

Научная статья  
 DOI: 10.15593/24111678/2023.01.06  
 УДК 691.32: 624.21

**Е.С. Бирюков, И.И. Овчинников**

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## **УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

Транспортным сооружениям, в частности мостам, в связи с прогрессирующим в текущее время развитием инфраструктуры на территории Российской Федерации уделяется большое внимание.

Конструкциям мостов, особенно железобетонным, приходится работать в крайне неблагоприятных условиях. В первую очередь влияют различного рода агрессивные воздействия окружающей среды (хлоридное воздействие, карбонизация, перепады температуры, воздействие микроорганизмов, противогололёдных реагентов и т.д.). Также не стоит забывать о статических и динамических нагрузках и воздействиях, оказывающих влияние на мостовые сооружения в процессе их эксплуатации, часто интенсифицирующих процесс коррозионного износа конструктивных элементов транспортных сооружений.

Для решения проблемы коррозии железобетонных сооружений было решено применить комплексный подход – использовать совместно базальтовую фибру и комплексную пластифицирующе-гидрофобизирующую добавку. Целью является повышение прочностных характеристик, а также показателей долговечности железобетонных конструкций, работающих в агрессивных условиях северной части Российской Федерации. Посредством эксперимента были определены эффекты применения базальтового дисперсно-армирующего компонента совместно с комплексной пластифицирующе-гидрофобизирующей добавкой Basf MasterCast 414.

В качестве основного объекта исследования выступают физико-механические показатели цементного камня с добавлением комплексной пластифицирующей и гидрофобизирующей добавки и базальтового дисперсно-армирующего компонента (базальтовой фибры).

К методам, применяемым для проведения эксперимента, относятся: аналитический метод с вариативностью выбора компонентов, сравнительный метод с соотношением показателей полученных данных, лабораторный эксперимент с применением специального оборудования в соответствии с нормативными документами.

Основными результатами исследования являются выводы о возможности комплексного использования базальтовой фибры и комплексной пластифицирующей и гидрофобизирующей добавки, показатели прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе, а также рассчитываемый коэффициент трещиностойкости образцов кубиков и балок.

**Ключевые слова:** физико-механические свойства, бетон, пластифицирующе-гидрофобизирующая добавка, базальтовая фибра, агрессивное воздействие, дисперсно-армирующий компонент, цемент.

**E.S. Biryukov, I.I. Ovchinnikov**

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

## **IMPROVING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT STONE**

Much attention is paid to transport facilities, in particular bridges, in connection with the ongoing development of infrastructure on the territory of the Russian Federation.

Bridge structures, especially reinforced concrete ones, have to work in extremely unfavorable conditions. First of all, various kinds of aggressive environmental influences (chloride exposure, carbonization, temperature changes, exposure to microorganisms, anti-icing agents, etc.) influence. Also, do not forget about static and dynamic loads and impacts that have an impact on bridge structures during their operation, often intensifying the process of corrosive wear of structural elements of transport structures.

To solve the problem of corrosion of reinforced concrete structures, it was decided to apply an integrated approach – to use together basalt fiber and a complex plasticizing-water-repellent additive. The goal is to improve the strength characteristics, as well as the durability indicators of reinforced concrete structures operating in the aggressive conditions of the northern part of the Russian Federation. Through the experiment, the effects of using a basalt dispersed-reinforcing component together with a complex plasticizing-water-repellent additive Basf MasterCast 414 were determined.

The main object of study is the physical and mechanical properties of cement stone with the addition of a complex plasticizing and water-repellent additive and a basalt dispersed-reinforcing component (basalt fiber).

The methods used to conduct the experiment include: an analytical method with a variability in the choice of components, a comparative method with a ratio of indicators of the data obtained, a laboratory experiment using special equipment in accordance with regulatory documents.

The main results of the study are the conclusions about the possibility of the integrated use of basalt fiber and a complex plasticizing and water-repellent additive, the indicators of compressive strength and tensile strength in bending, as well as the calculated coefficient of crack resistance of samples of cubes and beams.

**Keywords:** physical and mechanical properties, concrete, plasticizing-water-repellent additive, basalt fiber, aggressive action, dispersed-reinforcing component, cement.

## Введение

Одной из ключевых проблем мостостроения в современных условиях является повышение долговечности мостовых сооружений и их конструктивных элементов.

Опыт применения железобетона в строительстве мостов показывает, что данный материал является далеко не самым универсальным. Помимо силовых нагрузок, на железобетон воздействует агрессивная эксплуатационная среда (примером таких воздействий служат: влияние агрессивной атмосферы, грунтов, постоянного электрического тока). Данные воздействия со временем могут привести к заметному снижению прочности и преждевременному разрушению конструкций [1].

Так как бетон является многокомпонентным композитным материалом, при попытке изменить один из его параметров автоматически меняются и другие. Для написания данной статьи был проведен эксперимент, целью которого было значительно повысить все характеристики структуры материала.

Для повышения прочностных и противокоррозионных характеристик бетона было решено применить комплексный подход [2]:

1. Улучшить свойства бетонной смеси за счёт добавления в неё комплексной пластифицирующей и гидрофобизирующей добавки [3]. Пластифицирующий компонент данной добавки применяется для поддержания перехода от управления текучестью к управлению пластичностью смеси, выполняет роль компенсатора водоредуцирующего действия. Гидрофобизирующий компонент в контактных промежутках повышает пластичность при недостатке воды. Применение данной добавки в первую очередь способствует снижению водоцементного отношения [3].

2. Увеличить трещиностойкость и прочность путем добавления фибры. Были рассмотрены различные виды фибр, однако для бетона, работающего в агрессивных условиях, необходима именно та, которая показывает хорошие показатели при работе в данных условиях. В результате чего была выбрана базальтовая фибра, сочетающая в себе как высокие прочностные характеристики, так и стойкость к агрессивным воздействиям [4].

Использование в комплексе пластифицирующей и гидрофобизирующей добавки и базальтовой фибры позволяет добиться повышения прочностных характеристик и повысить коррозионную стойкость, что приводит к повышению долговечности конструкций транспортных сооружений. Также за счет повышения пластичности бетонной смеси при повышении водоцементного соотношения данную смесь можно использовать при формировании безопалубочными методами.

### 1. Первый этап эксперимента

Изучено влияние на физико-механические свойства цементного [5] камня комплексной пластифицирующе-гидрофобизирующей добавки Basf MasterCast 414.

Гидрофобизирующие добавки работают по принципу осаждения мельчайших частиц в порах и капиллярах цемента при контакте с продуктами гидратации, что способствует формированию более плотной и однородной структуры.

Пластифицирующие добавки увеличивают способность воды растекаться тонким слоем, чем способствуют смачиванию водой частиц в смеси.

Совместная работа комплексной пластифицирующей и гидрофобизирующей добавки осуществляется за счёт сдержанной конкуренции между молекулами компонентов, которые осуществляют адсорбцию на частицы цементного камня, что, в свою очередь, обусловливается практически полным отсутствием жидкой фазы и различной адсорбционной способностью молекул.

Различная адсорбционная способность к цементным минералам у пластифицирующей добавки на примере лингносульфанатов кальция выглядит следующим образом:  $C3A > C4AF > C3S > C2S$ .

У гидрофобизаторов же следующим образом:  $C4AF > C2S > C3S$ .

В сформированной смеси молекулы пластификатора придают ей пластичные свойства, а усиление когезии, пластичности, а также скользящих свойств обеспечивает гидрофобизатор.

Используемые материалы:

- вяжущий компонент – бездобавочный портландцемент, ЦЕМ I 42,5Н, завода SLK cement;

- базальтовый дисперсно-армирующий компонент – волокна толщиной 25 мкм и длиной  $6 \div 8$  мм, прочность на растяжение – 2400 МПа, плотность – 80 кг/м<sup>3</sup>;

- добавка комплексная пластифицирующе-гидрофобизирующая Basf MasterCast 414.

Первый этап исследования включал в себя определение оптимальной дозировки Basf MasterCast 414.

Для проведения эксперимента использовались:

- цементно-песчаный раствор – 1:3 (В/Ц = 0,36);

- добавка Basf MasterCast 414 в соотношениях: 0,0,4;0,5;0,6 %.

Эксперимент по определению пластифицирующей способности добавки проводился по расплыву конуса, по методике определения нормальной консистенции цементного раствора.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Вследствие эксперимента было выявлено, что для следующего этапа эксперимента необходимо использовать дозировку добавки 0,6 %, так как она оказывает наибольший пластифицирующий эффект, расплыв конуса при данной дозировке составил 105 мм (рис. 1).

Таблица 1

Сравнение пластифицирующего эффекта добавки Basf MasterCast414 при различных дозировках

№ п/п	Дозировка добавки Basf MasterCast 414, %	Диаметр расплыва конуса, мм
1	0	95
2	0,4	103
3	0,5	104
4	0,6	105

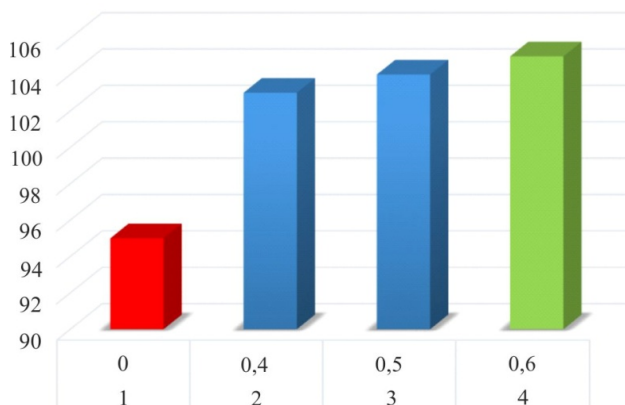


Рис. 1. Изменение пластифицирующего эффекта добавки при изменении дозировки

## 2. Второй этап эксперимента

Для данного эксперимента были рассмотрены различные дисперсно-армирующие компоненты (табл. 2).

При введении дисперсно-армирующего компонента отмечается не просто повышение прочности цементного камня, а повышение прочности цементного камня в более ранние сроки, что обуславливается ограничением перемещения составляющих, а также повышением внутреннего трения. Такой процесс носит исключительно механический характер. Также отмечено, что и дальнейшее повышение прочности имеет более высокий темп за счет углубления процессов гидратации при присутствии волокон.

Таблица 2

Сравнение дисперсно-армирующих компонентов

Вид фибра	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на растяжение, МПа · 10 <sup>3</sup>	Модуль Юнга, МПа · 10 <sup>3</sup>	Деформация при разрыве, %
Стальные	7,8	0,80–3,15	200	3–4
Полипропиленовое	0,9	0,40–0,77	3,5–8	10–25
Базальтовое	2,6	1,6–3,6	80–110	1,4–3,6
Стеклоанное	2,6	1,05–3,85	70–80	1,5–3,5

Стальные дисперсно-армирующие компоненты относят к одним из наиболее часто применяемых и эффективных, так как модуль упругости компонента в разы больше, чем у бетона. Однако при работе с данным компонентом возникают сложности при формовании в виде «ежей».

Полимерные волокна относятся к органическим материалам, которые способствуют повышению ударной прочности и трещиностойкости при пластической усадке. Использование данного компонента ненамного увеличивает показатели растяжения при изгибе, а также приводит к повышению водоцементного отношения в смеси, что чревато снижением прочности.

Базальтовый дисперсно-армирующий компонент имеет высокую химическую стойкость, а также совместно с микрокремнеземом способен снизить содержание в системе Ca (ОН)<sub>2</sub>.

Стеклоанное волокна, относящиеся к группе силикатных стекол, достаточно часто применяются благодаря высокому модулю деформации, однако ключевым их недостатком является низкая устойчивость к действию щелочной среды.

Для работы в агрессивных условиях были рассмотрены: базальтовая фибра, полипропиленовая фибра и стеклоанное волокно. Но в результате детального изучения данных вариантов сделан выбор в пользу базальтовой фибры, так как она имеет более высокий модуль упругости, более высокую устойчивость к действию щелочной среды, а также за счет активного хемосорбционного взаимодействия с системой цементной смеси, в результате которого образуются низкоосновные гидросиликаты кальция (типа CSH(B)), упрочняет структуру цементного камня [6] (рис. 2, 3).

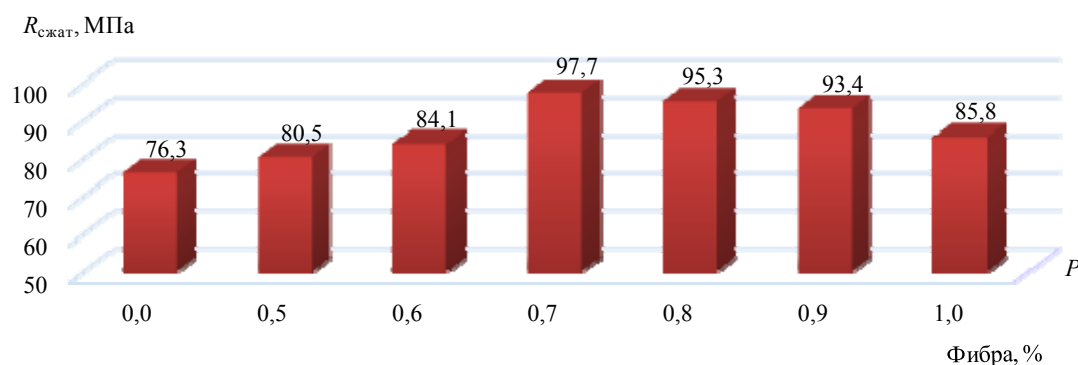


Рис. 2. Зависимость изменения прочности на сжатие образцов от дозировки базальтовой фибры

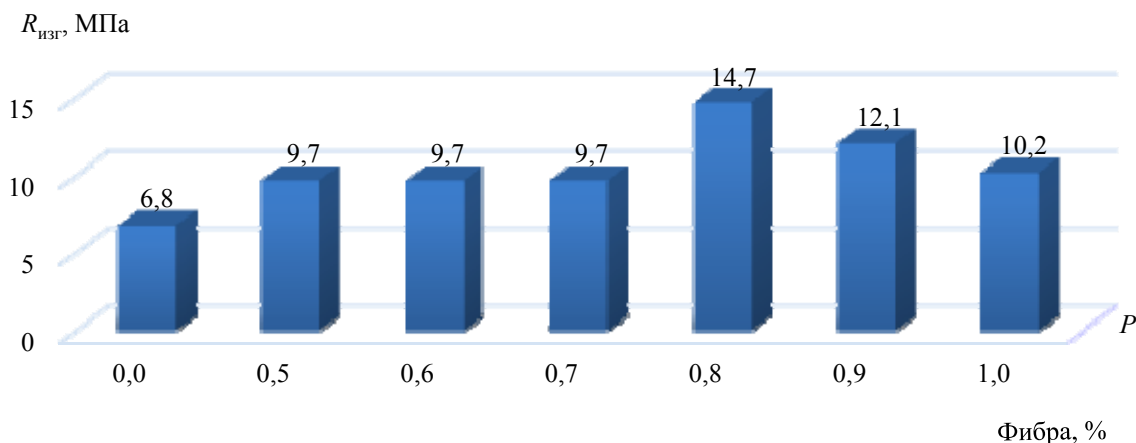


Рис. 3. Зависимость изменения прочности на изгиб образцов от дозировки базальтовой фибры

Химический состав базальтового волокна представлен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав базальтового дисперсно-армирующего волокна

Процент содержания оксидов, %								Суммарное содержание остальных оксидов
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	
48,15	16,72	12,66	9,61	4,36	3,84	1,81	1,60	1,25

Второй этап исследования позволил выявить оптимальное соотношение базальтовой фибры при дозировке добавки Basf MasterCast 414 – 0,6 %.

Для проведения эксперимента были приготовлены образцы с варьированием дозировки фибры 0 %, 0,5 – 1 % от массы цемента, при этом диаметр расплава конуса для всех образцов составлял – 110 мм:

- 1) балки – 2×2×7 см;
- 2) кубы – 2×2×2 см.

Основные качественные показатели, принятые для данного эксперимента (табл. 5):

- водоцементное отношение;
- водопоглощение по массе;
- прочность на сжатие;
- прочность на растяжение при изгибе;
- коэффициент трещиностойкости.

В результате изменения водоцементного отношения при различной дозировке дисперсно-армирующей добавки для проверки качества получившихся образцов был проведен эксперимент по определению поровой структуры цементного камня.

Для количественного определения поровой структуры цементного камня было решено определить водопоглощение по массе.

Для проведения эксперимента использовались:

- 1) образцы – кубы 2×2×2 см;
- 2) емкости с водой для образцов;
- 3) сушильный шкаф;
- 4) весы электронные.

Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Таблица 4

## Результаты определения водопоглощения образцов

№ состава	Дозировка базальтовой фибры	В/Ц	Водопоглощение по массе, %
1	-	0,223	14,3
2	0,5	0,228	13,8
3	0,6	0,233	13,7
4	0,7	0,239	13,6
5	0,8	0,244	13,0
6	0,9	0,247	13,1
7	1,0	0,255	13,4

Таблица 5

## Механические характеристики образцов с изменяемой дозировкой базальтового дисперсно-армирующего компонента

№ состава	Дозировка базальтовой фибры, %	Водоцементное отношение	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Коэффициент трещиностойкости
1	0,00	0,223	76,30	6,80	0,09
2	0,50	0,228	80,50	9,70	0,12
3	0,60	0,233	84,10	9,70	0,11
4	0,70	0,239	97,70	9,70	0,10
5	0,80	0,244	95,30	14,70	0,15
6	0,90	0,247	93,40	12,10	0,13
7	1,00	0,255	85,80	10,20	0,12

**Заключение**

По полученным результатам можно сделать вывод, что использование комплексной пластифицирующей и гидрофобизирующей добавки за счет снижения водоцементного соотношения способно повысить прочностные характеристики на сжатие цементных образцов, а также улучшить коррозионную стойкость за счёт уменьшения объема пор и водопоглощения каменной структуры. При использовании базальтового дисперсно-армирующего компонента, несмотря на незначительное увеличение водоцементного соотношения образцов (что было компенсировано добавкой), было выявлено увеличение прочности на растяжение при изгибе и трещиностойкости образцов [7–15].

В данном эксперименте наиболее высокие показатели по прочности на сжатие и трещиностойкости были выявлены у состава № 5. Прочность на растяжение при изгибе составила – 14,7 МПа, на сжатие – 95,3 МПа, коэффициент трещиностойкости – 0,15, водопоглощение – 13 %. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что совместное применение комплексной пластифицирующе-гидрофобизирующей добавки и базальтового дисперсно-армирующего компонента в целях увеличения прочностных и деформационных характеристик цементного камня является весьма перспективным направлением.

При проецировании данного метода на бетонную смесь представленный выше эксперимент показывает, что, несмотря на удорожание производства, подобного рода смеси из-за того, что итоговые показатели смеси зависят от каждого входящего в него компонента при улучшении её структуры комплексной добавкой и дисперсно-армирующим компонентом, повышают не только прочностные характеристики, но и такие характеристики, как водонепроницаемость и морозостойкость.

За счет повышения коррозионной стойкости и прочности бетонную смесь с такими компонентами целесообразно использовать в мостовых конструкциях, работающих на изгиб и наиболее подверженных действию коррозии, например, таких как балки пролетного строения.

### Список литературы

1. Дубинчик О.И. Влияние коррозии бетона и арматуры на долговечность железобетонных пролетных строений мостов [Электронный ресурс] // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2005. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-korrozii-betona-i-armatury-na-dolgovechnost-zhelezobetonnyh-proletnyh-stroeniy-mostov> (дата обращения: 20.11.2022).
2. Бирюков Е.С. Абышев А.С. Приёмы повышения долговечности дорожных и мостовых конструкций // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. – Т. 2 / отв. ред. Н.В. Гумерова. – Тюмень: ТИУ, 2021 – 275 с.
3. Влияние модифицирующей добавки с гидрофобизирующим эффектом на повышение эксплуатационных характеристик вибропрессованных изделий [Электронный ресурс] / Л.А. Сулейманова, М.В. Малюкова, А.С. Слепухин, Е.А. Крушельницкая, А.Д. Толстой // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2019. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-modifitsiruyushey-dobavki-s-gidrofobiziruyuschim-effektom-na-povyshenie-ekspluatatsionnyh-harakteristik> (дата обращения: 17.11.2022).
4. Kobayashi A., Hidekuma Y., Tateishi A. Strengthening of steel and concrete structures using CFRP in Japan // IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21–22, 2015, Dhaka, Bangladesh. – 2015. – P. 597–606.
5. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
6. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций / И.Г. Овчинников, Ш.Н. Валиев, И.И. Овчинников, В.С. Зиновьев, А.Д. Умиров // Вестник евразийской науки. – 2012. – № 4 (13).
7. Влияние базальтовой фибры на прочность бетона [Электронный ресурс] / Г.Э. Окольников, Н.В. Новиков, А.Ю. Старчевская, Г.С. Пронин // Системные технологии. – 2019. – № 2 (31). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bazaltovoy-fibry-na-prochnost-betona> (дата обращения: 15.11.2022).
8. Соловьёв В.Г., Шувалова Е.А. Эффективность применения различных видов фибры в бетонах [Электронный ресурс] // МНИЖ. – 2017. – № 9-3 (63). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-razlichnyh-vidov-fibry-v-betonah> (дата обращения: 15.11.2022).
9. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве [Электронный ресурс] / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Б.Б. Мандрик-Котов, Е.С. Михалдыкин // Наукоедение: интернет-журнал. – 2016. – Т. 8, № 6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
10. Device and method for improved reinforcing element with continuous center core member with long fiber reinforced thermoplastic wrapping WO 2009/032980; опубл. 12.05.2009.
11. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites / N. Zhuang, H. Dong, D. Chen, Y. Ma // Hindawi Advances in Materials Science and Engineering. – 2018. – 9 p.
12. Об утверждении Изменения № 1 к СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования»: Приказ Минстроя России от 14.12.2020 N 781/пр.
13. Mechanical properties of self-compacted fiber concrete mixes / M.M. Kamal, M.A. Safan, Z.A. Etman, B.M. Kasem // HBRC Journal. – 2014. – Vol. 10, iss. 1. – P. 25–34.
14. Василевская Н.Г., Енджиевская И.Г., Калугин И.Г. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй [Электронный ресурс] // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsementnye-kompozitsii-dispersno-armirovannye-bazaltovoy-fibroy> (дата обращения: 12.02.2023).

15. Королев Е.В. Особенности структуры цементного камня и бетона [Электронный ресурс] // Инновации и инвестиции. – 2017. – № 8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-struktury-tsementnogo-kamnya-i-betona> (дата обращения: 12.02.2023).

#### References

1. Dubinchik O.I. Vliianie korrozii betona i armatury na dolgovechnost zhelezobetonnykh proletrykh stroenii mostov [Influence of corrosion of concrete and reinforcement on the durability of reinforced concrete superstructures of bridges]. *Science and progress of transport. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport, Dnepropetrovsk*, 2005, no. 6, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-korrozii-betona-i-armatury-na-dolgovechnost-zhelezobetonnykh-proletrykh-stroeniy-mostov> (accessed: 20 November 2022).
2. Biriukov E.S. Abyshev A.S. Priemy povysheniia dolgovechnosti dorozhnykh i mostovykh konstruktssii [Methods for increasing the durability of concrete and the durability of reinforced concrete superstructures of bridges], *Novye tehnologii – neftegazovomu regionu: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh*, 2021, issue 2, vol. 2, 275 p.
3. Suleimanova L.A., Maliukova M.V., Slepukhin A.S., Krushelnitskaia E.A., Tolstoi A.D. Vliianie modifitsiruiushchei dobavki s gidrofobiziruiushchim efektom na povyshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik vibropressovannykh izdelii [Influence of a modifying additive with a hydrophobizing effect on improving the performance characteristics of vibro-perforated products], *Bulletin of BGTU name of V. G. Shukhova*, 2019, no. 9, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-modifitsiruyushchei-dobavki-s-gidrofobiziruyushchim-efektom-na-povyshenie-ekspluatatsionnykh-kharakteristik> (accessed: 17 November 2022).
4. Kobayashi A., Hidekuma Y., Tateishi A. Strengthening of steel and concrete structures using CFRP in Japan. IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21–22, 2015, Dhaka, Bangladesh, pp. 597–606.
5. Bazhenov Ju.M., Dem'janova B.C., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high-quality concretes]. Moscow, Izdatel'svo Associacii stroitel'nykh vuzov, 2006. 368 p.
6. Ovchinnikov I.G., Valiev S.N., Ovchinnikov I.I., Zinovev V.S., Umirov A.D. Voprosy usileniia zhelezobetonnykh konstruktssii kompozitami: 1 Eksperimentalnye issledovaniia osobennostei usileniia kompozitami izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruktssii. [Issues of Reinforcement of Reinforced Concrete Structures with Composites: Experimental Studies of the Features of Reinforcement of Bent Reinforced Concrete Structures with Composites], *Vestnik evraziiskoi nauki*, 2012, no. 4 (13).
7. Okolnikova G.E., Novikov N.V., Starchevskaya A.Yu., Pronin G.S. Vliianie bazal'tovoy fibry na prochnost' betona [Influence of basalt fiber on the strength of concrete]. *System Technologies*, 2019, no. 2 (31), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bazaltovoy-fibry-na-prochnost-betona> (accessed 15 November 2022).
8. Solovjov V.G., Shuvalova E.A. Ehhfektivnost primeneniia razlichnykh vidov fibry v betonakh [The effectiveness of the use of various types of fibers in concrete]. *MNIZh*, 2017, no. 9-3 (63), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-razlichnykh-vidov-fibr-v-betonah> (accessed 15 November 2022).
9. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Mandrik-Kotov B.B., Mikhaldykin E.S. Problemy primeneniia polimernykh kompozitsionnykh materialov v transportnom stroitel'stve [Problems of using polymer composite materials in transport construction]. *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»*, 2016, vol. 8, no. 6, available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf>
10. Device and method for improved reinforcing element with continuous center core member with long fiber reinforced thermoplastic wrapping WO 2009/032980; Published: 12 May 2009.
11. Zhuang N., Dong H., Chen D., Ma Y. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites. *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering*, Published 2018, 9 pages.
12. Order of the Ministry of Construction of Russian Federation dated December 14, 2020 No. 781/pr "On approval of Amendment N 1 to SP 164.1325800.2014 "Strengthening reinforced concrete structures with composite materials. Design Rules".
13. Kamal M.M., Safan M.A., Etman Z.A., Kasem B.M. Mechanical properties of self-compacted fiber concrete mixes. *HBRC Journal*, 2014, Vol. 10, Issue 1. 34 p.
14. Vasilovskaya N. G., Engievskaya I. G., Kalugin I.G. Cementnie kompozicii dispersno-armirovannye basaltovoy fibroy [Cement compositions, dispersion-reinforced with basalt fiber]. *Bulletin of TGASU*, 2011, no. 3, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsementnye-kompozitsii-dispersno-armirovannye-bazaltovoy-fibroy> (accessed 21 November 2022).
15. Korolev E.V. Osobennosti structure kamnya i betona [Features of the structure of cement stone and concrete]. *Innovations and investments*, 2017, no. 8, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-struktury-tsementnogo-kamnya-i-betona> (accessed: 21 November 2022).

#### Об авторах

**Бирюков Евгений Сергеевич** (Тюмень, Россия) – магистр базовой кафедры АО «Мостострой-11» Тюменского индустриального университета (Россия, 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2а, e-mail: [birukov7255@gmail.com](mailto:birukov7255@gmail.com)).



**Овчинников Илья Игоревич** (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры АО «Мостострой-11» Тюменского индустриального университета (Россия, 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2а), доцент кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) (Россия, 410054, г. Саратов, Политехническая ул., 77, e-mail: bridgeart@mail.ru).

#### About the authors

**Evgeny S. Biryukov** (Tyumen, Russian Federation) – student master of the basic department of Mostostroy-11 JSC, Tyumen Industrial University (2a, Lunacharskogo st., Tyumen, 625001, Russian Federation, e-mail: biryukov7255@gmail.com).

**Илья И. Овчинников** (Saratov, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Base Department of JSC "Mostostroy-11" of the Tyumen Industrial University (2a, Lunacharskogo st., Tyumen, 625001, Russian Federation), Associate Professor of the Department of Transport Construction of Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A. (SGTU named after Yu.A. Gagarin) (77, Politekhnicheskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: bridgeart@mail.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Вклад авторов равноценен.

Поступила: 25.11.2022

Одобрена: 18.12.2022

Принята к публикации: 01.03.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Бирюков, Е.С. Улучшение показателей физико-механических свойств цементного камня / Е.С. Бирюков, И.И. Овчинников // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 43–51. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.06

Please cite this article in English as: Biryukov E.S., Ovchinnikov I.I. Improving the physical and mechanical properties of cement stone. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 1, pp. 43-51. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.06