Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 <https://t-s.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/21SATS419.pdf>

DOI: 10.15862/21SATS419 (<http://dx.doi.org/10.15862/21SATS419>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Леснов В.В. Исследование ползучести каркасных композитов, армированных стальной фиброй типа «Драмикс» // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/21SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/21SATS419

For citation:

Lesnov V.V. (2019). Creep study of carcass composites reinforced with steel fiber of the Dramix type. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/21SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/21SATS419

УДК 691

Леснов Виталий Викторович

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», Саранск, Россия

Доцент кафедры «Строительные материалы и технологии»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: vv1377mgu@rambler.ru

Исследование ползучести каркасных композитов, армированных стальной фиброй типа «Драмикс»

Аннотация. Приведены результаты исследования ползучести строительных дисперсно-армированных композитов, изготовленных по каркасной технологии. В качестве дисперсной арматуры в эксперименте использовалась стальная проволоочная фибра типа «Драмикс», содержание которой составляло 1...3 % по объему композита. Пропиточная матрица изготавливалась на основе портландцемента и суперпластифицирующей добавки марки Melflux 1641 F. При испытании на ползучесть образцы-балочки нагружали по 4-х точечной схеме. Уровень нагрузки, прикладываемой к образцам, составлял 30, 50 и 70 % от максимальных значений. За контрольный состав принимался неармированный каркасный композит. Испытания продолжались до момента времени, когда значение прогиба становилось постоянным. По полученным данным были построены графические зависимости «относительный прогиб – время экспонирования».

На полученных кривых ползучести каркасных композитов в общем случае можно выделить четыре участка кинетики изменения прогибов: начальный участок, на котором происходит интенсивное, практически линейное, увеличение прогибов; криволинейный участок, где наблюдается затухание процесса прироста прогибов; линейный участок, на котором прирост прогибов незначителен и имеет квазипостоянный характер; конечный участок, когда происходит стабилизация прогибов, а их значения становятся постоянными.

Минимальные значения прогибов были получены для неармированного каркасного композита, а максимальные – для композита, армированного 1 % фибры «Драмикс». При содержании в составе каркасных композитов 2–3 % фибры, наблюдалось значительное снижение прогибов, но их значения были выше, чем у контрольного состава. Это объясняется различной величиной нагрузки, приложенной к армированным и неармированным образцам каркасных композитов, а также положительным влиянием увеличения содержания фибры до 2–3 % на их изгибную прочность и жесткость.

Исследованные дисперсно-армированные каркасные композиты могут применяться для устройства монолитных промышленных полов, оснований и дорожных одежд, работающих при воздействии повышенных механических воздействий.

Ключевые слова: дисперсно-армированный каркасный композит; стальная фибра; ползучесть; относительный прогиб; уровень прикладываемой нагрузки; время экспонирования

Введение

В настоящее время бетон является одним из основных строительных материалов, применяемым для изготовления различных армированных и неармированных конструкций и изделий. Этому способствует наличие распространенных сырьевых ресурсов, небольшая водопотребность, малая степень загрязнения окружающей среды и сравнительно низкая энергоемкость производства бетона. Поэтому, несмотря на то, что в промышленном и гражданском строительстве бетон применяется уже очень длительное время, процесс создания его новых разновидностей интенсивно продолжается.

Состояние проблемы

К одному из эффективных видов бетона относятся каркасные композиты, которые были разработаны около 40 лет назад профессором В.Т. Ерофеевым и в дальнейшем развиты представителями его научной школы [1–10]. Технология изготовления каркасных композитов состоит из следующих этапов: на первом – из зерен крупного заполнителя методами склеивания, спекания, укатки или вибрирования получают крупнопористый каркас, на втором – изготавливают высокоподвижную матричную композицию и пропитывают ею каркас, получая каркасный композит. Перемешивание матрицы осуществляют, как правило, в высокоскоростных смесителях, а каркасной смеси – в традиционных низкоскоростных, что позволяет формировать микро- и макроструктуру каркасных композитов в оптимальных для них режимах. Для изготовления каркасных композитов используется широкий спектр вяжущих: полимерные, цементные, гипсовые, жидкостекольные, серные, битумные, смешанные и другие. На данный момент упруго-прочностные и структурные характеристики, долговечность, химическая и биологическая стойкость матричных составов и каркасных композитов на их основе достаточно хорошо изучены в работах [11–20].

Постановка задачи и методика решения

Каркасные композиты, по сравнению с композитами, приготовленными по традиционной технологии, имеют прочность при сжатии и растяжении выше на 10...20 %, ударную вязкость в 1,5...3,5 раза, усадочные деформации ниже в 5–7 раз и температурные – в 2,2 раза [1; 3]. В то же время известно, что бетоны относятся к хрупким материалам и поэтому нуждаются в повышении у них таких характеристик как вязкость разрушения, трещиностойкость, прочность при растяжении, изгибе, срезе и др. Одним из способов улучшения этих свойств, является введение в состав бетона фибровой арматуры. Такие композиты получили название – фибробетоны или дисперсно-армированные бетоны [21–24].

В качестве дисперсной арматуры применяются короткие волокна, изготавливаемые из металла (стальные, чугунные, вольфрамовые, молибденовые и др.), природных и синтетических неорганических (асбестовые, стеклянные, углеродные, из доменных шлаков, базальтовые и др.) и органических материалов (вискозные, полипропиленовые, полиакрилонитриловые, полистирольные и др.) [22–24]. Спектр дисперсной арматуры,

представленной на рынке строительных материалов достаточно широк, и с течением времени появляется все больше ее различных видов. По своим деформативным свойствам дисперсные волокна подразделяются на высокомодульные и низкоимодульные. При необходимости эффективного повышения прочностных свойств композита, модуль упругости арматуры должен быть, как правило, в 5–7 раз выше модуля упругости матрицы. Наиболее полно таким условиям отвечают сталефибробетоны – бетоны, получаемые на основе портландцементной матрицы и армированные стальной фиброй, получаемые методами резки тонкой проволоки, рубкой стальных листов, фрезерованием слябов, экстрагированием из расплава [22]. Использование в составе бетона низкоимодульных волокон повышает характеристики трещиностойкости, снижает усадку при твердении.

Для изготовления конструкций из дисперсно-армированных бетонов в основном используется технологическое оборудование, применяемое для изготовления традиционного бетона и железобетона. Область применения дисперсно-армированных бетона достаточно обширна (см. табл. 1), но до 60 % изготавливаемых на его основе конструкций относится к промышленным полам, аэродромным и дорожным покрытиям.

Таблица 1

Область применения дисперсно-армированных бетонов

Область строительства	Наименование сборных и монолитных конструкций и сооружений
Промышленное и гражданское строительство	Конструкции полов, тонкостенные пространственные покрытия и сооружения, кровельные материалы, трубопроводы, балки, перекрытия, стеновые панели, ступени, фундаменты под динамическое оборудование, тротуарные плиты, несъемная опалубка, сваи, шпунт, архитектурные элементы и др.
Транспортное и дорожное строительство	Автомобильные дороги и покрытия, мостовые настилы, взлетно-посадочные полосы, складские площадки, железнодорожные шпалы, карнизные элементы мостов и др.
Гидротехническое строительство	Ирригационные каналы, водоотбойные дамбы, модули плавающих доков и другие морские сооружения, емкости для воды и других жидкостей.
Специальные конструкции и сооружения	Взрыво- и взломоустойчивые сооружения, хранилища вредных отходов, обделки тоннелей, огнезащитная футеровка и штукатурка и др.

Введение в состав каркасных композитов, полученных на основе полимерных и цементных вяжущих, угольных, полипропиленовых, полиакрилонитрильных, поливинилспиртовых волокон и стальной проволоочной фибры, показало улучшение их прочностных свойств [1; 3; 4].

Одним из важных свойств материала, используемого для изготовления конструкций, является ползучесть – медленная, происходящая с течением времени деформация твердого тела под воздействием постоянной нагрузки или механического напряжения. Она значительно влияет на работоспособность и долговечность конструкций.

В научной литературе имеются в основном работы, посвященные изучению ползучести железобетонных конструкций [25–27]. Данные по исследованию ползучести сталефибробетонов встречаются редко, как правило, они носят отрывочный характер или составляют небольшую часть исследования свойств сталефибробетона [21; 28–33]. Ползучесть неармированных каркасных композитов была частично исследована в работе В.Т. Ерофеева [1], а дисперсно-армированных каркасных композитов, изготовленных на основе цементных вяжущих, на настоящий момент не изучена. Следовательно, исследование этой важной характеристики для таких материалов, является актуальной задачей и требует изучения.

Экспериментальные результаты, их анализ и обсуждение

При проведении эксперимента изготовление образцов фиброармированных каркасных композитов осуществлялось по приведенной ниже технологии. На первом этапе получали каркасы путем уплотнения на вибростоле, предварительно перемешанных и уложенных в формы смесей крупного заполнителя и стальной фибры типа «Драмикс 50/1» (далее «Драмикс»). Длина фибры составляла 50 мм, диаметр – 1 мм, содержание в каркасе принималось равным 0, 1, 2 и 3 % по объему. Время перемешивания и уплотнения смеси каркаса составляло по 2 мин. На втором этапе приготавливали пропиточную матрицу, перемешивая ее миксером в течение 2 мин. Затем осуществляли пропитку каркаса матричной композицией путем ее заливки в форму с каркасом по направлению сверху вниз. Состав матрицы для каркасных композитов был постоянным: В/Ц = 0,35 и 0,5 % суперпластификатора марки Melflux 1641 F. В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ЦЕМ-I 42,5Н, крупного заполнителя – щебень из плотного доломитизированного известняка фракции 5–10 мм. Время уплотнения на вибростолу каркасных композитов составляло 2 мин.

Исследование ползучести проводилось на образцах-балочках размером 4×4×50 см. Образцы нагружали по 4-х точечной схеме, изображённой на рис. 1. Из предварительных испытаний на растяжение при изгибе каркасных композитов, содержащих 0, 1, 2 и 3 % фибры «Драмикс», по пиковым показателям напряжений были вычислены максимальные нагрузки P_{max} равные 414, 778, 1142 и 1088 Н соответственно, а по ним получены значения нагрузок P_{pr} , прикладываемых к образцам-балочкам и составляющих 30, 50 и 70 % от максимальных значений.

Рисунок 1. Фактическая и расчётная схемы нагружения образцов-балочек при испытании на ползучесть каркасных фиброармированных композитов

За контрольный состав принимался неармированный каркасный композит. Абсолютные значения прогибов образцов определяли по датчикам перемещения часового типа, которые устанавливались в середине пролета образца. Относительный прогиб получали делением значения абсолютного прогиба на величину пролета образца-балочки. Установка для испытания образцов на ползучесть показана на рис. 2.

Рисунок 2. Установка для испытания на ползучесть образцов-балочек каркасных композитов, армированных стальной фиброй «Драмикс»

По результатам исследования ползучести дисперсно-армированных каркасных композитов, были построены графические зависимости от уровня прикладываемой нагрузки, изменения содержания стальной фибровой арматуры типа «Драмикс» и времени экспонирования, которые показаны на рис. 3 (а, б, в).

На приведенных кривых ползучести дисперсно-армированных каркасных композитов, в общем случае можно выделить четыре участка кинетики изменения прогибов после приложения к образцам нагрузки (см. рис. 3б): начальный участок *AB*, на котором происходит интенсивное, практически линейное, увеличение прогибов; криволинейный участок *BC*, где наблюдается затухание процесса прироста прогибов; участок *CD*, на котором прирост прогибов незначителен и имеет квазипостоянный характер; конечный участок *DF*, когда наступает завершение процесса ползучести образцов и происходит стабилизация прогибов на постоянных значениях, а их прирост становится равен нулю.

Как видно из рис. 3 (а, б и в), наименьшие значения прогибов относятся к неармированному каркасному композиту, а наибольшие – к образцам, содержащим 1 % фибры «Драмикс». Повышение содержания в составе каркасных композитов фибровой арматуры до 2–3 %, приводит к значительному снижению прогибов, но их значения остаются выше показателей контрольных композитов. Так значения прогибов на конечных участках кривых ползучести для каркасных композитов, содержащих 1 % фибры «Драмикс», выше в 10,4–14,8 раза, а имеющих в своем составе 2 и 3 % – выше в 4,2–4,8 и 5,3–6,3 раза, по сравнению с прогибами неармированного композита. Такие результаты объясняются различной нагрузкой, приложенной к образцам-балочкам, а также положительным влиянием на изгибную прочность и жесткость, увеличения содержания дисперсной арматуры в каркасных композитах.

Экспонирование образцов, нагруженных приложенной силой $0,3P_{pr}$, было прекращено на 120 суток, т. к. была зафиксирована стабилизация значений прогиба после 7 сут. для неармированного образца и через 42 сут. для образцов, содержащих 1–3 % фибры «Драмикс». При нагрузке равной $0,5P_{pr}$ стабилизация прогибов образцов происходила примерно через 120 сут. экспонирования, а при нагрузке $0,7P_{pr}$ после 180 сут. экспонирования наблюдалось значительное снижение интенсивности прироста прогибов, но их полного затухания не произошло, поэтому необходимо продолжать вести наблюдение за поведением этих образцов каркасных композитов.

Рисунок 3. Ползучесть дисперсно-армированных каркасных композитов: а, б и в – уровень прикладываемой нагрузки $0,3P_{pr}$, $0,5P_{pr}$ и $0,7P_{pr}$

Каркасные композиты, армированные дисперсной стальной проволоочной фиброй типа «Драмикс», предполагается в дальнейшем использовать для изготовления конструкций монолитных покрытий, полов, оснований и дорожных одежд, работающих в условиях повышенных длительных механических воздействий.

Выводы

1. Показано, что бетон является одним из основных строительных материалов, используемым для изготовления бетонных и железобетонных конструкций.
2. В строительстве используются различные виды бетонов, одной из эффективных их разновидностей являются материалы каркасной структуры.
3. В предыдущих исследованиях установлены улучшенные показатели прочности и усадки каркасных бетонов, рекомендуемых для изготовления защитных покрытий.
4. Изучено влияние уровня изгибающей нагрузки и содержания стальной фибры типа «Драмикс» на длительную прочность (ползучесть) каркасных композитов, изготовленных на основе цементной матрицы.
5. Установлено, что увеличение содержания до 2–3 % фибры «Драмикс» оказывает значительное влияние на снижение значений прогибов каркасных композитов относительно составов, содержащих 1 % фибровой арматуры.
6. Показано, что введение в состав цементных каркасных композитов дисперсной арматуры типа «Драмикс» позволяет воспринимать более высокие значения

длительных изгибающих нагрузок по сравнению с неармированными каркасными композитами.

7. Определена область практического применения дисперсно-армированных каркасных композитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев В.Т. Каркасные строительные композиты: автореф. дис. д-ра техн. наук. М., 1993. 42 с.
2. Ерофеев В.Т., Соколова Ю.А., Богатов А.Д. и др. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидными смолами и аминопроизводными соединениями. Под общ. ред. акад. РААСН Ю.А. Соколовой и чл.-корр. РААСН В.Т. Ерофеева. М.: Издательство «Палеотип», 2008. 244 с.
3. Ерофеев В.Т., Римшин В.И., Смирнов В.Ф. и др. Армированные каркасные композиты для строительства и реконструкции зданий и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2018. 508 с.
4. Леснов В.В., Ерофеев В.Т. Исследование свойств каркасных композитов, армированных металлической фиброй различных видов. Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3(28).
5. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т. и др. Максимова И.Н. Структура и конструкционная прочность цементных композитов: монография. М.: Издательство АСВ, 2017. 400 с.
6. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий / Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина и др.; под общ. ред. Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. 212 с.
7. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формования: монография / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, Е.В. Завалишин и др.; под общ. ред. Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. М.: Издательство АСВ, 2009. 160 с.
8. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры: монография / В.Т. Ерофеев, Д.А. Твердохлебов, К.В. Тармосин и др.; под общ. ред. чл.-корр. РААСН В.Т. Ерофеева. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. 220 с.
9. Erofeev V. Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments. Procedia Engineering, V.165, 2016. Pp. 1444–1447.
10. Lesnov V.V., Yerofeev V.T., Salimov R.N., Smirnov V.F. Resistance in filamentous fungi filled by epoxy adhesive and matrix compositions used in carcass concrete. Scietific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. №3(27), 2015. Pp. 65–72.

11. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д. и др. Оценка коррозии стеклощелочных композитов. Прогнозирование их физико-химического сопротивления и способы его повышения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 2 (374). С. 238–246.
12. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T. et al. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments. Power Technology and Engineering. 2017. 51(4). Pp. 377–384.
13. Startsev V.O., Molokov M.V., Blaznov A.N. et al. Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method. Polymer Science – Series D. 2017. 10(4). Pp. 313–317.
14. Shafigullin, L.N., Treschev, A.A., Romashina, A.V. et al. Concentration of stress on holes in a plate of different resistant material. Astra Salvensis. 2017. T. 2017. Pp. 213–225.
15. Shafigullin L.N., Treschev A.A., Telichko V.G. et al. Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking. Astra Salvensis. 2017. T. 2017. Pp. 77–91.
16. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D. et al. Biological resistance of cement composites filled with limestone powders. Solid State Phenomena. 2016. T. 871. Pp. 22–27.
17. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov, D. et al. Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders. Solid State Phenomena. 2016. T. 871. Pp. 33–39.
18. Erofeev V., Bobryshev A., Lakhno A. et al. Theoretical evaluation of rheological state of sand cement composite systems with polyoxyethylene additive using topological dynamics concept. Solid State Phenomena. 2016. T. 871. Pp. 96–103.
19. Erofeev, V., Rodin, A., Rodina, N., Kalashnikov, V., Irina, E. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions. Procedia Engineering. 2016. T. 165. Pp. 1448–1454.
20. Shafigullin L.N., Bobryshev A.A., Erofeev V.T. et al. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. №23. Pp. 43758–43762.
21. Десов А.Е., Вахрушева А.Н. Дисперсное армирование бетона. – Технология и свойства тяжелого бетона. Тр. / НИИ бетона и железобетона. М., 1974, вып.16, с. 82–100.
22. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: Издательство АСВ, 2004. 560 с.
23. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. Series: Modern Concrete Technology 15. 2nd ed. CRC Press, 2006, 624 p.
24. Brandt A.M. Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance. London: Spon Press, 2009. 544 p.
25. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980. 240 с.

26. Улицкий И.И. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. – Киев: Будівельник, 1967. 348 с.
27. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси: Мецниереба, 1979. 230 с.
28. Лагутина Г.Е. К вопросу о виброползучести и ползучести фибробетона. – Строительные материалы и изделия (Характеристика и применение); Реф. информ. Сер. 7. М., 1977, вып.2, с. 3–9.
29. Прасолов Е.Я., Сопильняк А.В. Некоторые результаты экспериментальных исследований усадки и ползучести при растяжении сталефибробетона. – В кн.: Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций и их внедрение в сельскохозяйственное строительство. Тез. докл. респ. конф. Полтава, 1982, с. 59–60.
30. Majumdar A.I., Swamy R.N. Fibre reinforced concrete materials: A report by RILEM Technical Committee 19-FRC. *Materiaux et constructions*, 1977, vol. 10, №56. Pp. 103–120.
31. State of the art report on fiber reinforced concrete. Reported by committee 544. *ACI Journal*, 1973, vol. 71. Pp. 729–744.
32. Swamy R.N. Fibre reinforcement of cement and concrete. *Materiaux et construction*, 1975, №45. Pp. 235–252.
33. Swamy R.N., Stavrides H. Influence of fiber reinforcement on restrained shrinkage and cracking. *ACI Journal*, 1979, vol. 76, №3. Pp. 443–460.

Lesnov Vitaliy Viktorovich
Mordovia state university, Saransk, Russia
E-mail: vv1377mgu@rambler.ru

Creep study of carcass composites reinforced with steel fiber of the Dramix type

Abstract. The results of a creep study of disperse-reinforced building composites made by carcass technology are presented. In the experiment, steel fiber «Dramix» type fiber was used as dispersed reinforcement, the content of which was 1...3 % by volume of the composite. The impregnation matrix was made on the basis of portlandcement and a superplasticizing additive of the brand Melflux 1641 F. In the creep test, the samples-beams were loaded according to a 4-point scheme. The level of load applied to the samples was 30, 50 and 70 % of the maximum values. An unreinforced carcass composite was taken as a control composition. The tests continued until the moment when the value of the deflection became constant. Based on the data obtained, graphical dependencies «relative deflection – exposure time» were constructed.

On the obtained creep curves of carcass composites in the general case, four sections of the kinetics of deflection change can be distinguished: the initial section, in which an intense, almost linear, increase in deflections occurs; the curved section where the attenuation of the process of growth of deflections is observed; a linear section in which the increase in deflections is insignificant and has a quasi-permanent character; the final section, when the stabilization of the deflections occurs, and their values become constant.

The minimum deflection values were obtained for an unreinforced carcass composite, and the maximum for composite reinforced with 1 % «Dramix» fiber. When the composition of the carcass composites contains 2–3 % fiber, a significant decrease in the deflections was observed, but their values were higher than that of the control composition. This is explained by the different load applied to the reinforced and unreinforced samples of carcass composites, as well as the positive effect of increasing the content fiber to 2–3 % on their bending strength and stiffness.

The studied dispersion-reinforced carcass composites can be used for the manufacture of monolithic industrial floors, foundations and pavements, working under the influence of increased mechanical influences.

Keywords: dispersed reinforced carcass composite; steel fiber; creep; relative deflection; level of applied load; exposure time

REFERENCES

1. Erofeev V.T. (1993). Karkasnye stroitel'nye kompozity. [*Frame construction composites.*] Moscow, p. 42.
2. Erofeev V.T., Sokolova Yu.A., Bogatov A.D. and etc. (2008). Ehpoksidnye polimerbetony, modifitsirovannye neftyanymi bitumami, kamennougol'noy i karbamidnymi smolami i aminoproizvodnymi soedineniyami. [*Epoxy polymer concrete modified with petroleum bitumen, coal and urea resins and amino derivatives.*] Moscow: Paleotype Publishing House, p. 244.
3. Lesnov V.V., Erofeev V.T. (2013). Investigation of the properties of frame composites reinforced with various types of metal fibers. *Internet bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Political*, 3(28) (in Russian).

4. Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T. and etc. (2017). *Struktura i konstruktsionnaya prochnost' tsementnykh kompozitov. [Structure and structural strength of cement composites.]* Moscow: DIA Publishing House, p. 400.
5. Bazhenov Yu.M., Erofeev V.T., Mitina E.A. and etc. (2004). *Ograzhdayushchie konstruksii na osnove karkasnogo keramzitobetona dlya proizvodstvennykh zdaniy. [Building envelopes based on frame expanded clay for industrial buildings.]* Saransk: Publishing House of Mordovia University, p. 212.
6. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Zavalishin E.V. and etc. (2009). *Silikatnye i polimersilikatnye kompozity karkasnoy struktury rolikovogo formovaniya: monografiya. [Silicate and polymer-silicate composites of the frame structure of a roller molding: monograph.]* Moscow: DIA Publishing House, p. 160.
7. Erofeev V.T., Tverdokhlebov D.A., Tarmosin K.V. and etc. (2008). *Furfurolatsetonovye kompozity karkasnoy struktury. [Furfurolacetone Composites Frame Structure.]* Saransk: Publishing House of Mordovia University, p. 220.
8. Erofeev V. (2016). Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments. *Procedia Engineering*, (165), pp. 1444–1447.
9. Lesnov V.V., Erofeev V.T., Salimov R.N., Smirnov V.F. (2015). Resistance in filamentous fungi filled by epoxy adhesive and matrix compositions used in carcass concrete. *Scietific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 3(27), pp. 65–72.
10. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D. and etc. (2018). Corrosion assessment of glass-fiber composites. Prediction of their physico-chemical resistance and ways to increase it. *Bulletin of higher educational institutions. Textile technology*, 2(374), pp. 238–246 (in Russian).
11. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T. and etc. (2017). Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments. *Power Technology and Engineering*, 51(4), pp. 377–384.
12. Startsev V.O., Molokov M.V., Blaznov A.N. and etc. (2017). Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method. *Polymer Science – Series D*, 10(4), pp. 313–317.
13. Shafigullin L.N., Treschev A.A., Romashina A.V. and etc. (2017). Concentration of stress on holes in a plate of different resistant material. *Astra Salvensis*, (2017), pp. 213–225.
14. Shafigullin L.N., Treschev A.A., Telichko V.G. and etc. (2017). Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking. *Astra Salvensis*, (2017), pp. 77–91.
15. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D. and etc. (2016). Biological resistance of cement composites filled with limestone powders. *Solid State Phenomena*, (871), pp. 22–27.
16. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D. and etc. (2016). Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders. *Solid State Phenomena*, (871), pp. 33–39.
17. Erofeev V., Bobryshev A., Lakhno A. and etc. (2016). Theoretical evaluation of rheological state of sand cement composite systems with polyoxyethylene additive using topological dynamics concept. *Solid State Phenomena*, (871), pp. 96–103.

18. Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E. (2016). Biocidal Binders for the Concretes of Unerground Constructions. *Procedia Engineering*, (165), pp. 1448–1454.
19. Shafigullin L.N., Bobrishev A.A., Erofeev V.T. and etc. (2015). Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts. *International Journal of Applied Engineering Research*, 23(10), pp. 43758–43762.
20. Desov A.E., Vakhrusheva A.N. (1974). Dispersed concrete reinforcement. Technology and properties of heavy concrete. *Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete*, 16, pp. 82–100 (in Russian).
21. Rabinovich F.N. (2004). Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii. [*Composites based on dispersed reinforced concrete. Issues of theory and design, technology, designs.*] Moscow: DIA Publishing House, p. 560.
22. Bentur A., Mindess S. (2006). Fibre Reinforced Cementitious Composites. *Series: Modern Concrete Technology. CRC Press*, 15, p. 624.
23. Brandt A.M. (2009). *Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*. London: Spon Press, p. 544.
24. Prokopovich I.E., Zedgenidze V.A. (1980). Prikladnaya teoriya polzuchesti. [*Applied Creep Theory.*] Moscow: Sroyizdat, p. 240.
25. Ulitskiy I.I. (1967). Teoriya i raschet zhelezobetonnykh sterzhnevyykh konstruksiy s uchetom dlitel'nykh protsessov. [*Theory and calculation of reinforced concrete bar structures taking into account lengthy processes.*] Kiev: Builder, p. 348.
26. Tsilosani Z.N. (1979). Usadka i polzuchest' betona. [*Shrinkage and creep of concrete.*] Tbilisi: Metznireba, p. 230.
27. Lagutina G.E. (1977). K voprosu o vibropolzuchesti i polzuchesti fibrobetona. Stroitel'nye materialy i izdeliya (Kharakteristika i primeneniye). [*On the issue of vibration creep and creep of fiber-reinforced concrete. Building materials and products (Characterization and application).*] Moscow, pp. 3–9.
28. Prasolov E.Ya., Sopil'nyak A.V. (1982). Nekotorye rezul'taty ehksperimental'nykh issledovaniy usadki i polzuchesti pri rastyazhenii stalefibrobetona. V knige: Sovershenstvovanie zhelezobetonnykh konstruksiy, rabotayushchikh na slozhnye vidy deformatsiy i ikh vnedrenie v sel'skokhozyaystvennoe stroitel'stvo. [*Some results of experimental studies of shrinkage and creep under tension of steel fiber concrete. In the book: Improvement of reinforced concrete structures working for complex types of deformations and their implementation in agricultural construction.*] Poltava, pp. 59–60.
29. Majumdar A.I., Swamy R.N. (1977). Fibre reinforced concrete materials: A report by RILEM Technical Committee 19-FRC. *Materieux et constructions*, 56(10), pp. 103–120.
30. (1973). State of the art report on fiber reinforced concrete. Reported by comittee 544. *ACI Journal*, (71), pp. 729–744.
31. Swamy R.N. (1975). Fibre reinforcement of cement and concrete. *Materiaux et construction*, 45, pp. 235–252.
32. Swamy R.N., Stavrides H. (1979). Influence of fiber reinforcement on restrained shrinkage and cracking. *ACI Journal*, 3(76), pp. 443–460.