

И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
И. С. Мельникова, магистр технических наук, аспирант (БНТУ)

ИННОВАЦИИ В СИСТЕМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

Непрерывный инновационный процесс является основой повышения эффективности организации производства в дорожной отрасли. Переход на европейские стандарты пропускной способности 11,5 и 13 тонн/ось и повышение долговечности республиканских дорог не возможен без перехода на обновленную нормативную базу в соответствии с европейскими нормами и требованиями, пересмотра широко применяемых технологий и материалов в дорожном строительстве, подхода к контролю качества и проведению ремонтных мероприятий.

Статья посвящена рассмотрению и оценке применяемых в Республике Беларусь инновационных технологий, машин и механизмов, материалов, используемых для ремонта и диагностики автомобильных дорог.

The innovation process is the basis for improving the organization efficiency in the road sector. The transition from Belarusian to European standards for load passing and increase of national roads durability is not possible without the updated regulations and requirements in accordance with European standards. Reviewing of commonly used techniques, materials, approaches to quality management and road maintenance is also necessary.

The review and appreciation of Belarusian innovative technologies and materials used for road maintenance are presented in the article.

Введение. Автомобильные дороги играют важную роль в хозяйственной жизни страны, по ним судят об экономическом развитии государства, благосостоянии жителей. Качество дорожных покрытий определяет как скорости передвижения, комфортность езды, так и безопасность участников движения. Само качество определяется технико-экономическими, транспортно-эксплуатационными, технологическими, эргономическими показателями. Однако прежде всего оно связано с используемыми материалами и технологиями, и сегодня в строительстве находят широкое применение специальные модифицированные вяжущие материалы, активированные минеральные порошки, современные машины и механизмы для проведения строительных работ, геосинтетические материалы с целью увеличения долговечности покрытия и др. [1].

Сеть дорог общего пользования Беларуси в настоящее время сформирована с учетом дальнейшего развития экономики, социальных потребностей населения и составляет более 86 тыс. км. Сложившаяся ситуация во многом способствует приближению к европейским стандартам качества безопасности и срокам эксплуатации дорог. Но достижение этой цели требует и некоторого пересмотра отношения к строительству дорог, контролю качества выполняемых работ и используемых материалов, перехода на обновленную нормативную базу в

соответствии с европейскими нормами и требованиями.

Эффективная организация производства в дорожном хозяйстве основана на непрерывном инновационном процессе. Этот процесс, в свою очередь, осуществляется в соответствии с тенденциями и динамикой научно-технического прогресса. Инновационная модель в дорожно-строительном производстве предполагает использование современной высокопроизводительной техники, более качественных технологий и материалов. Причем их применение должно соответствовать уровню транспортных нагрузок на дорожную одежду и обеспечивать наибольшую долговечность дорог в рамках финансирования отрасли.

Основная часть. Для решения задачи эффективной организации дорожного хозяйства департаментом «Белавтодор» на 2011–2015 гг. в соответствии с Программой инновационного развития Республики Беларусь и отраслевой программой Министерства транспорта и коммуникаций предусмотрена программа реализации инновационных проектов. Проекты непосредственно связаны с применением новых дорожно-строительных материалов и технологий, которые позволят произвести внедрение конструкций дорожной одежды для пропускной способности по европейским стандартам в 11,5 тонн.

Так, в 2011 г. осуществлялась реализация проекта «Строительство нового производства для изготовления резинобитумных вяжущих на

базе РУП «Мадикор» ГП «БелдорНИИ», начата и продолжена в 2012 г. реализация проекта «Разработка и внедрение конструкций дорожных одежд под современные европейские нагрузки в 11,5 тонн, обеспечивающие повышенную долговечность с применением новых дорожно-строительных материалов и технологий». Также в 2012 г. начата реализация проекта «Разработка и внедрение автоматизированной системы мониторинга эксплуатационной надежности больших мостовых сооружений на международных транспортных коридорах» [2].

В 2011 году Департаментом проделана большая работа по строительству эксперимен-

тальных объектов на участках главных магистралей республики (табл. 1). Использование для устройства верхнего слоя асфальтобетонного покрытия модифицированного битума, резинобитумного вяжущего, применение стабилизирующей добавки в асфальтобетонные смеси на основе торфа, новейшие смесительные машины, устройство прослоек из геосинтетических материалов – все это уже апробировано и нашло применение на белорусских дорогах. Эти инновации позволяют создать конструкции для пропуска нагрузок по европейским стандартам в 11,5 тонн и предупредить возникновение поверхностных повреждений.

Таблица 1

**Ведомственная программа проектирования и строительства экспериментальных объектов
Департамента «Белавтодор» на 2011 г.**

Мероприятие	Цель
Устройство верхнего слоя покрытия из асфальтобетонной смеси, отвечающей требованиям европейских стандартов, с применением модифицированного битума	Повышение долговечности и эксплуатационных характеристик верхних слоев асфальтобетонных покрытий
Применение стабилизирующей добавки на основе торфа для асфальтобетонных смесей	Апробация в производственных условиях возможности применения гранулированной стабилизирующей добавки на основе торфа
Устройство разделяющей и армирующей прослойки из геосинтетических материалов при устройстве щебеночного основания дорожной одежды	Исключение технологического слоя из ПГС и уменьшение толщины слоя щебеночного основания
Долговременная стабилизация гравийных покрытий эмульсионно-минеральными смесями методом приготовления на месте производства работ с применением машины RM-500	Улучшение состояния проезжаемости дорог
Устройство покрытий на опытных участках с использованием гранулированного резинобитумного вяжущего со специально подобранными физико-механическими и реологическими свойствами, обеспечивающими повышенную устойчивость к трещинообразованию и современным нагрузкам	Повышение эксплуатационных характеристик и долговечности покрытий

Чрезвычайно важным также является своевременное выявление поверхностных повреждений на дорожных покрытиях и их ликвидация на ранней стадии. Для решения этих задач в распоряжении наших дорожников имеются новейшие технологии и оборудование.

При диагностике применяют георадарное оборудование (комплект «Око»), позволяющий выявлять дефекты в дорожной одежде и грунтах земляного полотна (рис. 1а). Принцип работы комплекта основан на передаче антенной в исследуемую среду электромагнитного импульса, который отражается от находящихся в ней предметов или от границы раздела сред. Комплект георадарного оборудования позволяет:

- проверять толщины конструктивных слоев дорожной одежды и толщины слоев грунта земляного полотна;

- оценивать качество уплотнения и влажность грунтов земляного полотна;

- определять однородность используемого грунта как при приемке выполненных работ, так и при эксплуатации дорог для оценки состояния дорожной конструкции и назначения ремонтных мероприятий;

- определять глубины залегания уровня грунтовых вод и размеров переувлажненных зон грунта земляного полотна для оценки эффективности работы дренажных устройств;

- определять мощность слабых грунтов, подстилающих земляное полотно, и выявлять дефекты в дорожной одежде и грунтах земляного полотна (пустоты, зоны разуплотненных грунтов и инфильтрации воды, зоны переувлажненных грунтов и т.д.) в процессе эксплуатации автомобильной дороги и искусственных сооружений;

- определять сроки введения ограничения нагрузки на автомобильных дорогах на основании выявления зон прогнозируемой недостаточной прочности дорожной конструкции.

РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» использует при проведении ежегодной диагностики республиканских автомобильных дорог лабораторию визуального сканирования LineScan (рис. 1б), позволяющую получить изображение дорожного покрытия, по которому с применением специального программного обеспечения определяются объ-

емы поверхностных дефектов [3]. Технология измерения заключается в непрерывной продольной съемке покрытия автомобильной дороги высокоскоростной специализированной цифровой камерой. Камера жестко закреплена в задней части лаборатории и работает совместно с системой освещения и цифровым одометром. Каждая записанная строка изображения шириной 1 или 2 мм добавляется к предыдущим строкам, и составляют вместе один непрерывный образ.



а)



б)

Рис. 1. Оборудование для диагностики автомобильных дорог:

а – комплект георадарного оборудования «Око»; б – лаборатория LineScan

При ремонте дорожники используют новейшие разработки для герметизации швов и трещин (мастики, ленточные материалы), мембранную технологию для жестких дорожных покрытий, устраивают тонкие слои износа по технологии «Тонфиз» для асфальтобетонных покрытий.

Герметизирующие битумно-эластомерные мастики применяются для герметизации трещин, швов и гидроизоляции при ремонтно-строительных работах на дорогах, мостах, аэродромных покрытиях, путепроводах. Преимущество их применения заключается в том, что при рабочей температуре мастика прочно приклеивается к поверхностям, а при ее остывании образуется сплошное покрытие.

Мобильность бригад и отсутствие необходимости в подогреве делают ленточные мастичные материалы для устранения трещин в асфальтобетонных покрытиях очень удобными в использовании при ремонте трещин шириной раскрытия до 10–15 мм.

Мембранная технология устройства защитных и защитно-гидроизоляционных слоев покрытий при ремонте дорог и ездового полотна искусственных сооружений также нашла применение при ремонте жестких дорожных покрытий. Асфальтобетонную смесь специального состава с модифицированным битумом укладывают на предварительно распределенный

модифицированный битум или битумополимерную эмульсию (мембрану). Покрытие, устроенное по этой технологии, обладает высокой трещиностойкостью и водонепроницаемостью, кроме того, межремонтный срок службы увеличивается в 2–2,5 раза.

Технология устройства тонкослойного фрикционного износостойкого защитного покрытия «Тонфиз-слой» используется при ремонте дорожных покрытий с прогрессирующей сеткой трещин, отдельными трещинами, шелушением поверхности покрытия, ранее отремонтированными выбоинами, ухудшающими ровность. Принцип устройства слоя – обеспечение высокоскоростной (10 м/мин) укладки слоя горячей асфальтобетонной смеси выбранного гранулометрического состава поверх тонкого связующего слоя из модифицированной эмульсии (или битума), распределенных непосредственно перед укладкой. Обе операции производятся за один проход специального асфальтоукладчика Vögele Super 1800SF. Преимущество: покрытие очень однородно, движение можно открывать непосредственно после окончания уплотнения.

С 2003 года на дорогах Беларуси с автомобильной дороги М-1/Е-30 Брест–Минск–гр. РФ начато внедрение автоматизированной системы управления содержанием дорог. На сегодняшний день в республике создана сеть, включаю-

щая в себя свыше 70 дорожно-измерительных станций (ДИС). Основные цели их установки – прежде всего, управление зимним содержанием дорог (краткосрочный прогноз посыпок, уборки дорог, контроль расхода противогололедных материалов), а также анализ потоков и скорости движения, оценка перспектив развития пропускной способности дорог.

ДИС включает в себя метеостанцию с определенным набором датчиков по измерению температуры воздуха, дорожного покрытия, грунта, скорости и направлении ветра, определению состояния покрытия, вида и количества осадков, видимости от 20 до 2000 м, концентрации химических противогололедных материалов на покрытии. Также на каждой станции имеются счетчики интенсивности движения.

Датчики рассчитаны на износ дорожного покрытия в 3 см: измерительное устройство установлено непосредственно в слое покрытия, а на его поверхности находятся срезы оптических волокон, направленные вверх, которые истираются вместе со слоем износа покрытия.

В феврале 2012 г. возможность просмотра оперативной информации о дорожных условиях по данным дорожно-измерительных станций стала доступной для всех пользователей дорог: на сайте Департамента «Белавтодор» начала работать функция просмотра дорожной обстановки (фотоизображение, температура воздуха, температура покрытия, вид осадков, видимость, состояние покрытия дороги) с 39-ти ДИС на республиканских автомобильных дорогах (рис. 2).

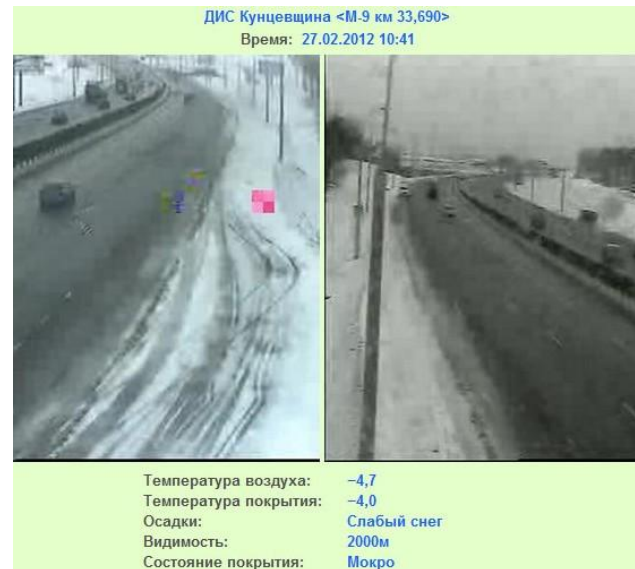


Рис. 2. Условия движения в режиме реального времени на сайте Департамента «Белавтодор»

Для эффективной борьбы с поверхностными дефектами и увеличения сроков службы дорог также важно знать, что именно представляет наибольшую опасность. По результатам диагностики за прошедшие десять лет установлено, что наиболее характерным видом повреждения покрытия являются трещины (рис. 3). Далее отметим некоторые инновационные подходы и результаты работы авторов по решению проблемы трещинообразования.

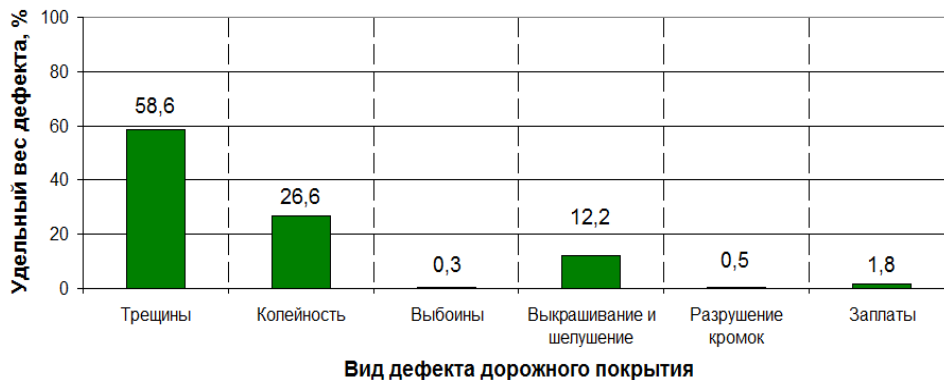


Рис. 3. Виды повреждений покрытий республиканских автомобильных дорог (по результатам обработки результатов диагностики 2000–2010 гг.)

Прежде всего, большое внимание уделяется нами работе дорог под действием транспортных нагрузок и погодно-климатических факторов в условиях Беларуси. Климат страны – континентальный, характеризуется повышенной влажностью и большим числом переходов температуры через 0°C. В таких условиях часто проявляются изгиб покрытия из-за неравномерного поднятия при промерзании и пучении грунта земляного полотна, а также из-за невоз-

можности искривления монолитного покрытия при разности температур вверху и внизу покрытия, горизонтальное перемещение в цементобетонном основании, изгиб и коробление самой плиты, что создает сдвиговые и растягивающие напряжения в нижней части асфальтобетонного слоя над швом или трещиной [4, 5].

В общем случае в результате суточного колебания температур, явления расширения-сжатия, в покрытии сверху вниз возникают

температурные и проявляются отраженные трещины. Более того, несоответствие деформативных свойств битума реальным температурным условиям работы покрытий обуславливает недостаточную трещиностойкость асфальтобетонных слоев [6].

На основании измерений температуры воздуха за период с 1989 по 2010 гг. на республиканских метеостанциях по данным ГУ «Республиканского гидрометеорологического центра» авторами рассчитаны фактические температуры работы асфальтобетонных покрытий согласно методике «Суперпэйв»: установлены предельные значения температур покрытия с обеспеченностью 50% и 98% (рис. 4). Определение значений экстремальных температур или показателя PG в системе проектирования асфальтобетонных покрытий «Суперпэйв» сводится к четырем основным шагам: анализу климатических данных, определению температуры покрытия, определению значений показателя функционального типа асфальтобетона, корректировке полученных значений [7–8]. Первое число в значении показателя, например «48», обозначает максимальную положительную температуру покрытия, а «–30» – минимальную отрицательную.

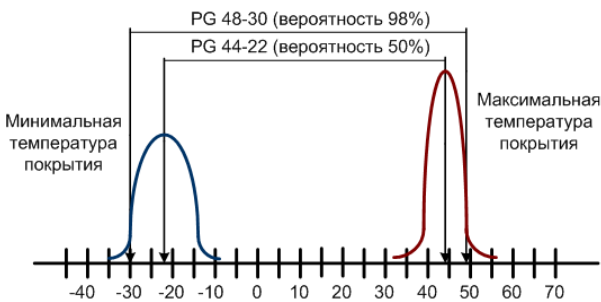


Рис. 4. Минимальные и максимальные температуры покрытия для г. Минска

Важным в определении температурных условий работы покрытий является также вопрос, какой именно уровень надежности (обеспеченности) необходимо использовать при выборе вяжущего, ведь при 50% обеспеченности существует шанс 50/50, что в любом году температура превысит или будет ниже запроектированной. В условиях Республики Беларусь предлагается на республиканских автомобильных дорогах принимать уровень обеспеченности 98% для дорог первой, второй и третьей категорий и 50% для дорог ниже третьей категории.

Значения экстремальных температур покрытия с учетом округления для областных центров Республики Беларусь, рассчитанные согласно американской методике «Суперпэйв» в соответствии с максимальными и минимальными температурами воздуха, зафиксирован-

ными на метеорологических станциях за последние 20 лет, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения экстремальных температур покрытия

Областной центр	По спецификации «Суперпэйв»
г. Брест	+52...–28
г. Гродно	+52...–28
г. Витебск	+52...–34
г. Могилев	+52...–34
г. Гомель	+58...–28
г. Минск	+52...–28

При работе покрытия в установленных пределах по спецификации «Суперпэйв» возможность образования повреждений на покрытии минимальна. Учитывая же свойства органических вяжущих материалов, а именно сопоставляя температуру хрупкости и температуру размягчения битумов с полученными предельными температурами, отметим, что в качестве вяжущего в условиях Беларуси необходимо применять исключительно модифицированное дорожные битумы марки БМА [9–11]. Несоблюдение этого условия может привести к возникновению хрупких деформаций и образованию трещин в зимний период низких отрицательных температур и сдвиговых деформаций с появлением на покрытии колеи в летнее время.

По результатам измерений температуры воздуха, грунта и дорожного покрытия с ДИС, накопленным в РУП «Белдорцентр», проведен регрессионный анализ зависимости температур покрытия от температуры окружающего воздуха. Для расчета приняты данные со станции, расположенной в пос. Раубичи на 19 км автомобильной дороги М-3 Минск–Витебск.

Полученное уравнение для отрицательной области изменения температур имеет следующий вид

$$T_{покр} = 0,89 \cdot T_{возд} + 0,21, \quad (1)$$

где $T_{покр}$ – температура поверхности покрытия; $T_{возд}$ – температура окружающего воздуха.

Уравнение для положительной области изменения температур

$$T_{покр} = 1,63 \cdot T_{возд} - 3,16 \quad (2)$$

Так, при температуре окружающего воздуха -10°C температура на поверхности покрытия будет несколько выше и составит $-8,7^{\circ}\text{C}$ в соответствии с формулой (1). При $+10^{\circ}\text{C}$ поверхность покрытия также будет теплее – $+13,1^{\circ}\text{C}$ согласно выражению (2).

Авторами также ведутся исследования воздействия на дорожную конструкцию температурных и транспортных нагрузок, влияния трещин на прочность дорожной одежды. На-

пряженно-деформированное состояние конструкции оценивается методом конечных элементов. Преимущество метода в том, что он позволяет производить анализ как при воздействии температуры и транспорта по отдельности, так и одновременно. Результаты исследования позволяют получить эффективную технологию ремонта трещин, разработать трещиностойкие конструкции дорожных одежд.

Для диагностики поверхностных повреждений целесообразно использовать метод термографии с применением тепловизоров. Метод хорошо себя зарекомендовал при контроле качества укладки асфальтобетонных смесей. Наши же результаты компьютерного моделирования асфальтобетонных покрытий показали, что температуры поверхности покрытия и трещины или выбоины различаются в несколько градусов. Это позволяет сделать вывод о том, что тепловизоры при съемке способны отразить разницу в температуре поверхности и трещины (выбоины), а, следовательно, метод термографии актуален и в диагностике поверхностных повреждений.

Заключение. На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Дорожная отрасль нашей республики находится на пути инновационного развития. Специалистами ведется разработка новой нормативной документации, активно внедряются системы автоматизированного проектирования дорог, новая специализированная техника в строительстве, диагностике и ремонте, используются нанотехнологии при производстве асфальтобетонных смесей с различными добавками, ведется автоматизированное исследование работы дорожной конструкции.

2. Для диагностики и ликвидации поверхностных повреждений на автомобильных дорогах, основными из которых являются трещины различного характера, в настоящее время применяется новейшее оборудование (георадарное, термографическое и др.) и технологии (ремонт трещин с использованием ленточных мастичных материалов, устройство тонких слоев износа, мембранная технология ремонта жестких дорожных покрытий). Использование современных машин для производства ремонтно-строительных работ (смесительная машина для стабилизации и регенерации дорожного полотна RM500, асфальтоукладчик Vögele Super 1800SF и др.) способствует значительному снижению затрат и времени проведения работ.

3. При проектировании состава асфальтобетонной смеси, в частности для выбора вяжущего, необходимо учитывать температурные режимы работы покрытия. Применительно к условиям Республики Беларусь расчет показал, что покрытия работают в среднем по республике в пределах от +52°C до -34°C при уровне

обеспеченности 98%, который соответствует дорогам первой, второй и третьей категорий, и в пределах от +46°C до -34°C с уровнем обеспеченности 50%, что соответствует дорогам ниже третьей категории. При функционировании асфальтобетонного покрытия в этих температурных пределах с определенной уверенностью можно говорить о длительной работе битума без образования в покрытии повреждений. Но и здесь существуют определенные трудности: в связи с тем, что асфальтобетонное покрытие работает в температурном режиме от +58 до -34°C, применение битумов марок БН и БНД согласно ГОСТ 22245-90 и БД для верхнего слоя дорожного покрытия согласно СТБ 1062-97 не обеспечит работу покрытия без разрушения ни в летний период, ни зимой. Это связано с тем, что температура размягчения таких битумов находится в пределах от +35 до +51, а температура хрупкости колеблется в пределах от -6 до -20. Даже модифицированные битумы по СТБ 1220-2009 марок БМА, БМП, БММ и БМЗ полностью не удовлетворяют фактическим значениям температурных экстремумов. Улучшенный битум БДУ 70/100 европейского качества обладает температурой размягчения близкой к температурным условиям Беларуси, однако его температура хрупкости достаточно высокая. Таким образом, до сих пор нерешенным остается вопрос обеспечения работоспособности в составе дорожного покрытия битумов, соответствующих требованиям нормативно-технической документации.

4. Автоматизированное проектирование дорожных конструкций также является важным шагом на пути инновационного развития отрасли. К примеру, прогнозирование температурного режима работы слоев дорожной одежды и напряженно-деформированного состояния конструкций под действием температурных и транспортных нагрузок позволит еще на стадии проектирования предупредить возникновение повреждений в тех или иных условиях нагружения или при соответствующем выборе материала и толщины слоев.

Литература

1. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог: учеб. пособие / И.И. Леонovich, С.В. Богданович, И.В. Нестерович. – Минск: Новое знание, 2011. – 350 с.
2. Департамент «Белавтодор» [Электронный ресурс] / «Белавтодор». – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://belavtodor.belhost.by>. – Дата доступа: 27.02.2012.
3. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» [Электронный ресурс] / РУП «Белдорцентр». – Минск, 2012. – Режим

доступа: <http://beldor.centri.by>. – Дата доступа: 27.02.2012.

4. Веренько, В.А. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В.А. Веренько. – Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2008. – 304 с.

5. Nunn, M., An investigation of reflection cracking in composite pavements in the United Kingdom, Proceedings of 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control, Liege University, Belgium, Edited by J. M. Rigo et al., March 1989.

6. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог: В 2 т. – Т. 2: / А. П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия». 2010. – 320 с.

7. A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. National cooperative highway research program, Report № 673. Transportation research board, Washington, D. C., 2011.

8. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв / Б. С. Радовский // Дорожная техника. – 2007. – № 1. – С. 86-99.

9. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия: ГОСТ 22245-90. – Введ. 01.01.1991. – Министерство нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР, 1991. – 12 с.

10. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия: СТБ 1062-97. – Введ. 01.07.1997. – Минск: Минстройархитектуры, 1997. – 28 с.

11. Битумы модифицированные дорожные. Технические условия: СТБ 1220-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 24 с.