



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.03

УДК 691.342

ВЫНОСЛИВОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАРКАСНОГО ТИПА В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Б.А. Бондарев, А.О. Корнеева, О.О. Корнеев, А.Г. Саакян, И.А. Востриков

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 28 апреля 2020

Принята: 08 июня 2020

Опубликована: 30 сентября 2020

Ключевые слова:

деформационный шов, полимербетон, полимерный композиционный материал, каркасный полимербетон, колееобразование, выносливость, малоцикловая усталость, циклическая долговечность.

АННОТАЦИЯ

Многочисленные исследования проезжей части мостовых сооружений в зонах деформационных швов показали, что применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) позволяет значительно уменьшить трещины и разрушение. Циклическая долговечность таких материалов предотвращает колееобразование в зоне деформационных швов благодаря демпфирующим свойствам. Эффективные строительные материалы на основе фурфуролацетоновых мономеров (ФАМ) применяют для изготовления приливов, испытывающих многократные удары колес транспортных средств. Поэтому были проведены испытания на выносливость полимербетон ФАМ при воздействии многократного приложения нагрузки. Циклическая и статическая долговечность традиционных полимербетон ФАМ на сегодняшний день достаточно подробно исследована. Однако каркасная технология позволяет улучшить характеристики полимербетон, в частности снизить усадку. Такие полимербетон получают в два этапа. Сначала создается каркас из склеенных между собой зерен заполнителя, а затем пустоты заполняются матричной композицией.

В данной статье приведены результаты испытаний на выносливость полимербетон, изготовленных по каркасной и традиционной технологиям, с одинаковым набором сырьевых материалов. Для определения предела выносливости применялся метод планирования эксперимента с построением ортогонально-композиционного плана второго порядка. В качестве варьируемых факторов, влияющих на циклическую долговечность, были выбраны коэффициент асимметрии цикла и уровень загрузки (в долях от разрушающей нагрузки). Также построены линии усталостной прочности

© **Бондарев Борис Александрович** – доктор технических наук, профессор, OrcidID: 0000-0001-7194-9270; e-mail: Insp-48@mail.ru.
Корнеева Анастасия Олеговна – кандидат технических наук, доцент, OrcidID: 0000-0002-2434-9536; e-mail: 2010anasta@mail.ru.

Корнеев Олег Олегович – аспирант, OrcidID: 0000-0002-8036-8846; e-mail: pao2010@rambler.ru.

Саакян Артем Гагикович – магистрант, e-mail: pao2010@rambler.ru.

Востриков Илья Алексеевич – магистрант, e-mail: pao2010@rambler.ru.

Boris A. Bondarev – Doctor of Technical Sciences, Professor, OrcidID: 0000-0001-7194-9270; e-mail: Insp-48@mail.ru.

Anastasia O. Korneeva – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, OrcidID: 0000-0002-2434-9536; e-mail: 2010anasta@mail.ru.

Oleg O. Korneev – Postgraduate Student, OrcidID: 0000-0002-8036-8846; e-mail: pao2010@rambler.ru.

Artem G. Saakyan – Master Student, e-mail: pao2010@rambler.ru.

Ilya A. Vostrikov – Master Student, e-mail: pao2010@rambler.ru.

традиционных полимербетонов ФАМ и полученных по каркасной технологии изготовления при различных значениях коэффициента асимметрии цикла. Результаты испытаний на выносливость при воздействии многократного приложения нагрузки показали, что полимерный композиционный материал на основе фурфуролацетонного мономера, полученный по каркасной технологии, обладает повышенной циклической долговечностью по сравнению с традиционным полимербетоном.

© ПНИПУ

ENDURANCE OF CARCASS TYPE POLYMER COMPOSITE MATERIALS AT DEFORMATION JOINTS OF BRIDGE STRUCTURE'S ELEMENTS

B.A. Bondarev, A.O. Korneeva, O.O. Korneev, A.G. Saakyan, I.A. Vostrikov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 28 April 2020
Accepted: 08 June 2020
Published: 30 September 2020

Keywords:

movement joints, polymer concrete, polymer composite materials, carcass polymer concrete, wheel track, endurance, low-cycle fatigue, cyclic durability.

ABSTRACT

Numerous studies of road surfaces in the areas of deformation joints of bridges and overpasses have shown that the use of polymer composite materials can significantly reduce cracks and destruction. The cyclic durability of such materials prevents rutting in the zone of deformation seams, due to their damping properties. Effective building materials based on furfural acetone monomers (FAM) are used for the manufacture of tides that experience cyclic impacts of vehicle wheels. Therefore, tests were conducted on the endurance of FAM polymer concrete under the influence of cyclic application of load. Today cyclic and static durability of traditional FAM polymer concretes has been studied in detail. However, the carcass technology can improve the characteristics of polymer concrete, in particular, reduce shrinkage. These polymer concretes are produced in two stages. First, a carcass is created from the filler grains glued together, and then the voids are filled with a matrix composition.

This article presents the results of endurance tests of polymer concrete made using carcass and traditional technologies, with the same set of raw materials. To determine the limit of endurance, we used the method of planning an experiment with the construction of an orthogonal-composite plan of the second order. The cycle asymmetry coefficient and loading level (as a percentage of the destruction load) were selected as variable factors affecting the cyclic durability. Lines of fatigue strength of traditional polymer concrete FAM and obtained by carcass manufacturing technology at different values of the cycle asymmetry coefficient are also constructed. The results of endurance tests under the influence of repeated application of load showed that the polymer composite material based on furfural acetone monomer, obtained by carcass technology, has an increased cyclic durability compared to traditional polymer concrete.

© PNRPU

Введение

Объектом исследования являются каркасные полимербетоны. Целью – рассмотрение возможности применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) каркасной структуры в элементах конструкций деформационных швов мостовых сооружений. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: получить значения пределов усталостной прочности ПКМ на основе фурфуролацетонного мономера (ФАМ) при различных характеристиках асимметрии цикла приложения нагрузки, определить коэффициент выносливости.

Основная часть

Результаты технических обследований мостов и путепроводов на автомобильных дорогах Липецкой, Пензенской, Калужской, Рязанской областей, а также сооружений, работающих в городских условиях, показывают, что наиболее уязвимыми местами конструкций проезжей части являются деформационные швы и покрытия в их зонах. Наиболее характерными дефектами и повреждениями элементов конструкций деформационных швов

согласно РДН 218.05.001–2010 «Оценка и прогнозирование состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах Краснодарского края» являются:

- одиночные протечки;
- протечки через повреждения заполнения;
- протечки из-под гидроизоляции под сопряжением шва с одеждой;
- разрушение водоотводных лотков;
- трещина в покрытии и над ним;
- разрушение покрытия в зоне шва;
- разрушение заполнения, отрыв листов;
- разрушение слоев одежд у шва;
- расшатывание окаймления;
- разрушение, отрыв и проваливание в зазор конструкций.

На рис. 1–4 показаны дефекты и повреждения элементов конструкций деформационных швов на мостовых сооружениях. В табл. 1 приведена ведомость дефектов одного из объектов городской инфраструктуры – путепровода по ул. Бульварная в г. Пятигорске, отражающая вышеизложенное.

Кроме вышеуказанных дефектов, большую 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 [1–4].

Для предотвращения колееобразования в зоне деформационных швов применяют следующие технические решения:

- устройство переходных зон;
- применение бетонных приливов (окаймлений) [5, 6];
- применение приливов, выполненных из ПКМ, обладающих демпфирующими свойствами, т.е. способностью гасить удары колес транспортных средств. В процессе эксплуатации вышеуказанные элементы испытывают воздействие многократного приложения нагрузки с количеством циклов более 1×10^6 , поэтому целью настоящего исследования является изучение циклической долговечности ПКМ под действием многократно прилагаемых нагрузок.



Рис. 1. Разрушение асфальтобетонного покрытия в зоне деформационного шва (путепровод в г. Невинномысске Ставропольского края)
Fig. 1. Destruction of asphalt concrete surface in the zone of the deformation joint (overpass in Nevinnomyssk, Stavropol territory)



Рис. 2. Трещины, разрушение покрытия в зоне деформационного шва (мост в г. Пензе)
Fig. 2. Cracks, destruction of the coating in the zone of the deformation joint (bridge in Penza)



Рис. 3. Разрушение покрытия, сеть трещин, нарушение герметичности, пролом в зоне деформационного шва (мост в г. Грязи, Липецкой области)

Fig. 3. The destruction of the surface, a network of cracks, violation of tightness, a break in the zone of the deformation joint (the bridge in Gryazi, Lipetskaya oblast)



Рис. 4. Трещины в покрытии у шва и над швом, протечки через поврежденное заполнение (мост через р. Ельчик в г. Елец, Липецкой области)

Fig. 4. Cracks in the coating at the joint and above the joint, leaks through the damaged filling (bridge by river Yelchik in Yelets, Lipetskaya oblast)

Таблица 1

Ведомость дефектов

Table 1

Defect list

№ п/п	Положение дефекта: номера пролетов, опор, элемент; номер элемента; локализация; материал	Тип и описание дефекта	Параметры и их значения	Категория дефекта в соответствии с ОДМ 218.4.001–2008	Примечания
1	2	3	4	5	6
1	Начало путепровода; мостовое полотно; деформационный шов; асфальтобетон	Трещины в покрытии у шва, разрушение покрытия в зоне шва	$L = 8 \text{ м}$ $F = 2,5 \text{ м}^2$	Б2, Р2	
2	Номера опор: 6; мостовое полотно; деформационный шов; асфальтобетон	Поперечные трещины с шириной раскрытия более 10 мм	$\Delta = 8 \text{ мм}$ $F = 0,5 \text{ м}^2$	Б2, Р1	
3	Номера опор: 6; мостовое полотно; деформационный шов; сталь	Разрушение заполнения; отрыв листов; повреждение узлов	$L = 15 \text{ м}$ $F = 15,0 \text{ м}^2$	Б3, Р3	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
4	Номера опор: 11; мостовое полотно; деформационный шов; сталь	Разрушение заполнения; отрыв листов; повреждение узлов	$L = 8 \text{ м}$ $F = 8,0 \text{ м}^2$	Б3, Р2	
5	Конец путепровода; мостовое полотно; деформационный шов; асфальтобетон	Трещины в покрытии у шва и над ним	$L = 0,5 \text{ м}$ $F = 0,25 \text{ м}^2$	Б2, Р1	

Теоретической основой данной работы стало изучение результатов научных исследований в области ПКМ [7–10], на первом этапе работы исследованы вопросы выносливости и демпфирующих свойств полимербетонов ФАМ и ФАЭИС-30 [11, 12] и сделаны выводы о возможности применения вышеуказанных материалов в конструкциях переходных зон деформационных швов.

Одним из перспективных направлений, способствующих дальнейшему совершенствованию строительных композитов, является получение материалов каркасной структуры. Технология их изготовления включает предварительное создание оптимальных смесей заполнителей и склеивание зерен друг с другом с последующим заполнением сообщающихся пустот полученного каркаса матрицей. Такая технология позволяет получать высоконаполненные каркасные композиты, облегчает технологию их приготовления и укладки [13–15].

Данная технология широко применяется при устройстве полов на промышленных предприятиях, работающих в условиях больших нагрузок и агрессивных сред.

Технология укладки каркасного полимербетона осуществляется по следующей схеме:

- 1) подготовка поверхности основания и его грунтовка;
- 2) укладка, формование и отверждение каркасной части;
- 3) заполнение пустот каркаса связующим и его отверждение.

Подготовка поверхности бетонного основания заключается в очистке металлическими щетками, обезжиривании и обеспыливании. Грунтовка поверхности проводится жидким полимерным составом на основе смолы ЭД-20 с пластификатором (дибутилфталат). На огрунтованную поверхность укладывается каркасная смесь, которая готовится из гранитного щебня и клея на фурфуролацетоновом мономере с повышенным содержанием бензосульфокислоты в бетономешалке принудительного действия. В бетономешалку с заполнителем подается клей каркаса, полученный в скоростном смесителе, и перемешивается в течение 2–3 мин до достижения равномерного обволакивания клеем зерен заполнителя.

Готовая каркасная смесь укладывается полосами от 1 до 1,5 м на всю длину деформационного шва, разделенными маячными рейками. Смесь разравнивается правилом и уплотняется ручным катком. После отверждения каркаса в течение суток при нормальных температурно-влажностных условиях приступают к заполнению пустот каркаса полимерминеральным раствором на основе ФАМ.

Полимерминеральный раствор готовится в смесителе скоростного действия по следующей технологии:

1. В перемешанные в течение 30 с наполнитель (маршалит – пылевидный кварц) и ФАМ добавляется расплав бензолсульфоокислоты охлажденной до 35–40 °С.

2. Смесь перемешивается в течение 1 мин до получения массы, равномерно окрашенной в черный цвет.

Перед нанесением растворной части проводится проверка поверхности каркаса и удаляются выступающие зерна щебня. Полимерминеральный раствор наносится наливом по всей площади помещения начиная от угла. Эксплуатация готового пола начинается через 5–6 сут [16]. Составы бетонов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Составы традиционного и каркасного полимербетонов

Table 2

Compositions of traditional and carcass polymer concrete

№ п/п	Компоненты	Содержание, кг на 1 м ³	
		традиционный полимербетон	каркасный полимербетон
1	Фурфуролацетоновый мономер (ФАМ)	250,0	301,3
2	Щебень гранитный	1300,0	1600,0
3	Песок кварцевый	700,0	441,3
4	Андезитовая мука	250,0	406,7
5	Отвердитель БСК	50,0	71,3

Эксплуатационные нагрузки на изгибаемые и сжатые элементы различных транспортных сооружений представляют собой комбинации многократно повторных и постоянной нагрузок. Многократно приложенная часть нагрузки обычно имеет однозначное направление. Соотношение между ней и постоянной частью нагрузки может быть самым различным. Поэтому при испытаниях был принят режим асимметричного циклового нагружения при различных коэффициентах асимметрии, так как именно в этом режиме работают шпалы в реальных условиях эксплуатации.

Испытание на выносливость проводили на образцах в виде призм размерами 100×100×400 мм на испытательной машине ГРМ-2А с частотой приложения нагрузки 670 циклов в минуту и коэффициентом асимметрии цикла $\rho = 0,1; 0,35; 0,6$.

Выносливость полимербетонных элементов (ГОСТ 24545–81. Бетоны. Методы испытаний на выносливость) на основе ФАМ, изготовленных по общепринятой технологии, изучалась достаточно подробно в работах П.Г. Левченко, А.Е. Меднова, Б.А. Бондарева и др. [17–20]. Так, в работе [21] получены значения коэффициентов выносливости полимербетонов ФАМ на андезите, представленные в табл. 3.

Работы, посвященные изучению выносливости полимербетонов, изготовленных по каркасной технологии, до настоящего времени не проводились.

Для исследования каркасного полимербетона применялся метод планирования эксперимента с построением ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка; уровни варьирования факторов приведены в табл. 4.

Результаты обработки данных, представленных в виде матрицы планирования эксперимента, приведены в табл. 5.

Таблица 3

Результаты испытаний на выносливость полимербетона ФАМ

Table 3

FAM polymer concrete endurance test results

Коэффициент асимметрии	Корреляционные уравнения	Коэффициент выносливости
0,1	$Y = 79,83 - 8,89 \ln N$	0,31
0,35	$Y = 66,23 - 5,63 \ln N$	0,41
0,6	$Y = 68,09 - 5,70 \ln N$	0,43

Таблица 4

Уровни варьирования факторов

Table 4

Factor variation levels

Факторы	Уровни планирования		
	-1	0	+1
Коэффициент асимметрии цикла	0,1	0,35	0,6
Уровни нагрузки, в долях от разрушающей	0,5	0,6	0,7

Таблица 5

Матрица планирования эксперимента

Table 5

The experiment planning matrix

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Y
1	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3	4,969
2	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3	5,831
3	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3	3,753
4	+1	+1	+1	+1	1/3	-2/3	3,979
5	+1	-1	0	0	1/3	-2/3	5,105
6	+1	+1	0	0	-2/3	1/3	4,694
7	+1	0	-1	0	-2/3	1/3	5,394
8	+1	0	+1	0	-2/3	1/3	3,820
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	4,160

Матрица, представленная в табл. 5, соответствует математической модели объекта исследования

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2. \quad (1)$$

При этом коэффициенты регрессии составят:

$$b_1 = 0,279; \quad b_2 = -0,773; \quad b_{12} = -0,159;$$

$$b_{11} = 0,194; \quad b_{22} = 0,608.$$

Тогда

$$Y = 3,993 + 0,279 x_1 - 0,773 x_2 - 0,159 x_1 x_2 + 0,194 x_1^2 + 0,608 x_2^2. \quad (2)$$

Для практических целей математическая модель может быть преобразована из кодированных значений переменных в абсолютные, тогда:

$$Y = 29,172 + 2,759\rho - 78,464 \frac{\sigma_{\max}}{R_b} + 3,104\rho^2 + 60,8 \left(\frac{\sigma_{\max}}{R_b} \right)^2 - 6,36\rho \cdot \frac{\sigma_{\max}}{R_b} \quad (3)$$

Модель (2), характеризующая предел выносливости полимербетона, обладает следующими особенностями:

- а) наиболее существенным фактором является уровень загрузки x_2 ;
- б) эффект фактора x_2 отрицательный, следовательно, его увеличение вызывает снижение Y ;
- в) фактор x_1 по своей величине в 2,5 раза меньше x_2 ;
- г) увеличение x_2 ведет к росту Y ;
- д) одновременное увеличение x_1 и x_2 уменьшает величину отклика системы, что ведет к снижению предела выносливости.

В табл. 6 приведены результаты испытаний вышеуказанных ПКМ, выполненных по традиционной и каркасной технологиям, а на рис. 5, 6 – линии выносливости исследуемых материалов.

Таблица 6

Результаты усталостных испытаний ПКМ, выполненных по традиционной и каркасной технологиям

Table 6

Traditional and carcass technology's PCM fatigue test results made using

Наименование ПКМ	Коэффициент асимметрии цикла	Уравнение выносливости	Коэффициент выносливости
Традиционная технология	0,1	$104,71 - 13,87 \ln N$	$0,27R_b$
Каркасная технология	0,1	$162,03 - 20,64 \ln N$	$0,37R_b$
Традиционная технология	0,35	$98,75 - 12,35 \ln N$	$0,33R_b$
Каркасная технология	0,35	$159,35 - 19,77 \ln N$	$0,35R_b$
Традиционная технология	0,6	$87,17 - 9,87 \ln N$	$0,39R_b$
Каркасная технология	0,6	$148,91 - 17,42 \ln N$	$0,45R_b$

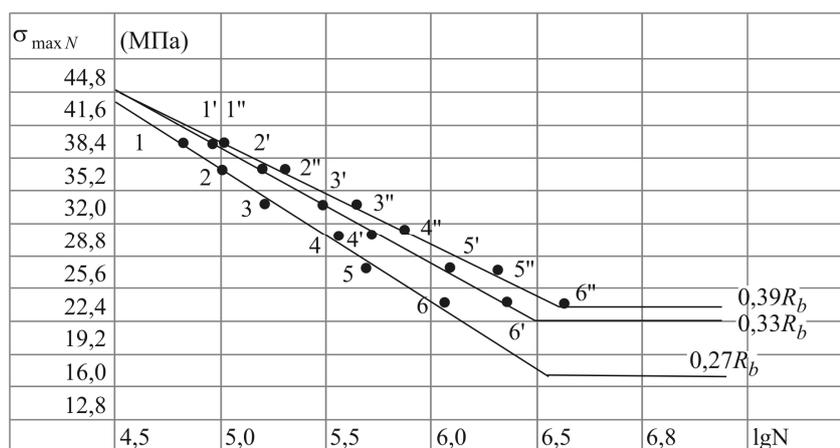


Рис. 5. Линии усталостной прочности полимербетона ФАМ, изготовленного по традиционной технологии: 1 – при $\rho = 0,6$; 2 – $\rho = 0,35$; 3 – $\rho = 0,1$

Fig. 5. Lines of fatigue strength of polymer concrete FAM, manufactured using traditional technology by: 1 – $\rho = 0,6$; 2 – $\rho = 0,35$; 3 – $\rho = 0,1$

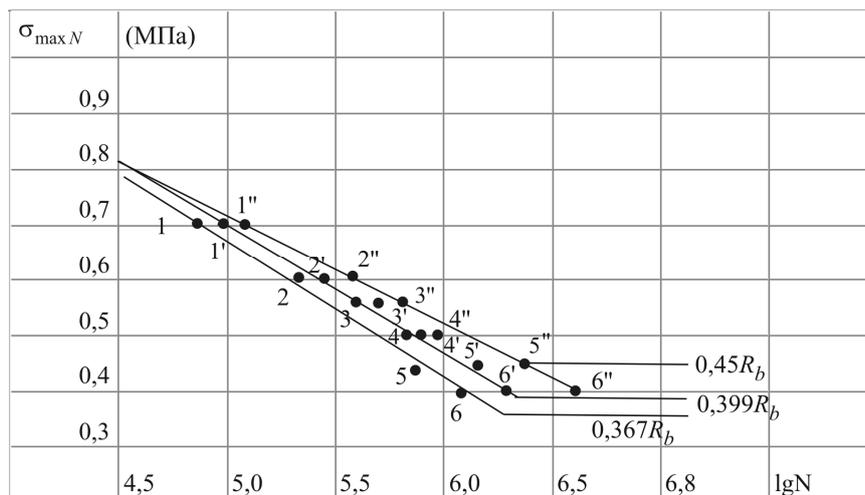


Рис. 6. Линии усталостной прочности полимербетона ФАМ, изготовленного по каркасной технологии: 1 – при $\rho = 0,6$; 2 – $\rho = 0,35$; 3 – $\rho = 0,1$

Fig. 6. Lines of fatigue strength of polymer concrete FAM, manufactured using carcass technology by: 1 – $\rho = 0,6$; 2 – $\rho = 0,35$; 3 – $\rho = 0,1$

Заклучение

Таким образом, методом усталостных испытаний получаем значения пределов усталостной прочности ПКМ на основе мономера ФАМ при различных характеристиках асимметрии цикла приложения нагрузки, из которых видно, что наиболее предпочтительным с точки зрения циклической долговечности является полимерный композиционный материал на основе фурфуролацетонового мономера, выполненного по каркасной технологии.

Библиографический список

1. Васильев А.И. Оценка технического состояния мостовых сооружений: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2019. – 256 с.
2. Все о мостах [Сайт]. – URL: <http://www.bridgear.ru> (дата обращения: 14.05.2018).
3. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Дорожная одежда на мостовых сооружениях: отечественный и зарубежный опыт // Наукоедение. – 2014. – № 5 (24). – URL: <http://naukovedenie.ru/> (дата обращения: 12.05.2019).
4. Овчинников И.Г., Макаров В.И. Влияние деформационных швов на безопасность и комфортное движение // Дороги и мосты. – 2006. – № 2. – С. 26–29.
5. 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.
6. Ефанов А.В. Совершенствование проектирования деформационных швов автодорожных мостов с учетом особенностей эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2006. – 407 с.
7. Gavrilo M.A. Impact Strength of Modified Epoxy Composites // PONTE International Journal of Sciences and Research. – 2017. – Vol. 73, no. 4. – P. 60–64.

8. Gavrilov M.A. On Technological Properties of Modified Epoxy Composites // Materials of International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2017. – 2017. – P. 012009.

9. Gavrilov M.A., Tarakanov O.V. Rheological Properties of Asbestos Waste Filler – Based Epoxy Composite Materials // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 737. – P. 231–235.

10. Комаров П.В., Лифинцев О.И., Бондарев А.Б. Сопrotивляемость полимербетонных и стеклопластполимербетонных элементов конструкций длительным и циклическим нагрузкам // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 92–97.

11. 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.

12. 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. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.12

13. Леснов В.В., Ерофеев В.Т. Исследование свойств каркасных композитов, армированных металлической фиброй различных видов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Серия: Стр-во и архит. – 2014. – Вып. 35 (54). – С. 105–110.

14. Физико-механические свойства каркасных полимербетонов на различных заполнителях / Дм.А. Губанов, А.А. Ерофеева, Д.А. Губанов, В.Т. Ерофеев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 192–198.

15. Resistance in filamentous fungi filled by epoxy adhesive and matrix compositions used in carcass concrete / V.V. Lesnov, V.T. Erofeev, R.N. Salimov, V.F. Smirnov // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 3 (27). – P. 65–72.

16. Твердохлебов Д.А. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры: дис. ... канд. техн. наук. – Саранск, 2005. – 260 с.

17. Korneeva A.O., Saprykin R.Y., Bondarev A.B. The influence of structure-forming factors on the properties of polymer composite material under static loading // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284 SSP. – P. 163–166.

18. Исследование циклической долговечности полимерных композиционных материалов в зависимости от параметров структурообразования / П.В. Борков, А.Д. Корнеев, П.В. Комаров, А.Б. Бондарев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 138–141.

19. Корнеев А.Д., Мелешкин М.Ф., Борков П.В. Долговечность композиционных материалов на основе фурфуролацетонового мономера // Строительные материалы. – 2013. – № 15. – С. 64–65.

20. Черноусов Р.Н. Малоцикловая усталость сталефиброшлакобетона // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 5. – С. 66–67.

21. Бондарев Б.А. Шпалы из древесностекловолокнистых композиционных материалов для лесовозных железных дорог широкой и узкой колеи: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Воронеж, 1996. – 49 с.

References

1. Vasil'ev A.I. Otsenka tekhnicheskogo sostoianiya mostovykh sooruzhenii [Assessment of technical condition of bridge structures]. Moscow, KNORUS, 2019, 256 p.
2. Vse o mostakh [All about bridges], available at: <http://www.bridgear.ru> (accessed 12 May 2019).
3. 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).
4. Ovchinnikov I.G., Makarov V.I. Vliyanie deformatsionnykh shvov na bezopasnost i komfortnoe dvizhenie [The effect of expansion joints on safety and comfortable movement]. *Dorogi i mosty*, 2006, no 2, pp. 26–29.
5. 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], *Dorogi i mosty*, 2007, no. 2, pp. 38–42.
6. 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.
7. Gavrilov, M.A. Impact strength of modified epoxy composites. *PONTE International Journal of Sciences and Research*, 2017, vol. 73, no. 4, pp. 60–64.
8. Gavrilov M.A. On technological properties of modified epoxy composites. *Materials of International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2017*, 2017, p. 012009.
9. Gavrilov M.A., Tarakanov O.V. Rheological properties of asbestos waste filler – based epoxy composite materials. *Key Engineering Materials*, 2017, vol. 737, pp. 231–235.
10. Komarov P.V., Lifintsev O.I., Bondarev A.B. [Resistibility of polymer-concrete and glass-reinforced plastic polymer-concrete elements of designs to long-term and cyclic loads]. *Soprotivlyayemost' polimerbetonnykh i stekloplastpolimerbetonnykh elementov konstruktsiy dlitel'nykh i tsiklicheskim nagruzkam*, 2009, no. 1 (13), pp. 92–97.
11. 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]. *Dolgovechnost' i nadezhnost' stroitel'nykh materialov i konstruktsiy v ekspluatatsionnoy srede: sb. 1-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Balakovo, Izd-vo Nats. issled. yader. un-t «MIFI»*, 2017, pp. 37–42.
12. Bondarev B.A., Zaytseva T.M., Saakyan A.G., Lezgiev T.R. Wear appraisal of movement joints' structures and ways to improve their durability. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2019, vol. 10. no. 4, pp. 126–132. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.12
13. Lesnov V.V., Erofeev V.T. Issledovanie svoystv karkasnykh kompozitov, armirovannykh metallicheskoj fibroy razlichnykh vidov [Study of the properties of carcass composites reinforced by metal and various types fiber]. *Vestnik Vovgogr. gos. arhit.-stroit. Un-ta. Ser.: Str-vo i arhit.*, 2014, no 35 (54), pp. 105–110.
14. Gubanov Dm.A., Erofeeva A.A., Gubanov D.A., Erofeev V.T. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva karkasnykh polimerbetonov na razlichnykh zapolnitelyakh [Physical and mechanical

properties of frame polymer concrete on various aggregates]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2013, no 1, pp. 192-198.

15. Lesnov V.V., Erofeev V.T., Salimov R.N., Smirnov V.F. Resistance in filamentous fungi filled by epoxy adhesive and matrix compositions used in carcass concrete. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2015, no. 3 (27), pp. 65-72.

16. Tverdohlebov D.A. Furfurolacetonovye kompozity karkasnoy struktury [Furfurolacetone composites carcass structure] Ph.D. thesis. Saransk, 2005, 260 p.

17. Korneeva A.O., Saprykin R.Y., Bondarev A.B. The influence of structure-forming factors on the properties of polymer composite material under static loading / *Solid State Phenomena*, 2018, vol. 284 SSP, pp. 163-166.

18. Borkov P.V., Korneev A.D., Komarov P.V., Bondarev A.B. Issledovaniye tsiklicheskoy prochnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov v zavisimosti ot parametrov strukturoobrazovaniya [Investigation of cyclic durability of polymer composite materials depending on the parameters of structure formation]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya. Scientific and technical Bulletin of the Volga region*, 2012, no. 6, pp. 138-141.

19. Korneev A.D., Meleshkin M.F., Borkov P.V. The durability of composite materials based on furfurolacetone monomer. *Stroitel'nyye materialy*, 2013, no. 15, pp. 64-65.

20. Chernousov R.N. Maloziklovaya ustalost stalefibroilakobetona [Low-cycle fatigue of steel-fiber concrete]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*, 2010, no. 5, pp. 66-67.

21. Bondarev B.A. Shpaly iz drevesnosteklovoloknistykh kompozitsionnykh materialov dlya lesovoznykh zheleznykh dorog shirokoj i uzkoj kolei [Sleepers of wood-fiberglass composite materials for forest Railways broad and narrow gauge]. Abstract of Ph.D. thesis. Voronezh, 1996, 49 p.