

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.

Модель дорожной одежды включает следующие слои (сверху вниз): слой усиления из нового асфальтобетона, слой с геосинтетическим материалом, старый асфальтобетон и слой щебня, с толщинами, соответственно, 5 см, 2,5 мм, 19 см и 40 см. Асфальтобетон в обоих слоях представляется однородным линейно-упругим материалом, обладающим при 0 °С модулем упругости для статической нагрузки  $E_a = 1$  ГПа и коэффициентом температурного расширения  $\alpha = 25 \cdot 10^{-6}$  1/м. Слой старого асфальтобетона разделен на «блоки» сквозными вертикальными поперечными трещинами с раскрытием 5 мм, расположенными на расстоянии 2 м друг от друга; остальные слои трещин не имеют.

Геосинтетический материал, предназначенный для армирования асфальтобетонных слоев, имеет сложную структуру: как правило, он представляется комбинацией прямоугольной сетки из полимерных или стеклянных волокон с размером ячейки в диапазоне 2–5 см, предназначенной для несения силовой нагрузки, и сплошной тонкой синтетической ткани со специальной пропиткой, имеющей высокую адгезию к битумсодержащим материалам. В соответствии с методом конструктивной анизотропии [5], ГМ моделируется при помощи сплошного тонкого слоя, модуль упругости которого линейно уменьшается от максимального значения  $E_{\max}$  в срединной поверхности слоя к минимальным значениям  $E_a$  на его нижней и верхней поверхностях. Например, для ГМ с поверхностной плотностью 900 г/м<sup>2</sup>, модулем упругости волокон 70 ГПа и прочностью на разрыв 200 кН/м при удлинении 3,5 %, следует принять  $E_{\max} = 5$  ГПа.

Для численного моделирования с помощью метода конечных элементов выбирается участок продольного сечения дорожной одежды, левая вертикальная граница которого соответствует середине «блока» старого асфальта, а правая граница – середине трещины. Для всех слоев на левой границе и для первых двух слоев на правой границе требуется равенство нулю горизонтальных перемещений, на нижней поверхности слоя щебня полагаются нулевые вертикальные перемещения; остальные участки границ остаются свободными. При однородном уменьшении температуры всей конструкции сжатие «блока» старого асфальта приводит, в отсутствие слоя ГМ, к опасной концентрации напряжений в новом слое асфальта в районе вершины имеющейся трещины, что может привести к образованию и развитию новой трещины. Вычисления показывают, что при наличии слоя, содержащего высокопрочный ГМ с вышеуказанными прочностными параметрами, напряжения в конструкции перераспределяются – среднее растягивающее напряжение в новом слое асфальта в радиусе 1 см от вершины трещины уменьшается почти на 30 %, что значительно уменьшает вероятность «прорастания» старой трещины через новый асфальтобетонный слой.

#### Список литературы

- 1 **Медведев, Д. В.** Гармонизация норм и методов испытаний геосинтетических материалов в дорожных конструкциях / Д. В. Медведев, Ю. И. Калгин // Строительная механика и конструкции – 2023. – № 2 (37). – С. 108–120.
- 2 **Бусел, А. В.** Расчет армированных геосетками конструкций дорожных одежд нежесткого типа по критерию их температурной трещиностойкости / А. В. Бусел, А. И. Смыковский // Вестник ВГТУ. – 2005. – № 8. – С. 90–93.
- 3 **Мельникова, И. С.** Моделирование воздействия температуры и транспортных нагрузок на возникновение и развитие трещин в асфальтобетонных дорожных покрытиях / И. С. Мельникова // Наука и техника. – 2012. – № 4. – С. 44–52.
- 4 ОДМ 218.5.001-2009. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. – ФДА Росавтодор, 2010.
- 5 **Жгутов, В. М.** Метод конструктивной анизотропии для подкрепленных оболочек с учетом переменной жесткости ребер и различных свойств материалов / В. М. Жгутов // Глобальная энергия. – 2012. – № 3–2 (154). – С. 286–294.

УДК 625.7/.8

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Д. И. БОЧКАРЕВ, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Анализ подходов к организации системы эксплуатации дорожной сети государств, имеющих ее наибольшую протяженность, показывает, что в США, а позже в Западной Европе, где темпы автомобилизации в течение многих лет были выше, чем в других странах, первыми столкнулись с проблемой несоответствия протяженности и состояния сети автомобильных дорог предъявляемым требованиям. Ответом стало создание и развитие системы управления состоянием покрытия (далее – СУСП).