УДК 351.811.112

Л.В. ЯНКОВСКИЙ[1], канд. техн. наук (yanekperm@yandex.ru); Н.Е. КОКОДЕЕВА[2], д-р техн. наук,
Ю.А. ТРОФИМЕНКО[2], инженер; Ш.Н. ВАЛИЕВ[3], канд. техн. наук; И.Г. ШАШКОВ[4], канд. техн. наук
[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614600, г. Пермь, Комсомольский просп., 29а)
[2] Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)
[3] Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, Москва, Ленинградский просп., 64)
[4] Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А)

Применение цифрового микроскопа при мониторинге пешеходных покрытий мостовых сооружений

Представлена разработка методики технического нормирования и инструментального мониторинга геометрии поверхности композиционного материала с сохранившимися свойствами после воздействия агрессивных сред и климатических воздействий. В качестве инструментального средства проведения мониторинга выбран цифровой видео- и фотомикроскоп с двухсоткратным увеличением. Сформулированы рекомендации по выбору увеличения исследуемого объекта в зависимости от его размеров. Среднее квадратическое отклонение разновысотности составило от 0,3 до 1 мм, что соответствует требованиям к коэффициенту сцепления. Цифровой микроскоп применен при мониторинге качества напольных покрытий пешеходных мостовых сооружений на автомобильной дороге «Дон». В частности, по результатам мониторинга были оценены параметры макрошероховатости напольного покрытия надземного пешеходного перехода. Данные мониторинга заносили в программный комплекс с целью последовательного накопления информации и последующего анализа эффективности применения инноваций на объектах государственной компании «Автодор». При проведении мониторинга использовали дорожную передвижную лабораторию Поволжского учебно-исследовательского центра «Волгодортранс» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина.

Ключевые слова: мониторинг, автомобильная дорога, надземный пешеходный переход, мостовое сооружение, макрошероховатость, мостовое сооружение.

L.V. YANKOVSKY[1], Candidate of Sciences (Engineering) (yanekperm@yandex.ru), N.E. KOKODEEVA[2], Doctor Sciences (Engineering);
Yu.A. TROFIMENKO[2], Engineer; Sh.N. VALIEV[3], Candidate of Sciences (Engineering); I.G. SHASHKOV[4], Candidate of Sciences (Engineering)
[1] Perm National Research Polytechnic University (29a, Komsomolsky Avenue, 614600, Perm, Russian Federation)
[2] Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Politekhnicheskaya Street, 410054, Saratov, Russian Federation)
[3] Moscow Automobile and Road Construction University (64, Leningradsky Avenue, 125319, Moscow, Russian Federation)
[4] Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (54A, Starykh Bolshevikov Street, 394064, Voronezh, Russian Federation)

The Use of a Digital Microscope When Monitoring Macro-roughness of Pavements of Pedestrian Bridge Structures

The development of methods for technical rate setting and instrumental monitoring of the geometry of the composite material surface with preserved properties after aggressive media and climatic impacts is presented. As an instrumental device for monitoring, a digital video- and photo-microscope with two hundredfold increase has been selected. Recommendations on the selection of increase of the investigated object depending on its size are formulated. A mean square deviation of the difference in height is 0.3 – 1 mm that meets the requirement for the coefficient of friction. The digital microscope was used when monitoring the quality of floor pavements of pedestrian bridge structures on the highway “Don”. Among others, the results of monitoring were used for evaluating parameters of macro-roughness of the floor pavement of the aboveground pedestrian crossing. Monitoring data were stored in the software complex for the consistent accumulation and subsequent analysis of the efficiency of the innovation use at objects of the state company “Avtodor”. In the course of monitoring, the road mobile laboratory of the Volga educational-scientific center “Volgodortrans” of the Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin was used.

Keywords: monitoring, automobile road, aboveground pedestrian crossing, bridge structure, macro-roughness.

В числе многих задач применения и контроля качества мостовых сооружений недостаточно изучены вопросы технического нормирования и контроля качества шероховатости покрытий тротуаров на них и надземных пешеходных переходов. Эти объекты отличаются своей спецификой, тем, что на них применяются покрытия с малой фракцией минерального наполнителя. Практически отсутствуют требования по коэффициенту сцепления и шероховатости отдельно для пешеходов, а также для маломобильных групп населения.

Поэтому предложение и совершенствование методов контроля шероховатости этих покрытий и их автоматизация является важной прикладной задачей.

Исследованы надземные переходы платной дороги М4 «Дон» государственной компании «Автодор»: объезд Воронежа; и платный участок в Липецкой области, а также в Ростовской и Смоленской областях.

Проезд осуществлен в двух направлениях с остановкой на участках мониторинга с фото- и видеооборудованием, компьютером, средствами измерения и навигации, дополнительными средствами измерения контролируемых параметров.

При проведении мониторинга использовали дорожную передвижную лабораторию Поволжского учебно-исследовательского центра «Волгодортранс» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина.

Камеральную обработку проводили на оборудовании и компьютерной технике ПУИЦ «Волгодортранс» СГТУ им. Ю.А. Гагарина.

Данные мониторинга заносили в разработанный специалистами ООО «ПрогрессСтрой» программный комплекс с целью последовательного накопления информации и последующего анализа эффективности применения инноваций на объектах государственной компании «Автодор».

Планирование исследования выполняли для расчета и определения организационных характеристик его проведения (мониторинга состояния примененных композитов и энергоэффективных технологий).

Основные принципы планирования исследования при проведении мониторинга: конкретность постановки заданий; организационная и методическая значимость; принцип соизмеренной и рассчитанной трудоемкости; интеграция деятельности; контролируемость; принцип ответственности; принцип реальности.

Необходимо установить цель исследований на текущем этапе мониторинга. Следует четко определить цель

исследований, например требуемые показатели, влияние определенных параметров и т. д. Следует определить границы возможности исследований.

Следует учесть все показатели и обстоятельства, которые могут влиять на прогноз результатов исследований, например: геометрические параметры и их изменение; геометрические дефекты; скрытые дефекты; показатели композитных материалов; влияние методов изготовления, строительства и эксплуатации; влияние условий окружающей среды и выбора оптимальной последовательности исследований.

Необходимо описать ожидаемые виды рисков, связанные с неполнотой или недостоверностью данных. При их неопределенности план исследований должен предусматривать предварительные исследования.

Разработана методика сбора исходных данных для объектов компании «Автодор» (методика технического нормирования и инструментального мониторинга геометрии поверхности композиционного материала с сохранившимися свойствами после воздействия климатических агрессивных сред).

Целью исследования является выяснение вопросов соответствия характеристик обследуемого объекта декларируемым целям его эксплуатации [1–3].

При проведении мониторинга визуально оценивают входящие в состав объекта проверки материалы и комплектующие: геометрические размеры и допуски на размеры объекта исследования; конструктивные характеристики и срок службы.

Методы сбора первичной информации для анализа зависят от объема требований к информации и глубине контроля. В основном они связаны с оценкой дефектов и накопления повреждений на поверхностях композитов, их фото- и видеорегистрацией, инструментальной обработкой цифровых изображений, получением цифровых рядов и их последующей статистической обработкой [4–7].

При этом следует различать, что обследование любого объекта может сильно различаться методами в зависимости от требуемой глубины контроля. Исходя из критерия глубины контроля все обследования объектов можно разделить на два типа: первичный мониторинг и полное исследование. Первичный мониторинг предполагает использование экспресс-анализа состояния интересующего объекта без использования разрушающих и трудоемких лабораторных исследований, нарушения целостности конструкции. Далее предполагается проведение регулярных натурных и камеральных исследований на выбранных объектах мониторинга, не предполагающих нарушения целостности конструкции.

Возможны комбинированные обследования, включающие лабораторное излучение только особо ответственных частей конструкции.

При первичном мониторинге используют методы сбора данных из имеющейся информации об объекте по сопровождающей документации: проектная документация на обследуемый объект, протоколы заводских испытаний материалов и компонентов, входящих в состав изделия.

Предположительно могут быть запрошены акты приемки работ, в том числе и акты скрытых работ, объектов при их строительстве и мониторинге, протоколы ранее проведенных обследований объекта; журналы, ведомости, акты технического обслуживания при эксплуатации и проведенных ремонтов (текущих, средних и капитальных).

Кроме изучения сопровождающей документации при проведении первичного мониторинга можно широко использовать методы визуального обследования состояния объекта с применением видео- и фотосъемки. Наличие видео- и фотодокументов является доказательной базой в случае разбора техногенных аварий и других различных ситуаций, встречающихся в практике. При первичном мониторинге возможно применение косвенных экспресс-методов неразрушающего контроля [6].

Измерение геометрических параметров объекта при мониторинге можно заменить экспертной оценкой совмещения сборных элементов по обнаружению допустимых зазоров и перекосов конструкции. Наличие местных вспучиваний или отсутствие регламентированных зазоров крепежных элементов указывает на несоблюдение допусков геометрических размеров при изготовлении элементов.

Наличие потеков, трещин, провалов, пучений говорит о нарушении технологии либо при изготовлении и строительстве, либо при эксплуатации объекта. Обнаружение подобных дефектов требует дополнительного более глубокого обследования для принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации.

Для оценки долговечности объекта главными критериями являются сравнительные характеристики последовательно проводимых проверок. По степени деградации рассматриваемых эксплуатационных свойств можно судить о скорости накопления усталости в исследуемом объекте и его разрушении. В данном случае незаменимыми становятся фотоматериалы по прошлым проверкам.

Для проведения подобного анализа рекомендуется архивировать фотоматериалы с момента сдачи объекта в эксплуатацию. Качество анализа напрямую зависит от объема имеющейся информации о состоянии объекта в различные периоды жизненного цикла. При расчете долговечности должны учитываться критерии эксплуатационной пригодности.

Каждый объект должен иметь соответствующие указания по деформациям, которые можно рассматривать как критерии эксплуатационной пригодности и согласовывать в качестве предельных значений. В критерии эксплуатационной пригодности входят такие отклонения, как ширина трещин, ограничения напряжения и удлинения, сопротивление скольжению и т. д., которые указывают в нормативной или проектной документации на соответствующие объекты строительства.

Критерии эксплуатационной пригодности должны быть установлены в каждом проекте согласно требованиям к эксплуатации и согласованы с заказчиком. Для деформаций и колебаний такие критерии следует устанавливать: в зависимости от запланированной эксплуатации; в сочетании с нормативными требованиями к эксплуатации; независимо от строительного материала для элементов конструкции.

Для обоснования выбора методов сбора исходных данных необходимо выработать методы оценки результатов, которые должны удовлетворять критериям полноты и глубины последующей обработки результатов обследования и обеспечивать достоверность выводов, сделанных на основе обработки информации, полученной в результате исследования.

До проведения испытания следует перечислить все показатели, которые необходимо измерить в процессе исследования объекта. Для этого следует указать: места и методы измерений, например геометрических параметров, прочности, колебаний, ударной вязкости, точности измерений, соответствующие измерительные приборы.

Так как кроме измерительной техники в процессе исследований предполагается применение методов визуального контроля, следует указать соответствующее оборудование, а также предполагаемый объем работ и информации.

Полученные данные являются сырыми и необработанными, поэтому они нуждаются в анализе и обработке первичной информации с использованием методов статистической обработки и оценки степени рисков.

В связи с этим их необходимо представить в матричной форме – занести в специальные таблицы с указанием видов ответов и частоты каждого из них. Затем провести статистический анализ – определить средние величины, соотношения корреляции и регрессии, а также отметить наметившиеся тренды. Организация мероприятий по анализу данных должна быть полностью прописана в плане.

В плане исследований должны быть прописаны объем и распределение выборок первичных данных. Применение статистических методов обработки предполагает случайность факторов, влияющих на результаты исследований. Как правило, статистические методы применяют в случае невозможности получения полного объема информации об объекте исследования. В таком случае применяют методы определения репрезентативности выборки. Для проверки статистических гипотез можно применять критерии Стьюдента и Фишера. Однако в некоторых обоснованных случаях распределение выборок данных может быть не случайным, а детерминированным. Такие выборки применяют для уточнения параметров в ответственных местах конструкции. Таким образом, методы обработки данных, полученных на этапе сбора информации, могут быть разными для разных областей параметров одного и того же объекта исследования.

В плане исследований должны быть прописаны не только методы статистической обработки результатов и критерии, по которым проверяют статистические гипотезы, но и значения критериев, которые считают удовлетворительными для целей конкретного исследования. Должны быть также прописаны области исследования данных, при обработке которых применяют те или иные ее методы. Исходя из применяемых методов должны быть прописаны объем и количество первичных данных инструментального исследования, а также их распределение по месту расположения на объекте (случайное или заранее заданное, детерминированное).

Также должны быть предусмотрены организационные мероприятия на случай, если в результате обработки данных выяснится недостаточная репрезентативность проведенной выборки.

Последним этапом планирования и организации исследования является оформление выводов и рекомендаций. На этапе планирования следует определить, в каком виде будут представлены результаты. Выводы пишут на основании результатов исследования.

Фактически исследования проводят по организационно-методическому плану, фиксирующему основные этапы работы в соответствии с программой исследования, содержащему указание календарных сроков, материальных и людских затрат, необходимых для достижения конечных целей.

Рис. 1. Цифровой микроскоп с 200-кратным увеличением

В проведении регулярного мониторинга должны сочетаться все три вида плана: поиск (поисковый план), выдвижение гипотез (аналитический план), уяснение причинно-следственных связей на основе экспериментального плана исследований и анализа полученных результатов.

Выполнение работы позволяет:

– создать информационную базу данных мониторинга результатов применения прогрессивных технологий, обладающую возможностью использования результатов диагностики;

– осуществить наполнение базы мониторинга сведениями об использовании компонентов;

– выполнить исследование и анализ эффективности освоения прогрессивных технологий, подготовить предложения по применению этих технологий в ходе проведения дорожных работ.

Представленная методология мониторинга композитных и энергоэффективных технологий изложена в виде методик исследования и рекомендаций. В перечень используемого для мониторинга применения композитных материалов лабораторного оборудования внесены:

– цифровой микроскоп с увеличением 200×, с видеокамерой и подсветкой;

– ноутбук для управления цифровым микроскопом;

– фотоаппарат OLYMPUS;

– компьютерные программы «Шероховатость 2012» и «STATISTIKA 6».

Производят замеры в дневное время суток с 7^{00} до 23^{00} ч. Регистрируются средние, минимальные и максимальные значения. Допускается производить измерения только при отсутствии атмосферных осадков, при температуре выше минус 10°С и скорости ветра менее 5 м/с с защитой приборов от ветра. Средства измерений должны иметь действующие свидетельства о своевременно проведенной поверке.

Обработку результатов измерений композитных материалов и изделий проводят с применением программного обеспечения цифрового фотоаппарата.

На основе компьютерных программ «Шероховатость 2012» и «STATISTIKA 6» определяют статистические параметры, а также параметры, связанные с неоднородностью и сегрегацией.

Предлагается ежеквартальная периодичность мониторинга, связанная с оптимальным соотношением инфор-

Рис. 2. Типовые результаты калибровки (*а*) и применения (*б, в*) цифрового микроскопа для съемки поверхностей композитных материалов

Соотношение увеличения, рабочего расстояния и видимой области

Увеличение	10	20	30	50	100	150	200
Видимая область, мм	50×38	25×19	17×13	10×7,5	5×3,8	3,3×2,5	2,5×1,9

Рис. 3. Результаты съемки состояния покрытия надземного мостового пешеходного перехода

мативности об изменении состояния композиционного материала за время мониторинга. Для его проведения на объектах компании «Автодор» используют стандартное лабораторное оборудование, в том числе USB-микроскоп с увеличением 200× и программное обеспечение.

Системные требования для установки программного обеспечения: ОС: Windows XP SP2 / Vista / Windows 7 / Mac OS; процессор: Pentium IV 1.0G, Celeron, AMD Athlon; CD-ROM; свободный USB-порт (если это USB 1.1, используйте программу MiViewCap-Beta. exe, находящуюся на CD); 512 MB RAM; 100 MB свободного места на диске; видеокарта: 16-bit.

Внешний вид предлагаемого цифрового микроскопа, управляемого программой от ноутбука, представлен на рис. 1.

Сформулированы рекомендации по выбору увеличения исследуемого объекта в зависимости от его размеров (в мм), представленные в таблице.

Типовые результаты калибровки и применения цифрового микроскопа для съемки поверхностей композитных материалов представлены на рис. 2.

На рис. 3 представлен процесс и результаты съемки состояния покрытия надземного мостового пешеходного перехода.

По результатам мониторинга были оценены параметры макрошероховатости напольного покрытия надземного пешеходного перехода. Среднее квадратическое отклонение разновысотности составило от 0,3 до 1 мм, что соответствует требованиям для коэффициента сцепления.

Выводы

1. Проведена разработка методики технического нормирования и инструментального мониторинга геометрии поверхности композиционного материала с сохранившимися свойствами после воздействия агрессивных сред и климатических воздействий.
2. В качестве инструментального средства проведения мониторинга выбран цифровой видеофотомикроскоп с двухсоткратным увеличением.
3. Цифровой микроскоп применен при мониторинге качества напольных покрытий пешеходных мостовых сооружений на автомобильной дороге «Дон».

Список литературы

1. Немчинов М.В. Текстура поверхности дорожных покрытий. Том 1. Обоснование, нормирование и проектирование параметров текстуры поверхности дорожных покрытий. М.: ТехПолиграфЦентр, 2010. 380 с.
2. Немчинов М.В. Текстура поверхности дорожных покрытий. Том 2. Описание и количественные результаты экспериментальных исследований. Примеры расчетов. Методика расчета глубины текстуры поверхности слоя износа (по типу поверхностной обработки). М.: ТехПолиграфЦентр, 2010. 156 с.
3. Янковский Л.В., Кочетков А.В., Трофименко Ю.А. Методика выбора материала для устройства шероховатых слоев дорожного покрытия // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура*. 2015. № 1/(37). С. 99–111.
4. Чванов А.В. Нормирование, устройство и контроль качества макрошероховатых дорожных покрытий: Дис. канд. техн. наук. Волгоград, 2010.
5. Суслиганов П.С. Совершенствование методов контроля качества устройства дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. Дис. канд. техн. наук. Волгоград, 2006.
6. Kochetkov A.V., Yankovsky L.V., Kadyrov Zh.N. Standardization of roughness of products of the machine-building industry on the basis of variable height indicator of ledges and variable depth indicator of hollows as an extension of state Standard GOST 2789–73 // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014. Vol. 50. Is. 1–2, pp. 50–57.
7. Кочетков А.В., Янковский Л.В., Сухов А.А. Нормирование макрошероховатости поверхностей // *Вестник гражданских инженеров. Серия «Архитектура. Строительство. Транспорт»*. 2013. № 1 (36). С. 137–144.
8. Сухов А.А. Совершенствование методов исследования безопасности движения с учетом вариативности коэффициента сцепления макрошероховатых дорожных покрытий. Дис. канд. техн. наук. Волгоград, 2014.

References

1. Nemchinov M.V. Tekstura poverkhnosty dorozhnykh pokrytiy. Tom 1. Obosnovanie, normirovanie i proektirovanie parametrov tekstury poverkhnosti dorozhnykh pokrytiy [The texture of the road surface. Vol. 1. Justification, regulation and design parameters of the surface texture of pavements]. Moscow: TekhPoligrafTsentr. 2010. 380 p.
2. Nemchinov M.V. Tekstura poverkhnosti dorozhnykh pokrytiy. Tom 2. Opisanie i kolichestvennye rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy. Primery raschetov. Metodika rascheta glubiny tekstury poverkhnosti sloia iznosa (po tipu poverkhnostnoi obrabotki) [The texture of the road surface. Vol. 2. The description and the quantitative results of experimental studies. Sample calculations. Methods of calculating the depth of the surface texture of the wear layer (type surface treatment)]. Moscow: TekhPoligrafTsentr. 2010. 156 p.
3. Yankovskiy L.V., Kochetkov A.V., Trofimenko Yu.A. Method of selection of the material for the device layers of rough pavement. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. No. 1/(37), pp. 99–111. (In Russian).
4. Chvanov A.V. Rationing, the device and quality control of the macro-rough road surfaces. Cand. Diss. (Engineering). Volgograd. 2010. (In Russian).
5. Susliganov P.S. Improving the quality control methods for paving with a rough surface. Cand. Diss. (Engineering). Volgograd. 2006. (In Russian).
6. Kochetkov A.V., Yankovsky L.V., Kadyrov Zh.N. Standardization of roughness of products of the machine-building industry on the basis of variable height indicator of ledges and variable depth indicator of hollows as an extension of state Standard GOST 2789–73. *Chemical and Petroleum Engineering* (2014). Volume 50, Issue 1–2, June 2014, Pages 50–57.
7. Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V., Sukhov A.A. Rationing macro-rough surfaces. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. Seriia «Arkhitektura. Stroitel'stvo. Transport»*. 2013. No. 1(36), pp. 137–144. (In Russian).
8. Sukhov A.A. Improving traffic safety research methods taking into account the variability of the coefficient of adhesion macro-rough road surfaces. Cand. Diss. (Engineering). Volgograd. 2014. (In Russian).

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образова «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Общество с ограниченной ответственностью

«Малое инновационное предприятие «Технопарк МАДИ»

СРО №0434.03-2013-7714859337-П-050 от 16.07.2015 г.

125829 Москва
Ленинградский проспект, 64

Тел. (499) 155-03-69, факс (499) 155-08- 76
E-mail: mosti.madi@mail.ru, bridge@madi.ru

Основные направления деятельности:

-Обследования и испытания транспортных сооружений, зданий и конструкций различного назначения;
-Строительный контроль;
-Научно-техническое сопровождение строительства и ремонта транспортных сооружений;
-Мониторинг технического состояния конструкций в процессе строительства и эксплуатации;
-Разработка нормативных и методических документов;
-Выполнение проектных и научно-исследовательских работ в области транспортного строительства;
-Определение возможности пропуска по мостам и дорогам негабаритных и тяжелых грузов;
-Испытание дорожно-строительных материалов и конструкций на испытательном комплексе КУИДМ-2 «Карусель»

Контактное лицо: к.т.н, доцент Валиев Шерали Назаралиевич тел. 8(985)233-99-19

Реклама