

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

2020, №3, Том 12 / 2020, No 3, Vol 12 <https://esj.today/issue-3-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/51SAVN320.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бондарев Б.А., Комаров П.В., Корнеев О.О., Сычев А.Ю., Мещеряков А.А., Немахов И.В. Полимерные композиционные материалы каркасной структуры // Вестник Евразийской науки, 2020 №3, <https://esj.today/PDF/51SAVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Bondarev B.A., Komarov P.V., Korneev O.O., Sychev A.Yu., Meshcheryakov A.A., Nemakhov I.V. (2020). Polymer composite materials of the carcass structure. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(12). Available at: <https://esj.today/PDF/51SAVN320.pdf> (in Russian)

УДК 691.342

ГРНТИ 67.09.55

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

Комаров Павел Валерьевич

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия
Доцент кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kpv@stu.lipetsk.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=348681

Корнеев Олег Олегович

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия
Аспирант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
E-mail: pao2010@rambler.ru

Сычев Анатолий Юрьевич¹

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия
Магистрант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
E-mail: andgraf109@gmail.com

Мещеряков Алексей Андреевич

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия
Магистрант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
E-mail: alekseymesheryakov48@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6152>

Немахов Иван Владимирович

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия
Магистрант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
E-mail: ivan2010judo@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8993-0495>

¹ <https://vk.com/stavr99>

Полимерные композиционные материалы каркасной структуры

Аннотация. В статье рассмотрено одно из перспективных направлений – применение каркасных полимербетонов для изготовления приливов в зонах деформационных швов мостовых сооружений, т.к. мостовые конструкции, эксплуатируемые в транспортных сооружениях, подвергаются значительным динамическим нагрузкам. Наиболее часто повреждения возникают в зоне деформационного шва. В связи с чем, возникает необходимость использования долговечных материалов композиционного типа, обладающих демпфирующими свойствами, способными обеспечить длительную и надежную работу конструкций и сооружений. Таким образом, изучение физико-механических характеристик строительных композитов каркасной структуры на различных заполнителях является весьма актуальной проблемой.

Исходя из цели и задач исследований по получению эффективных строительных материалов и изделий, рассматривались каркасы на фурфуролацетоновом мономере, а в качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень. Для исследования процесса виброползучести каркасных полимербетонов проводились испытания образцов-призм под действием циклических нагрузок. В работе приведены результаты экспериментальных исследований каркасных полимербетонов. Были получены значения пределов выносливости, которые показали, что выносливость каркасных полимербетонов значительно выше, чем у полимербетонов, изготовленных по традиционной технологии при использовании одинаковых компонентов.

Авторами представлено сравнение деформации виброползучести полимербетонов на основе фурфуролацетонового мономера, изготовленных по каркасной и по традиционной технологии, показало, что их величина у обычных полимербетонов выше, чем у каркасных полимербетонов, в связи с тем, что количество зерен крупного заполнителя, скрепленных между собой, значительно меньше, чем у полимерных композиционных материалов каркасной структуры. Исследование демпфирующих свойств полимербетонов, изготовленных по каркасной технологии, позволило установить возможность применения полимерных композиционных материалов каркасной структуры на основе фурфуролацетонового мономера в конструкциях мостовых сооружений.

Данная статья является частью выпускной квалификационной работы аспиранта.

Ключевые слова: демпфирующие свойства; полимербетон; полимерный композиционный материал; каркасный полимербетон; выносливость; малоцикловая усталость; циклическая долговечность; деформация виброползучести; фурфуролацетоновый мономер

Введение

Мостовые конструкции, эксплуатируемые в транспортных сооружениях, подвергаются значительным динамическим нагрузкам. Наиболее часто повреждения возникают в зоне деформационного шва (рис. 1) [1–3].

В связи с чем, возникает необходимость использования долговечных материалов композиционного типа, способных обеспечить длительную и надежную работу конструкций и сооружений. Такие материалы должны обладать высокими показателями демпфирующих свойств, что способствует снижению напряжений в мостовых конструкциях, благодаря смягчению ударов колес автомобилей и уменьшению амплитуд колебаний.

Для комплексной оценки эффективности полимерных композиционных строительных материалов определялось множество параметров, в том числе и циклическая долговечность полимербетонов на различных связующих и заполнителях [4–8].



Рисунок 1. Трещины в покрытии у шва, разрушение покрытия в зоне шва (фото выполнено авторами)

Одним из перспективных направлений является применение каркасных полимербетонов для изготовления приливов в зонах деформационных швов. Таким образом, изучение физико-механических характеристик строительных композитов каркасной структуры на различных заполнителях является весьма актуальной проблемой [9; 10].

Полимербетоны, изготовленные по каркасной технологии, обладают улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с традиционными полимерными композиционными материалами. Так, например, они более устойчивы к циклическому действию температур и воздействию агрессивных сред; имеют повышенные показатели ударной и статической прочности.

Особенно важно определить способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам, показателем чего служит демпфирующая способность, т. е. поглощение энергии циклического деформирования в необратимой форме.

Методы

В полимербетонах каркасной структуры крупнопористый бетон является каркасом, при этом должно соблюдаться следующее условие. Склеенные зерна крупного заполнителя должны обладать такой пористостью, чтобы поры и пустоты сообщались между собой. Каркасы могут изготавливаться на различных вяжущих: органических и неорганических.

Каркасный полимербетон может разрушаться по матрице, по гранулам заполнителя, так и по сцеплению между ними. Таким образом, основные характеристики каркасных композиционных материалов определяют следующие факторы: природа связующего и заполнителя и их демпфирующие свойства, качество сцепления между ними, а также степень отверждения клеевого состава. Предельные характеристики структурных элементов (матрица, заполнитель, степень сцепления) каркасных композитов обуславливают их особенность разрушения [11; 12].

Процесс исследования виброползучести каркасных полимербетонов на смоле ФАМ заключался в испытании образцов-призм с размером 70×70×280 мм под действием циклических нагрузок. В качестве связующего применяли фурфуролацетоновый мономер

(ТУ 64.1.17 – 89), а заполнителем служил гранитный щебень. Фурфуролацетоновый мономер не требует дополнительного разогрева перед применением, обладает низкой вязкостью, при смешении с отвердителем не ядовит и имеет достаточно длительную жизнестойкость. В качестве отвердителя применялась бензосульфокислота (БСК) – традиционный катализатор отверждения фурфуролацетонового мономера. Переход смолы в твердое состояние происходит обычно по ионному механизму [9].

Состав полимербетонной композиции с учетом компонентов для изготовления каркаса из крупного заполнителя и смолы ФАМ, а также фурфуролацетонового мономера для пропитки, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав полимерного композиционного материала каркасной структуры

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

Составлено авторами

Испытания призм, многократно повторной нагрузкой проводили на испытательной машине. Для обеспечения равномерного распределения деформаций (напряжений) по поперечному сечению образца и для предотвращения разрушения опорных частей призмы в процессе испытания, ее торцевые поверхности тщательно выравнивались и шлифовались, кроме того, между торцевыми поверхностями призм и металлическими плитами оголовников укладывались прокладки из тонкого картона толщиной 0,3–0,5 мм.

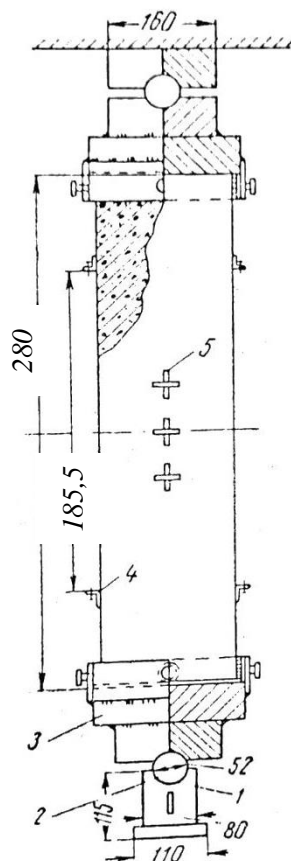
Закрепление призм на пульсаторе и их центрирование по отношению к действующему усилию производили при помощи специальных оголовников с шарнирными центрирующими опорами в верхних и нижних частях призмы, как это показано на рис. 2. После установки на пульсатор призму сначала центрировали по ее геометрическому центру с помощью боковых упорных болтов в оголовниках. Затем путем пробных статических нагружений при небольших напряжениях (до 2,5 МПа) с измерением продольных деформаций полимербетона переносным индикатором выполняли окончательную центровку призмы по ее физическому центру.

В этом положении образец закрепляли и подвергали испытанию циклической нагрузкой.

В соответствии с методикой А.М. Иванова-П.Г. Левченко, с целью определения сопротивляемости образцов полимерных бетонов циклическому нагружению, были построены структурные диаграммы. Проводились длительные испытания с учетом принципа суперпозиции. При этом учитывалось отличие циклических нагружений от статических, заключающееся в том, что при приложении первых, в случае когда нагрузка превышает предел длительной прочности наиболее слабых частиц, т. к. образуются микротрещины, вследствие накопления остаточных напряжений. Кроме того, в образце полимербетона при воздействии циклической нагрузки происходит наложение двух независимых и различных по характеру процессов: ползучести от постоянного напряжения σ_{\min} и усталости от напряжения $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$.

Снятие нагрузки с частиц, получивших необратимые деформации прямого знака, вызывает внутреннее напряжение обратного знака и если оно превзойдет временное сопротивление полимерного бетона растяжению, то это вызовет появление микроразрушения, т. к. частицы материала разрушатся. Таким образом, образец разрушается не при приложении нагрузки, а при снятии нагружения. Основываясь на данных положениях, по структурной

диаграмме устанавливается зависимость между пределом выносливости, временным сопротивлением полимербетона сжатию и коэффициентом асимметрии цикла.



1 – динамометр, 2 – стальной шар \varnothing 52 мм, 3 – оголовник с центрирующими болтами, 4 – уголкового упоры, 5 – тензодатчики

Рисунок 2. Схема испытания призм на пульсаторе и расположения измерительных приборов (рисунок заимствован из [13])

Длительная прочность композиционного материала Показатели длительной прочности элементарных частиц представляют интегральной кривой, отражающей структурную диаграмму композита зависти от предела выносливости и пределом пропорциональности, как было доказано в работе ранее [14]. Также, установлено практически полное совпадение значений и порядков величин $K_{b,inf}$, $K_{b,pul}$ и K_{pc} испытываемых полимерных композиционных материалов. Известно, что структурные диаграммы позволяют исследовать процесс виброползучести композиционных материалов, т. к. предел пропорциональности связан с виброползучестью композита. При исследовании работы элементов мостовых конструкций в зоне деформационных швов, необходимо учитывать, они подвергаются действию циклических нагрузений, а значит виброползучесть изучается по структурным диаграммам, построенным по результатам испытаний образцов под действием многократно приложенных нагрузок [14].

Циклическая долговечность оценивается выносливостью полимерного композиционного материала при сжатии, т. е. повреждение композита рассматривается через значение деформация виброползучести.

Деформации виброползучести на неустановившейся стадии могут носить различный характер (затухающий, нарастающий или установившийся), зависящий от уровня нагружения и коэффициента асимметрии цикла. от соотношения скорости деформирования и релаксации

напряжений. Развитие микроразрушений возникает в том случае, если за цикл загрузка-разгрузка на неотрелаксировавшие напряжения накладываются следующий цикл напряжений.

Так при $\sigma_{\max}/R_b = 0,66; 0,6; 0,5$ локальные напряжения, вызванные неоднородностью структуры полимербетона, не успевают отрелаксировать за цикл нагрузка-разгрузка и, складываясь с остаточными, превышают прочность структурных связей. Деформации виброползучести монотонно нарастают, и разрушение происходит на этой стадии. При уровнях нагружения, равных $0,46R_b; 0,44R_b$ и $0,40R_b$, между процессами деформирования и релаксации напряжений к концу первой стадии устанавливается динамическое равновесие, что связано с концентрацией субмикротрещин в объеме материалы конструкций. При уровнях нагружения, $0,32R_b; 0,34R_b$ релаксационные процессы на неустановившейся стадии могут снизить локальные перенапряжения до такого уровня, при котором разрыв структурных связей станет маловероятным. Деформации виброползучести носят затухающий характер, в дальнейшем стабилизируются, и циклическая долговечность, характеризующаяся количеством циклов, стремится к бесконечности.

Эффективность вибропоглощения материала принято оценивать с помощью величины модуля потерь. Этот показатель представляет собой произведение модуля упругости на коэффициент потерь. Таким образом, для вибропоглощающих полимерных композиционных материалов каркасной структуры, применяемых в мостовых сооружениях, следует подбирать такие заполнители и наполнители, которые повышают значение коэффициента модуля потерь.

Изучение амортизационных характеристик каркасных композиционных материалов с применением клея каркаса различной природы показали, что высокие коэффициенты потерь имеют композиты, у которых каркас склеен высокодемпфирующим материалом – вязкоупругим клеем (полиэфирной смолой, битумом), а жесткие клеи, такие как цемент, наоборот снижают коэффициент потерь композита каркасной структуры. Таким образом, применение фурфуролацетонного мономера в качестве связующего позволяет повысить коэффициент потерь каркасного полимербетона, благодаря высоким показателям диссипативных свойств [15].

Кроме того, на демпфирующие свойства композитов оказывает влияние и толщина клеевого слоя каркаса. Увеличение на порядок относительной толщины оболочки (это отношение толщины клеевого слоя каркаса к диаметру заполнителя) вязкого клеевого слоя каркаса повышает в два раза коэффициент потерь. Это приводит к снижению эффективности вибропоглощения вследствие того, что модуль упругости и модуль потерь существенно снижаются [16].

Результаты

Испытание образцов изготовленных по традиционной и по каркасной технологиям при коэффициенте асимметрии цикла нагрузки $\rho = 0,3$. Обработка результатов велась в соответствии с ГОСТ 24545-81 «Бетоны. Методы испытаний на выносливость». На базе $2 \cdot 10^6$ циклов были получены значения пределов выносливости для 6 образцов каждой серии. $R_{b, pul} = 0,33R_b$ (традиционная технология) и $R_{b, pul} = 0,39R_b$ (каркасная технология).

Сравнение деформаций виброползучести каркасных и обычных полимербетонных показывает, что их величина у первых значительно меньше и это объясняется тем, что в каркасных композитах, скрепленных между собой частиц крупного заполнителя, значительно больше, чем у полимербетонных, изготовленных по традиционной технологии.

Выводы

1. Каркасные композиты, обладают достаточной выносливостью (циклической долговечностью и деформативностью) для использования их в элементах мостовых конструкций, воспринимающих циклическое воздействие нагрузки.
2. Применение вязкоупругого связующего для образования каркаса и жесткой матрицы позволяет получить каркасный композиционный материал с высокими вибропоглощающими показателями. Также можно применять достаточно жесткий каркас и матрицу с высокодемпфирующими свойствами. Следовательно, можно сделать вывод, что демпфирующие характеристики полимербетона каркасной структуры зависят как от полученной матричной композиции, так и от применяемого связующего для каркаса.
3. Полученные каркасные композиты на основе фурфуролацетонового мономера эффективны в работе конструкций мостовых сооружений в зоне деформационных швов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Ефанов А.В. Совершенствование проектирования деформационных швов автодорожных мостов с учетом особенностей эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград. – 2006. – 407 с.
3. Бондарев Б.А., Зайцева Т.М., Саакян А.Г., Лезгиев Т.Р. Оценка износа конструкций деформационных швов и пути повышения их долговечности // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 126–132. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.12.
4. 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. – Т. 284 SSP. – pp. 163–166.
5. 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.
6. Zahiri F., Eskandari-Naddaf H. Optimizing the compressive strength of concrete containing micro-silica, nano-silica, and polypropylene fibers using extreme vertices mixture design // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2019. –Vol. 13. – № 4. – pp. 821–830.
7. B. Dao, J. Hodgkin, J. Krstina [et al.] Accelerated Aging Versus Realistic Aging in Aerospace Composite Materials. I. The Chemistry of Thermal Aging in a Low-Temperature-Cure Epoxy Composite // Journal of Applied Polymer Science. – 2006, – Vol. 102. – pp. 4291–4303.
8. Ramesh Babu B., Maruthamuthu S., Rajasekar A. Microbiologically influenced corrosion in dairy effluent // Spring, Vol. 3, No. 2, 2006. – pp. 159–166.

9. Твердохлебов Д.А. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры: дисс. ... канд. техн. наук. – Саранск, 2005. – 260 с.
10. Леснов В.В., Ерофеев В.Т. Исследование свойств каркасных композитов, армированных металлической фиброй различных видов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. – 2014. – Вып. 35(54). – С. 105–110.
11. Губанов Дм.А., Губанов Д.А., Ерофеева А.А. Изучение влияния различных заполнителей на свойства каркасных полимербетонов // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов: сб. Международной науч.-техн. конф. – 2013. – С. 122–127.
12. Губанов Дм.А., Ерофеева А.А., Губанов Д.А., Ерофеев В.Т. Физико-механические свойства каркасных полимербетонов на различных заполнителях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 192–198.
13. Кулыгин Ю.С., Белобров И.К. Экспериментальное исследование ползучести бетона при многократно повторяющихся циклических нагружениях / В кн.: Прочность и жесткость железобетонных конструкций. – М. – 1968. – С. 173–190.
14. Бондарев Б.А., Борков П.В., Бондарев А.Б. Сопротивление полимерных композиционных материалов действию циклических напряжений: учеб. Пособие. – Саратов. – 2017. – 154 с.
15. Черкасов В.Д. Демпфирующие свойства полимерных композиционных материалов // Вестник Мордовского ун-та. –1993. – №1. – С. 70–74.
16. Черкасов В.Д., Ерофеев В.Т., Мищенко Н.И. Исследование демпфирующих свойств полимербетонов каркасной структуры // Вестник Мордовского ун-та. – 1994. – С. 68–70.

Bondarev Boris Alexandrovich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: lnsp-48@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

Komarov Pavel Valeryevich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: kpv@stu.lipetsk.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=348681

Korneev Oleg Olegovich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: pao2010@rambler.ru

Sychev Anatoly Yurevich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: andgraf109@gmail.com

Meshcheryakov Aleksey Andreevich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: alekseymesheryakov48@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6152>

Nemakhov Ivan Vladimirovich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: ivan2010judo@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8993-0495>

Polymer composite materials of the carcass structure

Abstract. The article considers one of the promising directions – the use of carcass polymer concrete for the production of tides in the zones of deformation joints of bridge structures, since bridge structures operated in transport structures are subjected to significant dynamic loads. The most common damage occurs in the zone of the deformation seam. In this connection, there is a need to use durable composite materials that have damping properties that can ensure long-term and reliable operation of constructions and structures. Thus, the study of the physical and mechanical characteristics of building composites of the carcass structure on various aggregates is a very urgent problem.

Based on the purpose and objectives of research to obtain effective building materials and products, we considered carcasses based on furfuroacetone monomer, and granite crushed stone was used as a large aggregate. To study the process of vibration creep of carcass polymer concrete samples were tested-prisms under the action of cyclic loads. The paper presents the results of experimental studies of carcass polymer concrete. The values of endurance limits were obtained, which showed that the endurance of carcass polymer concretes is significantly higher than that of polymer concretes made using traditional technology when using the same components.

The authors present a comparison of the vibration creep deformation of polymer concretes based on furfuroacetone monomer, manufactured using carcass and traditional technology, and showed that their value is higher in conventional polymer concretes than in carcass polymer concretes, due to the fact that the number of grains of large aggregate bonded together is significantly less than in polymer composite materials of the carcass structure. The study of damping properties of polymer concretes manufactured using carcass technology has allowed us to establish the possibility of using

polymer composite materials of a carcass structure based on furfurolacetone monomer in bridge structures.

This article is part of the graduate qualification work of a post graduate student.

Keywords: damping properties; polymer concrete; polymer composite materials; carcass polymer concrete; endurance; low-cycle fatigue; cyclic durability; creep strain; furfurolacetone monomer