

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2019, №3, Том 6 / 2019, No 3, Vol 6 <https://t-s.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/05SATS319.pdf>

DOI: 10.15862/05SATS319 (<http://dx.doi.org/10.15862/05SATS319>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бондарев Б.А., Копалин Д.А., Бондарев А.Б., Ерофеева И.В., Аль Дулайми Салман Давуд Салман Разработка эффективных составов бетонов для конструкций плит проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/05SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05SATS319

For citation:

Bondarev B.A., Kopalin D.A., Bondarev A.B., Erofeva I.V., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman (2019).

Development of effective compositions of concrete for the construction of slabs of the roadway of steel concrete span structures. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/05SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/05SATS319

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Бондарев Борис Александрович

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

Депутат на постоянной основе

Профессор кафедры «Строительных материалов»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: LNSP-48@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=804620

Копалин Дмитрий Александрович

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

Магистр кафедры «Металлических конструкций»

E-mail: LNSP-48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович

Администрация Липецкой области, Липецк, Россия

Заместитель начальника управления транспорта и дорог

Кандидат технических наук

E-mail: LNSP-48@mail.ru

Ерофеева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный

университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия

Инженер

Администрация Липецкой области, Липецк, Россия

Заместитель начальника управления транспорта и дорог

Кандидат технических наук

E-mail: LNSP-48@mail.ru

Аль Дулайми Салман Давуд Салман

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный

университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия

Соискатель

E-mail: salmoon-1985@mail.ru

Разработка эффективных составов бетонов для конструкций плит проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений

Аннотация. Сталежелезобетонные пролетные строения различных систем и конструкций со сборной и монолитной проезжей части получили применение при строительстве мостов. В статье приведены результаты обследования таких мостовых сооружений на 3-х объектах: через реку Сучжа (г. Грозный), через реку Вологда (г. Вологодск), через реку Цна в г. Шацке Рязанской области. Приведены дефекты и повреждения плит проезжей части. Было установлено, что наиболее опасными факторами, влияющими на ранний выход из строя проезжей части сталежелезобетонных строений, является применение для борьбы с гололедом и гололедицей агрессивных по отношению к железобетону песчано-солевых смесей. Кроме этого, недостаточная долговечность конструкций обусловлена и другими факторами: уязвимость к процессам карбонизации; недостаточная надежность монтажных стыков и соединений, неоднородность работы плиты на поперечный и продольный изгиб. Составлен алгоритм определения параметров безопасной работы элементов мостовых конструкций, на основании результатов исследования была выявлена необходимость решения двух актуальных задач: безотлагательный ремонт; разработка и внедрение новых решений строительства и ремонта.

Показано, что в мировой практике разработаны различные виды бетонов: порошково-активированные, каркасные и др. Сделан вывод о перспективности использования в конструкциях плит сталежелезобетонных пролетных строений порошково-активированных бетонов, включающих в своем составе реакцию и реалогическую добавки, бетонов, модифицированных микробиологической добавкой, а так же в качестве защитных материалов – мелкозернистых полимербетонов. Приводятся данные о циклической прочности данных материалов, а также технологии их укладки. При исследовании степени влияния факторов температуры и влажности среды на величину кратковременной ползучести полимербетонов использован метод планирования эксперимента с построением ортогонального композиционного плана и получена методическая модель, связывающая эти величины. Приведены основные этапы устройства полимербетонной плиты взамен обрушившейся. Показана перспективность полимербетонных покрытий, изготавливаемых по каркасной технологии, заключающейся на первом этапе склеивания зерен заполнителя с друг другом по форме будущего изделия, и на втором, осуществляется заполнение пустот пористого каркаса высокоподвижной полимерной композицией.

Ключевые слова: карбонизация; концентрация; трещин; долговечность; прочность

Введение

Сталежелезобетонные пролетные строения различных систем и конструкций со сборной и монолитной плитой проезжей части получили широкое распространение в автодорожных и городских мостах. Характерно применение пролетных строений балочно-разрезной и балочно-неразрезной систем со сборной плитой проезжей части, причем в преобладающих объемах за последние 30 лет по типовому проекту Ленгипротрансмоста инв. №1180, серий I, II, III, охватывающих диапазон пролетов от 42 до 844 м. Объекты настоящих исследований служили следующие мостовые сооружения:

- мост через реку Сунжа в г. Грозный;
- мост через реку Вологда в г. Вологда;

- мост через реку Цна в г. Шацке Рязанской области.

Эти сооружения отличаются конструкциями пролетных строений, но общим для них является наличие сборных и монолитных плит проезжей части.

Опыт сооружения и эксплуатации типовых и унифицированных пролетных строений выявил нетехнологичность при монтаже и низкую долговечность при эксплуатации сборной плиты проезжей части [1; 36; 37].

Первое, обусловлено наличием множества омоноличиваемых на монтаже поперечных и продольных (над прогоном) стыков самой плиты, «окон» для сопряжения плиты с главными балками, подливок между плитой и поясами главных балок и прогонов. Качество всех «мокрых» процессов при монтаже находилось в прямой зависимости от температуры окружающей среды.

Наиболее опасными факторами, влияющими на ранний выход из строя плит проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений, является применение для борьбы с гололедом и гололедицей агрессивных по отношению к железобетону песчано-солевых смесей. При этом необходимо различать эти два явления, ибо выпадение переохлажденных осадков в виде дождя – мороси и тающего снега на проезжую часть мостового сооружения именуется гололедом, а замерзание влаги, на дорожном покрытии при резком понижении температуры называется гололедицей. Однако для борьбы с этими явлениями применяется вышеуказанные противогололедные материалы, а также другие их разновидности, не уступающие по агрессивности воздействия на железобетонные конструкции. Кроме того, недостаточная долговечность железобетонных конструкций обусловлена следующими факторами:

- уязвимость к процессам карбонизации, насыщению хлоридами и выщелачиванию из-за недостаточной водонепроницаемости и малого (15–20 мм) защитного слоя бетона;
- ненадежность монтажных стыков и соединений, связанная с большой вероятностью некачественного выполнения работ, особенно при низких температурах окружающей среды;
- неоднородность работы плиты на поперечный и продольный изгиб с наличием многочисленных зон концентрации напряжений и чувствительностью конструкции динамическим воздействиям [1].

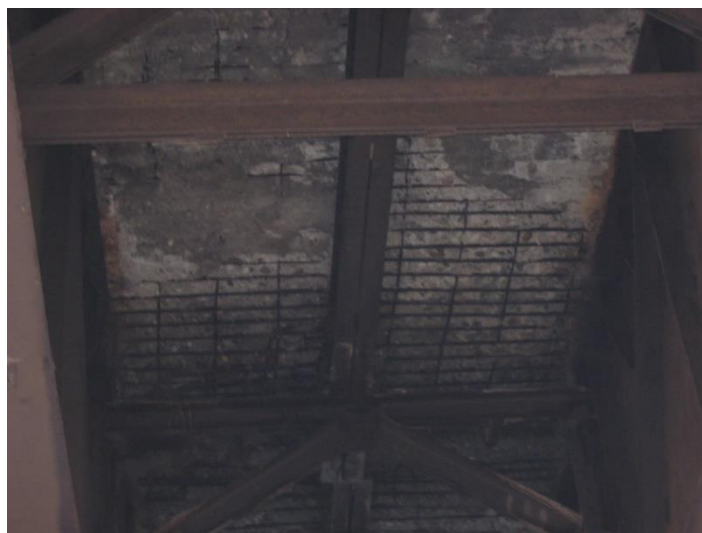


Рисунок 1. Разрушение защитного слоя бетона в плите проезжей части с обнажением и коррозией арматуры (мост ч/р Сунжа в г. Грозный)



Рисунок 2. *Обнажение и коррозия арматуры в плите проезжей части (мост ч/р Сунжа в г. Грозный)*

На рис. 1–2 приведены подобные дефекты и повреждения плиты проезжей части. В связи с вышеизложенным, назрела необходимость решения двух актуальных задач. Первая – безотлагательный ремонт или реконструкция большого количества сталежелезобетонных пролетных строений после 20–30-летнего периода эксплуатации; вторая – разработка и внедрение новых эффективных конструктивно-технологических решений и поиск эффективных композиционных материалов для конструкций плит проезжей части.

Основные принципы безопасной эксплуатации транспортных сооружений

На рисунке 3 приведен алгоритм определения параметров безопасной работы элементов мостовых конструкций.

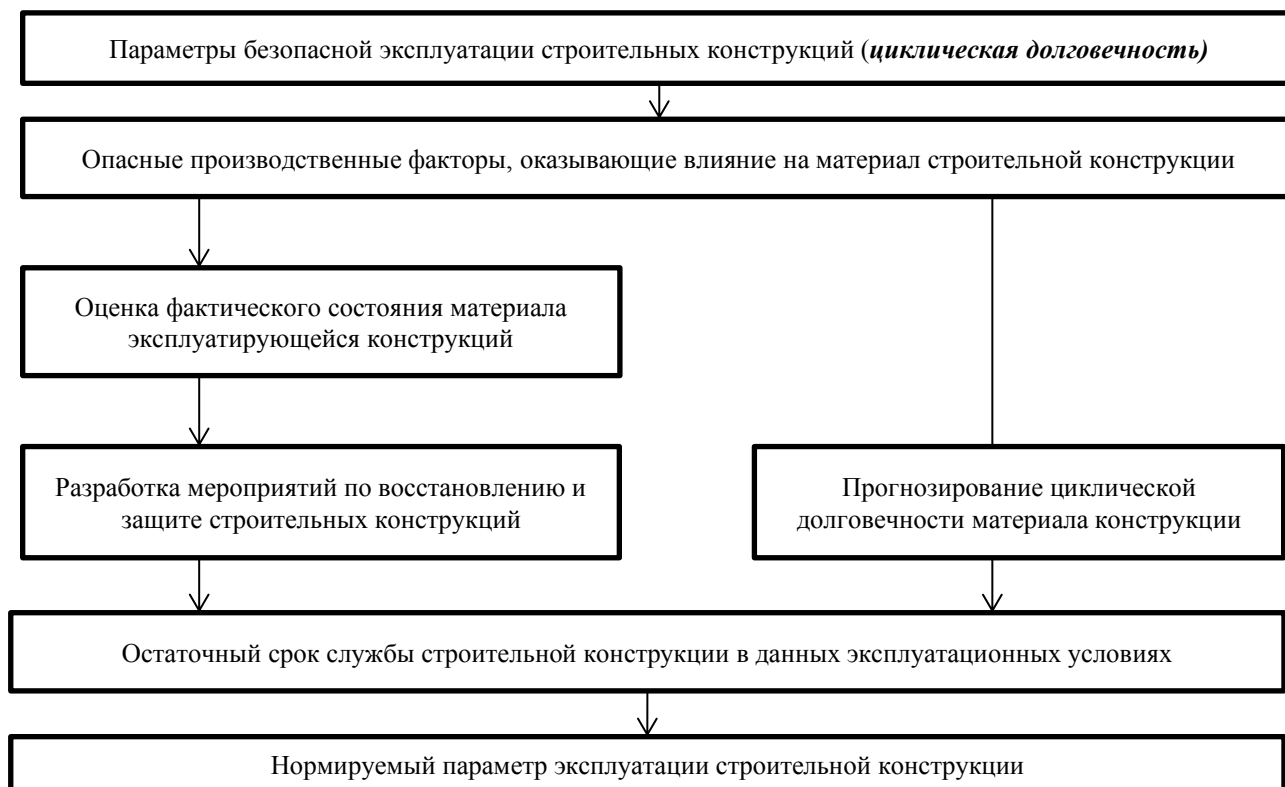


Рисунок 3. *Основные принципы обеспечения безопасности эксплуатируемых элементов конструкций транспортных сооружений*

Комплексный подход к решению проблем надежности и работоспособности элементов конструкции транспортных сооружений включает в себя следующие положения:

- анализ состояния материалов несущих конструкций и сооружений с учетом технологии изготовления и эксплуатационных дефектов в материале конструкции.

Характер, параметры, расположение и размеры дефектов определялись в результате технического обследования мостов и путепроводов, выполненного в 2008–2018 годах. Основные дефекты элементов конструкций мостового полотна приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные дефекты элементов конструкций мостового полотна

№ п/п	Элементы мостового полотна	Дефекты	Процентное соотношение дефектов, %
1	Покрытие	Трещины	25,0
		Неровности	30,0
		Разрушения	10,0
		Одиночные выбоины	10,0
		Частичные выбоины	15,0
		Разрушение покрытие и нижележащих слоев (защитного слоя и др.)	9,0
		Отсутствие покрытия	1,0
2	Гидроизоляция	Одиночные точечные протечки в плитах снизу	10,0
		Локальные протечки	30,0
		Протечки по плитам	60,0
3	Система водоотвода	Застой воды на ездовом полотне	10,0
		Застой воды на тротуаре	5,0
		Отсутствие уклонов	20,0
		Дефекты водоотводных трубок	25,0
		Дефекты организованного продольного стока воды	14,0
		Нарушение водосброса на подходах	10,0
4	Деформационные швы	Дренаж	16,0
		Нарушение герметичности	70,0
5	Плиты проезжей части	Нарушение плавности проезда	30,0
		Выщелачивание бетона	60,0
		Коррозия арматуры	40,0

Оценка фактического состояния материалов эксплуатируемых элементов конструкций, проводимая традиционными методами, достаточно подробно изложена в нормативной литературе (лабораторные, неразрушающие методы и т. д.), а транспортно-эксплуатационные состояния мостового полотна определяются по ОДН 218.017-03 [1].

Сталежелезобетонные пролетные строения по совершенству конструкций и полному использованию материала превосходят железобетонные, однако по себестоимости, трудоемкости изготовления транспортировке, и монтажу элементы заметно уступают, из-за большой массы железобетонной плиты проезжей части, что сдерживает более широкое применение сталежелезобетонных пролетных строений, поэтому поиск эффективных, современных материалов для изготовления вышеуказанных элементов является актуальной научной задачей. Поэтому на следующем этапе исследований ведется разработка мероприятий по восстановлению и защите элементов конструкций плит проезжей части с применением бетонов нового и переходного поколения, и полимербетонов. На сегодняшний день в мировой практике разработаны различные виды бетонов, в том числе высокопрочные, и самоуплотняющиеся [2–10]. Высокие показатели прочности и других свойств получены на порошково-активированных песчаных бетонах нового поколения [10–13]. Термин «порошково-

активированные бетоны был предложен профессором Калашниковым [14; 15]. Порошково-активированные бетоны нового поколения – это пластифицированные бетоны с повышенным содержанием суспензионной составляющей. Основной суспензионной составляющей в бетонах является пластифицированная, высококонцентрированная цементная суспензия.

К настоящему времени изучены технологические и физико-механические свойства порошково-активированных бетонов в зависимости от основных структурообразующих факторов: вида цемента, влияния В/Ц-отношения, супер- и гиперпластификаторов [10–13]. В работах [16–18] были проведены испытания порошково-активированных бетонов нового поколения на динамические нагрузки, а также исследовано влияние циклически действующих положительных и отрицательных температур, повышенной влажности и переменных положительных температур.

Настоящие исследования посвящены установлению стойкости рассматриваемых бетонов при действии циклических нагрузок. Необходимость установления циклической прочности материалов обусловлена практикой их эксплуатации в условиях виброционных нагрузок, что особенно актуально для изучаемых конструкций. Процесс постепенного накопления локальных повреждений под действием изменяющихся нагрузок именуется усталостью, а способность материала сопротивляться усталости называется выносливостью [19]. Специфика усталости бетонов связана с проявлением релаксации, взаимодействия микродеструкций. Развитие указанных процессов определяется состоянием структуры композита и влиянием многих структурообразующих факторов на прочность упругопластические и другие свойства композитов.

В качестве объектов исследований рассматривались цементные композиты следующего состава: песчаный бетон нового поколения с гиперпластификатором (ГП) типа Melflux без микрокремнезема (МК) (№4); тот же бетон с малым расходом цемента (№4–1); песчаный бетон нового поколения с МК и ГП Melflux (№5); песчаный бетон переходного поколения с ГП Melflux (№6); песчаный бетон переходного поколения с ГП Melflux с повышенным содержанием песчаного мелкого заполнителя (№7); песчаный бетон переходного поколения с ГП Хидетал (№8). Исследуемые составы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Составы цементных композитов

Компоненты	Содержание массовых частей в составах					
	4	4,1	5	6	7	8
Цемент ульяновский ПЦ 500 ДО	1	1	1	1	1	1
Песок молотый (микрокварц)	1,1	0,825	0,75	-	-	0,825
Микрокремнезем	-	-	0,1	-	-	-
Песок фр. 0–0,63 мм	2,753	2,065	1,775	2,065	2,51	2,065
Песок 0,63–2,5 мм	2,347	1,76	1,975	1,76	2,14	1,76
ГП Melflux 16–41 P	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	-
ГП Хидетал 98	-	-	-	-	-	0,012
Вода	0,6	0,56	0,475	0,525	0,56	0,56

Результаты исследований бетонов подробно изложены в [23], из которых следует вывод о возможности применения вышеуказанных бетонов для конструкций плит сталежелезобетонных пролетных строений.

Элементы конструкции проезжей части подвержены воздействию циклических нагрузок и влиянию окружающей среды (температуры, воды, льда). Дефекты элементов конструкций проезжей части транспортных сооружений вызваны тем, что уровень напряжений в технологических элементах проезжей части от постоянных нагрузок весьма мал. В результате прохождения по мосту временных нагрузок и неровном покрытии, а также при ударах колес

автомобиля в элементах покрытия, плитах проезжей части возникают знакопеременные напряжения, при которых происходит накопление усталостных повреждений и возникают трещины. В связи с этим исследования, направленные на изучение поведения элементов конструкций из полимербетонов в условиях температурно-влажностных и циклических воздействий нагрузок является актуальной научной задачей.

Полимербетоны на основе фурфуролацетонового мономера (ФАМ), а так же эпоксидных (ЭД), полиэфирных (ПН), винилэфирных (ВЭ) связующих обладают достаточно высокими показателями химической стойкости и быстротой твердения, чтобы его рассматривать как один из вариантов применения в конструкциях плит проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений [26; 28; 30; 32; 34].

Для этих целей были приведены комплексные испытания полимербетоны ФАМ следующего состава [20; 21]: Щебень гранитный фракции 5...10 мм – 54 %, песок кварцевый крупностью 0,14...0,63–23,3 %, андезитовая мука – 12 %, ФАМ – 9 %, бензолсульфокислота – 1,7 %.

На основе эпоксидных связующих рассматривались полимер бетоны каркасной структуры [24; 27; 29; 31; 33]. Технология изготовления каркасных композитов включает предварительное создание оптимальных смесей заполнителей и склеивание зерен друг с другом с последующим заполнением пустот полимерного каркаса матрицей.

Кратковременные испытания на сжатие и растяжение полимербетонов на фурфуролацетоновом вяжущем проводились при температурах 20, 60, 100 °С и коэффициентах влажности 0,2; 0,6; 1,0 путем непрерывного, плавного нагружения со скоростью не менее 60 МПа в минуту при сжатии и 6 МПа в минуту при растяжении. Такая скорость нагружения позволяет получать максимальный предел прочности при минимальной деформации.

Длительные испытания проводились по общепринятой методике. Однако, ввиду большой сложности эксперимента, связанной с определением температуры и влажности в течение длительного времени, проводились исследования на ползучесть при ограниченном длительном нагружении в течение 6 часов. При исследовании степени влияния факторов температуры и влажности среды на величину кратковременной ползучести полимербетона использовали метод планирования эксперимента с построением ортогонального композиционного плана второго порядка и получена методическая модель, связывающая эти величины:

$$\varepsilon = 19,404 - 0,0658T + 0,175T K_w - 31,82 K_w + 0,00104T^2 + 22,593 K_w^2,$$

где T – температура воздуха, K_w – коэффициент влажности среды.

Испытания на выносливость проводились в соответствии с ГОСТ 24545-81. Бетон. Методы испытаний на выносливость на установке, работающей в режиме многократно повторно нагружения, отвечающие требованиям ГОСТ 8.001-80 и МУ 8.7-77.

Результаты обработки экспериментальных данных при испытаниях на выносливость приведены в таблице 1 и на рис. 4.

Уравнение эмпирической линии выносливости имеет такой вид:

$$y = 104,71 - 13,87 \lg N, \text{ или } R_{b,pul} = 104,71 - 13,87 \lg N, \text{ при } N = 2 \times 10^6 \text{ циклов } R_{b,pul} = 0,27 R_b.$$

Практическим доказательством возможности использования полимербетона ФАМ в элементах конструкций мостовых сооружений является его применение при ремонте проезжей части моста в Нижегородской области при обрушении железобетонных плит сталежелезобетонного пролетного строения.

Таблица 3

Результаты обработки экспериментальных
данных при испытаниях на выносливость при $\rho = 0,1$

№ образцов	Макс напряжение цикла δ_{max}	Откл. от среднего значения	Квадратичное отклонение	Число циклов до разрушения	LgN	Отклонения от среднего значения	Квадратичное отклонение	Произвед. Отклонение
1-1	38,4	8,0	64,0	65200	4,814	-0,543	0,2948	-4,344
1-3	35,2	4,8	23,04	100700	5,003	-0,315	0,1253	-1,699
1-4	32,0	1,6	2,56	160300	5,205	-0,152	0,0231	-0,2432
1-2	28,8	-1,6	2,56	320100	5,505	0,148	0,0219	-0,2368
1-5	25,6	-4,8	32,04	500400	5,699	0,342	0,1169	-1,6416
1-6	22,4	-8,0	64,0	82440	5,917	0,56	0,3136	-4,48
	$\delta_{max}^{cp} = 30,4 \text{ МПа}$		$\Sigma=179,2$		$LgN^{cp}=5,357$		$\Sigma=0,8956$	$\Sigma=-12,645$

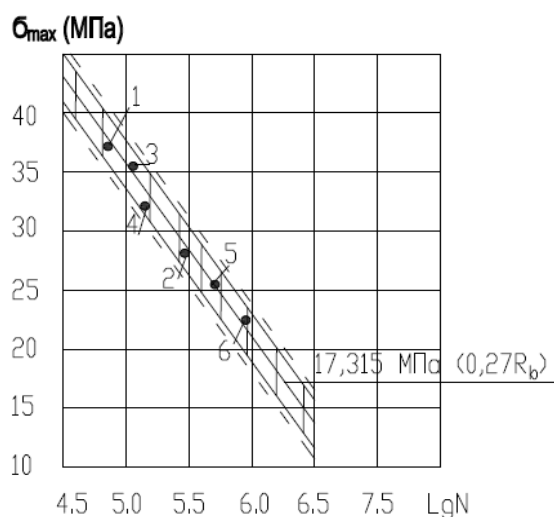


Рисунок 4. График зависимости $\sigma_{max} / R_b - LgN$

Работа проводилась в первые числа октября. Достижение расчетной прочности полимербетоном происходило через 24 часа после бетонирования. Для ускорения твердения через четыре часа после бетонирования укладывали горячий асфальтобетон [22].

Основные этапы устройства полимербетонной плиты взамен обрушившейся железобетонной показаны на рис. 5–6.



Рисунок 5. Процесс укладки полимербетонной смеси



Рисунок 6. Проезжая часть моста после ремонта.

Для нового строительства или ремонта мостов представляется перспективной внедрение каркасной технологии. В этом случае бетонный и полимербетонные слои укладываются по специальной технологии, которая заключается в следующем: сначала выполняют нижний плотный слой и каркас путем укладки расслаиваемой бетонной смеси, затем пустоты верхней части такого изделия заполняются полимер раствором. Такие двухслойные изделия обладают улучшенными физико-техническими свойствами [24; 25; 27; 29; 30; 33; 35].

Перспективно в будущем использование бетонов, модифицированных микробиологической добавкой для изготовления конструкций плит проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений. Имобилизованные в бетонной матрице бактериальные споры, находящиеся в состоянии покоя, но жизнеспособные, становятся метаболически активными, как только через вновь образованные трещины проникает влага. Затем эти трещины затянутся вследствие нахождения кальцита, образованного в результате жизнедеятельности микроорганизмов [25; 26; 29; 34].

Выводы по результатам исследований

1. Ранее установлено [23], что бетон нового поколения обладает необходимым усталостной прочностью для его применения в плитах проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений мостов и путепроводов.
2. Полученное значение предела выносливости полимербетона ФАМ равно $R_{b,pr1} = 0,27 R_b$ при коэффициенте асимметрии цикла приложения нагрузки, равно $\rho = 0,1$.
3. Порошково-активированные бетоны и полимербетоны на основе ФАМ рекомендуются для применения в мостовых конструкциях.
4. Показана эффективность применения двухслойных строительных изделий на основе цементного и полимерного бетона, а также бетонов модифицированных микробиологической добавкой при строительстве и реконструкции мостов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычковский Н.Н. Сталежелезобетонные мосты / Н.Н. Бычковский, В.П. Акатов, В.П. Величко, С.И. Пименов. Издательство СГТУ, Саратов, 2007. 516 с.
2. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12–16 мая 2014 г.): в 7 т. Т.7. Пленарные доклады. Москва: МГСУ. 2014. С. 23–28.
3. Фаликман В.Р., Сорокин Ю.В., Калашников О.О. Строительно технические свойства особо высокопрочных быстротвердеющих бетонов // Бетон и железобетон. 2004. №5. с. 5–10.
4. Сильвер Део. Аспекты применения неметаллической фибры. Исследование применения фибры для изделий из бетона / Сильве Део, CERIB, Франция. // CPI – Международное бетонное производство. 2011. №4 с. 46–56.
5. Петер Либлани, Fashhochschule Кельн, Германия Даниэль Рингвельски, Tillman V.V. Construction Chemicals, Нидерланды / CPI – Международное бетонное производство. 2012 №3 с. 32–35.
6. Калашников В.И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения // Бетон и железобетон. – 2012 – №1 с. 82.
7. Каприелов С.С. Модификаторы серии МБ и бетоны с высокими эксплуатационными свойствами / С.С. Каприелов, А.М. Шенфельд, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон – 1952 №7 с. 4–7.
8. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях / С.С. Каприелов, В.И. Травуш, Н.И. Карпенко [и др.] // Строит. Материалы – 2008 №3 – с. 9–13.
9. Чернышев Е.М. Нанотехнологические условия управления структурообразованием высокопрочных цементных бетонов / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких, О.В. Артамонова // Труды Центрального регионального отделения РААСН – Воронеж – 2010 с. 102–123.
10. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Суспензионно наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // Известия высших учебных заведений. Строительство – 2016 – №4 (688) с. 30–37.
11. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В., Архипов В.П. Концепция стратегического развития пластифицированных порошково-активированных бетонов нового поколения // Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016): Сборник тезисов докладов междунар. Науч.-техн. Конф. – 2016 – с. 36.
12. Гуляева Е.В., Ерофеева И.В., Калашников В.И., Петухов А.В. Влияние содержание воды, вида суперпластификатора и гиперпластификатора на растекаемость суспензий и прочностные свойства цементного камня // Молодой ученый. – 2014 – №19 – с. 191–194.
13. Гуляева Е.В., Ерофеева В.И., Калашников В.И., Петухов А.В. Влияние реакционно-активных добавок на прочностные свойства пластифицированного цементного камня // Молодой ученый – 2014 – №19.

14. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения // Строительные материалы 2011 №3 с. 103–106.
15. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // Строительные материалы. 2012 №10 с. 70–71.
16. Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Емельянов Д.В. Ерофеева И.В. Ударная прочность цементных композитов // Academia. Архитектура и строительство. – 2017 – №4 – с. 89–94.
17. Травуш В.И., Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Черкасов В.Д., Емельянов Д.В., Ерофеева И.В. Демпфирующие свойства цементных композитов // Промышленное и гражданское строительство 2018 – №2 с. 10–15.
18. Ерофеева И.В., Афонин В.В., Федорцов В.А. Исследование поведения цементных композитов в условиях повышенной влажности и переменных положительных температур // International journal for civil and structural engineer 13(4) 6651 (2017) pp. 66–81.
19. Прокофьев А.С., Кабанов В.А., Сморгачев А.А. Проектирование строительных конструкций с учетом усталости: Из-во ТПИ. 1988 – 105 с.
20. Бондарев Б.А., Борков П.В., Бондарев А.Б. Циклическая долговечность полимерных материалов строительного назначения. Из-во: «Першина», Тамбов, 2013 – с. 112.
21. Бондарев Б.А., Борков П.В., Бондарев А.Б. Сопротивление полимерных композитных материалов действию циклических напряжений: Из-во ООО «Амирит», 2017 – с. 151.
22. Отчет о научно-исследуемой работе «Накопление повреждений в балках при эксплуатации автодорожных мостов и различных применений полимербетонов при их восстановлении.» Воронеж ВГЛТА. 1997 с. 112.
23. Ерофеева И.В. Физико-механические свойства, биологическая и климатическая стойкость порошково-активированных бетонов. Авт. дис. на соиск. уч. ст. к.т.н. Пенза 2018. с. 28.
24. Каркасные строительные композиты в 2 ч. ч.1 структурообразование. Свойства. Технология / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев, В.И. Соломатов.: Под ред. академика РААСН В.И. Соломатова. – Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 1995. – 200 с.
25. Ерофеев В.Т. Химические аспекты процесса устранения трещин бетона с помощью бактерий / В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, В.Т. Фомичев // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – № 3, Том 5. – С. 1–10.
26. Erofeev V.T., Maksimova I.N., Makridin N.I. and Salman Dawood Salman AL-Dulaimi, 2019. Investigation of the crack resistance of cement stone and rocks. International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET) – Scopus Indexed. Volume: 10, Issue: 4, Pages: 1300–1311.
27. Ерофеев В.Т., Твердохлебов Д.А., Тармосин К.В., Богатов А.Д., Леснов В.В., Коняшин А.А., Казначеев С.В. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры. Саранск, 2008.

28. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Коломазов В.Н. Полимерные композиционные материалы. Саранск, 2013.
29. Баженов Ю.М. Технология самовосстановления железобетонных конструкций с помощью микроорганизмов / Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман // Всероссийский информационно-аналитический и научно-технический журнал Русский инженер. – М. – 2018. – № 4 – С. 46–48.
30. Ерофеев В.Т., Старцев О.В., Смирнов И.В., Максимова И.Н., Ерастов В.В., Махоньков А.Ю. Ударная прочность эпоксидных полимербетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 11–12 (683–684). С. 5–11.
31. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т. Гидравлические аспекты получения каркасных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1997. № 7. С. 45.
32. Мышкин А.В., Ерофеев В.Т. Оптимизация составов полиэфиракрилатных композитов // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 56–61.
33. Ерофеев В.Т. Полимербетоны каркасной структуры // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1993. № 1. С. 49.
34. Salman Dawood Salman AL-Dulaimi, Taher AL-Dafafea, Maksimova I.N and Erofeev V.T, 2019. Study of self-healing bio-concrete. International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET) – Scopus Indexed. Volume: 10, Issue: 4, Pages: 1354–1360.
35. Vladimir Erofeev. Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments / 15th International scientific conference “Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development” // Procedia Engineering 165 (2016) 1444–1447. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
36. Insepection of flyover bridges using quadrotor. Bulgakow A., Emelianov S., Bock T., Sayfeddine D., Erofeev V. 2015 32nd International Symposium on Automation and Robotic in Construction and Mining: Connected to the Future, Proceedings.
37. Fedorov D.G., Likomasskin A.I., Erofeev V.T., Construction of roads from cement concrete in USA // Mordovia University Bulletin.2008. No 4. Pp. 175–176.

Bondarev Boris Alexandrovich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: LNSP-48@mail.ru

Kopalin Dmitry Aleksandrovich

Lipetsk state technical university, Lipetsk, Russia
E-mail: LNSP-48@mail.ru

Bondarev Alexander Borisovich

Administration of the Lipetsk region, Lipetsk, Russia
E-mail: LNSP-48@mail.ru

Erofeva Irina Vladimirovna

National research Ogarev Mordovia state university, Saransk, Russia
Administration of the Lipetsk region, Lipetsk, Russia
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Al-Dulaimi Salman Dawood Salman

National research Ogarev Mordovia state university, Saransk, Russia
E-mail: salmoon-1985@mail.ru

Development of effective compositions of concrete for the construction of slabs of the roadway of steel concrete span structures

Abstract. Structural concrete spans of various systems and structures with modular and monolithic roadways were used in the construction of bridges. The article presents the results of a survey of such bridge structures at 3 sites: across the Suju River (Grozny), across the Vologda River (Vologodsk), across the Tsna River in the town of Shatsk, Ryazan Region. Defects and damage to the plates of the carriageway are given. It was found that the most dangerous factors affecting the early failure of the roadway steel-reinforced concrete structures, is used to combat glaze and ice sleet aggressive in relation to reinforced concrete sand-salt mixtures. In addition, the lack of durability of structures due to other factors: vulnerability to carbonization processes; lack of reliability of the mounting joints and connections, the heterogeneity of the plate on the transverse and longitudinal bending. An algorithm for determining the parameters of the safe operation of the elements of bridge structures has been compiled; on the basis of the results of the study, the need to solve two urgent problems has been identified: urgent repairs; development and implementation of new solutions for construction and repair.

It is shown that in world practice various types of concretes are developed: powder-activated, frame, etc. as well as protective materials – fine polymer concretes. Provides data on the cyclic strength of these materials, as well as the technology of their installation. In the study of the degree of influence of factors of temperature and humidity of the environment on the amount of short-term creep of polymer concrete, the method of experiment planning with the construction of an orthogonal composition plan was used and a methodical model was obtained relating these values. The main stages of the device of the polymer concrete slab instead of the collapsed one are given. The prospects of polymer-concrete coatings produced by frame technology, consisting in the first stage of gluing the aggregate grains with each other in the form of a future product, and the second, filling the voids of the porous frame with a highly mobile polymer composition is shown.

Keywords: carbonization; concentration; cracks; durability; strength; concrete; anti-icing materials

REFERENCES

1. Bychkovskiy N.N., Akatov V.P., Velichko V.P., Pimenov S.I. (2007). Stalezhelezobetonnye mosty. [*Steel and concrete bridges.*] Saratov: Publishing House of the Saratov State Technical University, p. 516.
2. Bazhenov Yu.M. (2014). Sovremennaya tekhnologiya betona. [*Modern concrete technology.*] Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, pp. 23–28.
3. Falikman V.R., Sorokin Yu.V., Kalashnikov O.O. (2004). Construction and technical properties of especially high-strength quick-hardening concrete. *Concrete and reinforced concrete*, 5, pp. 5–10 (in Russian).
4. Sil'ver Deo (2011). Aspects of the use of non-metallic fiber. A study of the use of fiber for concrete products. *CPI – International Concrete Production*, 4, pp. 46–56 (in Russian).
5. Liblani, Fashhochschule, Daniel Ringwelski, Tillman B.V. (2012). Construction Chemicals. *CPI – International Concrete Production*, 3, pp. 32–35 (in Russian).
6. Kalashnikov V.I. (2012). How to turn old-generation concrete into high-performance new-generation concrete. *Concrete and reinforced concrete*, 1, pp. 82 (in Russian).
7. Kaprielov S.S., Shenfel'd A.M., Krivoborodov Yu.R. (1952). MB series modifiers and high performance concrete. *Concrete and reinforced concrete*, 7, pp. 4–7 (in Russian).
8. Kaprielov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I. and etc. (2008). Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. *Building Materials*, 3, pp. 9–13 (in Russian).
9. Chernyshov E.M., Korotkikh D.N., Artamonova O.V. (2010). Nanotekhnologicheskie usloviya upravleniya strukturoobrazovaniem vysokoprochnykh tsementnykh betonov. [*Nanotechnological conditions for controlling the formation of high-strength cement concretes.*] Voronezh: Central Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, pp. 102–123.
10. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. (2016). Suspension-filled concrete mixes for powder-activated concrete of a new generation. *News of higher educational institutions. Building*, 4(688), pp. 30–37 (in Russian).
11. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V., Arkhipov V.P. (2016). Kontseptsiya strategicheskogo razvitiya plastifitsirovannykh poroshkovo-aktivirovannykh betonov novogo pokoleniya. [*The concept of strategic development of plasticized powder-activated concrete of a new generation.*] p. 36.
12. Gulyaeva E.V., Erofeeva I.V., Kalashnikov V.I., Petukhov A.V. (2014). Influence of water content, type of superplasticizer and hyperplasticizer on the spreadability of suspensions and strength properties of cement stone. *Young scientist*, 19, pp. 191–194 (in Russian).
13. Gulyaeva E.V., Erofeeva I.V., Kalashnikov V.I., Petukhov A.V. (2014). The effect of reactive additives on the strength properties of plasticized cement stone. *Young scientist*, 19 (in Russian).
14. Kalashnikov V.I. (2011). New Generation Concrete Science Terminology. *Building Materials*, 3, pp. 103–106 (in Russian).

15. Kalashnikov V.I. (2012). What is a powder-activated concrete of a new generation // *Building materials*, 10, pp. 70–71 (in Russian).
16. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Emel'yanov D.V. Erofeeva I.V. (2017). Impact strength of cement composites. *Academia. Architecture and construction*, 4, pp. 89–94 (in Russian).
17. Travush V.I., Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Cherkasov V.D., Emel'yanov D.V., Erofeeva I.V. (2018). Damping properties of cement composites. *Industrial and Civil Engineering*, 2, pp. 10–15 (in Russian).
18. Erofeeva I.V., Afonin V.V., Fedortsov V.A. (2017). Investigation of the behavior of cement composites in conditions of high humidity and variable positive temperatures. *International journal for alievi and structural engineer*, 13(4), pp. 66–81 (in Russian).
19. Prokof'ev A.S., Kabanov V.A., Smorchkov A.A. (1988). Proektirovanie stroitel'nykh konstruksiy s uchetom ustalosti. [*Fatigue Design.*] TPI Publishing House, p. 105.
20. Bondarev B.A., Borkov P.V., Bondarev A.B. (2013). Tsiklicheskaya dolgovechnost' polimernykh materialov stroitel'nogo naznacheniya. [*The cyclic durability of polymeric materials for construction purposes.*] Tambov: "Pershina", p. 112.
21. Bondarev B.A., Borkov P.V., Bondarev A.B. (2017). Soprotivlenie polimernykh kompozitnykh materialov deystviyu tsiklicheskikh napryazheniy. [*Resistance of polymer composite materials to cyclic stresses.*] Because of Amirit LLC, p. 151.
22. (1997). Otchet o nauchno-issleduemoy rabote «Nakoplenie povrezhdeniy v balkakh pri ehkspluatatsii avtodorozhnykh mostov i razlichnykh primeneniy polimerbetonov pri ikh vosstanovlenii». [*Report on the research work "Accumulation of damage in beams during operation of road bridges and various applications of polymer concrete during their restoration".*] Voronezh: Voronezh State Forestry University, p. 112.
23. Erofeeva I.V. (2018). Fiziko-mekhanicheskie svoystva, biologicheskaya i klimaticheskaya stoykost' poroshkovo-aktivirovannykh betonov. [*Physico-mechanical properties, biological and climatic resistance of powder-activated concrete.*] Penza, p. 28.
24. Erofeev V.T., Mishchenko N.I., Selyaev V.P., Solomatov V.I. (1995). Karkasnye stroitel'nye kompozity v 2 chastyakh. Chast' 1. Strukturnoobrazovanie. Svoystva. Tekhnologiya. [*Frame construction composites in 2 parts. Part 1. Structuring. Properties Technology.*] Saransk: Publishing House of Mordovia University, p. 200.
25. Erofeev V.T., Al' Dulaymi Salman Davud Salman, Fomichev V.T. Chemical aspects of the process of eliminating concrete cracks using bacteria. *Internet-magazine "Transport facilities"*, 3(5), pp. 1–10 (in Russian).
26. Erofeev V.T., Maksimova I.N., Makridin N.I., Salman Dawood Salman AL-Dulaimi (2019.) Investigation of the crack resistance of cement stone and rocks. *International Journal of Civil Engineering & Technology*, 4(10), pp. 1300–1311.
27. Erofeev V.T., Tverdokhlebov D.A., Tarmosin K.V., Bogatov A.D., Lesnov V.V., Konyashin A.A., Kaznacheev S.V. (2008). Furfurolatsetonovye kompozity karkasnoy struktury. [*Furfurolacetone composites frame structure.*] Saransk.
28. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kolomazov V.N. (2013). Polimernye kompozitsionnye materialy. [*Polymer Composite Materials.*] Saransk.

29. Bazhenov Yu.M., Erofeev V.T., Al' Dulaymi Salman Davud Salman (2018). The technology of self-healing of reinforced concrete structures using microorganisms. *All-Russian Information-Analytical and Scientific-Technical Journal Russian Engineer*, 4, pp. 46–48 (in Russian).
30. Erofeev V.T., Startsev O.V., Smirnov I.V., Maksimova I.N., Erastov V.V., Makhon'kov A.Yu. (2015). Impact strength of epoxy polymer concrete. *News of higher educational institutions. Building*, 11–12, pp. 5–11 (in Russian).
31. Solomatov V.I., Erofeev V.T. (1997). Hydraulic aspects of obtaining frame composites. *News of higher educational institutions. Building*, 7, p. 45 (in Russian).
32. Myshkin A.V., Erofeev V.T. (2013). Optimization of the compositions of polyester acrylate composites. *Regional Architecture and Construction*. 2013. № 3. С. 56–61 (in Russian).
33. Erofeev V.T. (1993). Polymer concrete frame structure. *News of higher educational institutions. Building*, 1, pp. 49 (in Russian).
34. Salman Dawood Salman AL-Dulaimi, Taher AL-Dafafea, Maksimova I.N and Erofeev V.T. (2019). Study of self-healing bio-concrete. *International Journal of Civil Engineering & Technology*, 4(10), pp. 1354–1360.
35. Vladimir Erofeev (2016). Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments. *Procedia Engineering*, [online] 165, pp. 1444–1447. Available at: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
36. Bulgakow A., Emelianov S., Bock T., Sayfeddine D., Erofeev V. (2015). *Insepection of flyover bridges using quadrotor*.
37. Fedorov D.G., Likomasskin A.I., Erofeev V.T. (2008). Construction of roads from cement concrete in USA. *Mordovia University Bulletin*, 4, pp. 175–176.