

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.855.063

БАВИЛОВ

Павел Валерьевич

**ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА
ДОРОЖНЫХ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ
С УСКОРЕННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Минск, 2016

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:

Юхневский Павел Иванович,

доктор технических наук, доцент кафедры «Технология бетона и строительные материалы» Белорусского национального технического университета;

Бозылев Василий Васильевич,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительного производства Полоцкого государственного университета

Оппонирующая организация

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится 01 апреля 2016 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, главный корпус, ауд. 202. Телефон ученого секретаря +375(17) 265-95-87. E-mail: sawa1950@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «29» февраля 2016 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, доцент



П.И.Юхневский

© Вавилов П.В., 2016

© Белорусский национальный
технический университет, 2016

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 и поставлены задачи по устройству покрытий усовершенствованного типа на гравийных участках республиканских дорог и обеспечению твердым покрытием грунтовых дорог (общей протяженностью более 11 тыс. км). На основании результатов анализа мировой и отечественной дорожно-строительной практики установлено, что при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд из эмульсионно-минеральных смесей одним из наиболее эффективных направлений является сокращение периода формирования их структуры, т. е. достижения нормативных физико-механических свойств, что позволяет уменьшить экономические потери за счет более быстрого ввода в эксплуатацию покрытия и снизить негативное воздействие транспорта и погодно-климатических факторов в начальный период эксплуатации дороги. В настоящее время отсутствует методика проектирования составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающая период формирования структуры материала конструктивного слоя и оценки его эксплуатационной долговечности. Влияние дополнительных компонентов дорожных эмульсионно-минеральных смесей (тонкодисперсных добавок, активаторов, коалесценто́в) из местного сырья изучено недостаточно, хотя их введение может существенно сократить период формирования структуры и повысить долговечность конструктивных слоев из эмульсионно-минеральных смесей. В этой связи предлагаемое исследование, направленное на получение дорожных эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным формированием структуры материала, является актуальным, а использование результатов исследования позволит частично отказаться от импорта добавок такого целевого назначения.

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 – разработка усовершенствованной технологии получения дорожных эмульсионно-минеральных смесей с

добавками, ускоряющими формирование структуры материалов, и применение их при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд.

Задачи исследований:

1. Теоретически и экспериментально обосновать и разработать методики определения эффективности добавок, ускоряющих формирование структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей, а также расчетного срока службы конструктивных слоев из данных смесей.

2. Разработать методику проектирования составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающую минералогический состав их минеральной части и включающую определение оптимального расхода добавки для ускорения формирования структуры, а также долговечности дорожных покрытий из данных смесей.

3. Исследовать свойства добавок, полученных из местного сырья, ускоряющих процесс формирования структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей, и установить закономерности формирования структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей с их использованием.

4. Разработать способы приготовления дорожных эмульсионно-минеральных смесей с предлагаемыми добавками, ускоряющими формирование структуры материала, изучить физико-механические свойства данных материалов и провести производственную апробацию результатов исследований.

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

Объектом исследований являются дорожные эмульсионно-минеральные смеси на основе местных сырьевых материалов и технология их получения.

Предметом исследований являются технологические параметры получения материалов из эмульсионно-минеральных смесей с добавками для ускорения структурообразования и их физико-механические и эксплуатационные свойства.

Рабочая гипотеза. Формирование структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей можно укорить путем интенсификации адгезионных и когезионных процессов структурообразования за счет введения добавок, обеспечивающих увеличение числа межфазных контактов в битумо-минеральной системе или снижающих вязкость битума в смеси.

Научную новизну и значимость полученных результатов составляют:

- новые научно обоснованные данные, развивающие представления о структурообразовании и становлении физико-механических свойств материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей при введении новых, предложенных к использованию добавок, которые влияют на адгезионные и когезионные процессы структурообразования, протекающие на границе раздела фаз в системе «битум – минеральный материал». Это обеспечило двух- и

более кратное (с 14 до 3–7 суток) сокращение периода формирования покрытий, повышение прочности на сжатие материала на 16–19 %, водостойкости – на 11–26 %, и увеличение срока службы покрытий на автомобильных дорогах IV-VI категорий на 1,7–3,3 года;

- установленные закономерности формирования структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей с добавками, ускоряющими процессы их структурообразования, которые позволяют прогнозировать формирование структуры материалов во взаимосвязи с основными физико-механическими свойствами: прочностью на сжатие и модулем упругости;

- методика подбора составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающая минералогический состав минеральной части и включающая определение эффективности добавок, ускоряющих структурообразование, а также расчет срока службы дорожных покрытий, что позволяет подбирать составы дорожных эмульсионно-минеральных смесей с повышенными качественными характеристиками, определять оптимальный расход добавок для ускорения формирования структуры материала, назначать область применения дорожных покрытий из таких материалов;

- составы эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным формированием структуры для устройства конструктивных слоев дорожных одежд с сокращенным не менее чем в 2 раза периодом формирования.

Положения, выносимые на защиту:

- экспериментально выявленные закономерности кинетики формирования структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей с добавками для ускорения формирования их структуры, что позволяет по разработанным методикам определять эффективность добавок, ускоряющих процессы структурообразования, и период формирования структуры материалов из таких смесей;

- методика подбора составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, учитывающая минералогический состав минеральной части и включающая методики определения оптимального расхода добавок для ускорения структурообразования и срока службы дорожных покрытий, позволяющая подбирать составы дорожных эмульсионно-минеральных смесей с повышенными качественными характеристиками, прогнозировать период формирования структуры материалов из данных смесей, определять расход добавок и область применения материалов из таких смесей при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд;

- составы дорожных эмульсионно-минеральных смесей с добавками из местных материалов для ускорения формирования их структуры, обладающих сокращенным периодом формирования (с 14 до 3–7 суток) и улучшенными физико-механическими свойствами: прочность на сжатие увеличивается на 16–19 %, водостойкость – на 11–26 %, что позволит частично отказаться от

импорта зарубежных добавок, сократить затраты на производство дорожных эмульсионно-минеральных смесей, улучшить технологические параметры устройства конструктивных слоев дорожных одежд из таких материалов;

- систематизированные по способу реализации методы ускорения формирования структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей, что позволит целенаправленно и обоснованно выбирать технический способ ускорения формирования структуры данных материалов и улучшения их физико-механических и эксплуатационных свойств;

- результаты производственной апробации предложенных методик и составов дорожных 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 института «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 22 работы, из них: 9 статей в рецензируемых научных журналах (объемом 3,5 а. л.), 9 материалов и тезисов докладов на международных и республиканских конференциях, 1 патент на изобретение (2 заявки 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, библиогра-

фического списка и приложений. Полный объём работы составляет 156 страниц и включает: 123 страницы машинописного текста, 38 рисунков, 24 таблицы, 4 приложения. Библиографический список включает 197 наименований, из которых 22 авторские работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность представленной работы.

Первая глава содержит обзор и анализ литературных источников, посвященных развитию и современному состоянию технологии дорожных 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 достоверно отражены теоретические положения физико-химических процессов формирования структуры смесей при взаимодействии основных компонентов смеси, различные способы улучшения физико-механических свойств материалов из смесей. Отмечается, что возросшие требования к несущей способности конструктивных слоев из смесей наиболее эффективно обеспечиваются за счет улучшения физико-механических показателей и сокращения периода времени, необходимого для формирования их структуры. Однако в настоящее время процедура подбора составов смесей трудоемка и не учитывает минералогический состав их минеральной части; отсутствует метод расчета срока службы конструктивного слоя из смесей; нет общепризнанной модели формирования структуры материалов из смесей, а существующие не аргументированы и трудоемки; не систематизированы способы регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств. Кроме того, в недостаточной степени изучено влияние различных добавок на свойства смесей, отсутствуют методы и критерии оценки эффективности добавок, ускоряющих формирование структуры материалов из смесей. Как следствие, материалы из смесей обладают довольно продолжительным периодом формирования, необходимость и расход специальных добавок устанавливаются эмпирически, 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 смесей с ускоренным формированием структуры при использовании добавок из местных сырьевых источников и способов получения и применения таких смесей в конструктивных слоях дорожной одежды. Основными практическими результатами исследования явятся: возможность подбора составов смесей с учетом минералогического состава их минеральной части и

определения эффективности добавок для ускорения формирования структуры материалов, расчета срока службы покрытий из смесей, а также составы смесей с добавками, обладающие сокращенным периодом формирования структуры материалов 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 формирования структуры 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», за счет использования специальных добавок, обеспечивающих увеличение числа межфазных контактов в битумо-минеральной системе или снижающих вязкость битума в смеси.*

На основании анализа первоисточников и теоретических исследований способы ускорения формирования структуры материалов из смесей систематизированы по способу их технической реализации. Предложена классификация добавок в смеси по их функциональному назначению, и предложен перечень материалов, которые могут использоваться в качестве добавок в соответствии с данной классификацией. На основании вышеизложенного были выбраны местные материалы в качестве новых добавок, ускоряющих формирование структуры материалов из смесей. Изложены теоретические предпосылки ускорения формирования структуры материалов из смесей при использовании известных и новых добавок.

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 формирования структуры материала из смесей.

Увеличить число межфазных контактов можно за счет увеличения удельной поверхности взаимодействия и модификации (активации) исходных компонентов смеси. Поэтому для ускорения формирования структуры были выбраны тонкодисперсные материалы с высокой удельной площадью поверхно-

сти – дефекат и известь, в качестве активатора – эмульсия этерифицированного касторового масла (далее – активатор).

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

После перемешивания активатора с минеральной частью смеси и их последующей термической обработки, активатор полимеризуется, в результате чего на минеральной поверхности образуется пленка из термически устойчивых аминоксодержащих ПАВ и алкидных соединений. Благодаря наличию ПАВ и эфирных групп, увеличивается количество активных центров для взаимодействия минеральных материалов с битумом (смешиваемых в холодном состоянии), обеспечивается высокая смачиваемость и адгезия. Обработка минеральной части активатором также 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 смесей, повышения водостойкости и долговечности.

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 формирование структуры материала из смеси.

Таким образом, применение указанных добавок в смесях 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 формирование структуры материалов из смесей и повысит их физико-механические и эксплуатационные свойства.

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 использованы 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, сокращающих период формирования, применялись: циклогексанон по ГОСТ 24615 (производства ОАО «Гродно Азот») – в качестве коалесцента для временного снижения вязкости битума, эмульсия этерифицированного касторового масла по ТУ ВУ 191282399.006 (отход производства ОАО «БМЗ») – в качестве активатора минеральной поверхности, дефекат по ТУ РБ 37602662.630 (отход свеклосахарного производства, ОАО «Слущкий 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 контрольного и основного составов, определение эффективности добавок для ускорения формирования структуры материалов из смесей 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 структурообразования, учитывающая минералогический состав минеральной части смеси и включающая определение оптимального расхода таких добавок, а также расчет срока службы дорожного покрытия из данных смесей.

При определении количества битумной эмульсии предложено использовать *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 формирования структуры материалов из смесей* заложено сравнение кинетики изменения свойств (прочности на сжатие или модуля упругости) контрольного (не содержащего добавки) и основного составов (с добавкой). *Закономерности*

формирования структуры материалов из смесей, характеризующиеся изменением данных свойств, описываются функцией одного вида, и между ними установлена тесная корреляционная связь. При этом использование неразрушающего метода испытаний для определения динамического модуля упругости в сравнении с определением предела прочности при сжатии значительно уменьшает трудоемкость методики оценки эффективности добавок. Кинетика изменения динамического модуля упругости материалов из смесей описывается функциями вида

$$E_{\text{осн}} = a_{\text{осн}} + b_{\text{осн}} \cdot \ln(T), \quad (1)$$

$$E_{\text{к}} = a_{\text{к}} + b_{\text{к}} \cdot \ln(T), \quad (2)$$

где $E_{\text{осн}}$, $E_{\text{к}}$ – динамический модуль упругости материалов из смесей основного и контрольного составов, соответственно, МПа;

$a_{\text{осн}}$, $a_{\text{к}}$ – свободный член функции изменения динамического модуля упругости материалов из смесей, характеризующий начальное состояние структуры материалов из смесей основного и контрольного составов, соответственно, МПа;

$b_{\text{осн}}$, $b_{\text{к}}$ – коэффициент, характеризующий скорость изменения динамического модуля упругости материалов из смесей основного и контрольного составов, соответственно, МПа/сут;

T – время наблюдения, сут.

Согласно зависимостям (1) и (2) можно различить вклад характерных процессов в формирование структуры материалов из смесей:

- свободный член функции a характеризует начальную структурную прочность, зависящую от количества контактов между битумом и минеральной поверхностью (адгезионный механизм);

- коэффициент b характеризует скорость образования глобулами битума непрерывной пленки вяжущего и ее последующего структурирования (когезионный механизм).

Критерий эффективности для добавок адгезионного типа действия – повышение динамического модуля упругости материала из смеси на 15 % и более в возрасте 3 суток в сравнении с контрольным составом, добавок когезионного типа действия – повышение скорости изменения динамического модуля упругости материала из смеси на 15 % и более в сравнении с контрольным составом, т. е.

$$\Delta a = \frac{a_{\text{осн}} - a_{\text{к}}}{a_{\text{к}}} \cdot 100, \quad (3)$$

$$\Delta b = \frac{b_{\text{очн}} - b_{\text{к}}}{b_{\text{к}}} \cdot 100, \quad (4)$$

где Δa , Δb – критерии эффективности добавок, ускоряющих формирование структуры материалов из смесей по адгезионному и когезионному механизму, соответственно, %.

Также возможен комплексный эффект, когда выполняются оба критерия, т. е. структурообразование происходит одновременно по адгезионному и когезионному механизмам (наиболее благоприятный вариант).

Оптимальный расход добавки для ускорения формирования структуры смеси – минимальное количество добавки, при котором выполняется критерий эффективности по адгезионному и/или когезионному механизму.

В случае, когда при различном расходе наблюдается комбинированное действие добавки, т. е. с ускорением процесса структурообразования происходит повышение прочности, водостойкости и др., окончательный расход добавки определяется на основании данных о расчетном сроке службы материала из смеси с данным расходом добавки. Расчет срока службы покрытий из смеси выполнялся на основании величины прогнозируемой усталостной повреждаемости, определяемой при испытании образцов материала по схеме циклического одноосного сжатия. Сущность метода заключается в 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.

В четвертой главе диссертации приведены результаты исследований эмульсионно-минеральных смесей с предлагаемыми добавками, ускоряющими формирование структуры материалов, полученные с использованием стандартных и разработанных методик.

Разработка составов смесей и исследование свойств материалов с ускоренным формированием структуры 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 технологии приготовления по комплексной схеме, т. е. последовательного в порядке перечисления перемешивания щебня и песка, воды предварительного увлажнения, битумной эмульсии.

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

Таблица 1. – Описание и условное обозначение основных составов смесей

Номер состава	Добавка	Расход от массы минеральной части, %	Способ введения добавки
2	Аминопропионовая кислота в растворе моноэтиленгликоля*	0,01	в готовую эмульсию
3**	Эмульсия этерифицированного касторового масла	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	Дефекат	2	
11		4	
12		6	

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

Таблица 2. – Физико-механические свойства материалов из смесей

Номер состава	Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	Номер 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 минералогический состав минеральной части путем использования модуля содержания эмульсии, позволяет разрабатывать составы материалов с высокими физико-механическими свойствами. Далее составы с предлагаемыми добавками в соответствии с разработанной методикой были оптимизированы по критерию эффективности: по экспериментально установленным закономерностям кинетики формирования структуры материалов из смесей (рисунки 1 и 2) рассчитаны критерии эффективности использованных добавок (таблица 3).

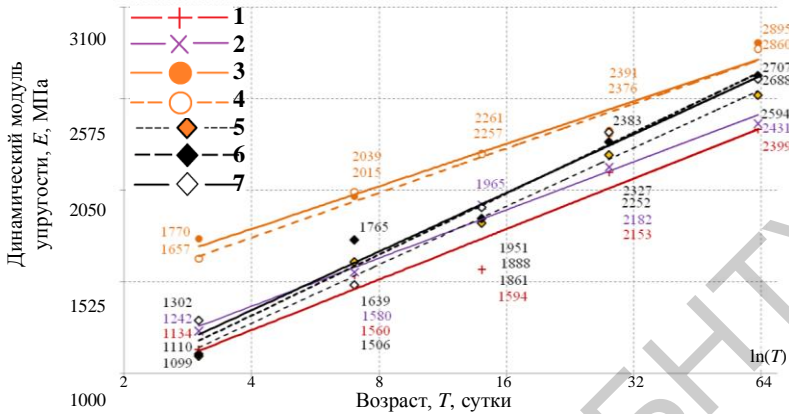


Рисунок 1. – Динамический модуль упругости материалов из смесей (составы №№ 1-7) в различном возрасте

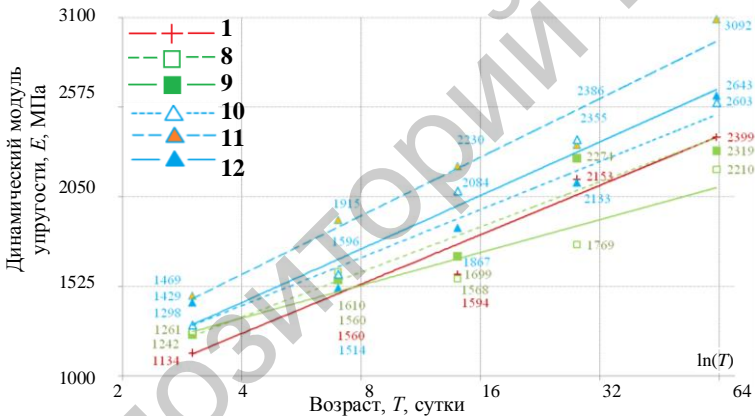


Рисунок 2. – Динамический модуль упругости материалов из смесей (составы №№ 1, 8-12) в различном возрасте

Таблица 3. – Результаты определения эффективности добавок, ускоряющих формирование структуры материалов из смесей

Номер состава	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta a, \%$	24	100	93	–	–	3	22	42	27	36	20
$\Delta b, \%$	–	–	–	16	21	16	–	–	–	19	9

Анализ эффективности добавок, ускоряющих структурообразование, и физико-механических свойств материалов из смесей с их использованием показал, что экспериментальные данные подтверждают теоретически обоснованные механизмы ускорения формирования структуры материалов из смесей при использовании соответствующих добавок: адгезионный – при ис-

пользовании активатора, дефеката, извести, уплотняющей добавки (увеличение числа межфазных контактов на границе «битум – минеральный материал») и когезионный – при использовании циклогексанаона, временно понижающего вязкость битума. Также подтвердилось положение о влиянии общего количества воды на кинетику формирования структуры материалов, поскольку при одинаковом расходе активатора материал из смеси без воды предварительного увлажнения (№ 3) формируется быстрее в сравнении с материалом, ее содержащим (№ 4).

В результате проведенных экспериментов установлено, что оптимальными расходами добавок (от массы минеральной части) являются: для уплотняющей добавки – 0,01 %, извести – 2 %, активатора – 4 %, циклогексанаона – 1 %, дефеката – 2 %. При этом эффективность добавок для ускорения формирования структуры материалов из смесей при их оптимальном расходе представляет собой убывающий ряд: активатор > дефекат > известь > циклогексанон > уплотняющая добавка. Новые добавки из местного сырья: активатор, циклогексанон и дефекат позволяют ускорить формирование структуры материалов из смесей с 14 до 3, 7 и 3 суток, соответственно.

При расходе дефеката 4 % наблюдается комплексный эффект от введения добавки – одновременное ускорение адгезионных и когезионных процессов, что приводит к ее комбинированному влиянию на свойства материала, т. е. наряду с ускорением формирования структуры материала, происходит значительное повышение прочностных свойств и улучшение длительной водостойкости. Вследствие этого, согласно разработанной методике, окончательный расход дефеката следует определять на основании данных о расчетном сроке службы материала из смеси.

Расчет срока службы покрытий из смесей по критерию усталостной повреждаемости. В соответствии с разработанной методикой рассчитывался срок службы материалов (таблица 4).

Таблица 4. – Результаты расчета срока службы материалов

Условное обозначение состава	Расчетный срок службы в покрытии на автомобильной дороге категории, годы			Увеличение расчетного срока службы за счет применения добавки, годы
	VI	V	IV	
1	12,7	12,1	11,5	–
2	12,7	12,1	11,5	нет
3	16,0	15,3	14,5	3,0-3,3
4	14,6	13,9	13,2	1,7-1,9
5	12,0	11,4	10,8	нет
8	17,1	16,3	15,5	4,0-4,4
10	10,9	10,4	9,9	нет
11	15,3	14,5	13,8	2,3-2,5

Результаты исследований долговечности материалов из смесей показали, что известь при оптимальном расходе для ускорения формирования структуры увеличивает расчетный срок службы материалов на 4,0–4,4 года, что объясняется ее комбинированным действием в качестве минерального вяжущего и наполнителя, притом что фактически получить качественную смесь с известью в количестве 2–4 % в производственных условиях затруднительно вследствие большой реакционной активности по отношению к битумной эмульсии и ряда сопутствующих технологических проблем (хранение, увеличенный расход воды, подбор рецептуры эмульсии и т. п.). Активатор вследствие улучшения адгезии битумного вяжущего и минерального материала также значительно увеличивает расчетный срок службы – на 1,7–1,9 года (для состава без воды предварительного увлажнения – 3,0–3,3 года). Дефекат при расходе 2 % (состав № 10) не влияет на расчетный срок службы, а при расходе 4 % (состав № 11), обеспечивающем комплексный механизм ускорения формирования структуры материалов, увеличивает срок службы на 2,3–2,5 года. Циклогексанон и уплотняющая добавка импортного производства при оптимальном расходе на расчетный срок службы материалов из смесей влияния не оказывают.

На основании результатов исследований, а также с учетом технологии приготовления смесей, для производственной апробации наиболее целесообразным признан состав смеси с ускоренным формированием структуры с использованием дефеката в качестве тонкодисперсного наполнителя.

В пятой главе представлены способы производства смесей с различными добавками для ускорения формирования их структуры. Приведены результаты практической реализации результатов исследований и оценка их экономической эффективности.

Результаты исследований в виде разработанных составов и способов получения смесей с ускоренным формированием структуры, улучшенными физико-механическими свойствами и повышенной долговечностью внедрены в КУП «Брестоблдорстрой» и КУП «Минскоблдорстрой». Приведены результаты опытно-промышленной апробации технологии получения и применения смеси с ускоренным формированием структуры с дефеката. Свойства материала из смеси с дефекатом, полученного в производственных условиях, подтверждают результаты лабораторных исследований. Приведены результаты обследования опытного участка, 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 патентом Республики Беларусь. Выполненный расчет показал, что при производстве смесей с ускоренным формированием структуры материала при использовании в качестве добавки дефеката

вместо импортной уплотняющей добавки достигается значительный экономический эффект. Соответствующие акты и справки приведены в диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Усовершенствована технология получения дорожных эмульсионно-минеральных смесей с использованием добавок для ускорения структурообразования, выражающегося в повышении темпа роста физико-механических свойств, применение которой позволяет сократить период от укладки в конструкцию дороги до достижения нормативных показателей этих свойств материалов и начала эксплуатации в 2 и более раза, повысить срок службы покрытий автомобильных дорог IV-VI категорий на 1,7–3,3 года [1–22].

2. Получены новые результаты экспериментального обоснования закономерностей изменения кинетики формирования структуры и становления физико-механических свойств материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей с предлагаемыми добавками, которые влияют на адгезионные и когезионные процессы их структурообразования. Введение при оптимальном расходе добавки эмульсии этерифицированного касторового масла в качестве активатора (в дозировке 4 % от массы минеральной части), циклогексанона в качестве коалесцента (в дозировке 1 % от массы минеральной части), дефеката в качестве тонкодисперсного наполнителя (в дозировке 4 % от массы минеральной части) позволяет достичь нормативных физико-механических показателей материала за сокращенный период (3–7 суток), и при этом их значения в нормативном возрасте (14 суток) превосходят показатели состава без добавок: увеличение прочности на сжатие составляет 16–19 %, водостойкости – 11–26 % [4, 13, 15, 17, 19–21].

3. Разработана, экспериментально обоснована и апробирована методика проектирования составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей с учетом минералогического состава их минеральной части, позволяющая определять оптимальный расход предложенных добавок для ускорения формирования структуры материалов с их использованием, а также рассчитывать срок службы конструктивных слоев дорожных одежд, устраиваемых из таких смесей. Она позволяет снизить трудоемкость процесса подбора составов дорожных эмульсионно-минеральных смесей, прогнозировать временной период формирования структуры материалов из таких смесей, обоснованно назначать расход добавок, ускоряющих формирование их структуры, 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, 12, 14].

4. Получены новые результаты экспериментальных исследований материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей с высокими физико-механическими свойствами и ускоренным формированием структуры при использовании добавок, что позволило экспериментально обосновать выбор и определить эффективные добавки на основе местных материалов: активатор – эмульсия этерифицированного касторового масла, представляющая собой отход производства ОАО «БМЗ», дефекаат – отход свеклосахарного производства, циклогексанон производства ОАО «Гродно Азот».

Систематизированы технические способы ускорения формирования структуры материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей, предложена классификация добавок в смеси по их функциональному назначению, критерии оценки эффективности добавок и методики их определения, что позволит целенаправленно выбирать добавки и регулировать свойства материалов из дорожных эмульсионно-минеральных смесей [1, 4, 5, 6, 8–11, 13, 16–18].

5. Производственная апробация усовершенствованной технологии получения дорожных эмульсионно-минеральных смесей с применением дефекаата, ускоряющего формирование структуры, показала ее высокую экономичность и эффективность, выраженную величиной планового экономического эффекта, составляющего 246,6 тыс. руб./т, в сравнении со смесью, содержащей импортную добавку аналогичного целевого назначения [8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Рекомендуются к использованию дорожно-строительными предприятиями технология получения дорожных эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным формированием структуры материалов, и их составы, защищенные авторскими свидетельствами [19, 20, 21], 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 способы ускорения формирования структуры смесей, предложенная классификация добавок в смеси, разработанные методики проектирования составов смесей, определения эффективности добавок и расчета срока службы покрытий из смесей [7, 9, 18].

3. Результаты исследований и разработанные с участием автора ТУ ВУ 600013398.004 «Смеси эмульсионно-минеральные с ускоренным формированием структуры» рекомендуются к использованию проектными и научными предприятиями дорожного хозяйства Республики Беларусь при разработке (переработке) соответствующих ТНПА [7, 9, 18, 22].

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 формирования / 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.

Тезисы докладов и материалы конференций

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Вавилов, П.В. Лабораторная оценка устойчивости к образованию коллейности 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 международной 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.

17. 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.

18. 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.

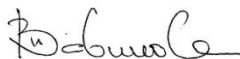
Патенты и технические условия

19. Смесь эмульсионно-минеральная : пат. 17577 Респ. Беларусь : МПК C04B 26/26, C08L 95/00 / С.Е. Кравченко, П.В. Вавилов; заявитель БНТУ. – № а20111537 ; заявл. 17.11.2011 ; опубл. 30.10.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5. – С. 101.

20. Эмульсионно-минеральная смесь с коалесцентом : заявка № а20130754 Респ. Беларусь : МПК C 08L 95/00 C 04B 26/26 / П.В. Вавилов, В.В. Асташко ; 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.

21. Смесь эмульсионно-минеральная с адгезивом : заявка № а20130753 Респ. Беларусь : МПК C 08L 95/00 C 04B 26/26 / П.В. Вавилов, В.В. Асташко, О.Н. Недолугин, С.Е. Кравченко, А.Г. Рыбинский, О.А. Хлебовец ; 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.

22. 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

Тэхналогія і ўласцівасці дарожныхэмульсійна-мінэральных сумесяў з паскораным фарміраваннем структуры матэрыялу

Ключавыя словы: дабаўкі, даўгавечнасць, дарожныя эмульсійна-мінэральныя сумесі, крытэрыі тэхнічнай эфектыўнасці, модуль пругкасці, паскоранае фарміраванне структуры, трываласць пры сціску, фізіка-механічныя ўласцівасці.

Мэта працы – распрацоўка ўдасканаленай тэхналогіі атрымання дарожных эмульсійна-мінэральных сумесяў з дабаўкамі, якія паскараюць фарміраванне структуры матэрыялаў, і ўжыванне іх пры будаўніцтве канструктыўных слаёў дарожнага адзення.

Аб'ект даследаванняў – дарожныя эмульсійна-мінэральныя сумесі на аснове мясцовых сыравін і тэхналогія іх атрымання.

Прадмет даследаванняў – тэхналагічныя параметры атрымання дарожных эмульсійна-мінэральных сумесяў (сумесяў) з дабаўкамі для паскарэння фарміравання іх структуры і іх фізіка-механічныя і эксплуатацыйныя ўласцівасці.

У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў выяўлены спосабы інтэнсіфікацыі фізіка-хімічных працэсаў, якія праходзяць у сумесях, распрацаваны класіфікацыі дабавак у сумесі па функцыянальным прызначэнні і тэхнічных спосабаў паскарэння фарміравання структуры сумесяў.

У працы выкарыстаны стандартызаваныя *методыкі* даследавання фізіка-механічных і рэалагічных уласцівасцей сумесяў, статыстычныя метады ацэнкі атрыманых вынікаў, распрацаваныя аўтарам *методыкі* вызначэння эфектыўнасці дабавак для паскарэння фарміравання структуры, *методыка* вызначэння даўгавечнасці сумесяў. Распрацавана *методыка* праектавання саставаў сумесяў, якая ўлічвае мінералагічны склад мінеральнай часткі, з вызначэннем аптымальнай колькасці дабавак для паскарэння фарміравання іх структуры і разлікам тэрміну службы дарожных пакрыццяў. Распрацаваны саставы сумесяў з паскораным фарміраваннем структуры, *навізна* якіх пацверджана патэнтамі Рэспублікі Беларусь.

Выканана вытворчая апрацацыя вынікаў дысертацыйнага даследавання, якая пацвердзіла магчымасць практычнай рэалізацыі распрацаваных тэхналогій сумесяў з паскораным фарміраваннем структуры і высокімі эксплуатацыйнымі ўласцівасцямі *пры будаўніцтве канструктыўных слаёў дарожнага адзення аўтамабільных дарог.*

РЕЗЮМЕ

Вавилов Павел Валерьевич

Технология и свойства дорожных эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным формированием структуры

Ключевые слова: добавка, долговечность, дорожные эмульсионно-минеральные смеси, модуль упругости, критерий технической эффективности, прочность на сжатие, ускоренное формирование структуры, физико-механические свойства.

Цель работы – разработка усовершенствованной технологии получения дорожных эмульсионно-минеральных смесей с добавками, ускоряющими формирование структуры материалов, и применение их при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд.

Объект исследований – дорожные эмульсионно-минеральные смеси на основе местных сырьевых материалов и технология их получения.

Предмет исследований – технологические параметры получения материалов из эмульсионно-минеральных смесей с добавками для ускорения структурообразования и их физико-механические и эксплуатационные свойства.

В работе использованы стандартизированные методики исследования физико-механических и реологических свойств смесей, статистические методы оценки получаемых результатов, разработанные автором методики определения эффективности добавок, ускоряющих формирование структуры, методика определения долговечности смесей. Разработана методика проектирования составов смесей, учитывающая минералогический состав минеральной части, с определением оптимального количества добавок для ускорения формирования их структуры и расчетом срока службы дорожных покрытий.

Разработаны составы смесей с ускоренным формированием структуры, новизна которых подтверждена патентами Республики Беларусь.

Выполнена производственная апробация результатов диссертационного исследования, подтвердившая возможность практической реализации разработанных технологий смесей с ускоренным формированием структуры и высокими эксплуатационными характеристиками при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог.

SUMMARY

Vavilau Pavel Valer'evich

Technology and properties of road asphalt emulsion mixes with accelerated curing

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

Objective – development of improved technologies of asphalt emulsion mixes with accelerating curing additives for road pavements.

Research object – road asphalt emulsion mixes (AEM) with the use of local raw materials and the technology of AEM production.

Subject of research – technological and physical-chemical parameters of AEM's curing.

As a result of theoretical and experimental studies the ways of intensification of physical and chemical processes occurring in the AEM were identified. 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, author developed methods for determining the technical efficiency of curing accelerating additives, method for determining the durability of AEM. The method to design AEM, taking into account the mineralogy of aggregates was developed, with determination of the optimal amount of additives to accelerate the curing and calculation of the service life of pavement.

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

Performed production evaluation of thesis research results, 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

**ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА
ДОРОЖНЫХ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ
С УСКОРЕННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ**

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

Подписано в печать 25.02.2016. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 80. Заказ 173.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.