

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2024.01.04

УДК 624.21.01/.09

В.А. Ходяков, Н.И. Шишко, В.А. Гречухин

Белорусский национальный технический университет (БНТУ),
Минск, Республика Беларусь

МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Зона устройства деформационного шва на мостовых сооружениях является одним из самых проблемных элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах Республики Беларусь. При обследовании мостовых сооружений состояние деформационных швов, как правило, оценивается визуально. Такой метод оценки легко реализуем и не требует больших затрат времени, однако по сути является экспертным и требует определенного опыта и высокой квалификации специалистов.

Предлагается три новых метода инструментальной диагностики деформационных швов: термографический, виброаналитический и по адаптированному показателю IRI.

Предлагаемые методы позволяют выполнять более объективную инструментальную оценку состояния деформационных швов с точки зрения влияния на условия движения автомобилей по мостовому сооружению. Вопрос нарушения герметичности деформационных швов в данных исследованиях не рассматривался. Для двух методов предложены критические значения измеряемых параметров, при достижении которых необходимо выполнение ремонта зоны устройства деформационных швов.

Все методы опробованы в полевых условиях. Представлены результаты измерений на нескольких мостовых сооружениях, характерных для Республики Беларусь, с железобетонными ребристыми пролётными строениями.

Предлагаемые методы могут найти применение при проведении регулярных обследований мостовых сооружений, а также мониторинге. Позволяют оценить состояние шва и прилегающих участков дорожного покрытия без ограничения движения по сооружению.

Предложенные критические значения измеряемых параметров развивают теорию долговечности деформационных швов. Развитие методов оценки состояния деформационных швов позволяет более точно отслеживать момент наступления их критического состояния, требующего вмешательства ремонтных служб, и, как следствие, ведет к повышению надежности и долговечности всего мостового сооружения.

Ключевые слова: мостовое сооружение, условия движения, испытание, мониторинг, диагностика, деформационный шов, термография, лазерное сканирование, параметр IRI, виброскорость, виброанализатор, динамика, безопасность, ровность.

V.A. Hodyakov, N.I. Shyshko, V.A. Grechuhin

Belarusian national technical university (BNTU), Minsk, Republic of Belarus

INSTRUMENTAL DIAGNOSTICS METHODS OF BRIDGES EXPANSION JOINTS CONDITION

On highways in the Republic of Belarus, the area of expansion joint construction on bridge structures is one of the most problematic elements of bridge structures. When bridge structures inspecting, the condition of expansion joints is usually assessed visually. This assessment method is easy to implement and does not require much time, however, in essence it is an expert assessment and requires certain experience and highly qualified specialists.

The article proposes three new methods of instrumental diagnostics of expansion joints: thermographic, vibration-analytical and according to the adapted IRI. The proposed methods make it possible to perform a more objective instrumental assessment of the state of expansion joints and their influence on vehicles traffic conditions by the bridge structure. The issue of tightness violation on expansion joints was not considered in these studies. For two methods, critical values of the measured parameters are proposed, upon reaching which it is necessary to repair the area where expansion joints are installed.

All methods are tested in field conditions. The results of measurements on several bridge structures typical for the Republic of Belarus with reinforced concrete ribbed spans are presented.

The proposed methods can be used in bridges structures regular inspections and monitoring. The proposed methods make it possible to assess the condition of expansion joints and adjacent sections of the road surface without restricting movement through the structure.

The proposed critical values of the measured parameters develop the theory of durability of expansion joints. The development of methods for assessing the condition of expansion joints makes it possible to more accurately track the moment of their critical condition, which requires the intervention of repair services. This leads to increased reliability and durability of the entire bridge structure.

Key words: bridge, traffic conditions, test, monitoring, diagnostics, expansion joint, thermography, laser scanning, IRI, vibration velocity, vibration analyzer, dynamics, safety, evenness.

Введение

Проблема деформационных швов на мостовых сооружениях не нова. Сам факт вынужденного наличия деформационного шва уже является конструктивным несовершенством любого мостового сооружения. Конструкции деформационных швов разнообразны, однако любой деформационный шов является неровностью на пути движения автомобиля, что вызывает дополнительные динамические нагрузки на конструкции деформационного шва, прилегающие к нему участки дорожного покрытия, а также пролетное строение.

Нормативные документы Республики Беларусь сегодня не требуют выполнения инструментальной оценки состояния деформационных швов при их диагностике [1]. Существуют только отдельные требования для выполнения при эксплуатации: при образовании колеи свыше 25 мм на швах с щебеночно-мастичным заполнением требуется проведение ремонта шва, а при колее или продавленности более 50 мм – замена шва. Для швов перекрытого типа и швов с резинометаллическим компенсатором необходимо обращать внимание на характерные стуки при проезде колеса [2].

В России существуют разработки более объективных методов оценки износа деформационных швов по критериям «условия движения» и «герметичность» [3]. В представленном исследовании предлагаются три новых инструментальных метода оценки состояния деформационных швов, которые призваны дополнить уже существующие: термографический, виброаналитический и по адаптированному показателю IRI.

Методы инфракрасной термографии достаточно хорошо исследованы применительно к оценке напряженно-деформированного состояния металлических конструкций [4; 5]. Встречаются также работы по диагностике дорожного покрытия методом термографии [6; 7].

Известны и другие инструментальные методы оценки состояния деформационного шва, например акустический [8], применяемый для диагностики швов с плитными резинометаллическими элементами.

Показатель ровности IRI [9; 10] стандартизирован и активно используется при изучении ровности автомобильных дорог и их разрушения под действием автомобильного транспорта [11; 12]. Однако применительно к мостовым сооружениям пока не применяется.

Все нижепредставленные измерения проводились на деформационных швах, находившихся над крайней опорой. Пролетные строения неразрезные и температурно-неразрезные, железобетонные, длина пролета, соседствующего с деформационным швом, 12 и 18 м.

Термографический метод

Термографический экспресс-метод качественной оценки состояния деформационного шва и выявления наиболее проблемных зон может применяться совместно с визуальным экспертным методом оценки.

Для реализации описываемого метода может быть использован любой тепловизор, обладающий достаточным разрешением. В нашем случае применялся Testo 875-1i, обработка термограмм велась в программе IRSoft.

Один из наиболее явных результатов апробации данного метода был получен на деформационном шве с плитными резинометаллическими элементами (рис. 1) на одном из путепроводов Минской кольцевой автомобильной дороги (МКАД).

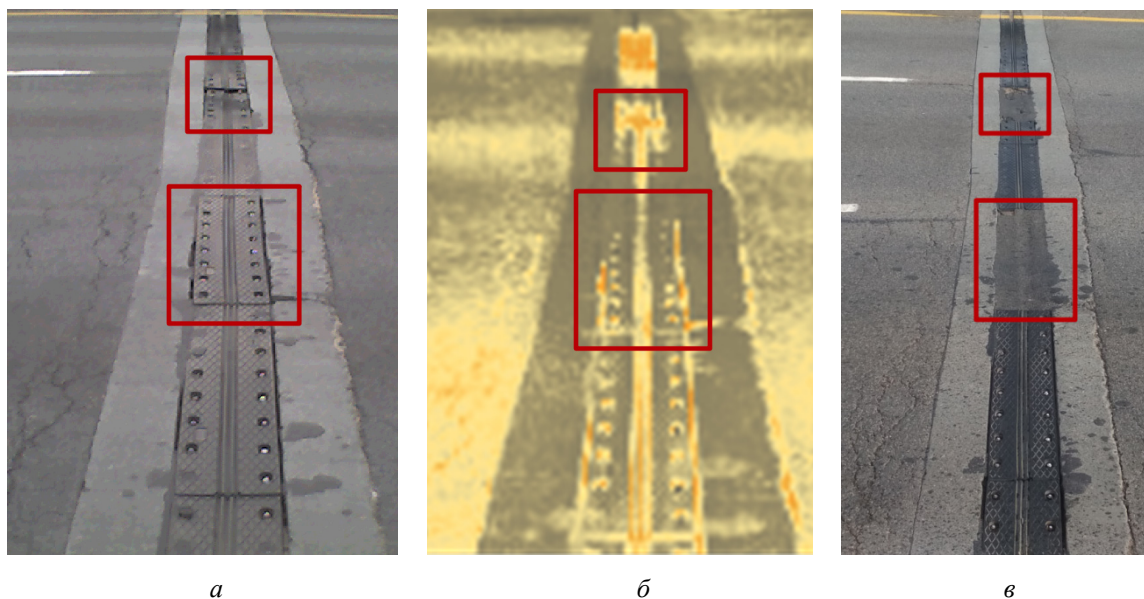


Рис. 1. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами. Шов устроен в 2015 г. Разрушения шва по первой и второй полосам движения: *а* – фото шва до разрушения (ноябрь 2021 г.); *б* – термограмма шва (ноябрь 2021 г.); *в* – фото разрушенного шва, выбитые элементы шва заасфальтированы (октябрь 2023 г.)

На полученной термограмме различимы участки повышенного излучения от оголенных анкерных болтов на первой (ближайшей к оператору) полосе движения. На второй полосе движения видны участки плитного элемента шва с повышенным инфракрасным излучением. По третьей (самой дальней) полосе движения виден большой участок деформационного шва с повышенным излучением. Сравнивая термограмму швов и их фотографии хорошо видно, что участки на первой и второй полосах, на которых наблюдалась повышенная интенсивность излучения, через два года были разрушены.

С учетом данных об интенсивности движения можно сказать, что на первых двух полосах движения концентрации излучения действительно свидетельствуют о наличии дефектов и повышенном износе элементов деформационного шва. Концентрация излучения на третьей полосе движения связана с тем, что у автомобилей, движущихся с наиболее высокой скоростью, сильнее разогреваются колеса, тепло от которых передается шву. При этом интенсивного разрушения шва не происходит.

Очевидно, что измеренная интенсивность излучения включает в себя как отраженную, так и излучаемую часть инфракрасного излучения. Результаты измерения зависят от множества параметров, таких как угол съемки по отношению к поверхности, цвет и коэффициент излучения поверхности, освещенность и др. Разнообразие условий проведения измерений в полевых условиях вряд ли позволит проводить количественную оценку состояния деформационного шва при помощи термографии, поэтому этот вопрос в исследованиях даже не рассматривался.

На швах со щебеночно-мастичным заполнением данный метод также показал хорошие результаты. На швах с металлическим окаймлением метод неприменим из-за высокой теплопроводности металла, который быстро рассеивает концентрации тепла.

Предложенный метод необходимо развивать в дальнейшем, однако в уже описанном виде он может быть использован для экспресс-диагностики деформационных швов. Для проведения измерений на одном сооружении с четырьмя швами достаточно 10–15 мин с учетом перемещения между точками измерения. Не требуется проведения каких-либо специальных мероприятий по подготовке объекта измерения или обеспечения доступа к конструкции. Термографический инструментальный метод гармонично дополняет и объективизирует визуальный метод диагностики.

Виброаналитический метод

Виброаналитический метод оценки состояния деформационного шва предполагает установку на нижнюю грань балки пролетного строения нескольких преобразователей для определения величины виброскорости. Следует выбирать ребро балки, максимально близкое к колее и исследуемому участку деформационного шва. Пример установки преобразователей для трех точек измерения представлен на рис. 2.



Рис. 2. Установка измерительных преобразователей в трех точках на нижней грани ребра балки пролетного строения для реализации виброаналитического метода диагностики состояния деформационного шва

Для реализации метода подойдет любой виброанализатор, позволяющий проводить совокупные измерения в двух точках и более. В нашем случае применялся виброанализатор «Вибран-3» с четырьмя преобразователями 608A11.

Преобразователи устанавливаются на нижнюю грань выбранной для измерения балки. Первый – на расстоянии не более 1 м от оси деформационного шва, второй – приблизительно на расстоянии 2,5 м, и третий – приблизительно на расстоянии 4 м.

Предлагается ввести новое критическое состояние конструкции деформационного шва, которое будет описываться следующим условием: размах амплитуды виброскорости балки пролетного строения на расстоянии до 1 м от деформационного шва выше, чем на расстоянии 3 м от деформационного шва. При достижении этого критического состояния необходимо выполнить ремонт шва для повышения плавности хода автомобилей по сооружению и снижения динамического воздействия на пролетное строение.

Примеры результатов измерений представлены на рис. 3. Измерения проводились на двух путепроводах МКАД, на изношенном шве после долгой эксплуатации и новом (испытание перед вводом в эксплуатацию). По оси абсцисс отложены расстояния от торца балки пролетного строения (деформационного шва). По оси ординат – разница между максимальным и минимальным значением виброскорости, которые были зафиксированы при прохождении нагрузки (размах колебания). Одна линия – один случай проезда трехосного самосвала.

Виброаналитический метод в предложенном виде носит качественный характер, однако по мере сбора данных на различных сооружениях и при выявлении необходимых корреляционных зависимостей может быть развит и в количественный метод оценки.

Данный метод достаточно трудоемкий, измерения на одном деформационном шве могут потребовать до 1 ч времени с учетом установки и настройки оборудования. Результаты измерений требуют камеральной обработки. Кроме того, могут возникнуть сложности с доступом к

конструкции в случае, если у опоры, над которой располагается деформационный шов, отсутствует конус.

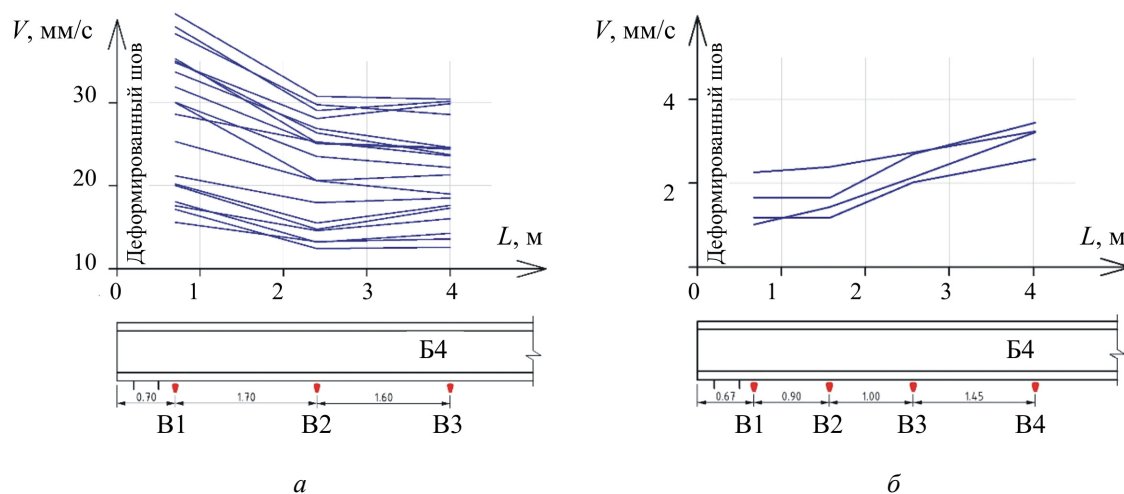


Рис. 3. Распределение размаха колебания виброскорости по мере удаления от деформационного шва:
а – деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами, сильно изношенный;
б – деформационный шов с металлическим окаймлением, новый

Представленные результаты измерений были получены на пролетных строениях с полиуретановыми опорными частями, применимость данного метода на мостовых сооружениях с резинометаллическими или другими, более жесткими опорными частями может иметь свои особенности. Однако в условиях Республики Беларусь это не так принципиально, так как последние несколько десятков лет подавляющее большинство железобетонных пролетных строений устраиваются именно на полиуретановых опорных частях.

Метод по адаптированному показателю IRI

Метод оценки состояния деформационного шва по адаптированному показателю IRI предполагает создание высокоточной геометрической модели деформационного шва и прилегающего к нему дорожного покрытия методом наземного лазерного сканирования. Это единственные работы, которые выполняются в полевых условиях, далее следуют камеральные работы.

Для сбора данных в полевых условиях подойдет любой лазерный сканер, работающий на максимальной дистанции 50 м и более, обеспечивающий высокую точность и скорость съемки. В нашем случае применялся наземный лазерный сканер Faro Focus 3DX130. Для подтверждения достоверности результатов измерения конкретным экземпляром сканера проводились работы по нормированию его точности [13]. При камеральной обработке использовалось программное обеспечение: Autodesk ReCap, «КРЕДО ДОРОГИ» и Rhinoceros с плагином Grasshopper.

Измерения проводились на путепроводе МКАД на изношенном после долгой эксплуатации шве с щебеночно-мастичным заполнением. После первичной камеральной обработки для начальной оценки состояния шва и дорожного покрытия выполнялось построение цветных изополей, отображающих характер деформации покрытия. Пример такого изополя приведен на рис. 4.

Стоит отметить, что поиск плоскости, относительно которой производилось вычисление относительных высотных отметок, производился с использованием генетических алгоритмов оптимизации, большой опыт работы с которыми был получен в предыдущих исследованиях [14; 15].

При анализе поперечных профилей на предмет наличия колеяности определялись наиболее характерные траектории движения автотранспорта на исследуемом участке – выбирались продольные оси по дну каждой колеи. Построенные по выбранным осям продольные микро-

профили использовались для определения показателя IRI (со стандартными характеристиками «Золотого автомобиля» по ГОСТ 33101-2014).

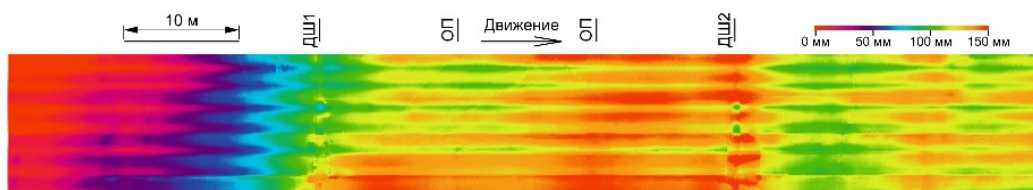


Рис. 4. Изополе относительных высотных отметок дорожного покрытия в зоне устройства путепровода

Стоит отметить, что достоверность параметров «Золотого автомобиля» с учетом региональных особенностей Республики Беларусь была доказана в более ранних исследованиях [16].

Сутью адаптации стандартного метода расчета IRI является определение этого показателя не в среднем на участке длиной более 100 м, а в коротких последовательных интервалах длиной по 0,1 м каждый (длина отрезка DPR 0,1 м).

В результате камеральной обработки мы получаем диаграммы изменения показателя IRI по каждой колее. Пример такой диаграммы представлен на рис. 5.

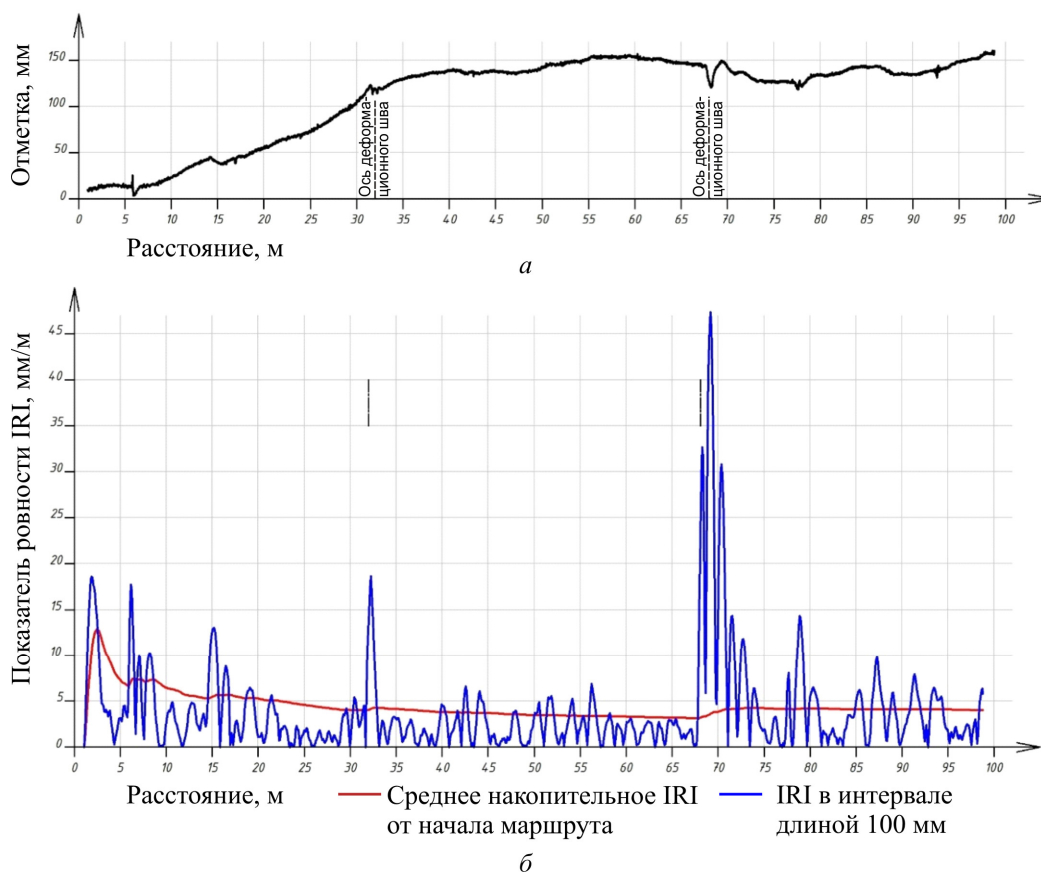


Рис. 5. Вторая полоса, правая колея: а – продольный микропрофиль полученный по результатам наземного лазерного сканирования; б – диаграмма изменения показателя IRI исследуемого участка

Предлагается ввести новое критическое состояние конструкции деформационного шва, которое будет описываться следующим условием: величина параметра IRI, определенного на отрезках длиной 0,1, превышает значение в 25 мм/м. При достижении этого критического состояния необходимо выполнить ремонт шва для повышения плавности хода автомобилей по сооружению и снижения динамического воздействия на пролетное строение.

Метод диагностики деформационного шва по адаптированному показателю IRI носит количественный характер и может быть использован в описанном виде, однако при продолжении исследований в данном направлении может быть усовершенствован, например, вместо параметра IRI может быть использована модель расчета параметров динамического взаимодействия автомобиля с неровным дорожным покрытием [17].

Как и в случае с термографическим экспресс-методом, метод по адаптированному показателю IRI не требует никаких специальных мероприятий по подготовке объекта измерения. Однако полевые работы уже занимают существенное время – порядка 25 мин на один деформационный шов с учетом времени на подготовку сканера к работе. Существенное время также требуется и для камеральной обработки результатов.

Заключение

Целью разработки описанных в статье инструментальных методов диагностики стали развитие и объективизация существующих сегодня методов оценки состояния деформационного шва по критерию «условия движения».

Основные преимущества всех трех вышеописанных методов – это безопасность проведения работ. Все измерения проводятся без выхода на проезжую часть: не требуется проведение мероприятий по ограничению движения, что не создает лишних рисков для людей и имущества.

Можно также обобщить, что применение методов наземного лазерного сканирования обеспечивает сбор всех геометрических параметров о проезжей части сооружения во время его обследования без лишних рисков.

Кроме того, все три метода позволяют делегировать полевые работы специалистам со сравнительно более низкой квалификацией с учетом соблюдения методики сбора данных. Таким образом, специалисты с большим опытом работы могут быть задействованы только при камеральной обработке, что позволяет не тратить их ценное профессиональное время на долгие командировки и выполнение полевых работ, которые всегда сопряжены с определенными рисками.

Список литературы

1. ТКП 227-2018 (33200). Мосты автодорожные. Правила выполнения диагностики. – Введ. 01.06.2018 (с отменой на территории РБ ТКП 227-2009 (02191)). – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» (Белдорцентр), 2018. – 108 с.
2. ТКП 376-2019 (33200). Мосты и трубы. Правила выполнения работ при эксплуатации. – Введ. 01.01.2020 (с отменой на территории РБ ТКП 376-2012 (02191)). – Минск: Государственное предприятие «БелдорНИИ», 2019. – 76 с.
3. Оценка износа конструкций деформационных швов и пути повышения их долговечности / Б.А. Бондарев, Т.М. Зайцева, А.Г. Саакян, Т.Р. Лезгиев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 126–132.
4. Мойсейчик, Е.А. Исследование и разработка метода теплового неразрушающего контроля стальных конструкций на основе механизма деформационного теплообразования: дис. ... д-ра техн. наук: специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» / Мойсейчик Евгений Алексеевич. – Минск, 2019. – 277 с.
5. ОДМ 218.7.2.001-2021. Методические рекомендации по дистанционному определению наличия и степени развития усталостных трещин в элементах металлических пролетных строений автодорожных мостов (включая ортотропные плиты) методом инфракрасной термографии. – Введ. 27.12.2021 (введен впервые). – М.: Федеральное дорожное агентство, 2022. – 92 с.
6. Ларина, Т.А. Метод оценки кинетики износа асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Т.А. Ларина, Н.Р. Зубарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – № 1 (19). – С. 5.

7. Мельникова, И.С. Диагностика повреждений дорожных покрытий / И.С. Мельникова // Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси: материалы международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного архитектора РФ В.Н. Городкова, Брянск, 12–13 марта 2014 года / Брянская государственная инженерно-технологическая академия. – Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2014. – С. 270–273.

8. Кротов, Р.Г. Повышение долговечности деформационных швов на пролетных строениях мостов в условиях интенсивного движения транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Кротов Радион Геннадьевич; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2019. – 20 с.

9. СТО МАДИ 02066517.1-2006. Дороги автомобильные общего пользования. Диагностика. Определение продольного микропрофиля дорожной поверхности и международного показателя ровности IRI. – М.: Московский автомобильно-дорожный институт, 2006. – 42 с.

10. ГОСТ 33101-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности. – Введ. 01.04.2017 (введен впервые). – М.: ФГБОУ учреждение высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ), 2016. – 24 с.

11. Буртыль, Ю.В. Комплексный показатель при выборе вида ремонта автомобильных дорог на основании динамики изменения их эксплуатационного состояния: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Буртыль Юрий Валерьевич; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2023. – 26 с.

12. Жуковский, Е.М. Особенности воздействия транспорта на конструкции нежестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций / Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко // Каспий и глобальные вызовы: материалы международной научно-практической конференции, Астрахань, 23–24 мая 2022 года / составители: О.В. Новиченко [и др.]. – Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский государственный университет», 2022. – С. 888–893.

13. Ходяков, В.А. Опыт применения дистанционных инструментальных методов сбора данных о деформированном состоянии мостовых сооружений / В.А. Ходяков, А.О. Коликов // Автомобильные дороги и мосты. – 2023. – № 1 (31). – С. 25–34.

14. Ходяков, В.А. Оптимизация металлических ферм неразрезного пролетного строения / В.А. Ходяков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – № 4. – С. 114–129.

15. Строительная металлическая однопролетная балка: пат. 22318 Респ. Беларусь, МПК Е 04 С 3/04 / Ходяков В.А.; заявитель Белорусский национальный технический университет – № а 20160218; заявл. 09.06.16; опубл. 27.09.18.

16. Ходяков, В.А. Комплексная методика оценки деформаций асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях с использованием метода наземного лазерного сканирования / В.А. Ходяков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова), Белгород, 16–17 мая 2023 г. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 359–362.

17. Солодкая, М.Г. Влияние неровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Солодкая Мария Геннадьевна. – Минск, 2020. – 23 с.

References

1. Mosty avtodorozhnye. Pravila vypolnenija diagnostiki: ТКР 227-2018 (33200) [Road bridges. Rules for performing diagnostics: ТКР 227-2018 (33200)]. Minsk: Respublikanskoe unitarnoe predpriyatje «Belorusskij dorozhnyj inzhenerno-tehnicheskij centr» (Beldorcentr), 2018, 108 p.

2. Mosty i truby. Pravila vypolnenija rabot pri jekspluatacii: ТКР 376-2019 (33200) [Bridges and pipes. Rules for performing work during operation: ТКР 376-2019 (33200)]. Minsk: Gosudarstvennoe predpriyatje «BeldorNI», 2019, 76 p.

3. Bondarev B.A., Zajceva T.M., Saakyan A.G., Lezgiev T.R. Ocenka iznosa konstrukcij deformacionnyh shvov i puti povysheniya ih dolgovechnosti [Assessing the wear of structures of expansion joints and ways to increase their durability]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2019, Vol. 10, no. 4, pp. 126-132.
4. Mojshejchik E.A. Issledovanie i razrabotka metoda teplovogo nerazrushayushchego kontrolya stal'nyh konstrukcij na osnove mekhanizma deformacionnogo teploobrazovaniya [Research and development of a method for thermal non-destructive testing of steel structures based on the mechanism of deformation heat generation]. Doctor's degree dissertation. Moscow, 2019, 277 p.
5. Metodicheskie rekomendacii po distancionnomu opredeleniyu nalichiya i stepeni razvitiya ustalostnyh treshchin v elementah metallicheskih proletnyh stroenij avtodorozhnyh mostov (vkluychaya ortotropnye plity) metodom infrakrasnoj termografii: ODM 218.7.2.001-2021 [Methodological recommendations for remote determination of the presence and degree of development of fatigue cracks in elements of metal superstructures of road bridges (including orthotropic slabs) using the infrared thermography method: ODM 218.7.2.001-2021]. Moscow: Federal'noe dorozhnoe agentstvo, 2022, 92 p.
6. Larina T.A., Zubarev N.R. Metod ocenki kinetiki iznosa asfal'tobetonnnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog [Method for assessing the kinetics of wear of asphalt concrete pavements of highways]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2019, no 1 (19), p. 5.
7. Mel'nikova I.S. Diagnostika povrezhdenij dorozhnyh pokrytij [Diagnosis of damage to road surfaces]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati zaslužennogo arhitekta RF V.N. Gorodkova "Arhitektura, gradostroitel'stvo, istoriko-kul'turnaya i ekologicheskaya sreda gorodov central'noj Rossii, Ukrainy i Belarusi"*. Bryansk, Bryanskaya gosudarstvennaya inzhenerno-tehnologicheskaya akademiya, 2014, pp. 270-273.
8. Krotov R.G. Povyshenie dolgovechnosti deformacionnyh shvov na proletnyh stroeniyah mostov v usloviyah intensivnogo dvizheniya transporta [Increasing the durability of expansion joints on bridge spans under conditions of heavy traffic]. Abstract of Ph. D. thesis. Minsk, 2019, 20 p.
9. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Diagnostika. Opredelenie prodol'nogo mikroprofilya dorozhnoj poverhnosti i mezhdunarodnogo pokazatelya rovnosti IRI: STO MADI 02066517.1-2006 [Public roads. Diagnostics. Determination of the longitudinal microprofile of the road surface and the international indicator of evenness IRI: STO MADI 02066517.1-2006]. Moscow: Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj institut, 2006, 42 p.
10. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnye. Metody izmereniya rovnosti: GOST 33101-2014 [Public roads. Road coverings. Methods for measuring evenness: GOST 33101-2014]. Moscow: FGBO uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» (MADI), 2016, 24 p.
11. Burtyl' Y.V. Kompleksnyj pokazatel' pri vybore vida remonta avtomobil'nyh dorog na osnovanii dinamiki izmeneniya ih ekspluatacionnogo sostoyaniya [A complex indicator when choosing the type of repair of highways based on the dynamics of changes in their operational condition]. Abstract of Ph. D. thesis. Minsk, 2023, 26 p.
12. Zhukovskij E.M., Koronchik A.V., Kravchenko S.E. Osobennosti vozdejstviya transporta na konstrukcii nezhestkih dorozhnyh odezhd i ih uchet pri proektirovanii konstrukcij [Features of the impact of transport on the structures of flexible road pavements and their consideration when designing structures]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Kaspij i global'nye vyzovy"*. Astrakhan: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Astrahanskij gosudarstvennyj universitet», 2022, pp. 888-893.
13. Hodyakov V.A., Kolikov A.O. Opyt primeneniya distancionnyh instrumental'nyh metodov sbora dannyh o deformirovannom sostoyanii mostovyh sooruzhenij [Experience in using remote instrumental methods for collecting data on the deformed state of bridge structures]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*, 2023, no. 1 (31), pp. 25-34.
14. Hodyakov V.A. Optimizaciya metallicheskih ferm nerazreznogo prolyotnogo stroeniya [Optimization of metal trusses of a continuous span structure]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2015, no. 4, pp. 114-129.
15. Hodyakov V.A. Stroitel'naya metallicheskaya odnoprolyotnaya balka [Construction metal single-span beam]. Patent Republic of Belarus no. 22318 (2018).
16. Hodyakov V.A. Kompleksnaya metodika ocenki deformacij asfal'tobetonnogo pokrytiya na mostovyh sooruzheniyah s ispol'zovaniem metoda nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Complex methodology for assessing the deformations of asphalt concrete pavement on bridge structures using the terrestrial laser scanning method]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya molodyh uchenykh BGTU im. V.G. Shuhova (posvyashchennaya 170-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shuhova)*. Belgorod, 2023, pp. 359-362.
17. Solodkaya M.G. Vliyanie nerovnosti dorozhnyh pokrytij na effektivnost' avtomobil'nyh perevozok [The influence of road surface roughness on the efficiency of road transport]. Abstract of Ph. D. thesis. Minsk, 2020, 23 p.

Об авторах

Ходяков Вячеслав Андреевич (Минск, Республика Беларусь) – старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, e-mail: xva609@bntu.by).

Шишко Надежда Игоревна (Минск, Республика Беларусь) – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, e-mail: shishkoni@bntu.by).

Гречухин Владимир Александрович (Минск, Республика Беларусь) – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, e-mail: vag_ftk@bntu.by).

About the authors

Vyacheslav A. Hodyakov (Minsk, Republic of Belarus) – Senior Lecturer, Department of Bridges and Tunnels, Belarusian national technical university (25/3, st. F. Skorina, Minsk, 220114, Republic of Belarus, e-mail: xva609@bntu.by).

Nadezhda I. Shyshko (Minsk, Republic of Belarus) – Senior Lecturer, Department of Highways, Belarusian national technical university (25/3, st. F. Skorina, Minsk, 220114, Republic of Belarus, e-mail: shishkoni@bntu.by).

Vladimir A. Grechuhin (Minsk, Republic of Belarus) – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department head, Department of Bridges and Tunnels, Belarusian national technical university (25/3, st. F. Skorina, Minsk, 220114, Republic of Belarus, e-mail: vag_ftk@bntu.by).

Финансирование. Работа выполнена в тесном сотрудничестве с ГП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт» и научно-исследовательской лабораторией мостов и инженерных сооружений НИПИ БНТУ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Поступила: 30.01.2024

Одобрена: 14.02.2024

Принята к публикации: 17.05.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Ходяков, В.А. Методы инструментальной диагностики состояния деформационных швов мостовых сооружений / В.А. Ходяков, Н.И. Шишко, В.А. Гречухин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2024. – № 1. – С. 42–51. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.04

Please cite this article in English as: Hodyakov V.A., Shyshko N.I., Grechuhin V.A. Instrumental diagnostics methods of bridges expansion joints condition. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2024, no. 1, pp. 42-51. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.04