

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2019, №2, Том 6 / 2019, No 2, Vol 6 <https://resources.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/14ECOR219.pdf>

DOI: 10.15862/14ECOR219 (<http://dx.doi.org/10.15862/14ECOR219>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Самофеев Н.С., Гареева З.А., Мусин Р.А., Хасанова Э.Р., Шаяхметов Р.З., Фаттахов М.М. Исследование эффективности новых строительных материалов в дорожных конструкциях // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2019 №2, <https://resources.today/PDF/14ECOR219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14ECOR219

For citation:

Nikita S.S., Gareeva Z.A., Musin R.A., Khasanova E.R., Shaikhmetov R.Z., Fattakhov M.M. (2019). Investigation of the effectiveness of new construction materials in road constructions. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, [online] 2(6). Available at: <https://resources.today/PDF/14ECOR219.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/14ECOR219

УДК 691.32:69.003.13

Самофеев Никита Святославович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Институт нефтегазового бизнеса
Кафедра «Экономики и управления на предприятии нефтяной и газовой промышленности»
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: volvita@inbox.ru

Гареева Земфира Анисовна

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Институт экономики
Кафедра «Экономики и управления на предприятии нефтяной и газовой промышленности»
Доцент
Кандидат экономических наук
E-mail: volvita@inbox.ru

Мусин Радмир Адипович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
Магистр
E-mail: volvita@inbox.ru

Хасанова Эльвира Рустэмовна

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Строительные конструкции»
Инженер
E-mail: volvita@inbox.ru

Шаяхметов Ринат Зуфарович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: volvita@inbox.ru

Фаттахов Мухарям Миннирович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Архитектурно строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: volvita@inbox.ru

Исследование эффективности новых строительных материалов в дорожных конструкциях

Аннотация. Современные дорожные конструкции испытывают целый спектр различных нагрузок статического и динамического характера, поэтому к дорогам соответствующего класса требуются более качественные материалы и решения, обеспечивающие их соответствие различным природно-климатическим, геологическим и экономическим факторам.

Применяемые в настоящее время конструкции автодорог имеют различные основания, они могут быть естественного и искусственного типа. Наиболее надежным вариантом считается проектирование оснований на бетонной основе, однако, имеется ряд аспектов, существенно сказывающихся на их долговечности. Повышение их надежности и качества является важным перспективным направлением в исследовании применения новых строительных материалов.

В работе показана возможность повышения качества оснований дорожных конструкций за счет применения полиармированного фибробетона. По сравнению с металлической фиброй, полипропиленовая фибра дает необходимый эффект снижения веса конструкции, ее удешевления. Отмечается значительный рост показателей водонепроницаемости фибробетона, что особенно важно для участков водоотвода оснований дорожных конструкций.

Авторами определено, что при полидисперсном армировании бетонной матрицы полипропиленовой (0,3 %) и стальной (1,7 %) фиброй достигается существенное улучшение показателей фибробетона. При этом первый вариант оказывает влияние на показатели трещиностойкости, а применение стальной – на прочностные. Таким образом, при данном соотношении армирования различной фиброй достигается синергетический эффект улучшения статических и динамических показателей фибробетона.

Проведенные в работе стендовые исследования способов повышения качества армирования фибробетонных конструкций для оснований дорог, показывают их высокую экономическую эффективность и обеспечивают снижение стоимости 1 м³ готовой конструкции до 16 %.

Ключевые слова: фибра; фибробетонные конструкции; полиармированные бетонные конструкции; конструкции оснований дорог; качество; долговечность; экономическая эффективность

В России была и по сей день существует проблема долговечности дорог и дорожных конструкции (бордюры, водопропускных труб, дождеприемных колодцев). Факторов, действующих на дорожные конструкции множество: геология, климат, транспортная нагрузка, бюджет строительства и многие другие.

В зарубежных странах, таких как США, Япония, Германия, для строительства дорог в большинстве случаев применяют дорожный бетон. Это связано с тем, что бетонные дороги

превосходят по прочности, экологичности и видимости в темное время суток асфальтовые дороги.

Каждая дорога имеет индивидуальную конструкцию. Конструкции из бетона являются более эффективными, по сравнению с конструкциями из асфальтобетона. Возможно использование комбинированной конструкции, когда на слой бетона укладывают асфальт, таким образом обеспечивая качественный нижний слой. Однако бетонные конструкции имеют ряд недостатков, например, водоотводные и водосбросные сооружения обладают низкой трещиностойкостью и могут иметь микротрещины на ранних стадиях затвердевания, что сказывается на прочности дорожных конструкций. Применение дисперсно-армированных бетонов позволяет устранить недостатки по трещиностойкости бетона и железобетона. Важным аспектом при строительстве дорог является физико-механические свойства и качество применяемых материалов. На данный момент большое развитие получают дисперсно-армированные бетоны [9].

Фибробетон – вид бетона, дисперсно-армированный по всему объему металлическими (и) или неметаллическими волокнами. В России применяется для заливки оснований в производственных, складских и торговых помещениях. В зарубежных странах используют для строительства автомобильных дорог, взрывоустойчивых сооружений и мостовых настилов. Более подробное описание применения фибробетона представлено в разных работах [1; 9]. В работе [2] рассмотрены вопросы применения стальной фибры для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов. Проведены экспериментальные исследования сталефибробетонных образцов на цементе и с композиционным вяжущим. Установлено, что применение композиционных вяжущих и высокоплотной упаковки зерен заполнителя значительно повышают прочностные показатели бетона и железобетона [5]. Алгоритм расчета составов сталефибробетона, влияние различных видов неметаллической фибры показано в различных исследованиях [3; 8]. В результате проведенных испытаний установлено, что наибольшую эффективность имеет полипропиленовая фибра.

В настоящей работе представлены фибробетоны с применением металлической и полипропиленовой фибры. Существуют металлические фибры, подразделяющиеся на проволочные, рубленые, фрезерованные, литые, анкерные и волновые, а также полипропиленовые фибры, длиной 3, 6, 12, 18 мм и диаметром 20 микрон. Металлическая фибра с параметрами, приведенными в таблице 1, имеет такую форму, благодаря которой обладает повышенными свойствами сопротивляемости на разрыв и излом. Полипропиленовая фибра изготавливается из синтетического полимера, обладающего водостойкостью, теплостойкостью, имеющего высокую стойкость к химическим воздействиям кислот, щелочей и солей [4].

При изготовлении образцов фибробетона, с водоцементным отношением В/Ц = 0,38, применялись традиционная смесь с добавлением литой металлической фибры с расходом 25 кг/м³, полипропиленовой фибры 0,9 кг/м³ (рис. 1), а также 1 % от массы цемента 35%-ый раствор суперпластификатора и ускорителя твердения «Реламикс-М». В качестве вяжущего в фибробетонной смеси использовался портландцемент М400(Д20).

Таблица 1

Показатели металлической фибры [8]

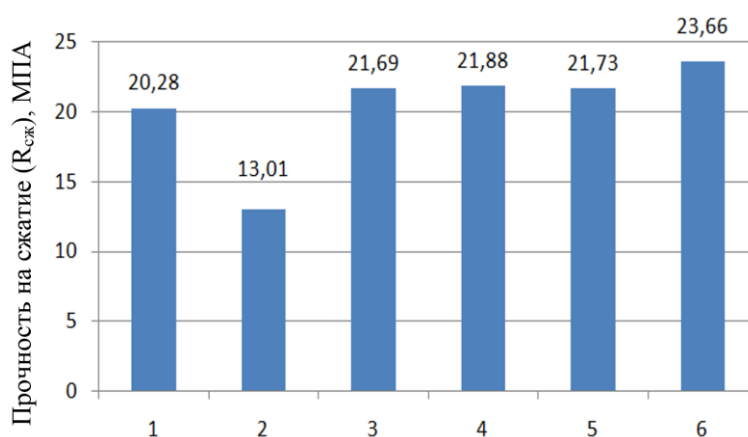
Показатели	Нормативные требования
Температура плавления	1425–1510 °С
Прочность на растяжение	При 20 °С – 900 МПа При 870 °С – 53 МПа
Модуль упругости (870 °С)	97 ГПа
Коэффициент теплового расширения (870 °С)	24,8 Вт/м ² К

Показатели	Нормативные требования
Теплопроводность (540 °С)	24,8 Вт/м ² К
Длина, мм	25±5
Диаметр, мм	0,5–0,8



Рисунок 1. Полипропиленовая и литая металлическая фибра (источник: разработано автором)

Проведены эксперименты на сжатие, изгиб, водонепроницаемость и морозостойкость образцов фибробетона. Для определения оптимального процентного соотношения металлической и полипропиленовой фибры в лаборатории НОЦИТ АСИ, были проведены исследования в соответствии с действующими нормативными требованиями. Общее содержание армирующего волокна 2 % по объему, содержание каждой фибры изменялось пошагово на 0,1 %.



1 – без армирования; 2 – армированный полипропиленовой фиброй; 3 – армированный 0,4 % полипропиленовой + 1,6 % стальной фиброй; 4 – армированный 0,3 % полипропиленовой + 1,7 % стальной фиброй; 5 – армированный 0,2 % полипропиленовой + 1,8 % стальной фиброй; 6 – армированный стальной фиброй

Рисунок 2. Пределы прочности бетона на сжатие (источник: разработано автором)

По полученным результатам (рис. 2) видно, что при содержании 1,7 % металлической и 0,3 % полипропиленовой фибры наблюдается наилучший результат по прочности на сжатие¹. Для испытания на сжатие, изгиб и морозостойкость были изготовлены кубики с размерами 100*100*100 мм, на изгиб – балки с размерами 100*100*400 мм, а для определения водонепроницаемости образцы-цилиндры, диаметром и высотой 150 мм.

¹ ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

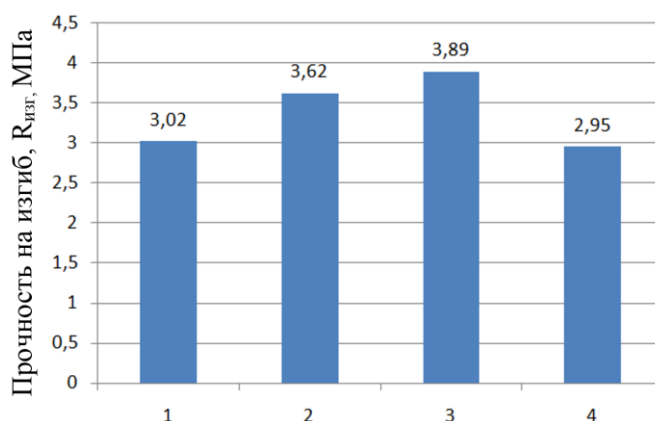
Таблица 2

Прочностные характеристики бетона на сжатие (по данным рис. 2)

№ п/п	Вид и количество добавляемой фибры (для 3-х образцов)	Средняя масса образца m , (кг)	Средняя прочность на сжатие $R_{сж}$, (МПа)
1	Без фибры	2,43	20,28
2	Полипропиленовая фибра – 2 %	2,45	13,01
3	Стальная фибра – 1.8 % + полипропиленовая фибра – 0.2 %	2,46	21,73
4	Стальная фибра – 1.7 % + полипропиленовая фибра – 0.3 %	2,46	21,88
5	Стальная фибра – 1.6 % + полипропиленовая фибра – 0.4 %	2,47	21,69
6	Стальная фибра – 2 %	2,46	23,66

Разработано автором

Испытания на изгиб и сжатие проводятся согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Результаты серий исследований приведены на рисунках 2–6.



1 – без армирования; 2 – армированный 0,3 % полипропиленовой + 1,7 % стальной фиброй; 3 – армированный стальной фиброй; 4 – армированный полипропиленовой фиброй

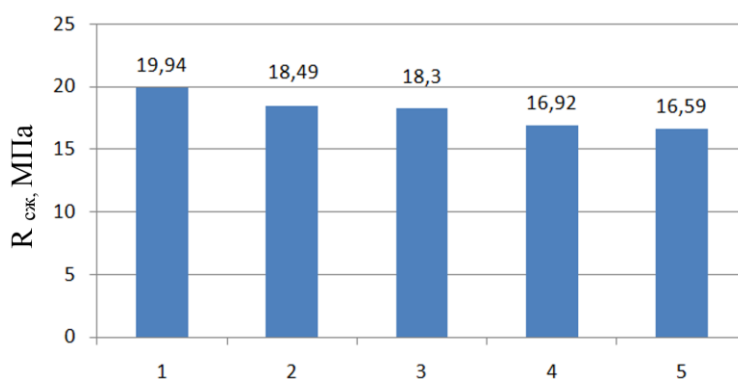
Рисунок 3. Пределы прочности бетона на изгиб (разработано автором)

Таблица 3

Прочностные характеристики на изгиб (по данным рис. 3)

№ п/п	Вид и количество добавляемой фибры (для 3-х образцов)	Средняя масса образца m , (кг)	Средняя прочность на изгиб $R_{изг}$, (МПа)
1	Без фибры	9,59	3,02
2	Стальная фибра – 2 %	9,66	3,89
3	Полипропиленовая фибра – 0,3 % + стальная фибра – 1,7 %	9,65	3,62
4	Полипропиленовая фибра – 2 %	9,49	2,95

Разработано автором



Степень армирования полипропиленовой фиброй (%): 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,4; 5 – 0,5

Рисунок 4. Пределы прочности бетонов с полипропиленовой фиброй (разработано автором)

Таблица 4

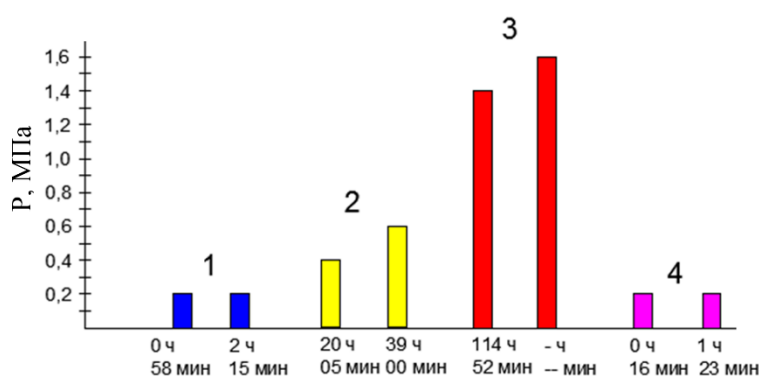
**Прочностные характеристики бетона
на сжатие с полипропиленовой фиброй (по данным рис. 4)**

№ п/п	Количество фибры, %	Количество образцов	Средняя масса образца m, (кг)	Средняя прочность на сжатие R_{np} , (МПа)
1	0,1	3	2,42	19,94
2	0,2		2,45	18,49
3	0,3		2,41	18,30
4	0,4		2,39	16,92
5	0,5		2,41	16,59

Разработано автором

Как видно из рис. 2 и табл. 2, бетон, армированный стальной фиброй, в 1,17 раз превышает прочность бетона без армирования и в 1,82 раз с полипропиленовой фиброй. По представленным в таблице 3 результатам испытаний на изгиб, видно, что прочность бетона со стальной фиброй в 1,29 раз выше, чем бетон без армирования и в 1,32 раза, чем бетон с полипропиленовой фиброй. Это обосновывается тем, что в сталефибробетоне создается трехмерная структура, которая придает прочность и препятствует растрескиванию материала [6]. Отрицательное свойство сталефибробетона – это его вес, который придает конструкции большую нагрузку. Бетон, армированный полипропиленовой фиброй, имеет малую прочность. Влияние полипропиленовых фибр на прочностные свойства бетона представлены в табл. 3 и на рис. 4. Это связано с тем, что структура бетона формирует волокнистую сетку, которая уменьшает связь между заполнителями, а также уменьшает количество усадочных трещин и повышает способность бетона к пластическим деформациям.

Испытание бетона на водонепроницаемость (рис. 5) проводилось согласно ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». По результатам исследований видно, что полиармированный бетон с армированием полипропиленовой и стальной фибры выдержал все циклы давления и показал наилучший результат. Такой результат объясняется высокими показателями прочности металлической фибры и трещиностойкостью, который придает полипропиленовая фибра.

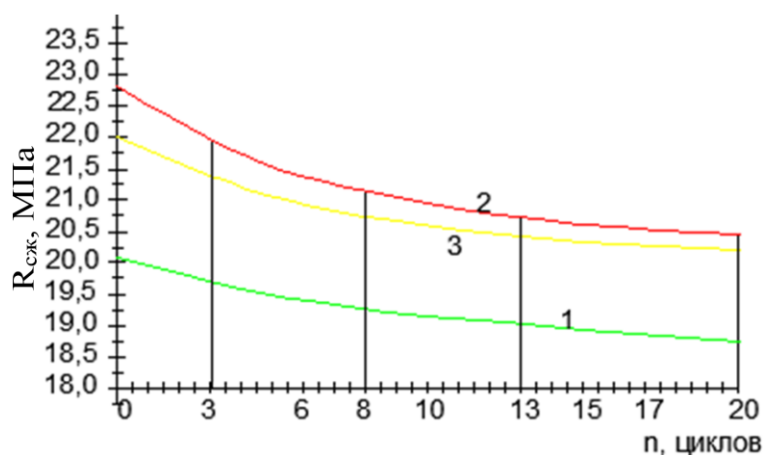


1 – без армирования; 2 – армированный стальной фиброй; 3 – армированный 0,3 % полипропиленовой + 1,7 % стальной фиброй; 4 – армированный полипропиленовой фиброй

Рисунок 5. Результаты исследования водонепроницаемости образцов бетона (разработано автором)

Известно, что морозостойкость определяется после достижения бетоном проектного возраста, установленного в нормативно-технической и проектной документации, при достижении им прочности на сжатие, соответствующей его классу. Для сокращения количества циклов замораживания и оттаивания при испытаниях на морозостойкость был выбран

ускоренный метод по ГОСТ 10060-2012². На рисунке 6 приведены результаты морозостойкости бетона.



1 – без армирования; 2 – армированный стальной фиброй; 3 – армированный 0,3 % полипропиленовой + 1,7 % стальной фиброй

Рисунок 6. Исследования морозостойкости образцов бетона (разработано автором)

При добавлении полипропиленовой фибры среднее значение прочности на сжатие уменьшается, по сравнению с контрольными образцами. С учетом исследований [7] определено, что формирование связей между бетонной смесью и фиброй обуславливается наличием капиллярных сил поверхностного натяжения. За счет этого сцепления создается трехмерная матричная структура, где фибры создают зоны повышенной плотности возле армирующего волокна и зоны меньшей плотности по объему бетона.

Экономическая эффективность применения предлагаемого армирования показывает высокую эффективность дисперсного армирования с применением полипропиленовой и металлической фибры, при соответствующих соотношениях заполнения и В-Ц и будет выражаться в стоимости 1 м³ фибробетона готовой продукции [8]. Для расчета оценки затрат были использованы данные о стоимости армирующих материалов, показанные в табл. 5.

Таблица 5

Стоимость армирующих материалов [8] (в ценах 2018 г.)

№ п/п	Наименование материала	Производитель	Стоимость, руб.
1	Металлическая фибра, кг	ООО «Альянс-Строительные Технологии» Московская обл., г. Дзержинский	64
2	Полипропиленовая фибра, кг		268

Определение стоимости 1 м³ фибробетона, с массовым соотношением состава Ц:П:Щ = 1:1,2:2,7 и с применением полипропиленовой и металлической фибры показано в таблице 6.

Таблица 6

Оценка стоимости 1 м³ бетона в готовой продукции

№ п/п	Вид бетона	Объем бетона	Затраты, руб.
1	Без армирования	1 м ³	5544
2	Фибробетон с применением металлической фибры – 2,0 %	1 м ³	8580,40
3	Полиармированный фибробетон с применением металлической фибры – 1,7 %, полипропиленовой – 0,3 %	1 м ³	7376,58

² ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».

Стоимость 1 м³ полиармированного фибробетона на 1 203,8 руб. дешевле бетона с применением металлической фибры и на 3832,58 руб. дороже бетона без армирования. Таким образом, экономическая эффективность применения полидисперсного армирования оказывается на 16 % лучше, чем при армировании дорожных оснований «классической» металлической фиброй. С большой вероятностью можно ожидать высокую степень экономии средств при эксплуатации дорог, особенно, за счет сокращения количества дорогостоящих ремонтов наиболее уязвимых локальных мест дорожных оснований.

Для обеспечения высоких прочностных показателей любого бетона, в т. ч. для дорожного строительства, необходимо соблюдать ряд общих требований, таких как: наличие добавок, повышающих морозостойкость, равномерное распределение фиброволокон по объему бетона, применение щадящего режима тепловлажностной обработки, обеспечение оптимальных условий твердения монолитного бетона.

Таким образом, использование фибры позволяет получить прочный, долговечный и надежный бетон, который будет удовлетворять технологическим и эксплуатационным требованиям строительных материалов. По результатам проведенных исследований, полиармированный фибробетон может найти широкое применение, кроме дорожного строительства, также и при сооружении водоотводных и водосбросных сооружений, а также в ремонтно-отделочных работах и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родионова А.А. Фибробетон: материал будущего в строительстве // Международная молодежная школа-семинар в 6 частях. 2013. С. 108–112.
2. Ключев С.В. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 61–66.
3. Соловьев В.Г. Эффективность применения различных видов фибры в бетонах // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. С. 78–81.
4. Толибова В.И. Полипропиленовая фибра – эффективная армирующая добавка // ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, 2017, С. 124.
5. Фаттахов М.М. Содержание и ремонт автомобильных дорог: монография. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 215 с.
6. Шаяхметов Р.З. Эффективность применения современных фибр в цементных бетонах // Проблемы строительного комплекса России. Материалы XXI международной научно-технической конференции. Уфа: изд. УГНТУ, 2017 г. С. 106–110.
7. Яковлева Л.А. Особенности подбора состава бетона повышенной прочности // XX межд. научно-технической конференции. Актуальные проблемы технических и гуманитарных наук, Уфа, УГНТУ, 2016. С. 76–81.
8. Пухаренко, Ю.В. Эффективность применения фибробетона в конструкциях при динамических воздействиях / Ю.В. Пухаренко, В.И. Морозов // Вестник МГСУ. – 2014. №3. – с. 189–196.
9. Ключев А.В., Дураченко А.В. Фибробетоны для ремонта дорожных покрытий на основе стеклянной фибры // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 1–2. – С. 207–210; URL: <http://applied-research.ru/ru/article/view?id=11168> (дата обращения: 20.05.2019).

Nikita Samofeev Svyatoslavovich

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
Institute of oil and gas business
E-mail: volvita@inbox.ru

Gareeva Zemfira Anisovna

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
Institute of economics
E-mail: volvita@inbox.ru

Musin Radmir Adipovich

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
Architectural building institute
E-mail: volvita@inbox.ru

Khasanova Elvira Rustamovna

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
Architectural building institute
E-mail: volvita@inbox.ru

Shaikhmetov Rinat Zufarovich

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
Architectural building institute
E-mail: volvita@inbox.ru

Fattakhov Muharyam Minnjirovich

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
Architectural building institute
E-mail: volvita@inbox.ru

Investigation of the effectiveness of new construction materials in road constructions

Abstract. Modern road constructions go through a whole range of different loads of static and dynamic nature; therefore, higher-quality materials and solutions are required for the roads of the corresponding class, ensuring their compliance with various climatic, geological and economic factors.

Currently used road constructions have different basement, they can be of natural or artificial type. Designing a foundation on a concrete base is considered as the most enduring, however, there are a number of aspects that significantly affect their durability. Improving their reliability and quality is an important promising direction in the study of the use of new building materials.

The article shows the possibility of improving the quality of the foundations of road structures through the use of poly-reinforced fiber-reinforced concrete. Compared with metal fiber, polypropylene fiber gives the desired effect of reducing the weight of the structure and the cost. There is a significant increase in the waterproof performance of fiber-reinforced concrete, which is especially important for drainage sections of road construction foundations.

The authors determined that a significant improvement in the performance of fibrous concrete is achieved, when the polydisperse reinforcement of the concrete matrix use polypropylene (0.3 %) and steel (1.7 %) fiber. In this case, the first option has an impact on crack resistance, and the use of steel – on strength. Thus, with this ratio of reinforcement with various fibers, a synergistic effect of improving the static and dynamic indicators of fibrous concrete is achieved.

According to authors, bench studies of reinforcement of fiber-reinforced concrete structures for the foundations of roads show their high economic efficiency and reduce the cost of 1 m³ of the finished structure to 16 %.

Keywords: fiber; fiber concrete structures; poly-reinforced concrete structures; road construction; quality; durability; economic efficiency

REFERENCES

1. Rodionova A.A. (2013). Fibrobeton: material budushchego v stroitel'stve. [*Fiber concrete: material of the future in construction.*] pp. 108–112.
2. Klyuev S.V. (2012). High-strength fiber-reinforced concrete for industrial and civil construction. *Engineering and Construction Journal*, 8(34), pp. 61–66 (in Russian).
3. Solov'ev V.G. (2017). The effectiveness of the use of various types of fibers in concrete // *International Research Journal*, pp. 78–81 (in Russian).
4. Tolibova V.I. (2017). Polipropilenovaya fibra – ehffektivnaya armiruyushchaya dobavka. [*Polypropylene fiber is an effective reinforcing additive.*] Moscow: National Research Moscow State University of Construction, p. 124.
5. Fattakhov M.M. (2017). Soderzhanie i remont avtomobil'nykh dorog. [*Maintenance and repair of roads.*] Ekaterinburg: Ural State Forestry University, p. 215.
6. Shayakhmetov R.Z. (2017). Ehffektivnost' primeneniya sovremennykh fibr v tsementnykh betonakh. [*The effectiveness of modern fibers in cement concretes.*] Ufa: Ufa State Petroleum Technical Publishing House, pp. 106–110.
7. Yakovleva L.A. (2017). Osobennosti podbora sostava betona povyshennoy prochnosti. [*Features of selection of the composition of concrete of high strength.*] Ufa: Ufa State Petroleum Technical Publishing House, pp. 76–81.
8. Morozov V.I., Pukhareno Yu.V. (2014). The effectiveness of the use of fiber-reinforced concrete in constructions under dynamic effects. *Vestnik Moscow State University of Civil Engineering*, 3, pp. 189–196 (in Russian).
9. Klyuev A.V., Durachenko A.V. (2017). Fiber concrete for the repair of pavements based on glass fiber. *International Journal of Applied and Basic Research*, [online] 1–2, pp. 207–210. Available at: <http://applied-research.ru/ru/article/view?id=11168> (in Russian) [Accessed 20.05.2019].