

УДК 625.7/.8:620.191.33

**И. С. Мельникова**, магистр технических наук, аспирант (БНТУ)**УЧЕТ НАЛИЧИЯ ТРЕЩИН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Диагностика автомобильных дорог представляет собой мониторинг состояния дорог и включает в себя систематическое определение основных показателей их качества (прочность, сцепление, дефектность и др.). База полных и достоверных данных о состоянии дорог необходима для принятия управленческих решений по своевременному назначению ремонтных мероприятий, а также для обоснованного ведения инвестиционной политики в дорожном хозяйстве. Сбор объективных данных о состоянии дорожных покрытий требует применения инновационных методов диагностики дорог.

Статья посвящена оценке применяемых в Республике Беларусь технологий, используемых при диагностике автомобильных дорог, в частности при учете наличия трещин на дорожных покрытиях.

Road diagnosis is the monitoring of the state of roads and comprises a systematic determination of the main quality parameters (durability, road grip of a tire, defectiveness, etc.). Complete and reliable data base on the state of roads needed to make management decisions on a timely appointment of any repair activities, as well as to well-founded manage an investment policy in the road sector. Collection of objective data on the state of road surfaces requires innovational road diagnostic methods.

Used in the Republic of Belarus technology in the diagnosis of roads, in particular taking into account the presence of cracks in the road surface are presented in the article.

**Введение.** В Республике Беларусь большое внимание уделяется вопросам развития дорожно-транспортного комплекса, так как по нему можно судить об экономическом развитии государства. Автомобильные дороги очень важны в хозяйственной жизни страны, а от качества дорожных покрытий напрямую зависят скорость передвижения транспортных потоков, комфортность езды для водителей и пассажиров, а также безопасность участников движения.

Для обеспечения бесперебойных и безопасных автомобильных перевозок необходимо своевременно выявлять и устранять повреждения дорожных покрытий. Эту задачу во многом решает визуальная и инструментальная диагностика – наука, основанная на знаниях математики, физики, химии, метрологии, теории прочности дорожных конструкций, материаловедения и других, которая заключается в оценке технических, эксплуатационных и коммуникативных качеств автомобильных дорог, установлении причин появления дефектов (проектных, технологических при строительстве, эксплуатационных), обосновании мер по поддержанию комплекса дорожных сооружений в требуемом состоянии или определении экономически целесообразных восстановительных и ремонтных работ [1, 2].

В 2012 г. департаментом «Белавтодор» продолжена реализация проекта «Разработка и внедрение конструкций дорожных одежд под современные европейские нагрузки в 11,5 т, обеспечивающие повышенную долговечность с

применением новых дорожно-строительных материалов и технологий», начата реализация проекта «Разработка и внедрение автоматизированной системы мониторинга эксплуатационной надежности больших мостовых сооружений на международных транспортных коридорах». Инновации, согласно этим проектам, позволят создать конструкции для пропуска нагрузок по европейским стандартам в 11,5 т и предупредить возникновение поверхностных повреждений. Однако применение нового оборудования и методов диагностирования дорожных покрытий – важное направление по повышению качества и пропускной способности республиканских автомобильных дорог, так как является базой для назначения ремонтных мероприятий и своевременного устранения поверхностных повреждений [3–5].

**Основная часть.** В процессе эксплуатации автомобильных дорог под влиянием транспортных нагрузок и погодноклиматических факторов конструктивные элементы изнашиваются, деформируются и повреждаются. В результате имеют место разрушения дорожных конструкций различного характера: дефекты земляного полотна, дорожной одежды, искусственных сооружений, элементов инженерного и архитектурного благоустройства [6–7].

Для оценки транспортно-эксплуатационного состояния как совокупности физических значений параметров, характеристик и условий, определяющих технический уровень автомобильной дороги, в Республике Беларусь используются различные системы, методы и

приборы. Результаты учитываются при планировании работ по содержанию и ремонту.

Эксплуатационное состояние автомобильных дорог оценивается на основании теории прочности и надежности дорожной конструкции как степень соответствия нормативным требованиям переменных параметров и характеристик дороги, которые изменяются под воздействием транспортных средств и метеорологических условий [8–10].

Инструментальное и визуальное обследование республиканской сети автомобильных дорог ежегодно выполняет РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» («Белдорцентр»). Визуальное обследование выполняется с целью сбора информации о наличии структурных дефектов на асфальтобетонных и цементобетонных покрытиях с занесением зафиксированных разрушений и их объемов в бортовой компьютер. Визуально измеряются следующие параметры:

а) геометрические параметры автомобильных дорог; ширина проезжей части, обочин, уклоны при выборочном измерении в процессе проведения визуального обследования;

б) колеи на покрытии; определяется визуально при движении автомобиля со скоростью не более 30 км/ч, фиксируется пикетное положение начала и окончания колеи.

в) дефектность покрытия; по полученному при непрерывной продольной съемке покрытия дороги изображению устанавливается общее состояние покрытия с определением объемов и видов дефекта, а также их местоположение; выполняется лабораторией визуального обследования на базе автоматизированной системы сканирования дефектов дорожных покрытий Line-Scan.

Инструментальное обследование проводится для каждой полосы дороги отдельно и в расчет принимается наилучшее значение измеренного параметра. На автомобильных дорогах I категории измерения проводятся по каждому направлению отдельно. Общая протяженность измеренных участков в расчетах приводится к 2-м полосам движения без учета участков, обслуживаемых жилищно-коммунальным хозяйством, и транспортных развязок. Инструментально измеряются следующие транспортно-эксплуатационные параметры:

а) ровность покрытия: на вновь вводимых участках дорог после проведения ремонта лабораторией «Профилограф», «ЛазерПроф», ИВП-1М; при диагностике республиканских автомобильных дорог на эксплуатируемых участках – установкой «Профилограф»; при диагностике дорог с переходными и низшими типами дорожных одежд на эксплуатируемых участках – ИВП-1М.

б) упругий прогиб дорожной одежды: при диагностике республиканских автомобильных дорог – дефлектометром падающего груза FWD PRI 2100.

в) коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием: на вновь вводимых участках дорог после проведения ремонта и ежегодных измерений по диагностике республиканских дорог на эксплуатируемых участках – ПКРС-2у.

г) интенсивность движения транспортных средств на республиканских автомобильных дорогах.

По результатам диагностики за прошедшие десять лет установлено, что наиболее характерным видом повреждений распространенных на территории Беларуси асфальтобетонных покрытий являются трещины. При ежегодной диагностике магистральных дорог республики, проводимой РУП «Белдорцентр», фиксируется количество повреждений в виде отдельных трещин (м), частых трещин (м) и сетки трещин (м<sup>2</sup>). Проведенная нами статистическая обработка данных диагностики с 2000 по 2010 г. позволила оценить влияние различных факторов на процессы образования и развития трещин [11]. Кроме того, введенный нами показатель трещиноватости дорожных асфальтобетонных покрытий позволяет оценить по диагностическим данным состояние покрытия по степени его разрушения трещинами и необходимость проведения ремонтных мероприятий.

Для возможности использования показателей с разной размерностью в одном расчете (метры и метры квадратные) предварительно была проведена нормализация значений по максимальному и минимальному значениям. Каждое значение по трем показателям (отдельные трещины, частые трещины, сетка трещин) рассчитывалось по формуле

$$x_{\text{норм}} = \frac{x - x_{\text{min}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}, \quad (1)$$

где  $x_{\text{норм}}$  – нормализованное значение показателя;  $x$  – текущее значение показателя;  $x_{\text{min}}$  – минимальное значение показателя;  $x_{\text{max}}$  – максимальное значение показателя.

Трещиноватость дорожных покрытий оценивалась по сводному коэффициенту трещиноватости, объединившем в себе количество повреждений в виде одиночных трещин, частых трещин, сетки трещин:

$$K_{\text{св.тр}} = 1,0 \cdot b_1 + 1,0 \cdot b_2 + 1,2 \cdot b_3, \quad (2)$$

где  $K_{\text{св.тр}}$  – сводный коэффициент трещиноватости покрытия;  $b_1$  – количество разрушений покрытия в виде отдельных трещин;  $b_2$  – количество разрушений покрытия в виде частых трещин;

$b_3$  – количество разрушений покрытия в виде сетки трещин; 1,0; 1,0; 1,2 – коэффициенты весомости дефектов: отдельные трещины, частые трещины, сетка трещин соответственно [12].

Для каждой дороги по данным диагностики с 2000 по 2010 г. после проведения нормализации значений трех параметров в соответствии с формулой (1) рассчитаны значения сводных коэффициентов трещиноватости покрытия по формуле (2). Полученные значения сводного коэффициента трещиноватости ранжировались в трех пределах – свыше 1 (критическое состояние покрытия по трещиноватости), от 0,6 до 1,0 (опасное состояние покрытия по трещиноватости) и от 0,2 до 0,6 (неопасное состояние покрытия по трещиноватости).

Новейшая лаборатория визуального сканирования Line-Scan, используемая РУП «Белдорцентр» в последние несколько лет, позволяет наиболее полно оценить состояние поверхности дорожного покрытия по его изображению, которое впоследствии обрабатывается с применением специального программного обеспечения, определить объемы поверхностных дефектов. 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, что составляет вместе один непрерывный образ.

На наш взгляд, 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.

Кроме того, очевидной является следующая последовательность в развитии дефектности дорожных покрытий: зарождение, развитие и достижение критических значений. Очень важно выявить появление повреждений на начальной стадии, и для этого перспективным можно считать применение новейших методов обнаружения дефектов. В этом отношении физика термографии открывает большие возможности.

Неразрушающие методы контроля асфальтобетонных покрытий, применяемые сегодня в Республике Беларусь, включают в себя накопление, хранение и дальнейшую обработку изображений дороги, полученных аналоговыми или цифровыми камерами. Современные системы обнаружения дефектов верхнего слоя покрытия используют искусственный и окружающий свет для отображения его поверхности. Зачастую эта методика не позволяет выявлять, к примеру, многие виды трещин: «белые» трещины, которые не дают достаточный контраст, трещины в предварительно отремонтированных и восстановленных покрытиях, где герметики, наоборот, вызывают контраст изображения, перпендикулярные к оси дороги трещины, трещины шириной раскрытия менее 2 мм.

Метод термографии с применением тепловизоров фирм FLIR, IRISYS, Fluke, NEC позволяет обнаружить трещины шириной 1–2 мм, которые невозможно зафиксировать при съемке обычными видеокамерами, а устранение таких трещин на ранней стадии развития позволит в будущем сэкономить на проведении дорогостоящих ремонтных мероприятий и предотвратить дальнейшее разрушение покрытия.

Устройство для диагностики покрытия работает следующим образом: тепловизор устанавливается на мобильное транспортное средство так, чтобы сканирование производилось поперек покрытия; изображение в виде кадра теплового отображения фрагмента покрытия фиксируется в памяти тепловизора. После получения изображения всей ширины покрытия устройство перемещается на расстояние, равное диаметру пятна обзора камеры тепловизора вдоль покрытия, и процедура сканирования и регистрации теплового отображения повторяется. Полученное в итоге изображение передается в устройство обработки результатов сканирования. Цель обработки результатов – выявление и идентификация теплового отображения поверхностных дефектов на полученных кадрах и регистрация наличия трещин, выбоин.

Преимуществами термографического метода является возможность обнаружения трещин шириной раскрытия до 2 мм, трещин, не дающих достаточного контраста при съемке обычными фото- и видеокамерами, а использование тепловизора позволяет снизить стоимость и повысить качество обнаружения трещин в дорожных покрытиях, повысить скорость проведения диагностики, оценить состояние всего покрытия по ширине за одну съемку, исключая применение 2–3 параллельно работающих камер [13].

**Заключение.** На основании изложенного выше материала можно сделать следующие выводы.

1. Возрастающие требования к качеству автомобильных дорог, новейшие научные разработки в области дорожного материаловедения, приборостроения и компьютерных технологий способствовали системному развитию диагностики автомобильных дорог как науки. Специалистами отрасли активно внедряются системы автоматизированного проектирования и исследования работы дорожных конструкций под различными нагрузками, новая специализированная техника в строительстве, диагностике и ремонте, нанотехнологии при производстве асфальтобетонных смесей с различными добавками и др. Автоматизированные банки дорожных данных позволяют накаливать, хранить и по необходимости использовать техническую информацию о состоянии и условиях эксплуатации автомобильных дорог.

2. При диагностике поверхностных повреждений на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог, основным видом которых являются трещины различного характера, применяются новейшее оборудование (георадарное, визуальной съемки) и технологии. Использование при проведении диагностики тепловизоров и метода термографии имеет ряд преимуществ перед другими методами визуального осмотра покрытий. В частности, данный метод позволяет повысить качество обнаружения трещин, сколов, выбоин на покрытии, повысить скорость проведения диагностики, за одну съемку зафиксировать покрытие на всю его ширину, обнаружить трещины шириной раскрытия до 2 мм с целью проведения незамедлительного их ремонта до начала разрушения ленточными материалами, содержащими битум.

3. Статистический анализ результатов диагностики республиканских дорог за прошедшие десять лет позволил доказать, что наиболее распространенным дефектом асфальтобетонных дорожных покрытий в условиях Беларуси являются трещины. РУП «Белдорцентр» фиксирует ежегодно три показателя трещиноватости покрытия – отдельные трещины, частые трещины и сетка трещин, – которые послужили основой для применения предлагаемого нами показателя трещиноватости покрытий. Принято, что на наиболее подверженных трещинообразованию участках дорог значение сводного коэффициента выше единицы. Данный показатель рекомендуется использовать при планировании и назначении ремонтных мероприятий.

## Литература

1. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск: Новое знание, 2011. – 350 с.

2. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с.

3. Департамент «Белавтодор» [Электронный ресурс] / Белавтодор. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://belavtodor.belhost.by>. – Дата доступа: 15.02.2013.

4. Государственная программа «Дороги Беларуси на период 2006–2015 годы. Основные положения»: в 2 т. – Минск, 2004. – Т. 1.

5. Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия / под общ. ред. А. В. Минина. – Минск: БелЭН, 2002. – 672 с.

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

7. Прочность и долговечность асфальтобетона / под ред. Б. И. Ладыгина. – Минск: Наука и техника, 1972. – 187 с.

8. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. / А. П. Васильев. – М.: Академия, 2010. – Т. 2. – 320 с.

9. Leonovich, I. Influence of temperature on the formation of damages in asphalt concrete pavements under climatic conditions of the Republic of Belarus / I. Leonovich, I. Melnikova // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2012. – Vol. 7, No. 1. – P. 42–47.

10. Руденский, В. А. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных покрытий / В. А. Руденский, А. С. Рыльков // Труды ГП «РосдорНИИ». – 2011. – № 25.

11. Леонович, И. И. Влияние конструкции дорожной одежды, транспортных потоков и уровня содержания на эксплуатационное состояние республиканских автомобильных дорог / И. И. Леонович, И. С. Мельникова // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6. – С. 52–58.

12. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики: ТКП 140-2008 (02191). – Введ. 01.01.2009. – Минск: Белдорцентр, 2009. – 58 с.

13. Устройство для обнаружения трещин в асфальтобетонном покрытии: патент 8005 Республики Беларусь, МПК Е 01С 23/00 / И. С. Мельникова, С. Ф. Мельников; заявитель ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». – № u 20110632; заявлено 05.08.2011; зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей 01.12.2011.

*Поступила 21.02.2013*