

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-10-15>

УДК 69.058.8; 624.21

Диагностика участков мостового полотна и подходов в зонах устройства деформационных швов на автодорожных мостах

Асп. В. А. Ходяков¹⁾, инженеры А. В. Кулан¹⁾, Е. Н. Савина¹⁾, кандидаты техн. наук, доценты И. Л. Бойко¹⁾, В. А. Гречухин¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Объект исследования – долговечность деформационных швов мостовых сооружений, предмет исследования – виброотклик сооружения, полученный в условиях естественной эксплуатации. Диагностика деформационных швов автодорожных мостов проводилась с целью выявления характерных зависимостей между величиной виброотклика сооружения и типами конструкций деформационных швов в течение периода их эксплуатации с учетом особенностей мостового сооружения. Для этого апробировали методику сбора и обработки данных о виброотклике сооружения в естественных условиях его эксплуатации. В статье представлены результаты сбора данных о топологии покрытия, собранные методом трехмерного сканирования. Сбор информации о виброотклике сооружения осуществляли при помощи измерения виброскорости и деформаций сооружения. В результате испытания и анализа полученных данных выявлены основные исследуемые характеристики: величина неровности основания, амплитуда виброскорости и виброперемещение элементов сооружения. Назначены два основных параметра динамического воздействия с поправкой на массу движущегося транспортного средства, которые могут быть использованы в качестве основных для оценки величины динамического воздействия. Разработана и предложена комплексная методика оценки динамического воздействия на мостовые сооружения. Ее использование позволит дифференцировать различные конструкции деформационных швов по величине динамического воздействия транспортных средств. Это в свою очередь поможет сформулировать новые рекомендации о применении конкретных типов конструкций деформационных швов для различных категорий автомобильных дорог, что повысит долговечность эксплуатации деформационных швов и сооружения в целом.

Ключевые слова: относительная деформация, прогиб, виброскорость, виброперемещение, изополе, долговечность, нагрузка, виброотклик, неровность, 3D-сканирование, удар, жесткость, виброметрия, тензометрия, динамическое воздействие

Для цитирования: Диагностика участков мостового полотна и подходов в зонах устройства деформационных швов на автодорожных мостах / В. А. Ходяков [и др.] // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 1. С. 10–15. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-10-15>

Diagnostics of Bridge Bed Sections and Approaches in Zones of Expansion Joints on Road Bridges

V. A. Hodyakov¹⁾, A. V. Kulan¹⁾, E. N. Savina¹⁾, I. L. Boiko¹⁾, V. A. Grechuhin¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The object of the study is durability of expansion joints in bridge structures; the subject of the research is the vibration response of a structure obtained under conditions of natural operation. Diagnostics of the road bridge expansion joints has been carried out in order to identify characteristic dependences between the value of structure vibration response and types

Адрес для переписки

Ходяков Вячеслав Андреевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 146а,
220114, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 369-94-77
mit_bntu@tut.by

Address for correspondence

Hodyakov Vyacheslav A.
Belarusian National Technical University
146a, Nezavisimosty Ave.,
220114, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 369-94-77
mit_bntu@tut.by

of expansion joint designs during the period of their operation while taking into account the features of the bridge structure. For this purpose, we have tested the methodology for collecting and processing data on the vibration response of the structure under natural conditions of its operation. The paper presents results of data collection on the coverage topology which have been obtained while using three-dimensional scanning method. Data collection on the vibration response of the structure has been carried out by measuring the vibration velocity and deformation of the structure. The data obtained are analyzed. As a result of testing and analysis of the obtained data, the main characteristics have been revealed: the value of base unevenness, the amplitude of vibration velocity and vibration displacement of the structure elements. Two main parameters of the dynamic impact have been assigned, adjusted for the mass of a moving vehicle, which can be used as main parameter for assessing the magnitude of the dynamic impact. A comprehensive method for assessing the dynamic impact on bridge structures has been developed and proposed in the paper, and its use will make it possible to differentiate various designs of expansion joints according to the magnitude of the dynamic impact of vehicles. This, in its turn, will contribute to formulate new recommendations on the use of specific types of expansion joints for various categories of highway, which will increase operational durability of expansion joints and the structure as a whole.

Keywords: relative deformation, sag, vibration velocity, vibration displacement, iso-area, durability, load, vibration response, unevenness, 3D-scanning, impact, stiffness, vibrometry, tensometry, dynamic impact

For citation: Hodyakov V. A., Kulan A. V., Savina E. N., Boiko I. L., Grechuhin V. A. (2021) Diagnostics of Bridge Bed Sections and Approaches in Zones of Expansion Joints on Road Bridges. *Science and Technique*. 20 (1), 10–15. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-10-15> (in Russian)

Введение

Деформационные швы мостовых сооружений являются одними из наиболее ответственных с точки зрения долговечности элементов. Главная проблема долговечной эксплуатации деформационных швов – различная жесткость материалов дорожных одежд и самих деформационных швов [1]. Вследствие резкого изменения жесткости основания, по которому движется колесо автомобиля, происходит удар, оказывающий разрушительное воздействие на элементы сооружения.

Один из путей решения данной проблемы – использование наиболее прочных и долговечных материалов в конструкции деформационных швов типа КРМ [2]. Применение таких швов решает проблему сопротивления динамическому воздействию путем упрочнения деталей деформационного шва. Парадоксально то, что использование более прочных и жестких материалов увеличивает разницу жесткостей, которая и является одной из причин динамического воздействия на конструкции мостового сооружения. Поэтому к решению данной проблемы можно подойти с другой стороны – путем поиска вариантов уменьшения этого динамического воздействия.

Для дальнейших исследований в рассматриваемой области необходимо создать и апробировать методику сбора и обработки данных испытаний. Цель их – дифференциация основных видов конструкций и конструктивных особенностей деформационных швов, применяемых

на территории Республики Беларусь, в зависимости от величины вызываемого ими динамического воздействия.

Основная часть

Ударные воздействия на элементы пролетного строения мостового сооружения возникают вследствие наезда колеса автомобиля, движущегося на высокой скорости, на неровности, расположенные в зоне перехода дорожного полотна и подходов в мостовое полотно. Наиболее важный с этой точки зрения – участок в начале моста по ходу направления движения автотранспорта.

Зона устройства деформационного шва имеет определенные неровности, из которых можно выделить два типа. К первому относятся неровности, обусловленные конструкцией самого деформационного шва, ко второму – неровности, возникающие по границе сопряжения конструкции деформационного шва с асфальтобетонным покрытием. Последние появляются в процессе эксплуатации сооружения.

Провели диагностику зоны устройства деформационного шва типа КРМ [3] с бетонными подливками по 25–30 см с обеих сторон. Ширина основных полос движения 3,2 м, предельно допустимая скорость движения по путепроводу 90 км/ч, опорные части пролетного строения – полиуретановые.

Исследовали зону в пределах 2–3 м от деформационного шва с 16:00 до 17:00 ч в рабочий день.

Сканирование

Сбор данных о топологии основания, по которому происходит качение колеса автомобиля, движущегося по полосе, проводили методом лазерного 3D-сканирования [4]. В результате сканирования участка полотна в зоне устройства деформационного шва получено облако точек (рис. 1).

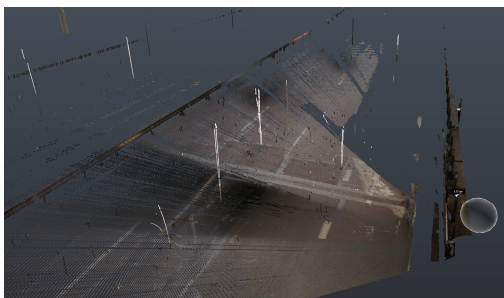


Рис. 1. Общий вид трехмерного облака точек в результате 3D-сканирования зоны устройства деформационного шва

Fig. 1. General view of three-dimensional point cloud as a result of 3D-scanning result of expansion joint zone

Благодаря тому, что сканирование занимает определенное время, при анализе облака точек можно определить ту полосу, по которой наблюдается наиболее высокая интенсивность движения большегрузного транспорта. На рис. 1 видны вертикальные светлые полосы бортов полуприцепов, подвергшихся сканированию в момент их проезда по исследуемому участку. Анализ облака точек показал, что за время сканирования по первой полосе движения проследовало два тяжелых грузовых автомобиля, по второй – около семи. При этом по третьей, наиболее скоростной полосе движения грузовиков не выявлено. В дальнейшем третья полоса движения не рассматривалась.

Из облака были выделены цепочки точек, по которым построены характерные поперечные профили (рис. 2). Расстояние между осями спаренных колес в поперечном направлении принято равным 1800 мм, а ширина спаренного колеса 800 мм. Значения приняты на базе транспортной нагрузки LM1 [5], а также исходя из геометрических размеров тележек грузовых автомобилей МАЗ [6].

На поперечных профилях наблюдается наличие колеяности. В частности, по оси деформационного шва: по первой полосе движения колеяность присутствует, по второй явно выраженной колеяности не наблюдается.

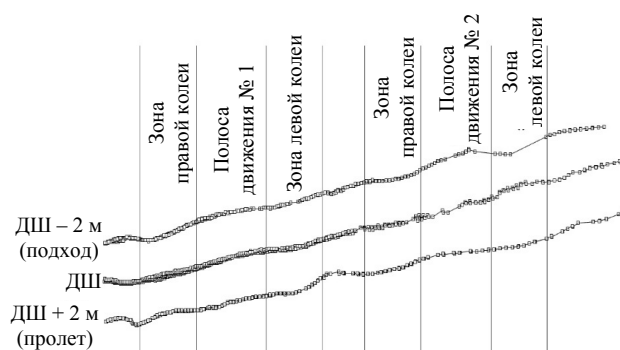


Рис. 2. Поперечные профили исследуемых характерных поперечных сечений (вертикальный масштаб относительно горизонтального увеличен в 10 раз)

Fig. 2. Transverse cross section profiles of the investigated characteristic cross-sections (vertical scale relative to the horizontal is increased by 10 times)

Если оценивать величину колеяности с применением рейки с клиновым промерником в соответствии с ГОСТ 30412–96 [7], то значения будут следующими:

- от 7 до 15 мм – на подходе к путепроводу;
- от 10 до 11 мм – на путепровode.

Наибольший интерес представляет анализ сечений по продольным осям каждой колеи (рис. 3). На полученных профилях явно выделяются неровности как первого, так и второго типов, связанные с устройством деформационного шва типа КРМ. Срок эксплуатации данного деформационного шва на момент проведения сканирования составлял около полугода.

После проведения подробного анализа топологии были получены величины характерных превышений, которые составили:

- от 5 до 11 мм – дорожное полотно, левая бетонная подливка;
- от 0 до 4 мм – левая бетонная подливка, левый край резиновой части шва;
- от 0 до 5 мм – правый край резиновой части шва, правая бетонная подливка;
- от 5 до 11 мм – правая бетонная подливка, мостовое полотно.

Если оценивать максимальную величину неровностей, соответствующую той, которая может быть получена с применением рейки с клиновым промерником в соответствии с [7], то значения будут следующими:

- от 9 до 12 мм – перед деформационным швом;
- от 10 до 13 мм – за деформационным швом.

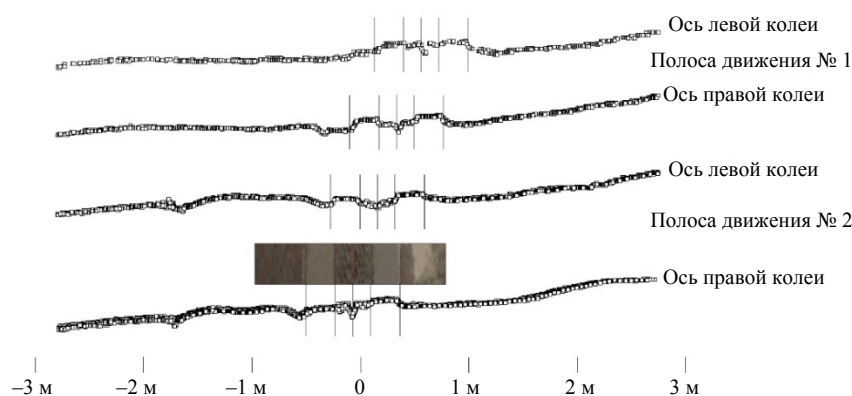


Рис. 3. Продольные профили исследуемых характерных сечений (вертикальный масштаб относительно горизонтального увеличен в 10 раз)

Fig. 3. Longitudinal cross section profiles of the investigated characteristic cross-sections sections (vertical scale relative to the horizontal is increased by 10 times)

Исследуя характер неровностей, можно сделать вывод, что выбоина перед бетонной подливкой имеет небольшую протяженность (до 40 мм) по причине локальных ударных воздействий колеса о кромку бетонной подливки. В свою очередь, за деформационным швом асфальтобетонное покрытие системно ниже бетонной подливки. Последнее связано с повышенными нагрузками на покрытие, возникающими в процессе затухания колебаний подпрессоренных масс транспортного средства.

Провели углубленный анализ трехмерного облака точек с использованием специальных программных методов [8]. Построили плос-

кость нормального уровня асфальтобетонного покрытия. Деформация асфальтобетонного покрытия относительно нормального уровня показана на рис. 4. Зеленое поле на 50 мм выше красного. Представление результатов сканирования в виде такого рода изополя позволяет комплексно оценить топологию покрытия в районе исследуемого участка.

Анализ представленного изополя показывает прямую зависимость между наблюдаемой интенсивностью движения тяжеловесного транспорта по полосам и величиной деформации асфальтобетонного покрытия.

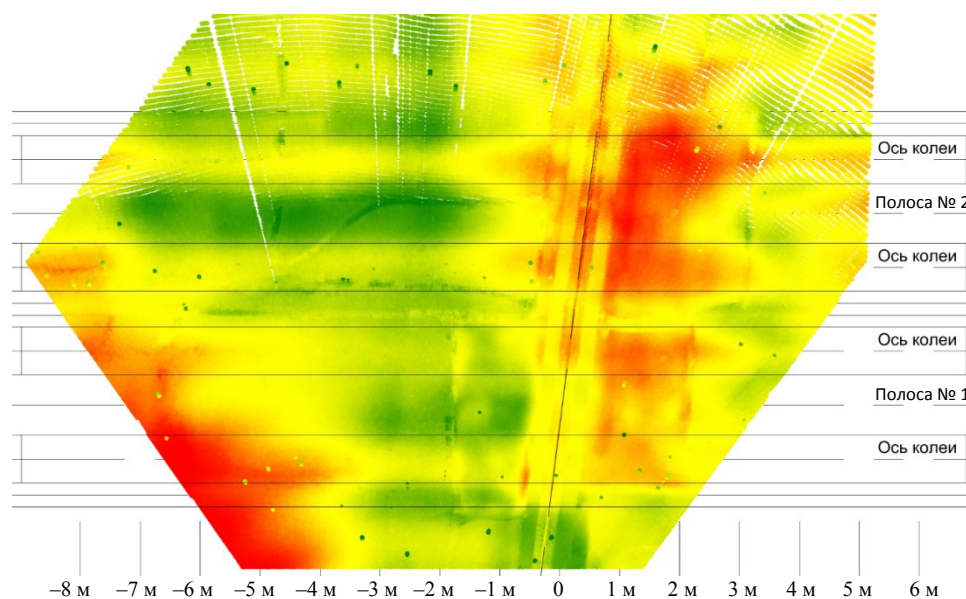


Рис. 4. Изополе деформации асфальтобетонного покрытия

Fig. 4. Isofield of deformation in asphalt concrete pavement

Вибродиагностика

Анализ ударных воздействий на конструкцию пролетного строения путепровода производили на основании результатов измерения виброускорений ребристого пролетного строения моста. Для измерения использовался четырехканальный виброанализатор. Датчики устанавливались на элементы пролетного строения в приопорной зоне. Совместно с применяемыми акселерометрами устанавливались электрические тензометры с высокой частотой получения данных.

При наезде тяжелых транспортных средств на неровности деформационного шва фиксировались всплески измеряемых величин. На рис. 5, 6 представлены диаграммы, полученные в момент проезда по путепроводу четырехосного автомобиля МАЗ, груженого грунтом.

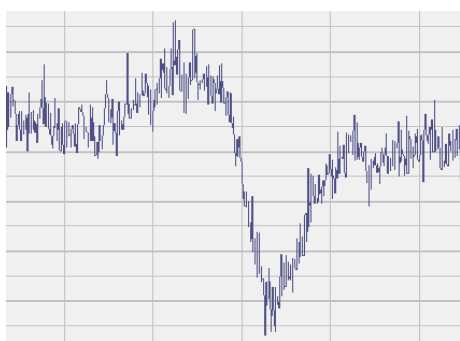


Рис. 5. Диаграмма тензометрического отклика – относительные деформации

Fig. 5. Diagram of strain response – relative strains

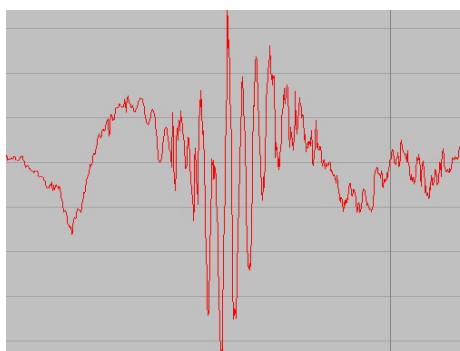


Рис. 6. Диаграмма виброметрического отклика – виброскорость

Fig. 6. Diagram of vibrometric response – vibration velocity

Отдельной серией измерений проводилась фиксация динамического прогиба пролетного строения путепровода при помощи сейсмогра-

фа. Сейсмограф устанавливался в центре пролета за деформационным швом путепровода на тротуаре. При прохождении тяжелых транспортных средств также фиксировались характерные всплески (рис. 7).

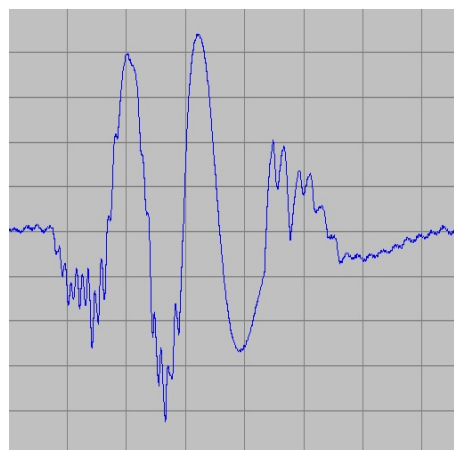


Рис. 7. Диаграмма виброметрического отклика – центр пролетного строения, виброперемещение

Fig. 7. Diagram of vibrometric response – center of span, vibration displacement

ВЫВОДЫ

1. Величина ударного воздействия прямо пропорциональна массе транспортного средства. Контроль значения последнего может быть осуществлен при помощи динамического прогиба или относительных деформаций материала конструкции. Поэтому для корректной оценки ударного воздействия с поправкой на массу автотранспортного средства в качестве двух основных нормируемых величин следует принимать:

- отношение амплитуды виброскорости, измеренной в зоне деформационного шва, к амплитуде измеренных относительных деформаций;

- отношение амплитуды виброскорости, измеренной в зоне деформационного шва, к амплитуде виброперемещения, измеренного в центре пролетного строения.

Обе величины должны быть получены при совместном их измерении для одного события ударного воздействия.

2. При длительном периоде измерения указанные выше контролируемые величины могут быть подвергнуты статистическому анализу [9, 10], в результате которого будет получено

основное значение, характеризующее величину ударного воздействия транспортных средств на конструкцию деформационного шва. Для обследуемого сооружения основные величины ударного воздействия в среднем составили 2,42 (мм/с)/ЕОД и 7,88 (мм/с)/мм. Полученные значения соответствуют деформационному шву типа КРМ после полугода эксплуатации на путепроводе со скоростным режимом 90 км/ч. Неровности в зоне устройства деформационного шва были в пределах 9–13 мм.

3. Зависимости между величинами динамических воздействий и типами деформационных швов могут быть получены при выполнении подобных испытаний для нескольких сооружений с характерными неровностями деформационных швов и сопоставлении основных величин ударного воздействия с величинами неровностей и другими параметрами испытываемых сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников, И. И. Повреждения зон сопряжения дорожных одежд и деформационных швов на мостовых сооружениях: возможные причины и способы их устранения / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев // *Науковедение*. 2013. № 6. С. 148.
2. Кротов, Р. Г. Повышение долговечности деформационных швов на пролетных строениях мостов в условиях интенсивного движения транспорта / Р. Г. Кротов. Минск: Белор. нац. техн. ун-т, 2019. 24 с.
3. Рубцова, Т. А. Конструкция деформационного шва с резинометаллическим компенсатором КРМ-120, обеспечивающим перемещения до 120 мм / Т. А. Рубцова, В. А. Зверинский, Р. Г. Кротов // *Автомобильные дороги и мосты*. 2013. № 1. С. 54–58.
4. Ботьяновский, А. А. Геодезические работы в составе мониторинга сооружений при строительстве транспортной развязки над тоннелями метрополитена в г. Минске / А. А. Ботьяновский // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Пермь: Пермский нац. исслед. политех. ун-т, 2016. С. 253–255.*
5. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты: ТКП EN 1991-2-2009 (02250). Введ. 01.01.2010. Минск: Минстройархитектуры, 2010. 158 с.
6. Минский автомобильный завод: каталоги для загрузки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://maz.by/gu/products/catalogs/>. Дата доступа: 14.04.2020.
7. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий: ГОСТ 30412-96. Введ. 01.01.1997. М.: Межгосуд. науч.-техн. комис. по стандарт. и технич. нормир. в стр-тве, 1996. 10 с.

8. Ходяков, В. А. Генеративное проектирование / В. А. Ходяков // *Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана: сб. матер. науч.-практ. конф.*, 13 окт. 2016 г., г. Минск. Минск: Белор. нац. техн. ун-т, 2016. С. 53–54.
9. Золотухин, Ю. Д. Испытание строительных конструкций / Ю. Д. Золотухин. Минск: Вышэйш. шк., 1983. 208 с.
10. Долодзе, Д. Е. Испытание конструкций и сооружений / Д. Е. Долодзе. М.: Высш. шк., 1975. 252 с.

Поступила 02.07.2020

Подписана в печать 29.10.2020

Опубликована онлайн 29.01.2021

REFERENCES

1. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Valiev Sh. N. (2013) Damage to Pavement Mating zones and Expansion Joints on Bridge Structures: Possible Causes and Methods for their Elimination. *Naukovedenie* [Science Studies], (6), 148 (in Russian).
2. Krotov R. G. (2019) *Increasing the Durability of Expansion Joints on Bridge Spans in Condition of Heavy Traffic*. Minsk, Belarusian National Technical University. 24 (in Russian).
3. Rubtsova T. A., Zverinsky V. A., Krotov R. G. (2013) Expansion Joint Design with Rubber-Metal Compensator KPM-120 (KRM-120), Providing Movement up to 120 mm. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Highways and Bridges], (1), 54–58 (in Russian).
4. Botyanovskii A. A. (2016) Geodetic Works as Part of the Monitoring of Structures During Construction of a Traffic Intersection Above the Subway Tunnel in Minsk. *Modernizatsiya i Nauchnye Issledovaniya v Transportnom Komplekse: Materialy Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii* [Modernization and Scientific Research in the Transport Complex: Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Perm, Perm National Research Polytechnic University, 253–255 (in Russian).
5. ТКП [Technical Code of Common Practice] EN 1991-2-2009 (02250). *Eurocode 1. Effects on Structures. Part 2. Transport Loads on Bridges*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2010. 158 (in Russian).
6. *Minsk Automobile Plant: Download Directories*. Available at: <http://maz.by/products/catalogs/>. (Accessed 14 April 2020) (in Russian).
7. State Standard 30412-96. *Automobile Roads and Airfields. Methods for Measuring Unevenness of Substrates and Coatings*. Moscow, Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization and Technical Regulation in Construction, 1996. 10 (in Russian).
8. Khodyakov V. A. (2016) Generative Design. *Innovatsionnye Resheniya Problem Ekonomiki Znaniy Belarusi i Kazakhstana: Sb. Mater. Nauch.-Prakt. Konf., 13 Okt. 2016 g., Minsk* [Innovative Solutions to the Problems of the Knowledge Economy of Belarus and Kazakhstan: Collection of Materials of Scientific and Practical Conference, October 13, 2016, Minsk]. Minsk, Belarusian National Technical University, 53–54 (in Russian).
9. Zolotukhin Yu. D. (1983) *Testing of Building Structures*. Minsk, Vysheyschaya Shkola Publ. 208 (in Russian).
10. Dolidze D. E. (1975) *Testing of Structures and Structures*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 252 (in Russian).

Received: 02.07.2020

Accepted: 29.10.2020

Published online: 29.01.2021