

тии повышают аэрацию почвы, что приводит к большему росту корней. В результате возникает взаимосвязь: рост корней приводит к разрушению дорожного покрытия, а разрушение покрытия способствует росту корней. Чем большую плотность имеет подстилающий грунт, тем выше вероятность того, что корни деревьев будут распространяться близко к поверхности, тем самым повреждая слои дорожного покрытия.

Для минимизации проблем, связанных с корневой системой деревьев и состоянием дорожного покрытия, необходимо собрать больше информации о повреждении дорожного покрытия в зависимости от вида дерева, его возраста, типа почвы, размера посадочной ямы, характеристик дорожного покрытия и развития корней. Такая информация может быть использована для улучшения выбора видов деревьев, методов их посадки, типов покрытия и режимов управления водно-температурным режимом, чтобы предотвратить или уменьшить ущерб, наносимый деревьями дорожному покрытию пешеходных зон и зон отдыха.

Список литературы

1 Беспалова, М. В. Эксплуатационные дефекты плиточного покрытия / М. В. Беспалова, А. Б. Индрилюнас // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. : в 2 ч., Гомель, 24–25 ноября 2022 / Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель, 2022. – Ч. 2. – С. 13–15.

2 ТКП 45-3.02-69-2007. Благоустройство территорий. Озеленение. Правила проектирования – Введ. 2007-12-20. – Минск : Минстройархитектуры, 2008. – 20 с.

УДК 625.1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Д. И. БОЧКАРЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Н. Ю. ГУБЕНСКИЙ

Белорусская железная дорога, г. Минск

Одной из важнейших задач при эксплуатации сложно нагруженных технических объектов ответственного (и стратегического) назначения, к которым относятся железнодорожный путь, мосты, путепроводы, эстакады и т. д., является обеспечение безопасности. В общем случае прочность элементов таких конструкций и их ресурс задаются на стадии разработки и проектирования. Однако воздействие знакопеременных нагрузок, коррозионно-активной среды, колебаний температуры и других эксплуатационных факторов, а также наличие в материале технологических или эксплуатационных дефектов существенно снижают срок службы.

Для предотвращения перехода конструкции в предельное состояние, возникшее по вышеперечисленным причинам, необходимо осуществлять неразрушающий контроль (далее – НК), причём желательно в режиме реального времени.

В процессе эксплуатации верхнего строения железнодорожного пути или искусственного сооружения происходят накопления в материале усталостных повреждений, которые на начальной стадии развития оперативно не могут быть обнаружены техническими средствами основных методов НК. Вопрос о безопасной эксплуатации таких элементов возможно решить только с использованием средств НК, чувствительных к развивающимся дефектам, поскольку традиционные методы и средства дефектоскопии направлены на выявление уже имеющихся дефектов. Следовательно, задача выявления растущих прогибов, трещин и нарушений проектного положения элементов объекта контроля (далее – ОК), в том числе находящихся на начальной стадии развития, представляется особенно актуальной. Решение данной задачи возможно посредством применения акустических методов НК.

Акустические методы НК подразделяются на две группы – активные и пассивные. Активные методы основаны на излучении, приёме и анализе упругих колебаний (акустических волн), пассивные – только на приёме и анализе волн, возникающих при образовании дефекта, источником которых служит сам контролируемый объект.

Характерным примером активного метода является ультразвуковой (далее – УЗ) контроль.

Согласно ГОСТ 18353–79 к пассивным акустическим методам относят:

– метод акустической эмиссии (далее – АЭ), позволяющий выявлять зарождающиеся дефекты и прогнозировать остаточный ресурс элементов сооружения, выработавших свой нормативный срок службы;

– вибрационный метод, анализирующий параметры вибрации какой-либо отдельной детали или узла (ротор, подшипники и др.) с помощью приёмников контактного типа;

– шумодиагностический метод, изучающий спектр шумов работающего механизма с помощью микрофонных приёмников;

– метод распределенного акустического зондирования (Distributed Acoustic Sensing – DAS).

Из рассмотренных методов наибольший интерес представляет метод DAS, реализуемый благодаря способности постоянно и непрерывно регистрировать величину акустического воздействия с помощью проложенного вдоль пути или пролётного строения искусственного сооружения оптоволокна, в которое на всём его протяжении посылаются импульсы, принимаемые фотодетектором. Вследствие увеличения величины прогиба, а также за счёт акустической вибрации кабеля, вызываемой движением подвижного состава, развивающихся поверхностных и глубинных дефектов происходит изменение отражения сигнала, что и фиксируется оборудованием и позволяет диагностировать дефекты и нарушения нормальной эксплуатации.

Контроль местоположения дефектов (сечений, имеющих превышение величины прогибов и отклонений от проектного положения) определяется рефлектометром по разности рефлектограмм и может проводиться с точностью 1–2 м на расстоянии до 40 км от рефлектометра и центрального обработчика.

Непрерывный анализ диагностической информации, формируемой на основе сигналов, воспринимаемых чувствительными элементами системы и несущих информацию о величине прогибов или отклонений от проектного положения элементов ОК, даёт возможность системе контроля технического состояния объективно оценивать опасность процессов, происходящих в деформируемом материале, и спрогнозировать разрушающую нагрузку и остаточный ресурс как отдельных элементов конструкции, так и всего сооружения, а также оперативно управлять движением. Это позволяет рассматривать путь или искусственное сооружение в качестве интеллектуального устройства, собирающего посредством системы контроля сведения о своём состоянии и оценивающего его в режиме реального времени, обеспечивая таким образом необходимый и достаточный уровень безопасной эксплуатации. Современная компьютерная техника, программное обеспечение, технологии сетевой и беспроводной связи делают реальным непрерывный дистанционный доступ к диагностической информации, что способствует анализу и обобщению получаемых данных как в рамках локальных, расположенных в наиболее неблагоприятных условиях участков, так и в масштабе всего ОК.

Для удовлетворения поставленным требованиям система диагностики должна обеспечивать следующие основные функции:

– измерение, обработку и представление с заданной степенью вероятности исходных данных, необходимых для оценки технического состояния (несущей способности);

– экстраполяцию полученных исходных данных в направлении принятой прогнозной координаты;

– расчёт несущей способности и остаточного ресурса по поступившей прогнозной информации, а также дополнительных сведений, характеризующих условия производства и текущего содержания;

– оценку состояния конструкции и возможных последствий развития дефекта с отработкой вариантов последствий по степени опасности;

– выбор оптимального варианта и принятие решения;

– в соответствии с принятым решением изменение режима работы (ограничение массы подвижного состава, скорости движения и осевой нагрузки) с целью выхода из аварийного состояния, сообщение о необходимости выполнения ремонтно-восстановительных работ, необходимости частичного или полного прекращения функциональной деятельности участка пути или искусственного сооружения, или объекта в целом;

– передачу информации о техническом состоянии пути или искусственного сооружения в эксплуатирующую организацию (центральную интеллектуальную систему управления) для принятия решения по дальнейшей эксплуатации или изменении её параметров.

Анализ технологий неразрушающего контроля, применение которых возможно для непрерывной дистанционной диагностики железнодорожного пути или искусственных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т. д.), показывает высокую эффективность метода DAS, использующего волоконно-оптический кабель в качестве чувствительного элемента (датчика) для измерения акустического воз-

действия с высоким пространственным разрешением по всей длине приёмной системы, что оптимально подходит для объектов большой протяжённости.

Развитие и апробация рассмотренной выше технологии диагностики и мониторинга на основе метода DAS требует разработки соответствующих технических нормативных правовых актов. Данное направление создаст условия для комплексного системного подхода к диагностированию, оценке и прогнозированию технического состояния железнодорожного пути или искусственных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т. д.), а значит, обеспечит их надёжность и безопасность в течение всего срока службы.

УДК 625.7/.8

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

А. В. БОЧКАРЕВ

Саратовский государственный технический университет, Российская Федерация

Д. В. МЕДВЕДЕВ, М. Ю. ГОРСКИЙ

Автономная некоммерческая организация «НИИ ТСК», г. Москва, Российская Федерация

Поддержание в работоспособном состоянии сети автомобильных дорог является одной из важнейших государственных задач. Высокая стоимость ремонтно-восстановительных работ заставляет специалистов-дорожников искать способы увеличения межремонтного срока службы. Одним из перспективных направлений является использование в конструкции дорожных одежд современных геосинтетических материалов (ГМ). Основными задачами, которые могут быть решены в дорожном строительстве при помощи ГМ, являются: армирование слоев асфальтобетона и слоев оснований дорожных одежд, препятствование перемешиванию слоев минеральных материалов, не содержащих вяжущего, а также уменьшение эрозии на откосах, развивающейся вследствие воздействий окружающей среды. Широкому внедрению ГМ в практику препятствовало, во-первых, отсутствие, до последнего времени, общепризнанных стандартов на свойства геосинтетических материалов, предназначенных для использования в дорожном строительстве [1], а во-вторых, недостаточное, несмотря на усилия отдельных исследователей [2, 3], теоретическое обоснование эффективности применения ГМ.

Для решения обозначенных проблем силами «НИИ ТСК» был проведен эксперимент с применением современных ГМ в ходе капитального ремонта автомобильной дороги Рязань – Ефремов. В ходе работ на прямолинейном участке дороги вне зон разгонов и торможений были выбраны 12 стометровых участков, на которые были уложены ГМ для армирования асфальтобетонных слоев, полученные от 7 производителей. Армирующие материалы укладывались между выровненным старым асфальтобетонным покрытием и слоем усиления из нового асфальтобетона с соблюдением всех требований по технологии укладки [4]. Данные участки разделялись 50-метровыми контрольными участками, выполненными по традиционной технологии, без применения ГМ. В течение 2 лет проводился мониторинг состояния опытных участков для оценки эксплуатационных показателей и дефектов дорожных одежд: модуля упругости, интенсивности колееобразования и трещинообразования.

Результаты эксперимента показали, что на участках автодороги с использованием ГМ количество поперечных трещин на покрытии уменьшилось в 15 раз, а на контрольных – только в 8 раз, в сравнении с количеством трещин, которые были на этих участках до ремонта. Обнаружено статистически значимое увеличение общего модуля упругости дорожной одежды при использовании ГМ с прочностью на разрыв 40 кН/м и более. В то же время влияния ГМ на интенсивность колееобразования обнаружить не удалось; ни один из примененных ГМ не смог полностью устранить трещинообразование, а лишь способствовал уменьшению плотности трещин, появившихся за весь период мониторинга, в сравнении с контрольными участками.

Для объяснения результатов эксперимента было проведено математическое моделирование условий распространения трещин через слой усиления. Наблюдения и элементарные расчеты показывают, что ГМ, расположенный на нижней границе слоя усиления, не способен препятствовать образованию температурных трещин со стороны верхней границы этого слоя. Покажем, что слой ГМ способен затруднять прорастание отраженных трещин сквозь слой усиления, инициированных существующими трещинами в старых асфальтобетонных слоях.