

И. И. Леонович, д-р техн. наук, профессор, БНТУ;
И. В. Нестерович, канд. техн. наук, РУП «Белдорцентр»
Е. П. Ковалевич, преподаватель, БНТУ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

The modern equipment for diagnostics of roads is described in the article. This equipment uses lasers and digital video. Possible directions of use of this equipment are determined in the article.

Введение. Автомобильные дороги занимают центральное место в системе транспортных коммуникаций Республики Беларусь. Сеть автомобильных дорог непрерывно развивается. Растет необходимость в строительстве новых дорог, реконструкции и капитальном ремонте уже существующих.

Дороги являются неотъемлемой частью дорожно-транспортного комплекса, а их качество всецело определяет условия и эффективность работы автомобильного транспорта. Транспортно-эксплуатационные качества дорог закладываются в процессе проектирования, формируются при строительстве и проявляются в процессе эксплуатации.

Постоянное воздействие автомобильного транспорта и погоднo-климатических факторов ведут к разрушению дорог.

Основными показателями эксплуатационного состояния являются:

- дефектность;
- прочность дорожной одежды;
- ровность покрытия;
- сцепные качества (коэффициент сцепления и шероховатость).

Данные показатели определяются в процессе диагностики. Для диагностики ряда параметров измерительные системы несовершенны и малопроизводительны.

На движение автотранспорта наиболее существенное влияние оказывают дефекты дорожного покрытия (трещины, выбоины, колеи, волны, разрушение поверхностной обработки и другие). При текущих ежегодных осмотрах и обследованиях визуально определяют вид и число дефектов дорожной одежды, земляного полотна, обочин, откосов и водоотвода, оценивают полноту, состояние и правильность размещения инженерного оборудования, обстановки и обустройства дорог, проводят инструментальную оценку ровности и сцепных качеств покрытия, составляют сезонные графики коэффициентов аварийности. По результатам визуальных осмотров назначают мероприятия по содержанию, определяют участки детального обследования.

1. Определение дефектов. В настоящее время в мировой практике распространены различные системы по определению дефектов.

В Республике Беларусь широко применяются как отечественные, так и зарубежные кон-

трольно-измерительные приборы. Руководство по систематическому контролю технико-эксплуатационного состояния автодорог осуществляет РУП «Белдорцентр».

В Российской Федерации наблюдается повышенный интерес к видеосистемам. Но подавляющее их большинство направлено на паспортизацию автомобильных дорог и представляет собой набор видео(фото)камер, позволяющих производить видео-, фотосъемку автомобильной дороги или ее элементов.

Простейшая система дает возможность выполнять только съемку для просмотра изображения на экране монитора компьютера. Данная система позволяет лишь визуальное информирование о дороге, возможно лишь различение крупных объектов. Такая система представляет незначительный инженерный интерес и может быть использована в основном для получения некой обзорной информации о дороге, которая сильно изменяется даже в зависимости от поры года.

Имеются системы, позволяющие в режиме постобработки в офисе получать местоположение и объем дефектов и предметов, которые можно различить на экране монитора (цифровом кадре). В этом случае режим постобработки столь трудоемкий, что ограничивает применение системы на очень коротких участках дорог. В добавление низкое разрешение мелких дефектов (съемка цифровой видео-, фототехникой) под углом и со значительным расстоянием до дорожного покрытия не дает возможности рекомендовать подобные системы для диагностики и осмотров республиканской сети в сжатые сроки.

Перечисленные лаборатории разработаны в ФГУП СНИЦ «РОСДОРТЕХ» г. Саратов и в НПО «Регион» г. Москва. Экранная копия работы лаборатории ФГУП СНИЦ «РОСДОРТЕХ» представлена на рис. 1.

Лаборатория НПО «Регион» представлена на рис. 2.

В России экспериментальная установка разработана Васильевым Ю. М., МАДИ (ГТУ) – Лаборатория видеокomпьютерного сканирования, изображенная на рис. 3.

Данное оборудование позволяет получать цифровое изображение поверхности автомобильной дороги и придорожной полосы общей шириной 20 м.

Система дает возможность снимать и распознавать дефекты в автоматизированном режиме.

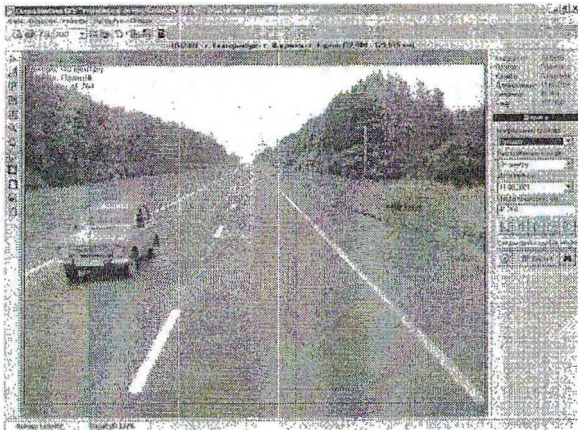


Рис. 1. Экранная копия работы лаборатории ФГУП СМПЦ «РОСДОРТЕХ»

В лаборатории просматриваются конструктивные элементы базы прошлых лет (пятое колесо). Компоновка свидетельствует об «экспериментальности» данной установки.



Рис. 2. Лаборатория НПО «Регион»



Рис. 3. Лаборатория видеокomпьютерного сканирования МАДИ (ГТУ)

Разрешение данной системы составляет 1 см. Т. е. дефекты с одним из линейных размеров менее 1 см не фиксируются и не распознаются. Это особенно важно для обнаружения трещин, т. к. в подавляющем большинстве в Беларуси встречаются трещины покрытий шириной раскрытия до 1 см, а трещины более 1 см

раскрытия могут вообще создавать искусственную неровность. Хорошо видны трещины и швы на цементобетонном покрытии, на асфальтобетонном покрытии распознавание трещин затруднительно.

В Дании компанией Гринвуд Инжиниринг разработана передвижная лаборатория, позволяющая выполнять цифровое сканирование поверхности покрытия, компьютерный анализ видеоизображения и автоматическое или полуавтоматическое определение дефектов и их объемов.

2. Определение прочности. Традиционно для оценки состояния дорожных покрытий, находящихся в эксплуатации, применяют два типа исследований: измерение показателей, характеризующих состояние поверхности дорожного покрытия (ровность, глубина колеи), а также выявление дефектов путем измерения несущей способности (прочности) дорожного покрытия.

Прочность дорожной одежды – сопротивление дорожной одежды напряжениям и деформированию под воздействием нагрузок от транспортных средств и изменяющихся природно-климатических факторов.

Измерение прочности дорожной одежды производят установками статического, псевдостатического и динамического нагружения.

Измерения статическими видами нагружения проводят для определения прочностных показателей дорожной одежды на небольших характерных участках дороги. При этом величина нагрузки и степень ее воздействия на дорожную одежду не меняются (прогибомеры, установка штамповых испытаний, измерение высокоточным нивелиром).

Измерения псевдостатическими видами нагружения проводят с помощью установок, в основу работы которых положена теория отражения светового луча. Прогиб дорожной одежды определяется фотоэлектропрогибомерами (дефлектограф «Лакруа») с дальнейшей обработкой и определением модуля упругости.

Измерение динамическими видами нагружения проводят на участках дороги значительной протяженности с использованием сложного оборудования. Упругая деформация при динамическом нагружении зависит от величины кратковременного усилия и времени воздействия нагрузки на покрытие, составляющего 0,2...0,4 с. При этом имитируется воздействие колеса автомобиля с разной нагрузкой на дорожную одежду, что позволяет измерять изменение прогиба в широком диапазоне (УДН, УДН-НК, дефлектометром FWD, Дина-3М и др.).

Однако все вышеперечисленные виды оборудования для определения прочностных характеристик дорожных одежд имеют низкую производительность.

В целях повышения безопасности движения при проведении диагностики состояния авто-

мобильных дорог, а также усовершенствования метода измерения прочности дорожной одежды Датским автодорожным институтом разработана конструкция дефлектографа, позволяющего при скорости движения 90 км/ч производить мониторинг конструктивного состояния дорожной одежды. Такой дефлектограф HSD (High Speed Deflectograph):

- обеспечивает дорожную администрацию более объемной и достоверной информацией, позволяющей рационально планировать ремонтные работы;

- дает возможность получить более надежные и точные результаты за счет высокой плотности измеряемых точек (через каждые 20 мм) по сравнению с дискретными результатами, которые обеспечивает дефлектометр падающего груза (расстояние между измеряемыми точками от 50 до 100 м);

- может производить измерения на всех полосах многополосных автомобильных дорог (т. е. магистральных), что позволяет планировать ремонтные работы по каждой полосе;

- обеспечивает высокий уровень безопасности дорожного движения и условий работы персонала за счет того, что измерения проводятся при нормальной скорости транспортного потока и без необходимости закрытия движения.

Основное преимущество HSD – производительность. При проведении измерений со скоростью движения 70 км/ч и пятичасовом рабочем дне за неделю можно обследовать 1750 км.

Принцип измерений HSD основан на современной лазерной технологии, запатентованной компанией Greenwood Engineering A/S. Вертикальные перемещения поверхности дорожного покрытия под действием нагруженного автомобиля измеряются с помощью двух специальных лазерных датчиков Допплера. Реальное перемещение поверхности покрытия под действием транспортной нагрузки известной величины выражается посредством разности между нагруженным и ненагруженным поперечным профилем дороги. Используя доплеровскую технологию, можно определить скорость прогиба дорожного покрытия. Для получения оптимальных условий измерения в любое время положение датчиков Допплера постоянно контролируется и управляется сервосистемами и инерционными устройствами. Комплект оборудования установлен на базе прицепа дефлектографа 1985 г. (новый тягач был приобретен для специальных целей). Длинный прицеп выбрали с тем, чтобы исключить влияние базового автомобиля на точность измерения скорости прогиба. Оптимальное расстояние между передним датчиком Допплера и колесом прицепа должно быть достаточно большим, чтобы не нарушать режим измерений, и достаточно коротким, чтобы проводить

измерения на участках дорог с кривыми небольшого радиуса.

Измерительная система HSD (вид сбоку) представлена на рис. 4.

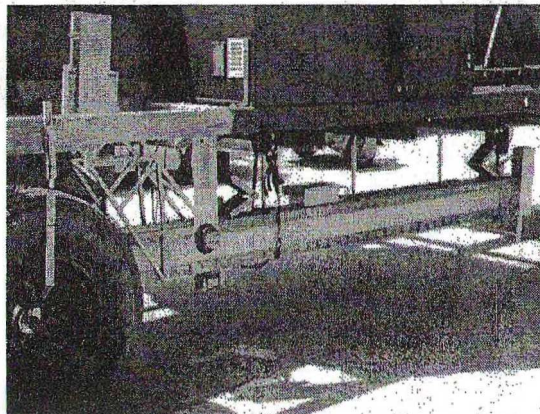


Рис. 4. Измерительная система HSD (вид сбоку)

Измерительное оборудование установлено на жесткой металлической балке спереди правого колеса прицепа. Колесо оказывает давление на поверхность дорожного покрытия с силой до 50 кН, а соответствующая реакция поверхности регистрируется двумя (приблизительно) вертикальными лазерными датчиками Допплера.

Оборудование для обработки данных расположено в контейнере наверху прицепа, а управляющий компьютер – в кабине водителя. Измерения проводятся в автоматическом режиме. Работу выполняет один человек (водитель), который запускает компьютер и затем, в принципе, только управляет автомобилем. Измерения, как правило, проводятся на скорости 70–80 км/ч. Максимальная скорость движения базового автомобиля – порядка 95 км/ч. Минимальная скорость HSD – 20 км/ч.

Допплеровская технология, применяемая для HSD, описана Хильдебрандом и др. (1999). Впервые она была представлена в 1842 году австрийским физиком Кристианом Иоганном Допплером, доказавшим, что фазовое смещение длины волны распространения света, звука или любой другой энергии, зарегистрированной движущимся наблюдателем, определяется показателем (v/c) , как описано уравнением 1 (Хант, 1987).

$$F_{\text{Допплер}} = -F \times v/c$$

v – относительная скорость между источником и приемником; c – скорость распространения волны; $F_{\text{Допплер}}$ – частота смещения на приемнике; F – излучаемая частота.

Смещение Допплера представляет ситуацию, когда длина излучаемой волны сокращается по мере приближения объекта. И, наоборот, по мере удаления объекта длина излучаемой волны увеличивается.

Метод измерений, применяемый в HSD, описан Расмуссеном и др. (2002). Концепция HSD основана на измерении не собственно прогиба поверхности дорожного покрытия, а его скорости. Данная концепция хорошо подходит к высоким скоростям движения, так как скорость прогиба увеличивается с увеличением скорости движения (хотя и не пропорционально). На нагруженном автомобиле устанавливаются два лазерных датчика Допплера. Излучаемые лазерные лучи падают на поверхность дорожного покрытия, при этом датчики измеряют скорость в направлении лазерных лучей. Под воздействием нагрузки от прицепа в покрытии развиваются деформации, скорость которых регистрируется датчиками Допплера. На рис. 5 показаны датчики Допплера, расположенные на металлической балке спереди правого колеса прицепа.

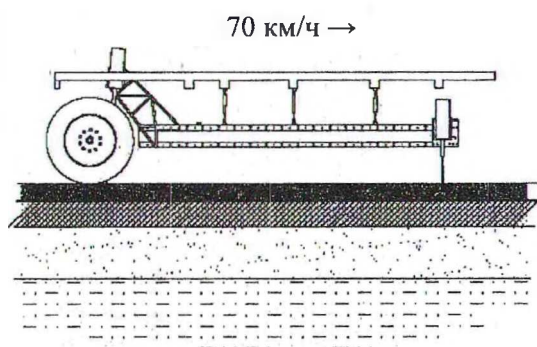


Рис. 5. Эскизное изображение измерительной системы HSD (Расмуссен и др., 2001 г.)

Высокоскоростной дефлектограф HSD может использоваться также для выявления проблемных участков, характеризующихся недостаточной прочностью и требующих незамедлительного ремонта.

Выводы. 1. Визуальная фиксация дефектов покрытия – трудоемкий процесс, имеющий определенную степень субъективности.

2. Для определения дефектности покрытия следует применять автоматизированные системы их идентификации и распознавания.

3. Наиболее распространенное оборудование для определения прочностных характеристик дорожных одежд имеет низкую производительность.

4. Применение высокоскоростного дефлектометра позволяет производить оценку прочностных качеств сети дорог в неблагоприятные периоды: весенней распутицы и летних высоких температур.

Литература

1. Traffic Speed Deflectometer. – <http://www.greenwood.dk>
2. Danish Road Directorate. Development of a High Speed Deflectograph. Nordic Road & Transport Research – 3, 2003.
3. Леонович, И. И. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог / И. И. Леонович. – Минск, 2002. – 354 с.
4. Ковалев, Я. Н. Автомобильные дороги / Я. Н. Ковалев. – Минск, 2006. – 352 с.