

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2023.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS423.pdf>

DOI: 10.15862/01SATS423 (<https://doi.org/10.15862/01SATS423>)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Применение сталефибробетона для обеспечения морозостойкости бетона транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края

¹Парфенов А.А., ²Ярмолинский В.А.

¹ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Парфенов Алексей Александрович, e-mail: 000693@pnu.edu.ru

Аннотация. В работе авторами представлены результаты исследований применения сталефибробетона (далее — СФБ) для обеспечения морозостойкости и долговечности транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края. Объектом настоящих исследований являлся бетон звеньев железобетонных водопропускных круглых труб 3Д 15.35 (ГОСТ 24547-2016, ОСТ 35-27.0-85), выпускаемых на промышленно-производственном предприятии ЗАО «Хабаровск Автомот» г. Хабаровска.

Блоки труб предназначены для применения при строительстве водопропускных труб под насыпями автомобильных дорог (включая дороги промышленного транспорта), строящихся в районах с сейсмичностью до девяти баллов во всех климатических зонах на периодически действующих водотоках при отсутствии наледей.

Класс бетона по прочности на сжатие принят проектировщиками — В25, согласно СП 35.13330.2011 (новая редакция СНиП 2.05.03-84*) марка бетонной матрицы по морозостойкости назначалась с учётом среднего значения температуры самого холодного месяца в районе, где запланировано строительство. В условиях рассматриваемого региона имеются природно-климатические условия для назначения марки по морозостойкости F300.

Одной из задач, решаемых авторами, являлся подбор состава бетона с учетом качественных особенностей

свойств исходных местных материалов и применением дисперсного армирования, обеспечивающего получение бетона транспортных сооружений с заданной прочностью, морозостойкостью и водонепроницаемостью.

Авторами представлены результаты определения показателей прочности, морозостойкости и водонепроницаемости СФБ с добавкой «ПФМ-НЛК» и стальной фиброй для звеньев железобетонных водопропускных круглых труб 3Д 15.35.

Результаты экспериментальных исследований позволили обосновать применение СФБ для обеспечения морозостойкости транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края, что является определяющим фактором для повышения их долговечности.

Полученные результаты применены для разработки стандарта организации (далее — СТО) — ЗАО «Хабаровск Автомот» — 002-2015 «Повышение морозостойкости бетона транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края».

Ключевые слова: сталефибробетон; морозостойкость; транспортные сооружения; автомобильные дороги; долговечность транспортных конструкций; фибра стальная; усиление бетона фиброй; улучшение механических и физических показателей качества бетона

Application of steel fibre reinforced concrete for ensuring concrete frost resistance of transport structures on regional and inter-municipal highways of Khabarovsk Krai motor roads of Khabarovsk region

¹Aleksey A. Parfenov, ²Vladimir A. Yarmolinskiy

¹Pacific National University, Khabarovsk, Russia

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

Corresponding author: Aleksey A. Parfenov, e-mail: 000693@pnu.edu.ru

Abstract. In this paper the authors present the research results into the application of steel fibre reinforced concrete for ensuring frost resistance and durability of transport structures on regional and intermunicipal highways of Khabarovsk Krai. The object of the present research was concrete of reinforced concrete round culverts rings 3D 15.35 (GOST 24547-2016, OST 35-27.0-85), produced at the industrial and production enterprise CJSC «Khabarovsk Avtomost» in Khabarovsk.

Pipe blocks are designed for use in the construction of culverts under motorway bankets (including industrial roads), built in areas with seismicity up to nine points in all climatic zones on periodically operating watercourses in the absence of ice.

Concrete class on strength of compression is accepted by designers — B25, according to SP 35.13330.2011 (new edition of SNiP 2.05.03-84*) the grade of concrete matrix on frost resistance was assigned taking into account the average temperature of the coldest month in the area where the construction is planned. In the conditions of the region under consideration there are natural and climatic conditions for assigning the grade of frost resistance F300.

One of the tasks solved by the authors was the selection of concrete composition taking into account qualitative

features of initial local materials properties and the use of dispersed reinforcement, providing the concrete of transport structures with a given strength, frost resistance and water resistance.

The authors have presented the strength determination results, frost resistance and waterproofing of steel fibre reinforced concrete with «PFM-NLK» and steel fibre for reinforced concrete round culverts rings 3D 15.35.

The experimental studies results allowed to justify the use of steel fibre reinforced concrete for ensuring frost transport structures resistance on regional and intermunicipal highways of Khabarovsk Krai, which is a determining factor for increasing their durability.

The obtained results are applied for the standard of the organisation development — CJSC «Khabarovsk Avtomost» — 002-2015 «Increase of frost resistance of concrete of transport constructions on regional and intermunicipal highways of Khabarovsk region».

Keywords: steel fibre reinforced concrete; frost resistance; transport structures; highways; durability of transport structures; steel fibre; reinforcement of concrete with fibre; improvement of mechanical and physical indicators of concrete quality

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Объёмы и спектр использования железобетонных и бетонных изделий в строительной отрасли регулярно увеличивается. Эксплуатационные параметры использования элементов изделий из бетона и железобетона закладываются в проектах всё более тяжёлыми. Инженерам — технологам для удовлетворения растущих потребностей проектировщиков приходится непрерывно совершенствовать качественные показатели бетона: трещиностойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и прочность. Использование СФБ (металлической фибры) для изготовления бетона действительно может значительно улучшить его прочностные и долговечные свойства. Вот некоторые преимущества использования СФБ¹ [1; 2; 8; 10]:

- Повышение прочности: СФБ добавляет дополнительную прочность бетону, увеличивая его модуль упругости и сопротивление на растяжение при изгибе и сжатии. Это делает конструкции из такого бетона более стойкими к нагрузкам и ударам.
- Увеличение долговечности: благодаря прочности и устойчивости к различным воздействиям, таким как влага, изменение температуры и износ, бетон, изготовленный с использованием СФБ, имеет длительный срок службы.
- Улучшенные характеристики при различных условиях: бетон с СФБ показывает повышенную стойкость к воде, морозостойкость и абразивному износу. Это делает его идеальным для использования в экстремальных условиях и на объектах с высокой нагрузкой.
- Сокращение межремонтных циклов: бетон с металлической фиброй имеет более длительные интервалы между ремонтами и требует меньше обслуживания, что экономит время и ресурсы.
- Улучшение экономических показателей: хотя бетон с СФБ может быть дороже в производстве, его улучшенные свойства приводят к сокращению затрат на ремонт и эксплуатацию в долгосрочной перспективе. Это делает его более экономически выгодным выбором.

¹ Вострецов Ф.И. Анализ — сравнение наиболее широко применяемых в РФ видов фибр / Директор ООО НПК «ВОЛБЕК ПЛЮС» Ф.И. Вострецов. — Текст электронный // Сайт ООО НПК «ВОЛБЕК ПЛЮС» — URL: <https://goo.su/ly8hO> (дата обращения: 30.09.2023).

Вострецов Ф.И. Чем проволоочная фибра хуже фрезерованной? / Директор ООО НПК «ВОЛБЕК ПЛЮС» Ф.И. Вострецов. — Текст электронный // Сайт ООО НПК «ВОЛБЕК ПЛЮС» — URL: <https://goo.su/eIXeOC> (дата обращения: 30.09.2023).

В целом, использование СФБ может принести значительное улучшение в прочности и долговечности бетонных конструкций в процессе их эксплуатации, делая их более надежными и долговечными. [3–8; 11–13].

Дисперсное армирование стальной фиброй обеспечивает матрице из бетона высокую трещиностойкость и изменение характера разрушения с упругого на пластический.

Эффективность СФБ в технико-экономическом плане определяет области его применения, что объясняется большей полнотой использования его достоинств в сравнении с традиционными железобетоном и бетоном:

- Сооружения для фортификационных нужд.
- Гаражи из сборного и монолитного бетона с длительной сопротивляемостью к взлому.
- Дорожные покрытия из сборного и монолитного бетона, элементы береговой защиты, проезжая часть мостов.
- Покрытия рулёжных дорожек и взлетно-посадочных полос аэропортов.
- Изделия и конструктивные элементы СФБ могут быть использованы в различных областях строительства, включая производство сборного железобетона. Некоторые из применений СФБ в сборном железобетоне включают:
 - плитку тротуарную разной геометрии;
 - трубы;
 - лотки;
 - шпалы;
 - полы промышленных предприятий;
 - дорожные плиты;
 - сваи;
 - бордюры;
 - водопропускные трубы;
 - полосы разделительные;
 - панели для шумозащиты;
 - тонкостенные элементы автобусных остановок.

Также можно использовать СФБ для отделки тоннельных сводов метрополитенов, фундаментов для динамического и ударного

оборудования, хранилищ и сейфов банковских ценностей, а также для конструкций различного назначения, полученных методом торкретирования.

11 сентября 2001 года в Нью-Йорке произошедшие трагические события подтолкнули специалистов в области бетона и железобетона к исследованиям применения СФБ. Исследования, направленные на внедрение СФБ, проводятся в США в различных областях строительства, включая гражданские, промышленные и транспортные объекты, объекты энергетики и оборонного комплекса.

При строительстве железобетонных элементов, использующих бетон со стержневым армированием, можно внедрить СФБ для улучшения их прочности и стойкости. Самыми трудозатратными считаются работы, связанные с армированием. Производство каркасов, сеток, технологические операции по обеспечению защитного слоя бетона, монтаж арматуры и ее анкеровка в проектом положении, требуют значительной трудоёмкости. Да, использование металлической фибры (СФБ) в качестве армирования бетонных элементов действительно позволяет отказаться или, по крайней мере, частично уменьшить использование традиционной стержневой арматуры. Вместо этого, роль арматуры выполняет стальная фибра, которая вкрапляется в бетонную смесь. Это имеет ряд преимуществ:

1. Снижение затрат труда: отказ от установки традиционной стержневой арматуры позволяет сократить время и трудозатраты, связанные с армированием бетонных элементов. СФБ может быть равномерно распределена во всей смеси, что упрощает процесс армирования.

2. Сокращение расхода бетона и стали: использование СФБ позволяет сократить расход как бетона, так и стали, поскольку стальная фибра заменяет необходимость в традиционных стержнях арматуры. Благодаря этому, можно добиться утоньшения размеров изделий и снижения затрат на материалы.

3. Увеличение долговечности: СФБ повышает прочность и стойкость бетонных элементов. Она улучшает устойчивость к различным воздействиям, таким как нагрузки, вибрации и термические изменения, что ведет к увеличению долговечности элементов железобетона. Это, в свою очередь, уменьшает затраты на текущие ремонты и обслуживание.

В целом, использование СФБ позволяет повысить эффективность производства бетонных изделий, снизить затраты на материалы и труд, а также улучшить качество и долговечность конечных элементов железобетона.

Заводы для целей армирования бетона выпускают фибру двух базовых классов: из металла — стальную и полимерную — традиционно полипропиленовую.²

Фибра из полипропилена качественно повышает показатели свойств бетона на начальном этапе его твердения. Фибра из стали качественно повышает показатели свойств бетона после достижения бетоном марочной прочности, усиливая прочностные показатели бетонной матрицы.

Металлическая фибра традиционно производится с применением стальных элементов игловатой формы, длиной от 30 до 80 мм и диаметром от 0,5 до 1,2 мм, с прочностью на растяжение не менее 1 000 МПа. Для улучшения сцепления с бетонной матрицей фибру специально профилируют. Фибру изготавливают из обыкновенной и нержавеющей стали, без антикоррозионного покрытия и с покрытием. Минимальный производственный расход фибры от 20 до 40 кг на один метр кубический бетона. При тщательном перемешивании стальная фибра равномерно распределяется по бетонной матрице армируя её.

Использование клееной фибры позволяет равномерно распределить её по объёму бетонной матрицы и предотвращает появление «ежей»³, рисунок 1.



Рисунок 1. Вид слева — фибра стальная, клеенная в карты, обычная, образующая «ежи» — справа [1]⁴

Figure 1. Left view — steel fibre bonded into cards, regular, forming «hedgehogs» — on the right [1]⁴

² Сталефибробетон и его применение [Электронный ресурс] / Сайт «СпецСтройСоюз». — Электрон. дан., 1997. — Режим доступа: www.materials.ru/articles/2006/July/218.html. (Дата обращения: 31.07.2006).

³ Фибра Микас со склада в Хабаровске [Электронный ресурс] / Сайт «ПромСтойКомплект» (ПСК). — Электрон. дан., 2023. — Режим доступа: www.pskdvr.ru. (Дата обращения: 03.07.2023).

⁴ Волков И.В. Фибробетон, укладка фибробетона, фибробетонные полы [Электронный ресурс] / И.В. Волков, Газин Э.М. // Журнал СтройПРОФИль. Рубрика: Бетонные полы / Сайт «СТРОЙПОЛИМЕРСЕРВИС». — Электрон. дан., 2003. — № 2. — URL: https://www.stroypolymer.ru/articles/?SECTION_ID=356&ID=1026. (Дата обращения: 30.09.2023).

Приготовленный СФБ имеет высокие прочностные показатели свойств на растяжение и сжатие, обладает значительной долговечностью. Подобный эффект объясняется совокупной работой матрицы бетона и большим коэффициентом армирования в объёме основательно рассчитанной металлической фибровой арматурой [9; 14–18].^{4, 5}

Значительный эффект от использования возможностей СФБ в современной практике реализуется в технологических приёмах, направленных для возведения сооружений транспорта. Данные технологические приёмы нацелены на повышение прочностных характеристик строительных элементов, возможности осуществления ремонта и восстановления их геометрии, достижение долговечного и прочного водонепроницаемого покрытия [9; 14–19].^{4, 5}

В железобетоне транспортного строительства во время эксплуатации возникают неупругие деформации строительных элементов, это способствует возникновению и развитию со временем трещинообразованию в бетоне. Когда речь идет о строительных элементах, подверженных напряженному режиму эксплуатации, таким как транспортное строительство, рассмотрение дополнительных факторов, таких как температурные изменения, динамические нагрузки и ударное воздействие, является критическим.

СФБ (металлическая фибра) действительно обладает рядом преимуществ, которые делают ее привлекательной альтернативой традиционным методам армирования бетона со стержневым армированием:

1. Высокая прочность: СФБ обладает высокими прочностными характеристиками, что делает ее долговечным материалом, способным выдерживать динамические нагрузки и ударные воздействия. Это особенно важно для строительных элементов, подверженных интенсивной эксплуатации.

2. Морозостойкость и водонепроницаемость: СФБ обладает хорошей морозостойкостью и водонепроницаемостью, что позволяет ему сохранять свои свойства при попеременном оттаивании и замораживании бетона. Это особенно важно для элементов, которые подвергаются воздействию переменных температур и влажности.

⁵ Концепция добавленного слоя из сверхвысокопрочного фибробетона для железобетонных конструкций эксплуатируемых мостов [Электронный ресурс] / Сайт «ЦЕМЕНТИУМ». Перевод статьи проф. О. Брювилера. — Электрон. дан., 2023. — Режим доступа: <https://cementum.ru/press-center/publications/2022/kontseptsiya-dobavlenno-go-slo-ya-iz-sverkhvysokoprochnogo-fibrobetona-dlya-zhelezbetonnykh-konstrukts/> (Дата обращения: 30.09.2023).

3. Трещиностойкость: благодаря своей гибкости и дисперсионным характеристикам, СФБ способна легко адаптироваться к температурным изменениям и предотвращать образование трещин в бетоне. Это важно для обеспечения долговечности и безопасности строительных элементов.

Учитывая все эти качества, СФБ действительно является привлекательной альтернативой для замены традиционного стержневого армирования бетонных элементов в строительстве транспорта. Однако, как всегда, важно проводить необходимые инженерные исследования и оценку конкретных условий эксплуатации для выбора оптимального материала и армирования для каждого конкретного проекта.

Продолжительное пропуск транспорта по дорожной одежде и транспортным сооружениям ведёт к появлению ям в бетонных покрытиях, разрушает швы в покрытиях из монолитного бетона, в местах стыков дорожных плит из сборного железобетона разрушаются сопрягающие швы. Использование СФБ, делает возможным уменьшить затраты на их эксплуатацию и восстановление, а также увеличить срок эксплуатации швов.

Количество фибры для строительства элементов конструкций сооружений транспорта и железобетонных элементов промышленных зданий приравнивается примерно к диапазону от 60 до 80 кг/м³ железобетона. Марка стали из которой изготавливается фибра, используемая для строительства элементов конструкций транспорта — 08 кп (сталь кипящей плавки, с содержанием углерода до 0,8 %).

Анализируя расчётные значения, сделаны выводы, что использование СФБ способствует уменьшению:

- затрат на транспортировку — на 22,5 %;
- трудозатрат на работы по укладке слоёв покрытий — на 28 %;
- цены одного метра квадратного покрытия из бетона.

Использование СФБ достаточно надёжно и результативно показало себя в сборных бетонных элементах сооружений транспорта. Анализ вычисленных показателей, позволяют сделать вывод, что использование СФБ вместо бетонных элементов со стержневым армированием, примерно в два раза повышает сроки их эксплуатации и уменьшает количество стали на 7 %, а вяжущего на 7,5 % [3–8; 11–13].

Многолетние наблюдения за конструкциями транспортных сооружений, изготовленных с применением СФБ, доказывают правильность научных выводов о надёжности и более длительных сроках эксплуатации СФБ.

Постановка задачи исследований

Research objective

Согласно договору ЗАО «Хабаровск Автомоост» с Тихоокеанским государственным университетом, ИЦ строительных материалов и изделий выполнялись научно-исследовательская работы, направленные на повышение морозостойкости бетона сооружений транспорта на автомобильных дорогах регионального и межмуниципального значения в Хабаровском крае с применением СФБ смесей [3–8].

Объектом настоящих исследований является бетон звеньев железобетонных водопропускных круглых труб 3Д 15.35 (ГОСТ 24547-2016, ОСТ 35-27.0-85), выпускаемых на промышленно-производственном предприятии ЗАО «Хабаровск Автомоост» г. Хабаровска.⁶

Следует особо выделить задачу подбора состава бетона с учетом качественных особенностей свойств исходных местных материалов и применением дисперсного армирования, обеспечивающего получение бетона транспортных сооружений с заданной прочностью, морозостойкостью и водонепроницаемостью.

Типовая документация (конструктивные решения и требования к материалам) разработаны в соответствии со следующими нормативными документами: СНиП 2.05.03-84* (СП 35.13330.2011) «Мосты и трубы», СНиП 3.06.04.91 (СП 46.13330.2012) «Мосты и трубы» (Организация, производство и приемка работ). СНиП III-4-80* «Техника безопасности в строительстве», ГОСТ 24547-81 и др.

Блоки труб предназначены для применения при строительстве водопропускных труб под насыпями автомобильных дорог (включая дороги промышленного транспорта), строящихся в районах с сейсмичностью до девяти баллов во всех климатических зонах на периодически действующих водотоках при отсутствии наледей.

Класс бетона по прочности на сжатие принят проектировщиками — В25, согласно СП 35.13330.2011 (новая редакция СНиП 2.05.03-84*) марка бетонной матрицы по морозостойкости назначалась с учётом среднего значения температуры самого холодного месяца в районе, где запланировано строительство. В условиях рассматриваемого региона имеются природно-климатические условия для назначения марки по морозостойкости F300.

⁶ Отчёт по научно-исследовательской работе «Разработка стандарта организации «Повышение морозостойкости бетона транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края» / Н.И. Ярмолинская, В.И. Судаков, А.А. Парфёнов, Т.Л. Лазарева и др. — Хабаровск. — 2015. — 232 с.

По результатам проведенных исследований предполагалась разработка СТО на весь цикл работ, связанных с изготовлением дорожных звеньев труб марки ЗД 15.35 и их применением при строительстве дорог.⁷

Изучение следов эксплуатации железобетонных и бетонных элементов конструкций указывает на то, что бетонная матрица начинает деградировать, не дослужив до конца запроектированного времени её использования. Наибольшим количеством выявленных причин деградации бетонной матрицы является воздействие циклов попеременного замораживания и оттаивания, т. е. бетонная матрица деградирует под воздействием морозной деструкции в период использования бетонных элементов конструкции. Морозостойкость бетона, его марку по данному показателю можно запроектировать, пользуясь в качестве справочной информации порядка пятнадцатью нормативными документами, разработанными на сегодняшний день. Однако, общих подходов проектирования марки по морозостойкости бетона не существует. Существенные причины, определяющие число периодов замораживания и оттаивания не приняты во внимание, а на производстве они оказывают значительное воздействие на бетонную матрицу. Действие этих причин существенно выражено на Дальневосточных и Сибирских территориях. Там совокупное действие таких причин, как температура ниже 0°C и значительное количество солнечных дней в зимние месяцы, добавленная солнечная радиация, в 10 раз превышающая естественный фон, по сравнению с западными регионами нашей страны, существенно отличаются от проектных показателей.

Важным фактором, определяющим долговечность железобетонных и бетонных конструкций, является морозостойкость бетона. В районах с низкими среднесуточными и среднегодовыми температурами при наличии резких перепадов температуры, достигающих в течение года 80°C и более, морозостойкость цементных бетонов является практически решающим фактором, определяющим их долговечность. Хорошим методом, улучшающим морозостойкость бетонной матрицы и её прочность может стать использование СФБ.

Окончательной целью работы являлась разработка СТО «Повышение морозостойкости бетона транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края».

⁷ Повышение морозостойкости бетона транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах хабаровского края. Стандарт КГКУ «Хабаровскуправтодор»: СТО 002-2015. — Введ. 2015-01-01. — Хабаровск., 2015. — 45 с.

Результаты исследований

Research results

Замена традиционного армирования, с помощью стержней и сеток, железобетонных конструкций на дисперсное, посредством использования металлической фибры, открывает возможности избежать усадочных деформаций в бетонной матрице во время её затвердевания и набора прочности.

Это позволяет предотвратить появление и последующий рост трещин на микроуровне, что в свою очередь позволит достичь требуемых показателей долговечности и морозостойкости бетонной матрицы конструкций транспортного строительства, к которым смело можно отнести дорожные трубы ЗД 15.35, а именно их звенья.

Учитывая этот подход для достижения необходимых показателей морозостойкости бетонной матрицы марки F300 выполнялся расчёт и проектирование состава бетонной смеси с использованием стальной фибры, имеющей следующие характеристики:

Металлическая фибра относится согласно ТУ 1276-002-51484465-2002 к четвёртой группе.

Диаметр — условный фибры металлической — от 0,35 до 0,65 мм.

Длина «иголок» фибры металлической — от 30 до 35 мм.

Плотность истинная фибры металлической — 7 500 кг/м³.

Плотность насыпная фибры металлической — от 630 до 660 кг/м³.

Состав сухих компонентов на 1 м³ смеси СФБ и суперпластификатором «ПФМ-НЛК», водоцементным отношением В/Ц = 0,34 представлен в таблице 1.

Корректировка состава бетонной смеси с учетом влаги, содержащейся в минеральных материалах, производится непосредственно на месте строительства.

Исследование прочности на сжатие СФБ образцов-кубов приведено в таблице 2. Результаты исследований обрабатывались согласно с ГОСТ 18 105 и ГОСТ 10 180.

Как свидетельствуют результаты исследований позволяют свидетельствовать о том, что ввод в бетонную смесь фибры металлической существенно улучшает значение характеристик прочности бетона.

Таблица 1 / Table 1

Состав сухих компонентов на 1 м³ смеси СФБ и суперпластификатором «ПФМ-НЛК»

Composition of dry components per 1 m³ of mixture of steel fibre reinforced concrete and superplasticiser «PFM-NLK»

Проектный класс бетона Design class of concrete	Инертные и вяжущее, кг/м ³ Inert and binder, kg/m ³			Вода, л Water, litres		Фибра металлическая Metal fibre	В/Ц B/C	Воздухововлечение, % Air entrainment, %	ОК, см QA, cm	Суперпластификатор, кг (л) Superplasticiser, kg (l)
	цемент cement	песок природный natural sand	щебень crushed stone	без учета ввода водного раствора суперпластификатора without taking into account adding superplasticiser hydrous solution	с учетом ввода водного раствора суперпластификатора taking into account adding superplasticiser hydrous solution					ПФМ-НЛК (0,6 %) PFM-NLK (0,6 %)
B25 W6 F300	<u>380</u> 0,32	<u>691</u> 0,45	<u>1144</u> 0,82	163	130	<u>80</u> 0,12	0,34	4	3	2,28 (14,21)

Примечание — В знаменателе — объём материалов, в числителе — масса материалов. Разработано авторами / Note — B in the denominator is volume of materials, in the numerator is mass of materials. Developed by the authors

Среднее значение прочности бетона при сжатии в возрасте 28 суток показало результат 40,15 МПа, это на 25 % больше, чем у бетона на суперпластификаторе «ПФМ-НЛК», но без фибры металлической.

Разброс значений прочности СФБ по коэффициенту вариации составил — 5,39 %, что в сопоставлении с бетоном на суперпластификаторе «ПФМ-НЛК» — 6,13 % меньше.

Исследование водонепроницаемости СФБ, проведённое на образцах-цилиндрах в сравнении с бетоном на суперпластификаторе «ПФМ-НЛК», таблица 3, показало рост значений марки бетона по водонепроницаемости на 40 % — W10 против W6 соответственно.

Исследование морозостойкости СФБ на образцах-кубах с суперпластификатором «ПФМ-НЛК» проводилось согласно методике, представленной в ГОСТ 10 060, третьим ускоренным методом. Полученные результаты исследований показаны в таблице 4.

Таблица 2 / Table 2

Исследование прочности на сжатие СФБ с суперпластификатором «ПФМ-НЛК»
Strength compressive study of steel fibre reinforced concrete with «PFM-NLK» superplasticiser

Наименование показателя, единица измерения <i>Indicator name, unit of measurement</i>	Значение в стандарте <i>Value in the standard</i>	Методика испытаний (стандарт) <i>Test methodology (standard)</i>	Полученные значения <i>Received values</i>	Примечание <i>Note</i>
Осадка конуса, см <i>Cone slump, cm</i>	2–4	ГОСТ 10 180 ГОСТ 12 730. 0 ГОСТ 12 730. 1 ГОСТ 18 105	2	Среднее квадратическое отклонение $S_m = 2,12$ МПа, коэффициент вариации (партионный) $V_m = 5,39$ % <i>Mean square deviation $S_m = 2,12$ MPa variation coefficient (batch) $V_m = 5,39$ %</i>
Проектный класс (марка) бетона <i>Design class (grade) of concrete</i>	B25 (M350)		B35 (M450)	
Масса образца, г <i>Sample weight, g</i>	Не нормируется <i>Not defined/rated</i>		2614, 2623 2604, 2640	
Размер образца, см <i>Sample size, cm</i>	10×10×10		10,0×10,0×10,0 10,0×10,0×10,0 10,0×10,0×10,0 10,0×10,0×10,0	
Средняя плотность образца, кг/м ³ <i>Sample mass specific gravity, kg/m³</i>	Не нормируется <i>Not defined/rated</i>		2 614, 2 623 2 604, 2 640 среднее 2 626	
Марка испытательной машины, шкала <i>Test machine brand, scale</i>	-		ИП-500, 50 т	
Показания силоизмерителя испытательной машины, кН <i>Test machine force gauge reading, kN</i>	-		406 427 389 435	
Разрушающая нагрузка, кг <i>Load at failure, kg</i>	-		40 600 42 700 38 900 43 500	
Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, на 28 сут., МПа <i>Concrete strength, reduced to the basic specimen size, at 28 days, MPa</i>	-		38,57 40,57 36,96 41,33	
Средняя прочность серии образцов, на 28 сут., МПа <i>Average strength of a series of specimens, at 28 days, MPa</i>	-		40,15	

Разработано авторами / Developed by the authors

Таблица 3 / Table 3

Исследование водонепроницаемости СФБ с суперпластификатором «ПФМ-НЛК»

Investigation of water resistance of steel fibre reinforced concrete with superplasticiser «PFM-NLK»

Проектный класс (марка) бетона <i>Design class (grade) of concrete</i>	Класс (марка) бетона, полученный испытанием образцов-кубов <i>Class (grade) of concrete obtained by testing of cube specimens</i>	Маркировка образцов <i>Specimen labelling</i>	Диаметр образца, мм <i>Specimen diameter, mm</i>	Высота образца, мм <i>Specimen height, mm</i>	Возраст образцов-цилиндров, сут. <i>Cylindrical specimens age, days</i>	Марка испытательной машины, шкала <i>Test machine brand, scale</i>	Показания электродатчиков <i>Readings of electro-sensors</i>	Значение водонепроницаемости отдельных образцов, МПа <i>Waterproofing value of individual specimens, MPa</i>	Значение водонепроницаемости серии образцов, МПа <i>Waterproofing value of a series of specimens, MPa</i>	Примечание <i>Note</i>
B25 (M350)	B35 (M450)	1	150	150	28	УВФ-6	7	1,2	1,0	W10
		2	150	150			7	1,2		
		3	150	150			6	1,0		
		4	150	150			6	1,0		
		5	150	150			7	1,2		
		6	150	150			7	1,2		

Разработано авторами / Developed by the authors

Таблица 4 / Table 4

Исследование морозостойкости СФБ с суперпластификатором «ПФМ-НЛК»

Investigation of frost resistance of steel fibre reinforced concrete with superplasticiser «PFM-NLK»

Условия проведения испытания <i>Test conditions</i>	Относительная влажность 64 %; T = 22°C Ускоренный метод третий Среда насыщения — 5 %-й водный раствор хлористого натрия Среда и температура замораживания — 5 %-й водный раствор хлористого натрия, минус (50±2)°C Среда и температура оттаивания — 5 %-й водный раствор хлористого натрия, плюс (20±2)°C <i>Relative humidity 64 %; T = 22°C Accelerated method three Saturation environment- 5 % sodium chloride hydrous solution Freezing environment and temperature — 5 % sodium chloride hydrous solution, minus (50±2)°C Thawing environment and temperature — 5 % sodium chloride hydrous solution, plus (20±2)°C</i>
--	--

Исходные данные Initial data									
Результаты испытаний контрольных образцов Control specimens test results			Результаты испытаний основных образцов (F300 — 37 циклов) Basic specimens test results (F300 — 37 cycles)						
Номер образца Sample number	Прочность при сжатии в насыщенном состоянии, МПа Compressive strength in saturated state, MPa	Среднее значение, МПа Average value, MPa	Номер образца Specimen number	Масса в водонасыщенном состоянии, г Weight in water-saturated state, g	Среднее значение, г Average value, g	Масса образца после испытания на морозостойкость, г Specimen weight after frost resistance test, g	Среднее значение после испытания на морозостойкость, г Average value after frost resistance test, g	Прочность при сжатии образца после испытания на морозостойкость, МПа Compressive strength of specimen after frost resistance test, MPa	Среднее значение после испытания на морозостойкость, МПа Average value after frost resistance test, MPa
1	37,81	36,04	7	2 661	2 661	2 640	2 635	31,73	32,66
2	36,86		8	2 662		2 630		33,44	
3	34,01		9	2 659		2 637		31,16	
4	35,82		10	2 668		2 637		33,54	
5	36,96		11	2 645		22 623		31,83	
6	34,77		12	2 673		2 640		34,30	
Результаты расчёта Calculation results									
Показатель Indicator				Значения показателей Indicator values					
				контрольных образцов control samples			основных образцов key sample		
Среднее значение прочности контрольных образцов, МПа Average value of control samples strength, MPa				36,04			32,66		
Среднеквадратическое отклонение, МПа Mean square deviation, MPa				1,26			1,52		
Коэффициент вариации прочности, % Coefficient of strength variation, %				3,85			4,22		
Нижняя граница доверительного интервала, МПа Lower boundary of confidence interval, MPa				32,13			29,44		
0,9X ^I _{min} , МПа				28,92			-		

Примечание: Коэффициент $\alpha = 2,5$ (табл. 6, п. 5.2.4.2 ГОСТ 10 060); $t_{\beta} = 2,570$ (табл. 7, п. 5.2.4.3 ГОСТ 10 060). Разработано авторами /
Note: Coefficient $\alpha = 2,5$ (tabl. 6, p. 5.2.4.2 State Standard 10 060); $t_{\beta} = 2,570$ (tabl. 7, p. 5.2.4.3 State Standard 10 060). Developed by the authors

Исследования СФБ позволили получить адекватные результаты и сделать следующие выводы:

1. Подобрана СФБ смесь с физико-механическими показателями свойств, обеспечивающими достижение проектных показателей морозостойкости транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края.
2. Получены значения прочности на сжатие СФБ и водонепроницаемости в проектном возрасте больше на 25 и 40 % соответственно, чем у традиционного бетона без дисперсного армирования металлической фиброй.
3. Обосновано применение стальной фибры для увеличения долговечности (морозостойкости) бетонной матрицы элементов транспортного строительства 3Д 15.35, используемых для работы в агрессивной среде и условиях приближенным к ней.
4. Рекомендовано фибру металлическую добавлять в бетонную матрицу, при совместном использовании с водой затвердения суперпластификатора «ПФМ-НЛК».

Заключение

Conclusion

По результатам исследований даны рекомендации по использованию СФБ для обеспечения морозостойкости транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края, что является определяющим фактором для повышения их долговечности [3–8; 11–13].

Полученные значения прочности на сжатие СФБ и водонепроницаемости в проектном возрасте больше на 25 и 40 % соответственно, чем у традиционного бетона без дисперсного армирования металлической фиброй. Среднее значение прочности бетона при сжатии в возрасте 28 суток показало результат 40,15 МПа, это на 25 % больше, чем у бетона на суперпластификаторе «ПФМ-НЛК», но без фибры металлической. Разброс значений прочности СФБ по коэффициенту вариации составил — 5,39 %, что в сопоставлении с бетоном на суперпластификаторе «ПФМ-НЛК» — 6,13 % меньше. Исследование водонепроницаемости СФБ, проведённое на образцах-цилиндрах в сравнении с бетоном на суперпластификаторе «ПФМ-НЛК», показало рост значений марки бетона по водонепроницаемости на 40 % — W10 против W6 соответственно.

Полученные результаты применены для разработки СТО — ЗАО «Хабаровск Автомот» — 002-2015 «Повышение морозостойкости бетона транспортных сооружений на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах Хабаровского края».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Суховая, С.И.** Фибробетон / С.И. Суховая // Наука ЮУрГУ: Материалы 67-й научной конференции, Челябинск, 14–17 апреля 2015 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2023. — С. 1636–1641. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30566037>. — EDN ZSWUIB. (дата обращения: 30.09.2023).
2. **Талалаева, В.Ф.** Применение фибробетона для ремонта конструкций гидромелиоративных сооружений / В.Ф. Талалаева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. — 2021. — № 3. — С. 41–46. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46620260>. — EDN OTNFES. (дата обращения: 03.07.2023).
3. **Леонович, И.А.** Влияние упругих характеристик композитного материала на свойства фибробетона / И.А. Леонович, А.А. Леонович. — DOI https://doi.org/10.53078/20778481_2007_3_14_8 // Вестник Белорусско-Российского университета. — 2017. — № 3. — С. 148–155. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17256153>. — EDN ONQANX. (дата обращения: 30.09.2023).
4. **Сташевская, Н.А.** Обзор и анализ исследований применения высокопрочного фибробетона для высотного строительства / Н.А. Сташевская, Г.Э. Окольников, Д.М. Асиков // Системные технологии. — 2017. — № 2. — С. 51–55. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32336539>. — EDN YMWIBI. (дата обращения: 30.09.2023).
5. **Черников, М.С.** Особенности применения фибробетонов и базальтофибробетонов в современном строительстве / М.С. Черников, П.В. Рожков, Ю.С. Димитрюк // Достижения вузовской науки 2020: Сборник статей XIV Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 20 мая 2020 года / Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. — С. 11–14. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42851418&pff=1>. — EDN HIZFJV. (дата обращения: 30.09.2023).
6. **Вострецов, Ф.И.** Главный «секрет» сталефибробетона / Ф.И. Вострецов // Мир дорог. — 2012. — № 59. — URL: <https://wolwekplus.ru/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%84%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0/>. (дата обращения: 30.09.2023).
7. **Татарнинова, Р.Е.** Сталефибробетон: особенности применения / Р.Е. Татарнинова // Наука, образование и культура. — 2017. — № 9. — С. 15–17. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30780649>. — EDN ZXOXB. (дата обращения: 30.09.2023).
8. **Волков И.В.** Фибробетон: технико-экономическая эффективность применения / И.В. Волков // Промышленное и гражданское строительство. — 2002. — № 9. — URL: <https://www.vekha.ru/fibrobeton-tehniko-ekonomicheskaya>. (дата обращения: 30.09.2023).
9. **Сапронов, И.М.** О применении сверхвысокопрочного фибробетона DUCTAL® в российском мостостроении / И.М. Сапронов, Р.С. Чурилов, С. Бернарди // Дорожная держава. — 2020. — № 94. — С. 78–85.
10. **Mohamad Moasas, A.** Bibliographic trends in mineral fiber-reinforced concrete: A scient metric analysis / A. Mohamad Moasas, M.N. Amin, W. Ahmad, K. Khan, M.N. Al-Hashem, H.J. Qureshi [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1100276> // Frontiers in Materials. — 2022. — Т 9. — URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2022.1100276/full>. (дата обращения: 30.09.2023).

11. **Wang, S.** Effects of steel fibers and concrete strength on flexural toughness of ultra-high performance concrete with coarse aggregate / S. Wang, H. Zhu, F. Liu, S. Cheng, B. Wang, L. Yang. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01170> // Case Studies in Construction Materials. — 2022. — Т 17. — С. e01170. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522003023>. (дата обращения: 30.09.2023).
12. **Yang, S.** Effects of steel fibers on the dynamic properties and failure process of ultra-high performance concrete / S. Yang, Z. Tang, W. Zhong, S. Wang, R. Zhang, X. Yao. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105415> // Journal of Building Engineering. — 2022. — Т 62. — С. 105415. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710222014218>. (дата обращения: 30.09.2023).
13. **Abd-Al Ftah, R.O.** Assessment on structural and mechanical properties of reinforcement concrete beams prepared with luffa cylindrical fibre / R.O. Abd-Al Ftah, B.A. Tayeh, K. Abdelsamie, R.D.A. Hafez. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01283> // Case Studies in Construction Materials. — 2022. — Т 17. — С. e01283. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522004156>. (дата обращения: 30.09.2023).
14. **Al-Obaidi, S.** Structural validation of geothermal water basins constructed with durability enhanced ultra high performance fiber reinforced concrete (Ultra High Durability Concrete) / S. Al-Obaidi, M. Davolio, F.L. Monte, F. Costanzi, M. Luchini, P. Bamonte [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01202> // Case Studies in Construction Materials. — 2022. — Т 17. — С. e01202. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522003345>. (дата обращения: 30.09.2023).
15. **Habel, K.** Structural Response of Elements Combining Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes and Reinforced Concrete / K. Habel, E. Denarié, E. Brühwiler. — DOI [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2006\)132:11\(1793\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:11(1793)) // Journal of Structural Engineering. — 2006. — Т 132. — № 11. — С. 1793–1800. — URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9445%282006%29132%3A11%281793%29>. (дата обращения: 30.09.2023).
16. **Habel, K.** No AccessAutogenous deformations and viscoelasticity of UHPFRC in structures. Part I: experimental results / K. Habel, J.-P. Charron, E. Denarié, E. Brühwiler. — DOI <https://doi.org/10.1680/mac.2006.58.3.135> // Magazine of Concrete Research. — 2006. — Т 58. — № 3. — С. 135–145. — URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/mac.2006.58.3.135>. (дата обращения: 30.09.2023).
17. **Habel, K.** Time dependent behavior of elements combining ultra-high performance fiber reinforced concretes (UHPFRC) and reinforced concrete / K. Habel, E. Denarié, E. Brühwiler. — DOI <https://doi.org/10.1007/s11527-005-9045-0> // Materials and Structures. — 2006. — Т 39. — С. 557–569. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11527-005-9045-0>. (дата обращения: 30.09.2023).
18. **Charron, J.P.** Transport properties of water and glycol in an ultra high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) under high tensile deformation / J.P. Charron, E. Denarié, E. Brühwiler. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.12.006> // Cement and Concrete Research. — 2008. — Т 38. — № 5. — С. 689–698. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884608000148>. (дата обращения: 30.09.2023).
19. **Makita, T.** Tensile fatigue behaviour of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete combined with steel rebars (R-UHPFRC) / T. Makita, E. Brühwiler. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2013.09.004> // International Journal of Fatigue. — 2014. — Т 59. — С. 145–152. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142112313002545>. (дата обращения: 30.09.2023).

Сведения об авторах:

Парфенов Алексей Александрович — кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия, e-mail: 000693@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8657-220X>
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=834396

Ярмолинский Владимир Аполенарьевич — доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия, e-mail: appolonow.vlad@yandex.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=735081

Статья получена: 18.10.2023. Принята к публикации: 28.12.2023. Опубликовано онлайн: 11.01.2024.

REFERENCES

1. Sukhovaya S.I. [Fiber concrete]. In: [Science SUSU: Proceedings of the 67th scientific conference, Chelyabinsk, April 14–17, 2015]. Chelyabinsk: South Ural State University (National Research University); 2023. p. 1636–1641. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30566037> (accessed 30th September 2023). (In Russ.).
2. Talalaeva V.F. The Fiber Reinforced Concrete Application for Irrigation and Drainage Facility Structures Repair. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2021; (3): 41–46. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46620260> (accessed 3rd June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Leonovich I.A., Leonovich A.A. Influence Resilience Characteristic of Composite Materials on Properties Fibre Concretes. *Belarusian-Russian University Bulletin*. 2017; (3): 148–155. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.53078/20778481_2007_3_148.
4. Stashevskaya N.A., Okolnikova G.E., Asikov D.M. Review and Analysis of Investigations of High-Strength Fibrobeton Applications for Altitude Construction. *System technologies*. 2017; (2): 51–55. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32336539> (accessed 30th September 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
5. Chernikov M.S., Rozhkov P.V., Dimitruk Yu.S. Features of Application of Fiber Concrete and Basaltfibrous in Modern Construction. In: [Achievements of university science 2020: Collection of articles of the XIV International Research Competition, Penza, May 20, 2020]. Penza: "Nauka i Prosveshhenie" (IP Gulyaev G.Yu.); 2020. p. 11–14. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42851418&pff=1> (accessed 30th September 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Vostretsov F.I. [The main “secret” of steel fiber concrete]. *Mir dorog*. 2012; (59). Available at: <https://wolwekplus.ru/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%84%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0/> (accessed 30th September 2023). (In Russ.).
7. Tatarinova R.E. [Steel fiber reinforced concrete: application features]. *Science, Education and Culture*. 2017; (9): 15–17. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30780649> (accessed 30th September 2023). (In Russ.).
8. Volkov I.V. [Fiber-reinforced concrete: technical and economic efficiency of application]. *Industrial and civil construction*. 2002; (9). Available at: <https://www.vekha.ru/fibrobeton-tehniko-ekonomicheskaya> (accessed 30th September 2023). (In Russ.).
9. Sapronov I.M., Churilov R.S., Bernardi S. O primenении sverkhvysokoprochnogo fibrobetona DUCTAL® v rossiyskom mostostroyenii [About the use of ultra-high-strength fiber-reinforced concrete DUCTAL® in Russian bridge construction]. *Dorozhnaya Derzhava*. 2020; (94): 78–85. (In Russ.).
10. Mohamad Moasas A., Amin M.N., Ahmad W., Khan K., Al-Hashem M.N., Qureshi H.J. et al. Bibliographic trends in mineral fiber-reinforced concrete: A scientometric analysis. *Frontiers in Materials*. 2022; 9. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1100276>.
11. Wang S., Zhu H., Liu F., Cheng S., Wang B., Yang L. Effects of steel fibers and concrete strength on flexural toughness of ultra-high performance concrete with coarse aggregate. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; 17: e01170. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01170>.
12. Yang S., Tang Z., Zhong W., Wang S., Zhang R., Yao X. Effects of steel fibers on the dynamic properties and failure process of ultra-high performance concrete. *Journal of Building Engineering*. 2022; 62: 105415. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105415>.
13. Abd-Al Ftah R.O., Tayeh B.A., Abdelsamie K., Hafez R.D.A. Assessment on structural and mechanical properties of reinforcement concrete beams prepared with luffa cylindrical fibre. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; 17: e01283. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01283>.
14. Al-Obaidi S., Davolio M., Monte F.L., Costanzi F., Luchini M., Bamonte P. et al. Structural validation of geothermal water basins constructed with durability enhanced ultra high performance fiber reinforced concrete (Ultra High Durability Concrete). *Case Studies in Construction Materials*. 2022; 17: e01202. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01202>.

15. Habel K., Denarié E., Brühwiler E. Structural Response of Elements Combining Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes and Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering*. 2006; 132(11): 1793–1800. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2006\)132:11\(1793\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:11(1793)).
16. Habel K., Charron J.-P., Denarié E., Brühwiler E. No AccessAutogenous deformations and viscoelasticity of UHPFRC in structures. Part I: experimental results. *Magazine of Concrete Research*. 2006; 58(3): 135–145. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1680/macr.2006.58.3.135>.
17. Habel K., Denarié E., Brühwiler E. Time dependent behavior of elements combining ultra-high performance fiber reinforced concretes (UHPFRC) and reinforced concrete. *Materials and Structures*. 2006; 39: 557–569. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11527-005-9045-0>.
18. Charron J.P., Denarié E., Brühwiler E. Transport properties of water and glycol in an ultra high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) under high tensile deformation. *Cement and Concrete Research*. 2008; 38(5): 689–698. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.12.006>.
19. Makita T., Brühwiler E. Tensile fatigue behaviour of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete combined with steel rebars (R-UHPFRC). *International Journal of Fatigue*. 2014; 59: 145–152. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2013.09.004>.

Information about the authors:

Aleksey A. Parfenov — Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: 000693@pnu.edu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8657-220X>

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=834396

Vladimir A. Yarmolinskiy — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, e-mail: appolonow.vlad@yandex.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=735081

Submitted: 18th October 2023. Revised: 28th December 2023. Published online: 11th January 2024.