности и увеличения долговечности материала слоя дорожной одежды.

2. Разработать методику проектирования составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающую соотношение гранитных, кварцевых и доломитовых материалов, входящих в минеральную часть, и включающую определение эффективности добавок, ускоряющих набор прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, а также расчетного срока службы дорожных покрытий из данных смесей.

3. Исследовать свойства добавок из местного сырья для ускорения набора прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, определить их оптимальную дозировку, разработать способы приготовления эмульсионно-минеральных смесей с предлагаемыми добавками, изучить физико-механические свойства данных материалов и провести производственную апробацию результатов исследований.

4. Определить технико-экономические показатели дорожных эмульсионно-минеральных смесей с предлагаемыми добавками и разработать технические условия на их применение.

Объектом исследований являются дорожно-строительные материалы из

эмульсионно-минеральных смесей.

Предметом исследований являются физико-механические и эксплуатационные свойства дорожно-строительных материалов с ускоренным набором прочности из эмульсионно-минеральных смесей.

Рабочая гипотеза. Набор прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей можно укорить путем интенсификации адгезионных и когезионных процессов их структурообразования, протекающих на границе раздела фаз в системе «битум – минеральный материал».

Научную новизну и значимость полученных результатов составляют:

- новые научно обоснованные данные, развивающие представление о кинетике роста прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей при введении предложенных к использованию добавок, влияющих на адгезионные и когезионные процессы структурообразования. Это обеспечило двух- и более кратное (с 14 до 3-7 суток) сокращение периода набора нормативной прочности материала слоя покрытий, повышение прочности на сжатие на 16 %-19 %, водостойкости – на 11 %-26 %, увеличение срока службы покрытий на автомобильных дорогах IV-VI категорий на 0,5-2,9 года;

- установленные закономерности влияния добавок из местного сырья (осадка фильтрационного, циклогексанона, эмульсии на основе этерифицированного касторового масла) на кинетику роста прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, позволяющие прогнозировать период набора нормативной прочности материала конструктивного слоя;

- методика подбора составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающая соотношение гранитных, кварцевых и доломитовых материалов, входящих в минеральную часть, и включающая определение эффективности добавок, ускоряющих набор прочности, а также расчет срока службы дорожных покрытий, что позволяет подбирать составы эмульсионно-минеральных смесей с повышенными прочностными характеристиками, определять оптимальный расход добавок для ускорения кинетики роста прочности материала, назначать область применения дорожных покрытий из таких материалов;

- составы эмульсионно-минеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорожных одежд с сокращенным не менее чем в два раза периодом набора нормативной прочности.

Положения, выносимые на защиту:

- экспериментально выявленные закономерности влияния добавок из местного сырья на кинетику роста прочности дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, позволившие установить (по критерию темпа

прироста прочности и критерию прогнозируемой усталостной повреждаемости) оптимальные расходы предложенных добавок (сверх массы минеральной части): для циклогексанона – 0,2 %, осадка фильтрационного – 2 %, эмульсии на основе этерифицированного касторового масла – 4 %, соответственно;

- методика подбора составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающая соотношение кварцевых, гранитных и доломитовых материалов минеральной части и включающая определение оптимального расхода добавок для ускорения кинетики роста прочности и увеличения срока службы дорожных покрытий, позволяющая подбирать составы эмульсионно-минеральных смесей с повышенными прочностными характеристиками, прогнозировать период набора нормируемой прочности дорожно-строительных материалов из данных смесей, определять расход добавок и область применения материалов их таких смесей при устройстве дорожных одежд;

- составы эмульсионно-минеральных смесей с добавками из местного сырья в оптимальных дозировках, дорожно-строительные материалы из которых обладают сокращенным с 14 до 3-7 суток периодом набора нормируемой прочности, увеличенным на 0,5-2,9 года расчетным сроком службы в дорожном покрытии и улучшенными физико-механическими свойствами: прочность на сжатие увеличивается на 16 %-19 %, водостойкость – на 11 %-26 %, что позволит отказаться от импорта зарубежных добавок, сократить затраты на производство эмульсионно-минеральных смесей;

- систематизированные по способу реализации методы интенсификации процессов структурообразования дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, что позволит целенаправленно и обоснованно выбирать способ улучшения и ускорения становления их физико-механических и эксплуатационных свойств;

- результаты производственной апробации предложенных методик и составов эмульсионно-минеральных смесей, подтверждающие их эффективность.

Личный вклад соискателя. Диссертация представляет собой самостоятельный труд соискателя. Основные положения, выносимые на защиту, результаты теоретических и экспериментальных исследований получены автором при консультации научного руководителя – кандидата технических наук, доцента С.Е. Кравченко.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы представлены в виде докладов и сообщений на научных собраниях: республиканской научно-технической конференции молодых ученых, посвященной 45-летию образования Белорусского дорожного научно-исследовательского ин-

ститута «БелдорНИИ» (г. Минск, 22-23 ноября 2007 г.); юбилейной научно-технической конференции «80 лет Белорусской дорожной науке» (г. Минск, 30-31 октября 2008 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Белорусского национального технического университета (г. Минск, 21-22 октября 2010 г.); научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Автомобильные дороги – дороги в будущее» (г. Минск, 10 марта 2011 г.); International Symposium on Asphalt Emulsion Technology 2012 (Arlington, Virginia, USA, Oct. 10-12, 2012); научно-технической конференции, посвященной 50-летию Белорусского дорожного научно-исследовательского института «БелдорНИИ» (г. Минск, 25-26 октября 2012 г.); научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов Белорусского национального технического университета (г. Минск, 2012, 2014, 2015 гг.).

Опубликованность результатов диссертации.

По результатам выполненных исследований опубликовано 23 работы, из них: 10 статей в рецензируемых научных журналах (объемом 4,1 а. л.), 9 материалов и тезисов докладов на международных и республиканских конференциях, 2 патента на изобретение (1 заявка на рассмотрении), 1 технический нормативный правовой акт. Без соавторов опубликовано 5 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем работы составляет 160 страниц и включает: 122 страницы машинописного текста, 35 рисунков, 26 таблиц, 4 приложения. Библиографический список включает 197 наименований, из которых 23 авторские работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность представленной работы.

Первая глава содержит обзор и анализ литературных источников, посвященных развитию и современному состоянию способов получения дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей (далее – смесей). Отмечено, что теоретические и экспериментальные исследования, направленные на улучшение свойств смесей, в различные годы выполняли многие исследователи: Н.И. Евсиков, Э.А. Казарновская, И.Н. Петухов, И.А. Плотникова, Э.М. Рвачева, В.Д. Ставицкий, Б.М. Хавкин, В. Eckmann, D. Lesueur, J.-J. Potti, J.-P. Serfass и другие. В их работах глубоко и всесторонне отражены теоретиче-

ские положения физико-химических процессов формирования структуры дорожно-строительных материалов при взаимодействии основных компонентов смесей, предложены различные способы улучшения физико-механических свойств материалов. Отмечается, что возросшие требования к несущей способности конструктивных слоев дорожных одежд из смесей наиболее эффективно обеспечиваются за счет улучшения физико-механических показателей и сокращения периода времени, необходимого для достижения ими соответствующих нормативных значений, означающих фактическую способность материала слоя выдерживать проектную транспортную нагрузку. Однако в настоящее время процедура подбора составов смесей трудоемка и не учитывает минералогический состав минеральной части; отсутствует метод расчета срока службы дорожных покрытий из смесей; нет общепризнанной аналитической зависимости, описывающей процесс формирования структуры материалов из смесей с позиции изменения нормируемых показателей, а существующие не аргументированы и трудоемки; не систематизированы способы регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств. Кроме того, в недостаточной степени изучено влияние добавок из местного сырья на свойства смесей, отсутствуют методы и критерии оценки эффективности добавок, ускоряющих кинетику набора прочности материалов из смесей. Как следствие, такие дорожно-строительные материалы обладают довольно продолжительным периодом набора нормативной прочности, а местные сырьевые ресурсы используются не в полной мере.

На основании изложенного сформулированы цель и задачи настоящего исследования, заключающиеся в разработке методики подбора оптимальных составов дорожно-строительных материалов из смесей с ускоренным набором нормативной прочности при использовании добавок из местного сырья и способов получения и применения таких смесей для устройства дорожных покрытий. Основными практическими результатами исследования будут являться: возможность подбора составов смесей с учетом соотношения кварцевых, гранитных и доломитовых материалов минеральной части и определения эффективности добавок для ускорения кинетики роста прочности материалов и расчетного срока службы покрытий из смесей, а также составы смесей с добавками для устройства слоев дорожных одежд, обладающие сокращенным периодом набора нормативной прочности и высокими эксплуатационными свойствами.

Во второй главе рассмотрены вопросы структурообразования материалов из смесей, относящихся к композиционным строительным материалам с коагуляционно-конденсационной структурой. В соответствии с основными концепциями искусственных строительных конгломератов, формирование структуры в

эмульсионно-минеральной системе происходит вследствие физико-химического взаимодействия между органическим вяжущим (глобулами битумной эмульсии) и твердофазными компонентами (минеральным материалом). При рассмотрении структурообразования материалов из смесей с точки зрения физико-химической механики коллоидно-дисперсных систем была сформулирована рабочая гипотеза исследования: *поскольку процесс набора прочности материалов слоев дорожных одежд из эмульсионно-минеральных смесей является длительным, то для его ускорения необходимо интенсифицировать адгезионные и когезионные процессы структурообразования, протекающие на границе раздела фаз в системе «битум – минеральный материал», путем использования специальных добавок, обеспечивающих увеличение числа межфазных контактов в битумо-минеральной системе или временно уменьшающих вязкость битума в смеси.*

На основании анализа первоисточников и теоретических исследований способы интенсификации процессов структурообразования материалов из смесей систематизированы по принципу их реализации на: внешнее воздействие, активацию, оптимизацию состава, нагревание, регулирование вязкости, введение регулирующих добавок. Предложена классификация добавок в смеси по их функциональному назначению на: повышающие прочность, водостойкость, долговечность, ускоряющие процесс структурообразования, технологические модификаторы. На основании вышеизложенного были выбраны местные материалы в качестве новых добавок, ускоряющих набор прочности. Изложены теоретические предпосылки ускорения кинетики роста прочности материалов из смесей при использовании известных и новых добавок.

Уплотняющие добавки импортного производства предназначены для удаления водных капиллярных пленок, имеющих на минеральном материале до смешения с битумной эмульсией и препятствующих осаждению глобул битума на минеральной поверхности. Уплотняющие добавки представляют собой ПАВ на основе спиртов, снижающих поверхностное натяжение указанных водных капиллярных пленок, что способствует более быстрому взаимодействию глобул битума с минеральной поверхностью (увеличению числа межфазных контактов) и тем самым ускоряет распад битумной эмульсии и набор прочности материала из смеси.

Для снижения вязкости глобул битума использован циклогексанон, который, благодаря своей полной растворимости в углеводородах и частичной растворимости в воде, будет выступать в качестве коалесцента эмульсии битума. Циклогексанон по мере испарения воды из смеси будет действовать как временный пластификатор, что приведет к ускорению коалесценции битумной

пленки в начальный период и, как следствие, сокращению периода достижения нормируемой прочности материала из смесей.

Увеличить число межфазных контактов можно за счет увеличения удельной поверхности взаимодействия и модификации (активации) исходных компонентов смеси. Поэтому для ускорения кинетики роста прочности были выбраны тонкодисперсные материалы с высокой удельной площадью поверхности – осадок фильтрационный, образующийся в процессе свеклосахарного производства, и известь, в качестве активатора – эмульсия на основе этерифицированного касторового масла (ЭКМ).

Благодаря большой удельной поверхности осадка фильтрационного и наличию ионов щелочноземельных металлов кальция и магния, при его взаимодействии с битумной эмульсией следует ожидать ускорения адсорбции ПАВ эмульгатора. При этом битум будет переходить в состояние диффузно-сольватированных оболочек (структурированное состояние). Это сократит период достижения нормируемой прочности, снизит водонасыщение, повысит водостойкость и долговечность слоев дорожных одежд из смесей. Известь действует аналогичным образом.

Способ получения смесей с использованием ЭКМ состоит из двух стадий. На предварительной стадии минеральный материал обрабатывается ЭКМ с оптимальным расходом в смесителе с принудительным перемешиванием в течение 1-2 мин при температуре 220 °С-250 °С. В результате чего ЭКМ полимеризуется и на минеральной поверхности образуется пленка из термически устойчивых аминоксодержащих ПАВ и алкидных соединений. После этого обработанная минеральная часть должна остыть до температуры окружающей среды, затем она подается в смеситель для получения смеси по традиционной комплексной схеме. Количество активных центров для взаимодействия минеральных материалов с битумом (смешиваемых в холодном состоянии) увеличивается благодаря наличию ПАВ и эфирных групп, также обеспечивается высокая смачиваемость и адгезия. Обработка минеральной части ЭКМ позволяет минимизировать количество воды в смеси (отказаться от воды предварительного увлажнения), таким образом ускоряются процессы адсорбции и коалесценции, в результате чего следует ожидать увеличения начальной прочности материалов из смесей, повышения их водостойкости и долговечности.

Таким образом, применение в смесях указанных добавок из местного сырья позволит увеличить число межфазных контактов на границе «битум – минеральный материал» за счет увеличения удельной поверхности взаимодействия или

активации минеральной поверхности или временно понизит вязкость глобул битума, что в результате ускорит кинетику роста прочности материалов.

В третьей главе изложена программа экспериментальных исследований, описаны использованные материалы и методики исследований. Все материалы, использованные для получения смесей, отвечают требованиям соответствующих технических нормативных правовых актов (ТНПА). В качестве минеральных материалов применялись песок природный по ГОСТ 8736, щебень гранитный – по ГОСТ 8267. Во всех случаях использовалась медленнораспадающаяся катионная битумная эмульсия ЭБДК-М-60 согласно СТБ 1245. В качестве новых добавок, ускоряющих кинетику роста прочности, применялись: циклогексанон по ГОСТ 24615 (производства ОАО «Гродно Азот») – в качестве коалесцента для временного снижения вязкости битума; эмульсия на основе этерифицированного касторового масла по ТУ ВУ 191282399.006 (отход производства ОАО «БМЗ») – в качестве активатора минеральной поверхности; осадок фильтрационный по ТУ РБ 37602662.630 (отход свеклосахарного производства, ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат») – в качестве тонкодисперсного наполнителя с большой удельной поверхностью.

Приведены результаты статистической обработки и корреляционного анализа данных, полученных в ходе выполнения исследований. Экспериментальные исследования физико-механических и реологических свойств материалов из смесей проводили по стандартным (общепринятым) и разработанным методикам.

Подбор состава смесей, определение эффективности добавок для ускорения кинетики набора прочности материалов на их основе выполнялись по разработанным автором методикам.

Методика подбора составов смесей. На основании анализа отечественных и зарубежных методик, проведенных научно-исследовательских работ разработана методика подбора составов смесей с добавками для ускорения набора прочности, учитывающая соотношение гранитных, кварцевых и доломитовых материалов, входящих в минеральную часть и включающая определение оптимального расхода таких добавок (по критерию темпа прироста прочности), а также определение расчетного срока службы дорожного покрытия из данных смесей (по критерию усталостной повреждаемости).

При определении количества битумной эмульсии предложено использовать новый параметр – *модуль содержания эмульсии* в смеси (аналогично модулю содержания битума), который характеризует процентное содержание вяжущего в минеральной смеси, имеющей удельную поверхность $1 \text{ м}^2/\text{кг}$. Значение модуля определяется толщиной битумной пленки на удельной поверхности стандартных

фракций в зависимости от природы каменного материала. Анализ экспериментальных и производственных данных, полученных в процессе подбора составов смесей, позволил определить оптимальный диапазон модуля содержания эмульсии в смеси, составляющий 0,9-1,1. Нижней границы следует придерживаться в случае большого содержания частиц крупнее 5 мм и использования отсева дробления горных пород, верхней границы – при малом содержании частиц крупнее 5 мм и использовании песка природного.

В основу *оценки эффективности добавок для ускорения набора прочности материалов из смесей* заложено сравнение *закономерностей формирования их структуры*, описываемых кинетикой роста прочности контрольного (не содержащего добавки) и основного (с добавкой) составов. Данные закономерности позволяют различить вклад характерных процессов (адгезионных и когезионных) в формирование структуры материалов из смесей, описываемое кинетикой роста их прочности. Критерий эффективности для добавок адгезионного типа действия – повышение прочности на сжатие материала из смеси на 15 % и более в возрасте 1 суток в сравнении с контрольным составом; добавок когезионного типа действия – ускорение набора прочности на сжатие материала из смеси на 15 % и более в сравнении с контрольным составом за период 14 суток.

Оптимальный расход добавки – минимальное количество добавки, при котором выполняется критерий эффективности по адгезионному и/или когезионному механизму. Окончательный расход добавки определяется на основании данных о расчетном сроке службы материала из смеси с данным расходом добавки.

Для снижения трудоемкости определения эффективности добавок, ускоряющих процесс структурообразования, разработана аналогичная методика с использованием неразрушающего динамического импульса. При этом критерии эффективности и оптимальный расход добавок определяются на основании сравнения *закономерностей формирования структуры материалов из смесей*, описываемых кинетикой роста динамического модуля упругости контрольного (не содержащего добавки) и основного (с добавкой) составов.

Расчет срока службы дорожных покрытий из смеси выполнялся на основании величины прогнозируемой усталостной повреждаемости, определяемой при испытании образцов материала по схеме циклического одноосного сжатия. Сущность метода заключается в определении усталостной повреждаемости по оценке изменения высоты образца под воздействием импульсной нагрузки, действующей параллельно его вертикальной оси, при температуре 40 °С и последующем анализе (с помощью программного обеспечения) соотношения упругой и пластической деформаций. Далее на основании полученных значений прогнозируемой

усталостной повреждаемости определяется расчетный срок службы материала покрытия из смесей.

В четвертой главе диссертации приведены результаты исследований материалов с ускоренным набором прочности при использовании добавок из местного сырья.

Разработка составов смесей и исследование свойств материалов с ускоренным набором прочности и высокими эксплуатационными свойствами. В соответствии с разработанной методикой подобран контрольный состав смеси (№ 1) с минеральной частью из песка природного и щебня гранитного фр. 5-10 мм. Экспериментальные составы основных смесей (№ 2-12 по таблице 1) определены с использованием стандартных (общепринятых) методик на основании аналитических данных и с учетом способа приготовления по комплексной схеме, т. е. последовательного в порядке перечисления перемешивания щебня и песка, воды предварительного увлажнения, битумной эмульсии.

Таблица 1. – Описание и условное обозначение основных составов смесей

Условное обозначение состава	Добавка	Расход сверх массы минеральной части, %	Способ введения добавки
2	Аминопропионовая кислота в растворе моноэтиленгликоля*	0,01	в готовую эмульсию
3**	ЭКМ	4	на минеральную часть
4		4	
5	Циклогексанон	0,1	в готовую эмульсию
6		0,15	
7		0,2	
8	Известь гашеная	2	на минеральную часть перед водой предварительного увлажнения
9		4	
10		2	
11	Осадок фильтрационный	4	
12		6	

* Уплотняющая добавка по СТБ 2413 (ПАВ зарубежного производства).
 ** Состав не содержит воду предварительного увлажнения.

С использованием стандартных методик определены физико-механические свойства материалов из смесей контрольного и основных составов, которые частично представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Физико-механические свойства материалов из смесей

Условное обозначение состава	Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	Условное обозначение состава	Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении
1	1,61	0,70	7	1,44	0,77
2	1,70	0,73	8	2,21	0,81
3	1,86	0,87	9	2,42	0,84
4	1,67	0,90	10	1,63	0,84
5	1,88	0,78	11	1,92	0,88
6	2,09	0,78	12	2,05	0,78
Требования ТНПА	Не менее 1,0	Не менее 0,5	Требования ТНПА	Не менее 1,0	Не менее 0,5

Таким образом, разработанная методика подбора составов смесей, учитывающая соотношение гранитных, кварцевых и доломитовых материалов, входящих в минеральную часть, позволяет разрабатывать составы дорожно-строительных материалов с высокими физико-механическими свойствами путем использования модуля содержания эмульсии.

Далее по экспериментально установленным закономерностям кинетики роста прочности материалов из смесей (рисунки 1 и 2) рассчитаны критерии эффективности использованных добавок (таблица 3).

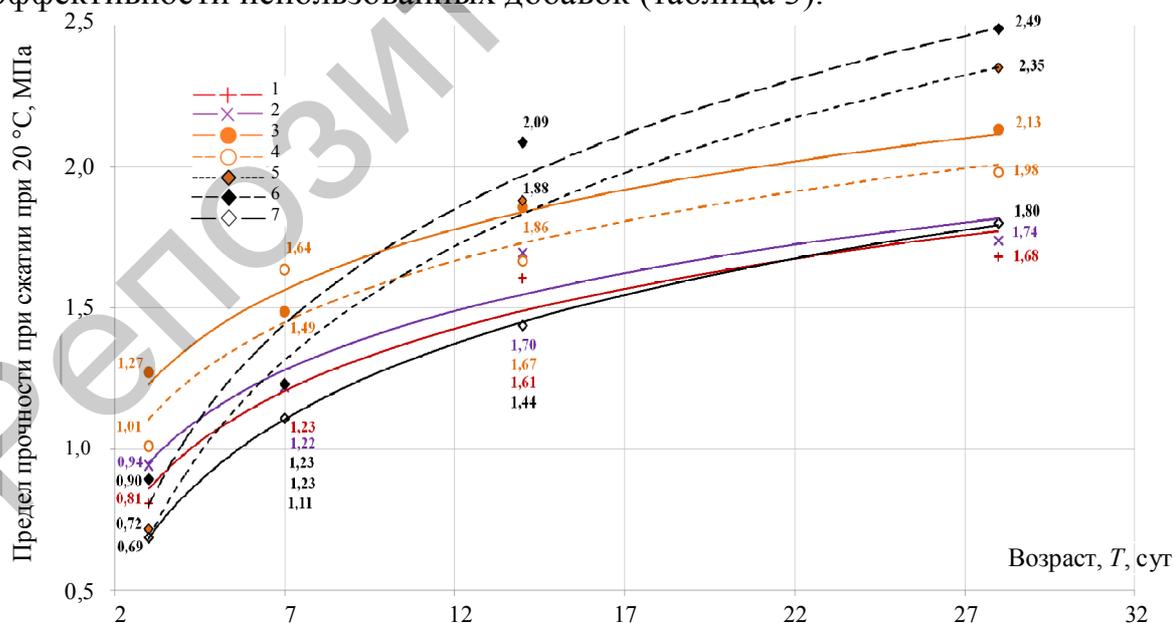


Рисунок 1. – Предел прочности при сжатии при 20 °С материалов из смесей (составы № 1-7) в различном возрасте

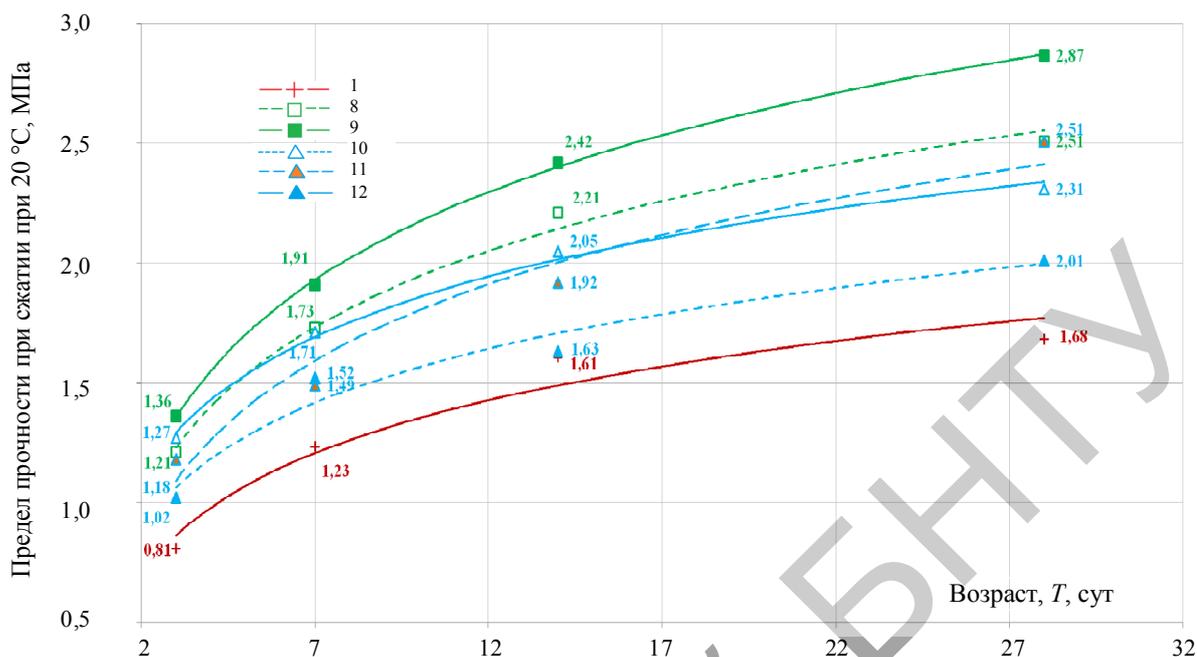


Рисунок 2. – Предел прочности при сжатии при 20 °С материалов из смесей (составы № 1, 8-12) в различном возрасте

Таблица 3. – Критерии эффективности добавок, ускоряющих набор прочности материалов из смесей

Условное обозначение состава	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta a, \%$	26	92	61	–	–	–	39	46	45	6	88
$\Delta c, \%$	–	–	–	83	85	21	46	67	3	45	15

Анализ эффективности добавок показал, что экспериментальные данные подтверждают теоретически обоснованные механизмы ускорения кинетики роста прочности материалов из смесей при использовании соответствующих добавок: адгезионный (Δa) – при использовании ЭКМ, осадка фильтрационного, извести, уплотняющей добавки (увеличение числа межфазных контактов на границе «битум – минеральный материал») и когезионный (Δc) – при использовании циклогексанона, временно понижающего вязкость битума. Также подтвердилось положение о влиянии общего количества воды на кинетику роста прочности материалов, поскольку при одинаковом расходе ЭКМ нормируемая прочность материала из смеси без воды предварительного увлажнения (№ 3) достигается быстрее в сравнении с материалом, ее содержащим (№ 4).

В результате проведенных экспериментов установлено, что оптимальными расходами добавок (сверх массы минеральной части) являются: для уплот-

няющей добавки – 0,01 %, извести – 2 %, ЭКМ – 4 %, циклогексанона – 1 %, осадка фильтрационного – 2 %. Новые добавки из местного сырья: ЭКМ, циклогексанон и осадок фильтрационный позволяют сократить период времени набора нормативной прочности материалов из смесей с 14 до 3, 7 и 3 суток, соответственно.

Расчет срока службы покрытий из смесей по критерию усталостной повреждаемости. В соответствии с разработанной методикой были определены значения прогнозируемой усталостной повреждаемости материалов из смесей (таблица 4).

Таблица 4. – Прогнозируемая усталостная повреждаемость, D_n , материалов из смесей

Условное обозначение состава	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D_n , %/год	6,9	6,1	5,6	5,7	6,5	6,5	6,1	5,4	6,6	5,6	5,7	5,8

Данные таблицы 4 показывают, что все добавки, ускоряющие кинетику набора прочности материала, повлияли на величину критерия усталостной повреждаемости в сторону ее уменьшения, т. е. приводят к увеличению расчетного срока службы материалов из смесей. Это связано с их положительным влиянием на взаимодействие битумного вяжущего и минеральной поверхности на границе раздела фаз смесей основных составов, а также на процесс перехода вяжущего в структурированное состояние. При этом при оптимальных дозировках добавок с позиции сокращения периода набора нормативной прочности наблюдается увеличение расчетного срока службы дорожных покрытий на автомобильных дорогах IV-VI категорий, определенного по критерию усталостной повреждаемости: для уплотняющей добавки на 0,5–1,7 года, ЭКМ – на 1,7–2,9 года, извести – на 2,3–3,5 года, осадка фильтрационного – на 1,7–2,9 года. Для составов с добавкой циклогексанона прогнозируемая усталостная повреждаемость минимальна для состава № 7, т. е. оптимальной дозировкой следует признать 0,2 % циклогексанона сверх массы минеральной части смеси. При этом в сравнении с контрольным составом наблюдается увеличение расчетного срока службы дорожного покрытия из смеси с добавкой циклогексанона на 0,5–1,6 года.

В пятой главе представлены способы получения смесей с предложенными добавками для ускорения набора прочности. Приведены результаты практической реализации результатов исследований и оценка их экономической эффективности.

Результаты исследований в виде разработанных составов и способов получения смесей с ускоренным набором прочности, улучшенными физико-механическими свойствами и повышенной долговечностью внедрены в КУП «Брестоблдорстрой» и КУП «Минскоблдорстрой».

На основании результатов исследований для производственной апробации наиболее целесообразным признан состав смеси с осадком фильтрационным. Приведены результаты опытно-промышленной апробации смеси с его использованием. Свойства материала из смеси с осадком фильтрационным, полученного в производственных условиях, подтверждают результаты лабораторных исследований. Приведены результаты инструментального обследования опытного участка после 5-летнего периода эксплуатации. Отмечается, что участок находится в хорошем состоянии. С участием автора разработаны ТУ ВУ 600013398.004 «Смеси эмульсионно-минеральные с ускоренным формированием структуры». Предложенные составы смесей защищены патентами Республики Беларусь. Выполненный расчет показал, что при производстве смесей с ускоренным набором прочности материала при использовании в качестве добавок осадка фильтрационного и ЭКМ вместо добавки импортного производства достигается экономический эффект. Соответствующие акты и справки приведены в диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Получен дорожно-строительный материал с ускоренным набором прочности из эмульсионно-минеральных смесей с использованием новых добавок из местного сырья: осадка фильтрационного (ОАО «Слущкий сахарорафинадный комбинат»), эмульсии на основе этерифицированного касторового масла (отход производства ОАО «БМЗ») и циклогексанона (ОАО «Гродно Азот»), – применение которого позволяет сократить период от укладки в конструкцию дороги до достижения нормативного значения прочности и начала эксплуатации в 2 и более раза, повысить срок службы покрытий автомобильных дорог IV-VI категорий на 0,5-2,9 года /1–23/.

2. Получены новые результаты экспериментального обоснования закономерностей изменения кинетики роста прочности материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей при введении предлагаемых добавок, которые влияют на адгезионные и когезионные процессы структурообразования таких материалов. Введение при оптимальном расходе добавки эмульсии на основе этерифицированного касторового масла в качестве активатора (в дозировке 4 %

сверх массы минеральной части), циклогексанона в качестве коалесцента (в дозировке 0,2 % сверх массы минеральной части), осадка фильтрационного в качестве тонкодисперсного наполнителя (в дозировке 2 % сверх массы минеральной части) позволяет достичь нормативного значения прочности материалов за сокращенный период (3-7 суток), и при этом значения их физико-механических показателей в нормативном возрасте (14 суток) превосходят показатели состава без добавок: увеличение прочности на сжатие составляет 16 %-19 %, водостойкости – 11 %-26 % /4, 14, 16, 18, 20, 21, 22/.

3. Разработана, экспериментально обоснована и апробирована методика проектирования составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей с учетом соотношения гранитных, кварцевых и доломитовых материалов, входящих в минеральную часть, позволяющая определять оптимальный расход предложенных добавок по критерию прироста прочности, рассчитывать срок службы конструктивных слоев дорожных одежд, устраиваемых из таких смесей, на основе критерия прогнозируемой усталостной повреждаемости. Она позволяет снизить трудоемкость процесса подбора составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, прогнозировать период набора нормируемой прочности материалов из таких смесей, определять оптимальный расход добавок, ускоряющих кинетику роста прочности, назначать область применения таких смесей при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд на основании оценки эксплуатационной долговечности по величине прогнозируемой усталостной повреждаемости /2, 3, 6, 8, 13, 15, 23/.

4. Систематизированы по способу реализации методы интенсификации процессов структурообразования дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, предложена классификация добавок в смеси по их функциональному назначению, критерии оценки эффективности добавок, ускоряющих кинетику роста прочности, и методики их определения, что позволит целенаправленно выбирать добавки, определять их оптимальную дозировку, тем самым регулировать свойства дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей /1, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 18, 19/.

5. Производственная апробация новых составов дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным набором прочности при использовании осадка фильтрационного или эмульсии на основе этерифицированного касторового масла показала их высокую экономичность, выраженную величиной планового экономического эффекта, составляющего 9,73 руб./т и 5,76 руб./т, соответственно, в сравнении со смесью, содержащей импортную добавку аналогичного целевого назначения /8/.

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. К использованию дорожно-строительными предприятиями рекомендуются составы дорожно-строительных материалов с ускоренным набором нормативной прочности из эмульсионно-минеральных смесей, защищенные авторскими свидетельствами /20, 21, 22/, что расширяет номенклатуру и возможности применения смесей при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог и позволяет отказаться от импортных добавок аналогичного целевого назначения.

2. К использованию исследовательскими организациями и технологическими службами дорожно-строительных предприятий рекомендуются систематизированные методы интенсификации процессов структурообразования дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей, предложенная классификация добавок в смеси, разработанные методики проектирования составов смесей, определения эффективности добавок, ускоряющих кинетику роста прочности, и расчета срока службы покрытий /7, 9, 19/.

3. К использованию проектными и научными предприятиями дорожного хозяйства Республики Беларусь рекомендуются разработанные с участием автора ТУ ВУ 600013398.004 «Смеси эмульсионно-минеральные с ускоренным формированием структуры» при разработке (переработке) соответствующих ТНПА /7, 9, 18, 23/.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях

1. Жуковин, М.Г. Применение эмульсионно-минеральных смесей для устройства дорожных покрытий / М.Г. Жуковин, П.В. Вавилов // Автомобильные дороги и мосты. – 2009. – № 1. – С. 38–41.

2. Вавилов, П.В. К вопросу о формировании структуры дорожных бетонов на основе эмульсионно-минеральных смесей / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 1. – С. 45–50.

3. Вавилов, П.В. Новые подходы при подборе составов дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2. – С. 39–48.

4. Вавилов, П.В. Дорожные бетоны из эмульсионно-минеральных смесей с модифицирующими добавками. Оценка и прогнозирование срока их формирова-

ния / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2011. – № 2. – С. 58–68.

5. Вавилов, П.В. К вопросу об оценке устойчивости дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей к образованию колеи / П.В. Вавилов // Автомобильные дороги и мосты. – 2012. – № 2. – С. 40–43.

6. Кравченко, С.Е. Лабораторная оценка и прогнозирование срока службы дорожных покрытий из эмульсионно-минеральных смесей на местных материалах по критерию усталостной повреждаемости / С.Е. Кравченко, П.В. Вавилов, А.Е. Голятин // Автомобильные дороги и мосты. – 2013. – № 1. – С. 29–33.

7. Вавилов, П.В. К вопросу о необходимости внесения изменений в нормативные требования к эмульсионно-минеральным смесям для устройства несущих слоев дорожных одежд / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко, Н.В. Радьков // Автомобильные дороги и мосты. – 2013. – № 2. – С. 80–85.

8. Кравченко, С.Е. Критерий усталостной повреждаемости для прогнозирования долговечности холодных асфальтобетонов из эмульсионно-минеральных смесей / С.Е. Кравченко, П.В. Вавилов // Автомобильные дороги и мосты. – 2014. – № 1. – С. 54–60.

9. Вавилов, П.В. Классификация и критерии эффективности применения добавок в эмульсионно-минеральных смесях / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко // Вестник ПГУ. – 2015. – № 8. – С. 103–108.

10. Вавилов, П.В. Аналитическая зависимость для оценки кинетики роста прочности во времени конструктивных слоев из дорожных эмульсионно-минеральных смесей с добавками / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2016. – № 2. – С. 62–66.

Тезисы докладов и материалы конференций

11. Жуковин, М.Г. Эмульсионно-минеральные смеси с ускоренным сроком формирования / М.Г. Жуковин, П.В. Вавилов // Энерго- и ресурсосберегающие технологии при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и мостов : тезисы докладов республиканской научно-технической конференции молодых ученых, посвященной 45-летию образования Белорусского дорожного научно-исследовательского института «БелдорНИИ», Минск, 22–23 ноября 2007 г. / БелдорНИИ. – 2007. – С. 14.

12. Вавилов, П.В. Эмульсионно-минеральные смеси для конструктивных слоев с ускоренным сроком формирования / П.В. Вавилов, М.Г. Жуковин //

80 лет Белорусской дорожной науке : тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции, Минск, 30–31 октября 2008 г. / БелдорНИИ. – 2008. – 367 с.

13. Кравченко, С.Е. К вопросу о методике подбора состава эмульсионно-минеральных смесей, оценки свойств и прогнозировании сроков формирования дорожного бетона на их основе / С.Е. Кравченко, П.В. Вавилов // Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и подземных сооружений : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Белорусского национального технического университета, Минск, 21–22 октября 2010 г. / БНТУ. – 2010. – С. 76–84.

14. Вавилов, П.В. Прогнозирование формирования дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей. Возможные подходы, критерии и методы / П.В. Вавилов, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги – дороги в будущее : тезисы докладов республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 10 марта 2011 г. / БелдорНИИ. – 2011. – С. 16–19.

15. Вавилов, П.В. К вопросу об усталостной повреждаемости дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей / П.В. Вавилов // 65-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов Белорусского национального технического университета : материалы конференции (секция «Строительство автомобильных дорог»), Минск, 17–18 мая 2012 г. / БНТУ. – 2012. – С. 82.

16. Vavilov, P. The Cold Asphalt Emulsion Mixes with Modifying Additives, Evaluation and Forecasting of the Curing Time / P. Vavilov, S. Kravchenko // International Symposium on Asphalt Emulsion Technology 2012, USA, Virginia, Arlington, 10–12 October 2012 / ISAET. – 2012.

17. Вавилов, П.В. Лабораторная оценка устойчивости к образованию колеи дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей с модифицирующими добавками / П.В. Вавилов // Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений : материалы научно-технической конференции, посвященной 50-летию республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», Минск, 25–26 октября 2012 г. / БелдорНИИ. – 2012. – С. 41–43.

18. Вавилов, П.В. Холодный асфальтобетон из эмульсионно-минеральной смеси с адгезивом / П.В. Вавилов // 67-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов Белорусского национального технического университета : материалы

конференции (секция «Строительство автомобильных дорог»), Минск, 3–4 апреля 2014 г. / БНТУ. – 2014. – С. 145.

19. Вавилов, П.В. Классификация способов регулирования формирования структуры эмульсионно-минеральных смесей / П.В. Вавилов // 68-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов Белорусского национального технического университета : материалы конференции (секция «Строительство автомобильных дорог»), Минск, 23 апреля 2015 г. / БНТУ. – 2015. – С. 109–110.

Патенты и технические условия

20. Смесь эмульсионно-минеральная : пат. 17577 Респ. Беларусь : МПК С04В 26/26, С08L 95/00 / Кравченко С.Е., Вавилов П.В. ; заявитель БНТУ. – № а20111537 ; заявл. 17.11.2011 ; опубл. 30.10.2013, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5 . – С. 101.

21. Эмульсионно-минеральная смесь: пат. 20703 Респ. Беларусь : МПК С04В 26/26, С08L 95/00 / Вавилов П.В., Асташко В.В. ; заявитель республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ». – № а20130754 ; заявл. 14.06.2013 ; опубл. 30.12.2016, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 6 . – С. 86.

22. Смесь эмульсионно-минеральная с адгезивом : заявка № а20130753 Респ. Беларусь : МПК С 08L 95/00 С 04В 26/26 / Вавилов П.В., Асташко В.В., Недолугин О.Н., Кравченко С.Е., Рыбинский А.Г., Хлебовец О.А. ; заявитель республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ» ; заявл. 14.06.2013 ; опубл. 02.28.2015, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 1. – С. 16.

23. Смеси эмульсионно-минеральные с ускоренным формированием структуры : ТУ ВУ 600013398.004-2015 / внесены в реестр государственной регистрации РУП «Стройтехнорм» № 901197 от 27.02.2015. – 2015. – 15 с.



РЭЗІЮМЭ

Вавілаў Павел Валер'евіч

Дарожна-будаўнічыя матэрыялы з паскораным наборам трываласці, атрыманыя на аснове эмульсійна-мінэральных сумесяў

Ключавыя словы: дабаўкі, даўгавечнасць, дарожныя эмульсійна-мінэральныя сумесі, крытэрыі эфектыўнасці, модуль пругкасці, паскораны набор трываласці, трываласць пры сціску, фізіка-механічныя ўласцівасці.

Мэта працы – атрыманне і ўжыванне дарожна-будаўнічых матэрыялаў з эмульсійна-мінэральных сумесяў з паскораным наборам трываласці пры ўстройванні канструктыўных слаёў дарожнага адзення.

Аб'ект даследаванняў – дарожна-будаўнічыя матэрыялы з эмульсійна-мінэральных сумесяў.

Прадмет даследаванняў – фізіка-механічныя і эксплуатацыйныя ўласцівасці дарожна-будаўнічых матэрыялаў з паскораным наборам трываласці з эмульсійна-мінэральных сумесяў (далей – сумесяў).

У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў выяўлены спосабы інтэнсіфікацыі фізіка-хімічных працэсаў, што праходзяць у матэрыялах з сумесяў, распрацаваны класіфікацыя дабавак у сумесі па функцыянальным прызначэнні і класіфікацыя тэхнічных спосабаў паскарэння структураўтварэння матэрыялаў з сумесяў. У працы скарыстаны стандартызаваныя *методыкі* даследавання фізіка-механічных і рэалагічных уласцівасцяў сумесяў, статыстычныя метады ацэнкі атрыманых вынікаў, распрацаваныя аўтарам метадыкі. Распрацавана метадыка праектавання саставаў сумесяў, што ўлічвае суадносіны кварцавых, гранітных і даламітавых матэрыялаў мінэральнай часткі, з вызначэннем аптымальнай колькасці дабавак для паскарэння набору трываласці і разлікам тэрміну службы дарожных пакрыццяў.

Распрацаваны саставы сумесяў з паскоранай кінетыкай росту трываласці да нармаванага значэння, *навізна* якіх пацверджана патэнтамі Рэспублікі Беларусь.

Выканана вытворчая апрацацыя вынікаў дысертацыйнага даследавання, якая пацвердзіла магчымасць практычнай рэалізацыі распрацаваных саставаў дарожна-будаўнічых матэрыялаў з паскораным наборам трываласці і высокімі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі *пры ўстройванні канструктыўных слаёў дарожнага адзення аўтамабільных дарог*.

РЕЗЮМЕ

Вавилов Павел Валерьевич

Дорожно-строительные материалы с ускоренным набором прочности, полученные на основе эмульсионно-минеральных смесей

Ключевые слова: добавка, долговечность, дорожные эмульсионно-минеральные смеси, модуль упругости, критерий эффективности, прочность на сжатие, ускоренный набор прочности, физико-механические свойства.

Цель работы – получение и применение дорожно-строительных материалов из эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным набором прочности при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд.

Объект исследований – дорожно-строительные материалы из эмульсионно-минеральных смесей.

Предмет исследований – физико-механические и эксплуатационные свойства дорожно-строительных материалов с ускоренным набором прочности из эмульсионно-минеральных смесей (далее – смесей).

В результате теоретических и экспериментальных исследований выявлены способы интенсификации физико-химических процессов, протекающих в материалах из смесей, разработаны классификация добавок в смеси по функциональному назначению и классификация технических способов ускорения структурообразования материалов из смесей. В работе использованы стандартизированные методики исследования физико-механических и реологических свойств смесей, статистические методы оценки получаемых результатов, разработанные автором методики. Разработана методика проектирования составов смесей, учитывающая соотношение кварцевых, гранитных и доломитовых материалов минеральной части, с определением оптимального количества добавок для ускорения набора прочности и расчетом срока службы дорожных покрытий. Разработаны составы смесей с ускоренной кинетикой роста прочности до нормируемого значения, *новизна* которых подтверждена патентами Республики Беларусь.

Выполнена производственная апробация результатов диссертационного исследования, подтвердившая возможность практической реализации разработанных составов дорожно-строительных материалов с ускоренным набором прочности и высокими эксплуатационными характеристиками *при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог.*

SUMMARY

Pavel Valer'evich Vavilau

Road-building materials with accelerated curing obtained on the basis of asphalt emulsion mixes

Key words: additive, durability accelerated curing, road asphalt emulsion mixes, modulus of elasticity, efficiency criteria, compressive strength, accelerated curing, physical-mechanical properties.

Objective – production and application of road-building materials from asphalt emulsion mixes with accelerated curing for road pavements.

Object of research – road-building materials from asphalt emulsion mixes.

Subject of research – physical-chemical and performance characteristics of road-building materials obtained on the basis of asphalt emulsion mixes (AEM) with accelerated curing.

The ways of intensification of physical and chemical processes occurring in the AEM were identified in the result of theoretical and experimental studies. The new classification of additives to AEM by functional purposes and the classification of technical ways of AEM curing acceleration were developed.

The research was prepared using standardized methodology of mechanical and rheological properties of AEM study, statistical methods for assessing the results, developed by author. There was developed the method for designing AEM, taking into account proportion of quartz, granitic and dolomite mineralogy of aggregates, with determination of the optimal amount of additives to accelerate the curing and calculation of the service life of road pavement.

The new compositions of AEM with accelerating curing were developed. Their novelty was confirmed by patents of the Republic of Belarus.

Production evaluation of thesis research results was performed, which confirmed the possibility of practical implementation of the developed technologies AEM with the accelerated curing and high performances for road pavements construction.

Научное издание

ВАВИЛОВ Павел Валерьевич

**ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
С УСКОРЕННЫМ НАБОРОМ ПРОЧНОСТИ,
ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ
ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Подписано в печать 10.01.2018.

Формат 60×84 1/16.

Уч.-изд. л. 1.0. Усл. печ. 1.39.

Тираж 100 экз. Заказ № 01.

Отпечатано в типографии республиканского дочернего унитарного предприятия
«Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»

220073, г. Минск, 4-й Загородный пер., 60.

ЛИ № 02330/443 от 4 декабря 2013 г.