



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.12

УДК 624.078.32

ОЦЕНКА ИЗНОСА КОНСТРУКЦИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Б.А. Бондарев¹, Т.М. Зайцева¹, А.Г. Саакян¹, Т.Р. Лезгиев²

¹Липецкий государственный политехнический университет, Липецк, Россия

²Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, Москва, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 01 сентября 2019
Принята: 06 октября 2019
Опубликована: 10 января 2020

Ключевые слова:

деформационный шов, колеобразование, колея, полимербетон, циклическая долговечность, демпфирующая способность.

АННОТАЦИЯ

Деформационные швы являются одним из важнейших конструктивных элементов мостового сооружения и представляют собой зазоры между торцом пролетного строения и шкафной стенкой устоя или головной частью опоры. От правильного выбора и монтажа деформационных швов во многом зависит долговечность сооружения в целом. Результаты многочисленных технических обследований мостов и путепроводов показывают, что основными дефектами и повреждениями элементов конструкций деформационных швов являются: расстройство конструкции шва из-за неправильного выбора и монтажа; образование трещин в зоне швов на покрытии различной длины и с разной шириной раскрытия.

Кроме вышеуказанных дефектов важную роль в процессе разрушения покрытия в зоне деформационных швов играет образование колеи из-за перепадов отметок мостового полотна на стыке дорожной одежды и деформационных швов. Разрушение покрытия в зонах деформационных швов во многих случаях происходит из-за интенсивного колеобразования, в то же время образование колеи происходит из-за разности отметок дорожной одежды и деформационных швов. Для предотвращения колеобразования в зоне деформационных швов применяют следующие технические решения: устройство пешеходных зон, бетонных приливов (окаймлений). В этих зонах рекомендуется устройство приливов на основе полимерных композиционных материалов (ПКМ), обладающих высокими демпфирующими свойствами и циклической долговечностью. Испытания на выносливость и изучение демпфирующих свойств велись по общепринятым методикам для полимербетонных ФАМ и ФАЗИС-30. Получены значения декремента колебаний для вышеуказанных материалов и показатели их циклической долговечности.

© ПНИПУ

© **Бондарев Борис Александрович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: LNSP-48@mail.ru.

Зайцева Татьяна Михайловна – студент, e-mail: za.tat.m@yandex.ru.

Саакян Артем Гагикович – студент, e-mail: za.tat.m@yandex.ru.

Лезгиев Турал Рашидович – аспирант, e-mail: lezgiev93@mail.ru.

Boris A. Bondarev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: LNSP-48@mail.ru.

Tatyana M. Zaytseva – Student, e-mail: za.tat.m@yandex.ru.

Artem G. Saakyan – Student, e-mail: za.tat.m@yandex.ru.

Tural R. Lezgiev – Postgraduate Student, e-mail: lezgiev93@mail.ru.

WEAR APPRAISAL OF MOVEMENT JOINTS' STRUCTURES AND WAYS TO IMPROVE THEIR DURABILITY

B.A. Bondarev¹, T.M. Zaytseva¹, A.G. Saakyan¹, T.R. Lezgiev²

¹Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation

²K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 01 September 2019
Accepted: 06 October 2019
Published: 10 January 2020

Keywords:

movement joints, rutting, wheel track, polymer concrete, cyclic durability, damping ability.

ABSTRACT

Movement joints are one of the most important structural elements of bridge structure and represent gaps between end face of span structure and cabinet wall of support or head part of support. The durability of the structure as a whole depends largely on the correct choice and, then, the installation of the movement joints. The results of numerous technical surveys of bridges and overpasses show that the main defects and damages of movement joints structural elements are: weld structure disorder due to incorrect selection and installation; Formation of cracks in the zone of seams on the coating of different length and with different opening width.

In addition to the above-mentioned defects, the formation of gauge due to differences in the marks of the bridge web at the joint of the road clothes and the movement joints plays a major role in the process of breaking the coating in the zone of movement joints. Destruction of coating in zones of movement joints in many cases is due to intensive gauge formation, at the same time, formation of wheels is due to difference of marks of road clothes and movement joints. To prevent colour formation in the zone of movement joints the following technical solutions are used: arrangement of pedestrian zones; Application of concrete tides (boundaries). In these zones it is recommended to arrange tides on the basis of polymer composite materials (PCM), having high damping properties and cyclic durability. Endurance tests and the study of damping properties were carried out according to conventional methods for polymer betons FAM and FAZIS-30. The values of the vibration decree for the above-mentioned materials and their cyclic durability are obtained.

© PNRPU

Деформационные швы – это зазоры между торцами пролетных строений либо торцом пролетного строения и шкафной стенкой устоя или головной частью опоры. Различают: *закрытый*, в котором зазор закрыт покрытием, уложенным без разрыва; *заполненный*, в котором зазор заполнен герметизирующим материалом (например, резиновым вкладышем-компенсатором, деформирующимся при их перемещениях); *открытый* – зазор открыт и покрытие имеет разрыв; *перекрытый* – зазор между сопрягаемыми элементами в уровне верха проезжей части перекрыт скользящим листом. Основные функции деформационных швов – это обеспечение свободного перемещения конструкции и его герметичность (невозможность пропуска поверхностных вод).

Износ элементов мостового сооружения – это показатель их системы, отражающий степень снижения функциональных качеств из-за накопления повреждений. Износ деформационных швов, как степень несоответствия современным требованиям, может определяться расчетом, если речь идет о влиянии износа на условия движения, и визуально, если речь идет о нарушении герметичности. Величина износа принимается по одному из этих двух показателей [1]:

- условия движения – по табл. 1;
- герметичность – табл. 2.

В табл. 1 указаны три уровня износа:

- начальная стадия повреждения, И = 20 %, предел комфортности;
- допустимый износ, И = 40 %, предел плавности; при превышении указанной величины износа следует снижать скорость движения транспортных средств;

– предельный износ, $I = 80 \%$, предел безопасности; при превышении указанной величины износа следует снижать скорость движения транспортных средств и их массу из-за значительных динамических перегрузок.

Зона деформационных швов определяется как ширина, равная расстоянию между крайними точками окаймления шва, плюс $2 \times 0,5 = 1,0$ м.

При отсутствии конструкции деформационного шва (конструктивное оформление зазора, предусматриваемое проектом) износ принимается равным 80% .

Таблица 1

Повреждения (дефекты) и износ деформационных швов по критерию «условия движения»

Table 1

Damages (defects) and wear of movement joints according to the “traffic conditions” criterion

№ п/п	Условия движения	Износ, %	Повреждение	Безопасная скорость, км/ч
1	Комфортность	20	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Появление трещин в покрытии над деформационными швами или рядом с окаймлением по всей длине шва, с разрушением кромок¹ ◆ Неровности до 5 мм в пределах зоны шва² 	≥ 120
2	Плавность	40	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Разрушение покрытия на отдельных участках (общей длиной до 50 %), над швом или у окаймления ◆ Неровности высотой в пределах 20 мм ◆ Стук металлических элементов 	100
3	Безопасность	60	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Бугры высотой до 50 мм в результате деформации слоев одежды в зоне шва ◆ Разрушение покрытия у шва на большей части длины ◆ Разрушение заполнителя швов на отдельных участках ◆ Нарушение крепления скользящих листов (болты, пружины ...) 	50/60/80
		80	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Значительные бугры высотой до 100 мм в результате деформации слоев одежды в зоне швов ◆ Разрушение покрытия у швов по всей длине ◆ Разрушение окаймления, отрыв листов 	30/40/60
4	Опасный износ	>80	◆ Более сильные разрушения швов	10/30/40

¹ Если кромки не разрушены, износ принимается с коэффициентом 0,5 ($I = 10 \%$).

² Конструкция шва выше или ниже на 5 мм прилегающего к шву покрытия.

Таблица 2

Дефекты и износ деформационных швов по критерию «герметичность»

Table 2

Defects and wear of movement joints according to the “tightness” criterion

№ п/п	Износ, %	Повреждение
1	10	Точечные протечки по длине шва
2	20	Протечки воды на концах швов с загрязнением концевых участков опор
3	60	Протечки воды по всей длине швов, сопровождающиеся повреждением опорных площадок
4	80	Протечки воды по всей длине швов с попаданием грязи на опорные площадки, сопровождающиеся разрушением водоотводных лотков и повреждением концов ригелей
5	100	Протечки воды и грязи по всей длине швов, сопровождающиеся разрушением концов плит и повреждением ригелей и опорных площадок по всей длине опор

В результате обширных технических обследований [2–7] мостовых сооружений установлено, что наиболее характерными дефектами и повреждениями элементов конструкций являются те, что приведены в табл. 3 [8].

Таблица 3

Дефекты и повреждения элементов деформационных швов

Table 3

Defects and damage to movement joints

№ п/п	Наименование дефекта	Объем дефектов, %
	Нарушение герметичности:	
1	Одиночные (точечные) протечки	35
2	Протечки через поврежденное заполнение	40
3	Протечки из-под гидроизоляции под сопряжением шва с одеждой	20
4	Разрушение водоотводных лотков	5
	Нарушение плавности проезда, снижение надежности:	
1	Трещины в покрытии у шва и над ним	35
2	Разрушение покрытия в зоне шва	20
3	Разрушение заполнения, отрыв листов повреждения узлов	10
4	Разрушение слоев одежды у шва	30
5	Расшатывание окаймления	2
6	Разрушение, отрыв и проваливание в зазор конструкций	3

Кроме вышеуказанных дефектов большую роль процесса разрушения покрытия в зоне деформационных швов играет образование колеи из-за перепадов отметок мостового полотна на стыке дорожной одежды и деформационных швов [9].

Для предотвращения колееобразования в зоне деформационных швов применяют следующие технические решения [9, 10]:

- устройство пешеходных зон;
- применение бетонных приливов (окаймлений);
- применение приливов, выполненных из полимерных композиционных материалов, обладающих деформирующими свойствами, т.е. способностью гасить удары колес транспортных средств [11].

В связи с этим поиск новых материалов, обладающих циклической долговечностью и высокой демпфирующей способностью, является актуальной научной задачей [5].

В работе [10] приведены результаты исследований циклической долговечности различных материалов на основе полимерных композитов, рекомендованных для применения в конструкциях деформационных швов. Однако их демпфирующие свойства до настоящего времени не были изучены. Для определения демпфирующих свойств вышеуказанных композитов [12–15] применяется резонансный метод, описанный в работе [16].

Испытания проводили на консольно-закрепленных образцах размером 40×40×160 мм. Вылет консоли составлял 120 мм. Колебания испытываемого образца возбуждались от катушки, для чего к боковой поверхности образца приклеивалась небольшая стальная пластинка. Для записи колебаний использовались пьезоэлектрический датчик ДН-3 с коэффициентом преобразования 10,1 м·с²/м. Сигнал от вибропреобразователя подается на виброизмерительный прибор ПИ-19. Контур возбуждения состоит из генератора синусоидальных колебаний звуковой частоты ГЗ-117, усилителя и катушки. Показатели демпфирования

(декремент колебаний) определяли при резонансных колебаниях исследуемого объекта при постоянной амплитуде вынуждающей силы. Сначала регистрировали резонансную частоту f_p и амплитуду A_p резонансных колебаний, затем расстраивали резонанс путем изменения частоты вынуждающей силы и регистрировали амплитуду A и соответствующую ей частоту f_a колебаний. По параметрам резонансного пика рассчитывали логарифмический декремент δ колебаний по формуле [16]

$$\delta = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot (1 - Z^2)}{\sqrt{(1 - Z^2 \lambda^2)}},$$

где λ – степень спада амплитуды колебаний, равная A/A_p ; Z – коэффициент расстройки резонанса, равный f_a/f_p [16].

Исследования демпфирующих свойств полимербетона ФАМ и ФАЗИС-30 дали разные результаты. Логарифмический декремент колебаний полимербетона ФАМ составил 0,125. Применение модификационного состава полимербетона ФАЗИС-30 ведет к улучшению демпфирующих свойств, о чем свидетельствует увеличение логарифмического декремента колебаний на 10,5 % – до 0,138.

Таким образом, для предотвращения износа деформационных швов на мостах и путепроводах рекомендуется применение приливов, выполненных из полимербетона ФАЗИС-30, обладающего высокой циклической долговечностью и повышенными демпфирующими свойствами [2].

Библиографический список

1. РДН 218.05.001–2010. Оценка и прогнозирование состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах Краснодарского края. – М.; Краснодар, 2010. – 235 с.
2. Экспериментальные исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов / Б.А. Бондарев, П.В. Борков, П.В. Комаров, А.Б. Бондарев // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6.
3. Ефанов А.В. Совершенствование проектирования деформационных швов автодорожных мостов с учетом особенностей эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2006. – 407 с.
4. Бондарев Б.А., Седых И.А., Сметанникова А.М. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния элементов конструкций проезжей части мостовых сооружений с помощью окрестностных моделей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 4.
5. Васильев А.И. Оценка технического состояния мостовых сооружений: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2019. – 256 с.
6. Все о мостах [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bridgearth.ru> (дата обращения: 14.05.2018).
7. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Дорожная одежда на мостовых сооружениях: отечественный и зарубежный опыт // Науковедение. – 2014. – № 5 (24). – URL: <http://naukovedenie.ru/> (дата обращения: 12.05.2019).
8. Ефанов А.В., Овсянников С.В., Овчинников И.Г. Разрушение покрытия мостового полотна и деформационных швов: причины, проблемы и пути решения // Дороги и мосты. – 2007. – № 2. – С. 38–42.

9. Овчинников И.Г., Макаров В.И. Влияние деформационных швов на безопасность и комфортное движение // Дороги и мосты. – 2006. – № 2. – С. 26–29.

10. Бондарев Б.А., Борков П.В., Сапрыкин Р.Ю. Циклическая долговечность полимерных композиционных материалов в деформационных швах конструкций мостов и путепроводов // Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций в эксплуатационной среде: сб. 1-й Междунар. науч.-техн. конф. – Балаково: Изд-во Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», 2017. – С. 37–42.

11. Ефанов А.В., Овчинников И.Г. Деформационные швы мостов: современное состояние проблемы // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2006. – № 4 (16). – С. 81–86.

12. Овчинников И.И. Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 60–62.

13. Бондарев А.Б., Борков П.В., Бондарев Б.А. Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2015. – № 39 (58). – С. 17–25.

14. Бондарев Б.А., Черноусов Р.Н. Малоцикловая усталость полимерных композиционных материалов // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31. – С. 96–100.

15. Бондарев А.Б. Прогнозирование циклической долговечности полимерных композиционных материалов: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2011. – 180 с.

16. Гаврилов М.А. Технология получения и химико-биологическая стойкость эпоксидных композитов на основе отходов производства: дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2019. – 137 с.

References

1. Otsenka i prognozirovaniye sostoyaniya mostovykh sooruzheniy na avtomobil'nykh dorogakh Krasnodarskogo kraya. [Assessment and forecasting of bridge structures' on the roads of the Krasnodar Territory]. RDN 218.05.001-2010, Moscow-Krasnodar, 2010, 235 p.

2. Bondarev B.A. Borkov P.V. Komarov P.V. Bondarev A.B. Eksperimental'nye issledovaniya tsiklicheskoj dolgovechnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov [Experimental researches of cyclic durability of polymeric composite materials]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2012, no. 6

3. Efanov A.V. Sovershenstvovanie proektirovaniya deformatsionnykh shvov avtodorozhnykh mostov s uchetom osobennostey ekspluatatsii [Improvement of the design of road bridge movement joints taking into account the peculiarities of operation] Ph. D. thesis, Volgograd, 2006, 407 p.

4. Bondarev B.A., Sedykh I.A., Smetannikova A.M. Estimation of the transport-operational condition of structural elements of the carriageway of bridge constructions using neighborhood models. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2018. Vol. 9. No. 4. Pp. 47-57.

5. Vasil'ev A. I. Otsenka tekhnicheskogo sostoianiya mostovykh sooruzhenii [Assessment of technical condition of bridge structures]. Moscow, KNORUS, 2019, 256 p.

6. Vse o mostakh [All about bridges], available at: <http://www.bridgeart.ru> (accessed 12 May 2019).

7. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Dorozhnaia odezhda na mostovykh sooruzheniiakh: otechestvennyi i zarubezhnyi opyt [Road pavement at bridges: domestic and foreign experience]. *Naukovedenie*, 2014, no. 5 (24), available at: <http://naukovedenie.ru/> (accessed 12 May 2019).

8. Efanov A.V., Ovsyannikov S.V., Ovchinnikov I.G. Razrushenie pokrytiya mostovogo polotna i deformatsionnykh shvov: prichiny, problemy i puti resheniya [Breaking the covering of the bridge web and the movement joints: causes, problems and ways to solve], *Roads and bridges*, 2007, no.2, pp. 38-42.

9. Ovchinnikov I.G., Makarov V.I. Vliyanie deformatsionnykh shvov na bezopasnost' i komfortnoe dvizhenie. [The influence of movement joints on safety and comfortable movement]. *Roads and bridges*, 2006, no.2, pp. 26-29.

10. Bondarev B.A., Borkov P.V., Saprykin R.Yu. Tsiklicheskaya dolgovechnost' polimernykh kompozitsionnykh materialov v deformatsionnykh shvakh konstruktsiy mostov i puteprovodov. [Cyclic durability of polymer composite materials in the movement joints of bridge and overpass structures]. *1st International Scientific and Technical Conference "Durability and reliability of building materials and structures in the operational environment"*. Publishing house National Research Nuclear University MIFI, Balakovo, 2017, pp. 37-42.

11. Efanov A.V., Ovchinnikov I.G. Deformatsionnye shvy mostov: sovremennoe sostoyanie problemy [Movement joints of bridges: the current state of a problem] *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 4(16), pp. 81-86.

12. Ovchinnikov I.I. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruktsiy transportnykh sooruzheniy [The durability of reinforced concrete structures of transport structures]. *Building materials*, 2011, no. 2, pp. 60-62.

13. Bondarev A.B., Borkov P.V., Bondarev B.A. Remont i vosstanovlenie elementov konstruktsiy transportnykh sooruzheniy s ispol'zovaniem polimernykh kompozitsionnykh materialov [Repair and restoration of structural elements of transport structures using polymer composite materials]. *Bulletin of VolgGASU. Construction and Architecture*, 2015, no. 39 (58), pp.17-25.

14. Bondarev B.A., Chernousov R.N. Malotsiklovaya ustalost' polimernykh kompozitsionnykh materialov [Low-cycle fatigue of polymer composite materials]. *Bulletin of VolgGASU. Construction and Architecture*, 2013, no. 31, pp. 96-100.

15. Bondarev A.B. Prognozirovaniye tsiklicheskoy dolgovechnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov [Prediction of cyclic durability of polymer composite materials]. Ph. D. thesis, Volgograd, 2011, 180 p.

16. Gavrilov M.A. Tekhnologiya polucheniya i khimiko-biologicheskaya stoykost' epoksidnykh kompozitov na osnove otkhodov proizvodstva [The technology of production and chemical-biological resistance of epoxy composites based on production waste]. Ph. D. thesis, Penza, 2019, 135 p.