

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №1, Том 14 / 2022, No 1, Vol 14 <https://esj.today/issue-1-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/28SAVN122.pdf>

DOI: 10.15862/28SAVN122 (<https://doi.org/10.15862/28SAVN122>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Бондарев, Б. А. Сопrotивляемость каркасного полимербетона малоцикловому нагружению / Б. А. Бондарев, А. О. Корнеева, А. А. Коста, О. О. Корнеев, П. В. Борков, А. А. Мещеряков // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/28SAVN122.pdf> DOI: 10.15862/28SAVN122

**For citation:**

Bondarev B.A., Korneeva A.O., Kosta A.A., Korneev O.O., Borkov P.V., Meshcheryakov A.A. Resistance of frame polymer concrete to low-cycle loading. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(1): 28SAVN122. Available at: <https://esj.today/PDF/28SAVN122.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/28SAVN122

**Бондарев Борис Александрович**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия  
Профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [lnsp-48@mail.ru](mailto:lnsp-48@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

**Корнеева Анастасия Олеговна**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Доцент кафедры «Металлургические технологии»

E-mail: [2010anasta@mail.ru](mailto:2010anasta@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-9536>

**Коста Антон Андреевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия

Доцент кафедры «Архитектура»

Кандидат архитектуры

E-mail: [KostaAA@mgsu.ru](mailto:KostaAA@mgsu.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4548-8359>

**Корнеев Олег Олегович**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Соискатель кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

E-mail: [pao2010@rambler.ru](mailto:pao2010@rambler.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8036-8846>

**Борков Павел Валерьевич**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Декан «Инженерно-строительного» факультета

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [borkovpv@mail.ru](mailto:borkovpv@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4081-3260>

**Мещеряков Алексей Андреевич**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Аспирант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

E-mail: [alekseymesheryakov48@gmail.com](mailto:alekseymesheryakov48@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6152>

## Сопротивляемость каркасного полимербетона малоцикловому нагружению

**Аннотация.** Малоцикловая усталость — это способность материала или конструкции сопротивляться циклическим нагрузкам в диапазоне 0–10<sup>5</sup> циклов. Малоцикловые нагрузки иногда именуют повторными. Малоциклового усталости полимерных композиционных материалов (ПКМ) посвящено достаточно мало работ. Исследованиями малоциклового усталости занимались А.И. Чебаненко, Б.А. Бондарев, Бондарева А.Б. Кроме них известны работы Черноусова Р.Н., Немцева В.А., Бирюкова К.С.

Гораздо больше публикаций и исследований посвящено статической усталости полимерных композитов. Практически все работы известных исследователей полимербетонных начинались с исследований их прочности при различных видах нагружений, в том числе длительном статическом.

Таким образом, анализируя предыдущий опыт исследований сопротивляемости полимерных композиционных материалов усталости можно сделать следующие выводы:

- наиболее изучена статическая усталость ПКМ;
- достаточно много работ посвящено многоциклового усталости полимербетонных;
- малоцикловая усталость полимербетонных изучена недостаточно;
- физическая усталость полимерных композиционных материалов практически не изучена;
- отсутствует комплексность в изучении вопросов усталости ПКМ.

Таким образом, актуальность данной работы не вызывает сомнений и исследования, приведенные в данной работе, позволяют восполнить недостающие знания по вопросам усталости каркасных полимерных композитов при различных видах нагружений.

В ходе исследования были получены уравнения малоциклового усталости для каркасных полимербетонных. Также определены значения коэффициентов надежности для полимербетона на основе фурфурол-ацетонового мономера, изготовленного по каркасной технологии. Анализ полученных данных наглядно показал возможность использования каркасных полимербетонных в конструкциях, подверженных циклическим нагрузкам.

**Ключевые слова:** малоцикловая усталость; циклическая нагрузка; полимерные композиционные материалы; каркасная технология; фурфурол-ацетоновый мономер; каркасный полимербетон; полимерный композит

### Введение

Процесс постепенного накопления дефектов и повреждений под действием изменяющихся во времени нагрузок именуется усталостью материала или конструкции, а способность сопротивляться усталости именуют выносливостью. В зависимости от силовых режимов воздействий различают малоциклового, многоциклового, статическую, физическую усталость [1].

Многие элементы конструкций зданий и сооружений (плиты покрытий и перекрытий, колонны зданий гражданского и промышленного назначения, опоры контактной сети ЛЭП, фундаменты опор мостовых сооружений и так далее) работают под воздействием такого рода нагрузок. Несмотря на такую обширную область конструкций малоциклового усталость

практически не изучена. В области ПКМ известны работы Чебаненко А.И., Бондарева Б.А., Бирюкова К.С., Бондарева А.Б., Левченко П.Г., Черноусова Р.Н.

Несмотря на достаточно обширные исследования в области долговечности композиционных материалов [2–4], до сих пор недостатком метода предельных состояний остается то, что коэффициенты надежности по нагрузке определяются для большинства расчетных факторов независимо от изменчивости других факторов. Это приводит к завышению надежности, то есть к недостаточно экономичному расчету при большом количестве случайных факторов и к малой надежности в случаях, когда переменным был только один фактор. А изучение долговечности наиболее экономичного каркасного полимербетона представляет особый интерес [5].

Поэтому в данной работе представлены результаты исследования малоциклового усталости с применением современных подходов к решению задачи получения усталостных характеристик при воздействии циклических нагрузок в диапазоне  $0-10^5$  циклов с использованием современного оборудования для испытаний.

### Методы

Экспериментальные исследования, проводимые в данной работе, выполнены в соответствии с нормативными документами [6].

Полимерные бетоны представляют собой материалы конгломератной структуры на полимерном связующем с системой заполнителей различного вида уплотненной структуры. Наиболее распространенным связующим для полимербетонов служат фурановые смолы. Заполнителями для полимербетонов служат различные горные породы, а наполнителями — продукты помола этих пород (например, кварцитов, андезитов). В Липецкой области используются продукты помола шлаков (доменных или сталеплавильных), а также гранулированные шлаки.

Фурфурацетоновый мономер получается путем поликонденсации с использованием отходов сельскохозяйственного производства и древесных отходов.

Фурфурацетоновый мономер — термореактивная смола производства ООО «Химмаш» г. Чебоксары, изготовленный в соответствии с ТУ 2453-001-08468234-01. Она представляет собой продукт взаимодействия фурфура с ацетоном в присутствии щелочного катализатора.

В качестве отвердителя использовалась бензолсульфокислота производства Новомосковского фенольного завода (ТУ 6-36-0204229-25-89) со следующими характеристиками: плотность —  $1,29 \text{ г/см}^3$ , содержание моносulfокислоты бензола — 91,7 %, содержание свободной серной кислоты не более — 3,5 %, содержание воды не более 4 %.

В качестве крупного заполнителя использован гранитный щебень Павловского карьера (Воронежская область) со следующими характеристиками: плотность —  $2,69...2,7 \text{ г/см}^3$ , средняя плотность —  $1,55...1,65 \text{ г/см}^3$ , пористость — 32...40 %, прочность (марка) — 1500 Мпа, морозостойкость — 100...150 циклов, водопоглощение — 0,07...0,12, химический состав:  $\text{SiO}_2$  — 53...80 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 11...21 %,  $\text{TiO}_2$  — 0,35...2 %,  $\text{FeO}$  — до 1 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — до 5 %.

Мелким заполнителем служил песок из Сенцового карьера (Липецкая область) со следующими характеристиками: плотность —  $2,6 \text{ г/см}^3$ , средняя плотность —  $1,5...1,6 \text{ г/см}^3$ , пористость — 38...42 %.

В качестве наполнителя для полимерной композиционной смеси использовалась андезитовая мука плотностью  $2,6 \text{ г/см}^3$  и удельной поверхностью  $0,28 \text{ м}^2/\text{г}$ .

По отдельной технологии отдельно готовят наполненное связующие, смесь заполнителей и армирующих элементов. Затем совмещают их, используя разные режимы на этих технологических этапах. В основе отдельной технологии лежит полиструктурная теория В.И. Соломатова [7].

На основе этой теории выработаны следующие принципы рациональной технологии [8]:

- подбор и приготовление наполнителей требуемой дисперсности и активности; применение активированных и разнородных наполнителей;
- применение химических добавок полифункционального действия, пластификаторов, ПАВ, модификаторов в целях сокращения расхода вяжущих, изменения реологических свойств смеси и улучшения свойств композитов;
- оптимизация наполнения для комплексного улучшения свойств при минимальных расходах вяжущих, добавок и других материалов;
- назначение тепловых механических режимов обработки смесей и изделий, обеспечивающих оптимальные условия структурообразования на микро- и макроуровнях;
- дифференцированный подход к выбору реологических характеристик и способов уплотнения микро- и макроструктур: высококачественное уплотнение — для первых и низкочастотное — для вторых;
- назначение наиболее экономичных режимов тепловой обработки, исходя из интеграции свойств микро- и макросистем;
- применение каркасных систем.

Технология каркасных систем заключается в предварительном изготовлении и затвердевании крупнопористых смесей с последующим заполнением пустот в отвердевшем каркасе. Состав для скрепления каркаса и для заполнения пустот может быть разным как по реологическим свойствам, так и по виду вяжущего и содержанию добавок. Это позволяет получать композиты, содержащие даже несовместимые вяжущие, требуемые для заданного комплекса свойств материала [8].

Каркас образуется путем смачивания крупных зерен наполнителя наполненным или ненаполненным связующим, придания смеси нужной формы покрытия (блоки, плиты и т. д.) с последующим отверждением. В качестве вяжущих для каркаса используют олигомеры, дисперсии, латексы, а также расплавы термопластов, позволяющие резко сократить технологический цикл [9].

Пустоты каркасы заполняют полимерным или иным связующим с применением вибрирования, давления или вакуумирования. При этом реологические и другие свойства заливочного состава регулируются введением пластификаторов, ПАВ, растворителей или нагреванием. Таким образом, каркасная система с позиции полиструктурной теории является результатом взаимопроникновения двух структур разного уровня: микро- и макроструктуры [8; 10].

Технология укладки каркасного полимербетона осуществляется по следующей схеме [5]:

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 (дубитилфталат). На огрунтованную поверхность укладывается каркасная смесь, которая готовится из гранитного щебня и клея на фурфуролацетоновом мономере с повышенным содержанием бензолсульфокислоты в бетономешалке принудительного действия. В бетономешалку с заполнителем подается клей каркаса, полученный в скоростном смесителе, и перемешивается в течение 2...3 минут до достижения равномерного обволакивания клеем зерен заполнителя.

Полимерминеральный раствор готовился в смесителе скоростного действия по следующей технологии:

1. В перемешанный в течение 30 с наполнитель и ФАМ добавляется расплав бензолсульфокислоты, охлажденной до температуры 35–45°C.
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. [5].

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 полимер-минеральным раствором на основе ФАМ [5].

Для испытания на малоцикловую усталость использовалась динамическая испытательная установка серии ИТМ 130 кН (рис. 1). С помощью этой установки определяется ряд показателей ПКМ, в том числе и усталостные свойства ПКМ.

В представленной работе используется оборудование лаборатории ОКУ «Дорожное агентство Липецкой области». Описание используемой установки приведено ниже.



*Рисунок 1. Установка для испытаний на усталость ПКМ (рисунок заимствован из паспорта оборудования)*

Таблица 1

Результаты испытаний

Модели	Стандартная модель	XL модель
	79-PV70C05	79-PV70C15
Система нагружения	Серво-гидравлика	
Статическая нагрузка (растяжение-сжатие), кН	-130...+130	
Динамическая нагрузка (растяжение-сжатие), кН	-100...+100	
Диапазон температур испытаний, С	-50...+100 или -25...+60	-50...+100
Частота нагружений, Гц	0,01...70	
Рабочий ход поршня (вверх-вниз), мм	100 (-50...+50)	
Максимальное рабочее давление, кПа	210 бар	
Силовая рама		
Макс. просвет между столом и нагружающей головкой, по вертикали, мм	1015	
Расстояние между колоннами, мм	600	770
Размеры силовой рамы, мм (ШхГхВ)	1000х1000х3000	1250х1000х3000
Габаритные размеры и вес		
Объем бака для масла, л	220	
Система управления IMACS	Внешний блок	
Интерфейс	Внешний монитор	
Электропитание	380В, 50 Гц, 3 фазы	
Мощность питания, кВт	7,5	
Приблизительный вес	630 кг (без масла)	
Приблизительный общий вес	775 кг	920 кг

Составлено авторами

Для испытаний были изготовлены образцы-призмы по каркасной технологии размерами 40х40х160 мм. Коэффициент асимметрии цикла приложения внешней нагрузки  $\rho$  был принят равным 0,1. Это наиболее жесткий вариант приложения нагрузки и он наиболее характерен для исследуемых полимербетонных конструкций. Методика проведения испытаний и обработки результатов была общепринятой [4; 11].

Порядок определения усталостных характеристик

Среднее арифметическое отклонение:

$$\tau_y = \sqrt{\frac{\sum (y - M_{cp}^y)^2}{n}} = 4,469;$$

$$\tau_x = \sqrt{\frac{\sum (x - M_{cp}^x)^2}{n}} = 0,56.$$

Коэффициент корреляции:

$$r = \sqrt{\frac{\sum (y - M_{cp,y})(\sum x - M_{cp}^x)}{n\tau_y \cdot \tau_x}} = \sqrt{\frac{-14,883}{8 \cdot 4,469 \cdot 0,56}} = -0,862$$

тогда

$$y = 41,27 - 0,862 \cdot \frac{4,469}{0,56} (x - 4,4558);$$

$$y = 72,62 - 6,88x;$$

при  $x = 3$ ,  $y = 51,98$  МПа;



при  $x = 5$ ,  $y = 38,22$  МПа  $\approx 0,49 R_B$ :

$$\tau_{xy} = \tau_y = \sqrt{1 - r^2} = \pm 4,469 \sqrt{1 - 0,862^2} = 0,252.$$

Вероятная ошибка при определении предела выносливости:

$$\tau \cdot M_{cp,y} = \frac{\sigma_{xy}}{n} = \frac{2,26}{\sqrt{8}} = \pm 1,503 \text{ МПа.}$$

Зона возможных отклонений предела выносливости с вероятностью 19:1:

$$\tau_B = y = \pm 2\tau \cdot M_{cp,y} = 38,22 \pm 2 \cdot 1,503 = 41,23 (35,21) \text{ МПа.}$$

Зона возможных индивидуальных отклонений предела выносливости с вероятностью 19:1:

$$\tau_B = y \pm \tau_{xy} = 38,22 \pm 2,26 = 40,48 (35,96) \text{ МПа.}$$

Уравнение многоциклового усталости записывается как:

$$R_B^{MH} = 72,62 - 5,89 \lg N \text{ или } R_B^{MH} = 0,46 R_B (35,5 \text{ МПа}).$$

### Определение коэффициентов надежности полимербетона ФАМ

Для полимербетона, работающего в условиях центрального сжатия, условие прочности при циклическом воздействии нагрузки записывается так:

$$\sigma_B^{max} \leq R_B \cdot \gamma_H$$

где  $\sigma_B^{max}$  — максимальное напряжение цикла приложенной нагрузки;

$R_B$  — предел прочности при сжатии (кратковременное сопротивление ПКМ сжатию);

$\gamma_H$  — коэффициент надежности.

$$\gamma_H > \frac{\tau_B^{max}}{R_B}.$$

Для однозначного выбора параметра  $\gamma_H$  предполагаем, что:

$$\gamma_H = \frac{\tau_B^{max}}{R_B}.$$

При кратковременных воздействиях внешней нагрузки среднее значение полимербетона составляет:

а) для полимербетона, изготовленного по традиционной технологии:

$$R_B = 60 \text{ МПа};$$

б) для полимербетона, изготовленного с применением каркасной технологии:

$$R_B = 77 \text{ МПа.}$$

По результатам испытаний образцов получен набор значений параметра  $\gamma_H$ .

Для получения точной оценки  $\gamma_H$  находим среднее значение выборки:

$$\gamma_H = \frac{\sum_{i=1}^N \gamma_{Hi}}{N},$$

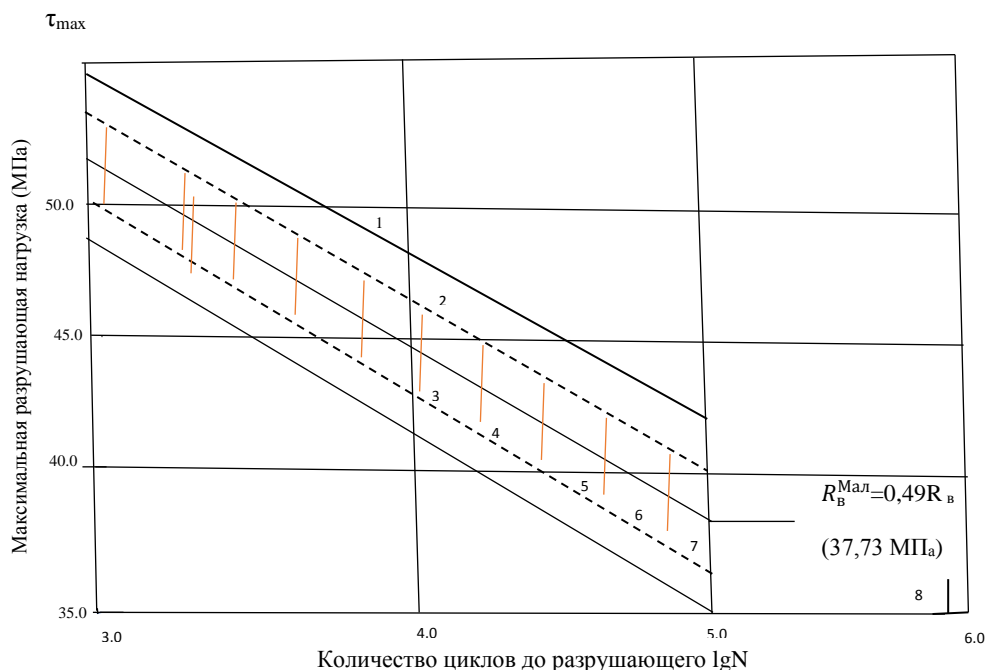
где  $N$  — число испытаний образцов.

### Результаты

Таким образом, для полимербетона ФАМ, изготовленного по каркасной технологии значения предела усталостной прочности будут:

- а) малоцикловая усталость —  $0,49 R_B$  (38,22 МПа);
- б) многоцикловая усталость —  $0,46 R_B$  (35,5 МПа).

График малоцикловой усталости приведен на рисунке 2.



**Рисунок 2.** График малоцикловой усталости (график выполнен авторами)

В результате обработки полученных значений экспериментов устанавливаются коэффициенты надежности для полимербетонных, приведенные в таблице 2.

**Таблица 2**

#### Коэффициенты надежности полимербетона ФАМ

Коэффициент асимметрии цикла ( $\rho$ )	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Коэффициенты надежности ( $\gamma_H$ )	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68

Составлено авторами

#### Выводы

Для каркасного полимербетона уравнения малоцикловой усталости записывается так:

$$R_B^{МЛ} = 72,62 - 5,89 \lg N$$

или

$$R_B^{МН} = 0,49 R_B (38,22 \text{ МПа}).$$

В ходе исследования получены значения коэффициентов надежности для полимербетона ФАМ, изготовленного по каркасной технологии. Данные показатели позволяют сделать вывод, что полимербетоны, изготовленные по каркасной технологии, обладают



оптимальным значением долговечности для применения их в сооружениях, подвергающихся воздействию циклических нагрузок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанов В.А. Надежность элементов деревянных конструкций / В.А. Кабанов. — Курск: КГТУ. — 2003. — 146 с.
2. Беляев В.Е., Богдановский Л.Н., Немцев В.Ф., Былыбин Н.А. Термодинамические факторы процесса деформирования армополимербетонного стержня // Исследование строительных конструкций железнодорожного транспорта. — Сб. тр. МИИТ(а). — Вып. 635. — 1981 — С. 126–135.
3. Бирюков К.С. Сопротивление сталеполимербетонных элементов повторным воздействиям нагрузок / К.С. Бирюков // Исследования строительных конструкций с применением полимерных материалов. Вып. 4. Воронеж: из-во ВГУ. — 1978. — С. 26–30.
4. Бондарев Б.А., Черноусов Р.Н., Бондарев А.Б., Мелешкин М.Ф. Малоцикловая усталость полимерных композиционных материалов // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Стро-во и архитектура. — 2013. — Вып. 31(50). — С. 96–100.
5. Бондарев Б.А., Корнеева А.О., Корнеев О.О., Саакян А.Г., Востриков И.А. Выносливость полимерных композиционных материалов каркасного типа в элементах конструкций деформационных швов мостовых сооружений // Construction and Geotechnics. — 2020. — Т. 11. — № 3. — С. 29–40.
6. Соломатов В.И. Технология полимербетонных и армополимербетонных изделий / В.И. Соломатов. — М.: Стройиздат. — 1984. — 144 с.
7. Яковлев В.М. Расчет полимербетонных конструкций на сжатие и растяжение с учетом температурно-временной аналогии / В.М. Яковлев. — Липецк. — 1998. — 150 с.
8. Бейболов С.М., Карасиков Ю.К., Хрулев В.М. Композиционные строительные материалы // Алматы: Жети Жарты. — 1996. — 240 с.
9. Ерофеев В.Т., Лиценко П.И., Селяев В.П., Селяев В.И., Соломатов В.И. Каркасные строительные композиты // Структурообразование, свойства, технологии: под ред. акад. РААСН В.И. Соломатова — Саранск, из-во Морд. ГУ. — 1995. — 200 с.
10. Яковлев В.М. Расчет полимербетонных конструкций на сжатие и растяжение с учетом температурно-временной аналогии / В.М. Яковлев. — Липецк. — 1998. — 150 с.
11. Бондарев Б.А., Штефан Ю.В., Комаров П.В. Циклическая долговечность композиционных материалов в конструкциях транспортных сооружений // Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы современного дорожного строительства и хозяйства». — Вологда. — 2002. — С. 8–11.

**Bondarev Boris Alexandrovich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [lnsp-48@mail.ru](mailto:lnsp-48@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

**Korneeva Anastasia Olegovna**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [2010anasta@mail.ru](mailto:2010anasta@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-9536>

**Kosta Anton Andreevich**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
E-mail: [KostaAA@mgsu.ru](mailto:KostaAA@mgsu.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4548-8359>

**Korneev Oleg Olegovich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [pao2010@rambler.ru](mailto:pao2010@rambler.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8036-8846>

**Borkov Pavel Valerevich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [borkovpv@mail.ru](mailto:borkovpv@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4081-3260>

**Meshcheryakov Aleksey Andreevich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [alekseymesheryakov48@gmail.com](mailto:alekseymesheryakov48@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6152>

## Resistance of frame polymer concrete to low-cycle loading

**Abstract.** Low-cycle fatigue is the ability of a material or structure to resist cyclic loads in the range of  $0-10^5$  cycles. Low-cycle loads are sometimes referred to as repeated. Little work has been devoted to the low-cycle fatigue of polymer composite materials (PCM). Studies of low-cycle fatigue were carried out by A.I. Chebanenko, B.A. Bondarev, Bondareva A.B. Besides them, the works of Chernousov R.N., Nemtsev V.A., Biryukov K.S. are known. Much more publications and research are devoted to the static fatigue of polymer composites. Almost all the works of well-known polymer concrete researchers began with studies of their strength under various types of loading, including long-term static.

Thus, analyzing the previous experience of studying the fatigue resistance of polymer composite materials, we can draw the following conclusions:

- PCM static fatigue is the most studied;
- quite a lot of work is devoted to the high-cycle fatigue of polymer concrete;
- low-cycle fatigue of polymer concrete has not been studied enough;
- physical fatigue of polymer composite materials is practically not studied;
- there is no complexity in studying the issues of PCM fatigue.

Thus, the relevance of this work is beyond doubt, and the studies presented in this work make it possible to fill in the missing knowledge on the fatigue of frame polymer composites under various types of loading.

In the course of the study, equations of low-cycle fatigue for frame polymer concretes were obtained. Also, the values of reliability coefficients for polymer concrete based on furfural-acetone monomer, manufactured using frame technology, are determined. The analysis of the data obtained clearly showed the possibility of using frame polymer concrete in structures subjected to cyclic loads.

**Keywords:** low-cycle fatigue; cyclic load; polymer composite materials; frame technology; furfural-acetone monomer; frame polymer concrete; polymer composite