

А.В. КРУТСКИХ¹, В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ¹, К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ¹,
Т.Б. НОВИЧЕНКОВА¹

¹ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ С ДИСКРЕТНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Аннотация. Вопросы, связанные с повышением качества эксплуатационных свойств железобетонных и бетонных конструкций путем введения дискретного армирования – фиброармирования являются актуальными задачами строительного материаловедения. Получение высокотехнологичных бетонов с повышенными огнезащитными свойствами путем введения оптимального сочетания компонентов фибрового армирования являлось целью исследования. Проанализировано изменение прочности бетона на сжатие после огневых испытаний в зависимости от процентного содержания полипропиленовой фибры. При расчете контрольных составов фибробетонов была использована программа ТСП-27-25, разработанная в Тверском государственном техническом университете позволяющая моделировать различные составы бетонов. Установлено, что добавление фибры позволяет повысить огнестойкость бетонов при оптимальном её количестве. Дана оценка прочностных характеристик исследуемых образцов после огневого воздействия. Исследовано влияние содержания полипропиленовой фибры на характер разрушений бетонов.

Ключевые слова: бетон, модифицирование, дискретное армирование, фибра, огнестойкость.

A.V. KRUTSKIKH¹, V.B. PETROPAVLOVSKAYA¹, K.S. PETROPAVLOVSKIY¹,
T.B. NOVICHENKOVA¹

¹Tver State Technical University, Tver, Russia

MODIFIED CEMENT CONCRETE WITH DISCRETE REINFORCEMENT

Abstract. Issues related to improving the quality of the operational properties of reinforced concrete and concrete structures by introducing discrete reinforcement - fiber reinforcement are topical tasks of building materials science. The aim of the study was to obtain high-tech concretes with increased flame retardant properties by introducing an optimal combination of fiber reinforcement components. The change in the compressive strength of concrete after fire tests, depending on the percentage of polypropylene fiber, is analyzed. The TSP-27-25 program, developed at the Tver State Technical University, which allows modeling various concrete compositions, was used in the calculation of the control compositions of fiber-reinforced concrete. It has been established that the addition of fiber makes it possible to increase the fire resistance of concrete with an optimal amount of it. An assessment of the strength characteristics of the studied samples after fire exposure is given. The influence of polypropylene fiber content on the nature of concrete destruction is investigated.

Keywords: concrete, modification, discrete reinforcement, fiber, fire resistance.

Введение

Фибробетон представляет собой композиционный материал, включающий дополнительно распределенную в объеме фибровую арматуру [1].

© Крутских А.В., Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б., 2023

Фиброармирование получило в настоящее время широкое распространение в производстве строительных изделий благодаря комплексному улучшению свойств бетонных и железобетонных конструкций. Чаще всего фиброармирование применяется при комбинированном армировании вместе с традиционным стержневым армированием [1].

Переход к получению конструкций с «чистым» дисперсным армированием является одной из важнейших задач строительной отрасли. Дисперсное фибровое армирование позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки бетона - низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения [1].

Фибра нашла свое широкое применение и в качестве армирующего элемента при различных способах усиления [2], прежде всего – ж/б конструкций, а также в ремонтных составах для аварийных случаев. Фибробетон имеет в несколько раз более высокую прочность при растяжении и на срез, ударную и усталостную прочность, трещиностойкость и вязкость разрушения, морозостойкость, водонепроницаемость, сопротивление кавитации, жаропрочность и пожаростойкость. Вышеперечисленные показатели обеспечивают высокую технико-экономическую эффективность применения фибробетона в строительных конструкциях и их ремонте.

В отечественной науке вопросам фибробетона посвящены труды Ю.В. Пухаренко, В.П. Некрасова, И.В. Волкова и др. [3–5], огнестойкости строительных конструкций: методам расчета: А.И. Яковлева, В.Г. Олимпиева, А.А. Гвоздева, В.А. Пчелинцева, М.Я. Ройтман, В.М. Ройтмана и др. [4–11]. Исследования фибробетонов проводили многие зарубежные ученые: Xu M., Song S., B. Gordon, G.B. Batson, M. Jeffrey, I.A. Mandel, I.L. Carson, W.F. Chen и др. [12–17].

Современный накопленный опыт эксплуатации зданий и сооружений показывает, что не на последний план должно выходить такое свойство как огнестойкость конструкции. С помощью различных добавок и оптимального процента применения фибры в бетонах мы можем улучшить этот показатель.

Установлены области рационального применения фибробетонов:

➤ монолитные конструкции и сооружения - автомобильные дороги, перекладка покрытия, промышленные полы, выравнивающие полы, мостовые настилы, ирригационные каналы, взрыво- и взломоустойчивые сооружения, водоотбойные дамбы, огнезащитная штукатурка, емкости для воды и других жидкостей, обделки тоннелей, пространственные покрытия и сооружения, оборонные сооружения, ремонт монолитных конструкций полов, дорог и др.;

➤ сборные элементы и конструкции - железнодорожные шпалы, трубопроводы, склепы, балки, ступени, стеновые панели, кровельные панели и черепица, модули плавающих доков, морские сооружения, взрыво- и взломоустойчивые конструкции, плиты аэродромных, дорожных, тротуарных покрытий и креплений каналов, карнизные элементы мостов, сваи, шпунт, обогревательные элементы, элементы пространственных покрытий и сооружений, уличная фурнитура.

Практически все вышеуказанные конструкции из фибробетона широко применяются за рубежом, имеется положительный опыт их эффективного использования и в отечественном строительстве. Конструкции могут изготавливаться как с фибровым, так и с комбинированным армированием, когда имеется фибра и стержневая или проволочная арматура.

Повысить эксплуатационные качества бетона с дисперсным армированием можно увеличением отношения пределов прочности при растяжении и сжатии (R_{bt}/R_b).

Учитывая относительно высокую стоимость и дефицитность волокон, этот показатель решит вопрос о конкурентоспособности фибробетонов по сравнению с другими видами армированных бетонов. Имеются мнения, что для этого потребуется достижение величины $(R_{bt}/R_b) = 0,5 - 0,6$. Практически такое соотношение прочностей возможно только при дисперсном фибровом армировании бетона-матрицы [16].

Интегральные свойства фибробетона, как и любого композита, обуславливаются свойствами его компонентов (фибры и бетона-матрицы), а также наличием и степенью их совместной работы. В фибробетоне такая работа обеспечивается за счет сцепления и анкеровки фибры в бетоне.

За последние годы разработано множество новых перспективных технологий получения высокопрочных удобоукладываемых бетонов [16, 17]. Одна из них основана на применении комплексного модификатора бетона в виде порошка на органоминеральной основе, включающей микрокремнезем, суперпластификатор и регулятор твердения бетона [16, 17].

Экспериментально-теоретические исследования показали, что модифицированный высокопрочный бетон - наиболее приемлемая матрица для фибробетона с современной фиброй различных видов [16].

Для получения фибробетона с высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью необходимо выполнить следующее:

- достигнуть технологической совместимости фибры и бетона - матрицы (высокая однородность распределения фибры по объему композита; иметь необходимое количество растворной части бетона для размещения в ней фибры и обеспечения ее анкеровки, а также достаточную удобоукладываемость фибробетонной смеси из условий технологии производства изделий, конструкций или возведения сооружений);
- обеспечить коррозионную стойкость фибры в среде бетона-матрицы и требуемую долговечность получаемого фибробетона;
- создать максимальное заанкеривание фибры в бетоне-матрице с целью наиболее эффективного использования ее прочностных свойств;
- выбрать оптимальное сочетание агрегатного состояния (вида), прочности и деформативности фибры и бетона-матрицы для получения наиболее эффективного по эксплуатационным свойствам композита (фибробетона) на их основе.

В настоящее время имеются практически все возможности для создания высокопрочных фибробетонов нового поколения на основе отечественных материалов. Наличие современных эффективных видов фибры позволяет упростить ее введение и перемешивание в бетонной смеси, что, в свою очередь, дает возможность в большей степени использовать технологическое оборудование, применяемое для обычных бетонов. При этом могут быть получены и использованы фибробетонные смеси высокой подвижности [16–19].

В отношении пожаробезопасности бетон относится к безопасным, огнестойким материалам, но это не означает, что высокие температуры никак на него не влияют. Если воздействие пламени не продолжительно, вследствие низкой теплопроводности бетон не успевает прогреться настолько значительно, чтобы это привело к его повреждению, но при более-менее длительном воздействии высоких температур происходит его повреждение. Так, всего при +250 °С бетон теряет 25 % своей прочности, и эта прочность не восстановится уже никогда, а при 500-550 °С обычный бетон полностью разрушается [5–7].

Ещё губительнее резкое охлаждение и увлажнение нагретого бетона, например, при ликвидации возгораний. Возникают трещины, обнажается арматура, появляются не устранимые, значительные разрушения.

При высоких температурах разрушается структура цементного камня, это связано с разложением одного из основных компонентов цемента, гидрата окиси Са. Температура выше 550 °С повреждает даже традиционные заполнители, кварц превращается в тридомит, имеющий больший объем, что приводит к трещинам между элементами заполнителя и цементным камнем.

Для определения предела огнестойкости железобетонных конструкций необходимо знать распределение температур по бетону поперечного сечения элемента от воздействия стандартного пожара. Согласно нормативным положениям температура стандартного пожара изменяется в зависимости от времени огневого воздействия и выражается уравнением:

$$t = 345 \lg(8\tau + 1) + t_e \quad (1)$$

где τ - время нагрева, мин; t_e - начальная температура, °С.

Решение задачи нестационарной теплопроводности сводится к определению температуры бетона в любой точке поперечного сечения элемента в заданный момент времени. Функциональная зависимость температуры от времени описывается дифференциальным уравнением теплопроводности Фурье при нелинейных граничных условиях и сложном процессе тепло- и массопереноса.

Алгоритм расчета представляет собой систему уравнений для определения температуры в каждом узле накладываемой на сечение координатной сетки. Координатная сетка накладывается так, чтобы ее узлы располагались не только в толщине сечения, но и по его периметру, а также в центре стержней для конструкций с гибкой арматурой, и по длине полок и стенки в середине их толщины для конструкций с жесткой арматурой. Шаг сетки рекомендуется задавать в пределах 0,01 - 0,03 м, но обязательно больше максимального диаметра рабочей арматуры.

Модели и методы

В работе в качестве исходных материалов в составе бетона применялись цемент ПЦ 500-Д0, производства ООО «Евроцемент групп», а также фибра полипропиленовая ВСМ-II-12, производства ООО «Си-Айрлайн» (рисунок 1).

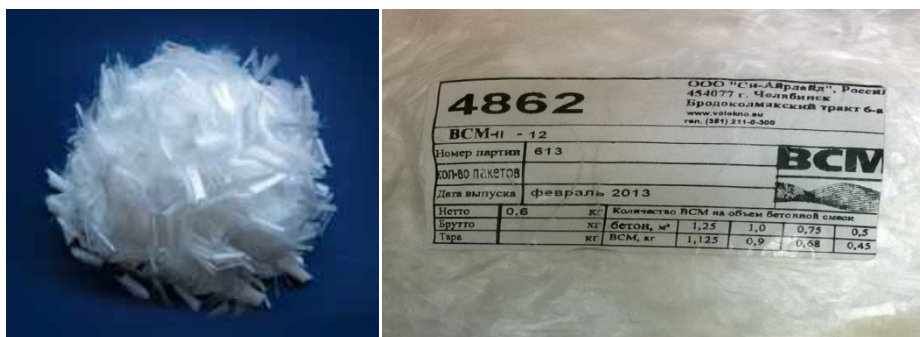


Рисунок 1– Фибра ВСМ-II-12 применяемая в ходе эксперимента

Состав тяжелого бетона (таблица 1) получен расчетным методом с помощью компьютерного моделирования в программе ТСП-27-25, разработанной в Тверском государственном техническом университете.

Подготовленные компоненты бетонной смеси, взвешенные с точностью до 100 г, загружались последовательно в емкость для перемешивания. Смешивание компонентов производилось вручную, по достижению однородности смеси она укладывалась в предварительно смазанные машинным маслом формы размером 100×100×100 мм. Стандартные формы-кубы заполнялись на 1/3 объема формы, затем после штыкования форма заполнялась на оставшиеся 2/3 объема, с последующим штыкованием и заполнялась полностью, после чего поверхность бетона заглаживалась вручную. Твердение образцов осуществлялось в нормальных условиях в течение 28 суток.

В процессе огневых испытаний и калибровки в печи создавался стандартный температурный режим, характеризуемый вышеприведенной зависимостью (1).

В процессе огневых испытаний регистрировались:

- время наступления предельных состояний и их вид;
- температуру в печи, на необогреваемой поверхности конструкции, а также в других предварительно установленных местах;
- избыточное давление в печи при испытании конструкций, огнестойкость которых определяется по предельным состояниям;
- деформации несущих конструкций;
- время появления пламени на необогреваемой поверхности образца;
- время появления и характер трещин, отверстий, отслоений, а также другие явления (например нарушение условий опирания, появление дыма).

Испытание продолжалось до наступления одного или последовательно всех предельных состояний, нормируемых для данной конструкции.

Таблица 1 – Составы применяемых бетонных смесей

Показатели	Контрольный состав	Фибробетон 1	Фибробетон 2	Фибробетон 3
1	2	3	4	5
Класс бетона	25	25	25	25
Фибра	отсутствует	ВСМ-II-12	ВСМ-II-12	ВСМ-II-12
Расход материалов, кг/м ³				
Фибра	0	1	3,5	6
Цемент М500	314	314	314	314
Щебень фр. 5-20мм	1154	1154	1154	1154
Песок	718	718	718	718
В/Ц	0,619	0,619	0,619	0,619
Вода	177	177	177	177
Маркировка образцов	1-12	37-48	25-36	13-23

После полного охлаждения образцы были подвергнуты испытаниям прочности на сжатие на гидравлическом прессе МС–500 по стандартной методике.

Результаты исследования и их анализ

Результаты испытаний (таблица 2, рисунок 2) показывают, что:

- при отсутствии воздействия огня фибра повышает прочность бетона, причем наибольшее значение прочности образцов соответствует рекомендуемому расходу фибры в 1 кг/м³ (прочность возросла на 35 %);
- при 15 минутном воздействии огня образцы составов 2 и 3 показывают прочность, мало отличающуюся от контрольного, добавление фибры в составе 1 повышают прочность бетона на 15 %;
- при 30 минутном воздействии огня образцы фибробетона показали прочность ниже эталонного образца без применения дисперсного армирования (рисунок 3).

Таблица 2 – Свойства бетона

№ п/п	Номера составов	Средняя прочность серии образцов, МПа	Длительность воздействия огня, мин	Изменение прочности в процентном отношении от контрольного состава (без фибры)
Без огневых испытаний				
	Контрольный состав	26,32	0	—
	Состав 3	26,32	0	0
	Состав 2	27,12	0	+3 %
	Состав 1	35,63	0	+35 %
Продолжительность огневых испытаний 15 мин.				
	Контрольный состав	26,32	15	—
	Состав 3	26,79	15	+1,7 %
	Состав 2	25,51	15	- 3 %
	Состав 1	30,35	15	+15 %
Продолжительность огневых испытаний 30 мин.				
	Контрольный состав	27,88	30	—
	Состав 3	19,14	30	-31%
	Состав 2	19,19	30	-31%
	Состав 1	24,99	30	-12%
Продолжительность огневых испытаний 45 мин.				
	Контрольный состав	28,03	45	—
	Состав 3	13,35	45	-52%
	Состав 2	19,81	45	-29%
	Состав 1	23,75	45	-15%

Установлено, что после 45-минутного воздействия огня образцы исследованных составов фибробетона показали прочность ниже контрольного состава, без применения дисперсного армирования. Это вызвано выгоранием фибры и как следствие увеличением пор и пустот в образце.

Отмечается, что при меньшем расходе фибры наблюдается увеличение прочности. Это, по-видимому, связано с наиболее оптимальным распределением дисперсного волокна по объему образца.



Рисунок 2 – Образцы до огневых испытаний (вверху) и после (внизу)

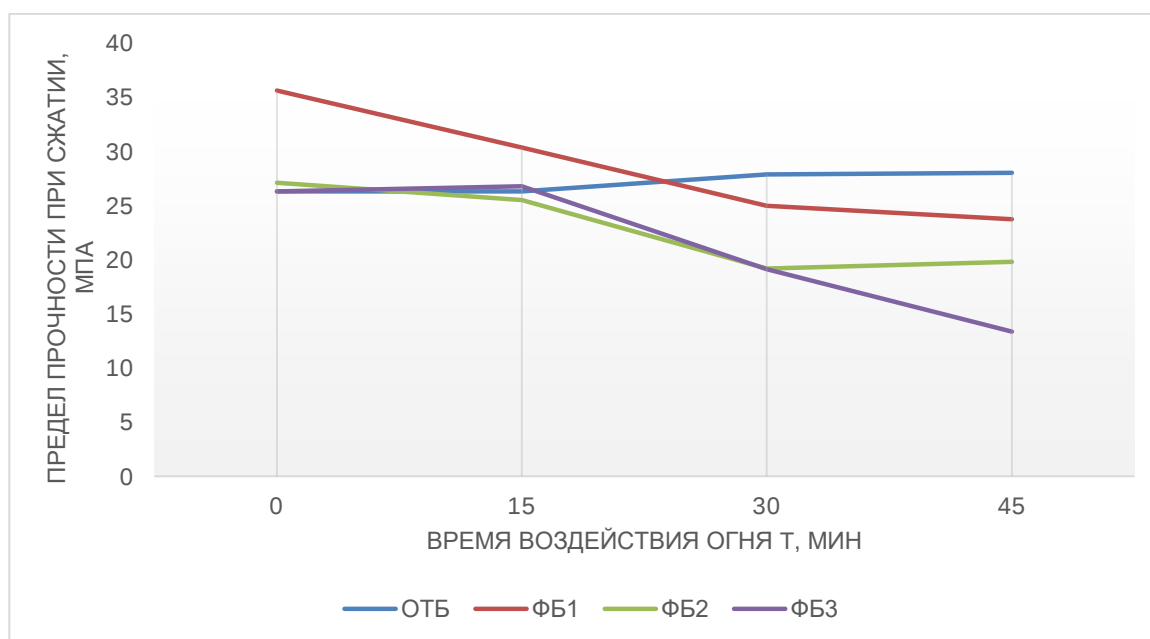


Рисунок 3 – Изменение предела прочности при сжатии бетонов после огневого воздействия

Выводы

Таким образом, рассматривая изменение прочности бетона по сериям огневых испытаний (т.е. при одинаковой продолжительности огневого воздействия), следует отметить, что:

– для конструкции без воздействия температуры и при огневом воздействии в течении 15 мин фибра повышает прочность бетона, причем при уменьшении количества фибры в составе бетона от 6 кг/м^3 до 1 кг/м^3 прочность возрастает.

– при воздействии температур в диапазоне длительности от 30 мин до 45 мин меньшее количество фибры способствует увеличению прочности, однако значительного увеличения прочности она не дает, причем прочность контрольного состава бетона выше прочности фибробетона;

– фибра влияет на характер разрушения образцов-кубов: образцы без фибры разрушались внезапно, тогда как в случае добавления фибры в состав бетона повышается связность всего бетонного массива, поэтому характер разрушения менее внезапный – перед окончательным разрушением массива в нем развиваются значительные трещины;

Повышение огнестойкости конструкций за счет применения дисперсного армирования бетона является одним из важнейших направлений исследований в области строительного материаловедения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дербасова Е.М. Основные барьеры и перспективы применения инновационных технологий и строительных материалов (на примере бетона) при возведении жилья // *Перспективы развития строительного комплекса*. 2012. Т. 1. С. 211-215.
2. Соловьёв В.Г., Шувалова Е.А. Эффективность применения различных видов фибры в бетонах // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 9 (63). С.78-81.
3. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Влияние вида фибры и состава матрицы на их сцепление в фибробетоне // *Вестник СибАДИ*. 2022. Т.19. № 3 (85). С. 436-445.
4. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Определение вклада фибры в формирование прочности сталефибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 1(60). С. 172–176.
5. Рябова А.А. Оценка стеклофибробетона как конструкционного материала // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11-3. С. 500-504.
6. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. 382 с.
7. Романов Н.Н., Кузьмин А.А., Пермяков А.А., Федоров А.В., Симонова М.А. Методика расчета режимов прогрева строительных конструкций в условиях внутреннего пожара // *Вестник Международной академии холода*. 2021. № 1. С. 84–93.
8. Новиков Н.С. Огнестойкость конструкций из фибробетона для автодорожных тоннелей и метрополитена // Автореферат к диссертации. М. 2019
9. Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А. Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 3. С. 44–53.
10. Федоров В.С., Левицкий В.Е., Соловьев И.А. Проблемы расчета фактической огнестойкости зданий и сооружений // *Международный научный семинар «Перспективы развития программных комплексов для расчета несущих систем зданий и сооружений»*: сборник научных трудов. Курск, 2013. С. 32-37.
11. Белов В.В., Семенов К.В. Огнестойкость железобетонных конструкций: модели и методы расчета // *Инженерно-строительный журнал*. № 6. С. 58-61.
12. Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Тучкова О.А., Осипова Л.Э. Огнестойкость элементов конструкций при пожарах на предприятиях нефтегазового комплекса // *Известия ВУЗов. Проблемы энергетики*. 2010. № 11–12. С. 23–34.
13. Пашковский П.С., Зинченко И.Н., Богомаз А.М. Математическая модель тепломассообменных процессов при пожаре в здании // *Научный вестник НИИГД «Респиратор»*. 2015. № 52. С. 51–59.
14. Xu M., Song S., Feng L., Zhou J., Li H., Li V. C. Development of basalt fiber engineered cementitious composites and its mechanical properties // *Construction and Building Materials*. 2021. Т. 266. P. 121173.
15. Красникова Н.М., Хозин В.Г., Кашапов Р.Р. Исследование эксплуатационных характеристик тяжелых цементных бетонов с полифункциональной добавкой // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. № 4. С. 296-302.

16. Волков И.В. Фибробетон: технико-экономическая эффективность применения // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 9.
17. Енджиевская И.Г., Демина А.В., Енджиевский А.С., Дубровская С.Д. Оценка взаимодействия добавок в бетоне // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 24(3). С. 128-137.
18. Altynbekova A., Lukpanov R., Dyussembinov D., Askerbekova A., Tkach E. (2022). Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra*, 325(2), 29–38. <https://doi.org/10.31643/2023/6445.15>
19. Lukpanov R., Dyussembinov D., Yenkebayev S., Yenkebayeva A., Tkach E. (2022). Additive for improving the quality of foam concrete made on the basis of micro silica and quicklime. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra*, 323(4), 30–37. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.37>

REFERENCES

1. Derbasova E.M. The main barriers and prospects for the use of innovative technologies and building materials (for example, concrete) in the construction of housing// Prospects for the development of the construction complex. 2012. Vol. 1. Pp. 211-215.
2. Solovyov V.G., Shuvalova E.A. The effectiveness of the use of various types of fiber in concrete // International Research Journal. 2017. No. 9 (63). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.065>
3. Pukhareno Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. The influence of the type of fiber and the composition of the matrix on their adhesion in fibroconcrete. *Bulletin of SibADI*. 2022. Vol.19. No. 3 (85). Pp. 436-445. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445>
4. Pukhareno Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Determination of the contribution of fiber to the formation of the strength of steel fiber concrete // *Bulletin of Civil Engineers*. 2017. No. 1(60). Pp. 172-176.
5. Ryabova A.A. Evaluation of fiberglass as a structural material // *Fundamental research*. 2015. No. 11-3. Pp. 500-504.
6. Roitman V.M. Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings. Association "Fire Safety and Science", 2001. 382 p.
7. Romanov N.N., Kuzmin A.A., Permyakov A.A., Fedorov A.V., Simonova M.A. Method of calculation of heating modes of building structures in conditions of internal fire. *Bulletin of the International Academy of Cold*. 2021. No. 1. Pp. 84-93. [doi:10.17586/1606-4313-2021-20-1-84-93](https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-84-93)
8. Novikov N.S. Fire resistance of fiber-reinforced concrete structures for road tunnels and metro // Abstract to dissertation. M.2019
9. Eremina T.Yu., Korolchenko D.A. Review of software for calculating the fire resistance of building structures for various models of fires // *Pozharovzryvobezопасnost/pozharovzryvobasopasnost*. 2020. T. 29. No. 3. Pp. 44-53. <https://doi.org/10.22227/PVB.2020.29.03.44-53>
10. Fedorov V.S., Levitsky V.E., Soloviev I.A. Problems of calculating the actual fire resistance of buildings and structures // *Collection of scientific papers of the International Scientific Seminar on September 19-20, 2013, Kursk*. 2013.
11. Belov V.V., Semenov K.V. Fire resistance of reinforced concrete structures: models and calculation methods. *Civil Engineering Journal*. No. 6. Pp. 58-61.
12. Enaleev R.S., Telyakov E.S., Tuchkova O.A., Osipova L.E. Fire resistance of structural elements during fires at oil and gas complex enterprises. *News of universities. Energy problems*. 2010. No. 11-12. Pp. 23-34.
13. Pashkovsky P.S. Mathematical model of heat and mass transfer processes during a fire in a building / P.S. Pashkovsky, I.N. Zinchenko, A.M. Bogomaz // *Scientific Bulletin of NIIGD "Respirator"*. 2015. No. 52. Pp. 51-59.
14. Xu M., Song S., Feng L., Zhou J., Li H., Li V. S. Development of cement composites based on basalt fiber and their mechanical properties // *Construction and building materials*. 2021. T. 266. P. 121173.
15. Krasnikova N.M., V Khozin.G., Kashapov R.R. Investigation of operational characteristics of heavy cement concretes with a multifunctional additive// KGASU, Kazan, Russia, *Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017. No. 4. Pp. 296-302.
16. Volkov I.V. Fibrobeton: technical and economic efficiency of application // *Industrial and civil construction*. 2002. No. 9.
17. Yendzhievskaya I.G., Demina A.V., Yendzhievsky A.S., Dubrovskaya S.D. Evaluation of the interaction of additives in concrete. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2022. No. 24(3). Pp. 128-137.
18. Altynbekova A., Lukpanov R., Dyussembinov D., Askerbekova A., Tkach E. (2022). Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra*, 325(2), 29–38. <https://doi.org/10.31643/2023/6445.15>
19. Lukpanov R., Dyussembinov D., Yenkebayev S., Yenkebayeva A., Tkach E. (2022). Additive for improving the quality of foam concrete made on the basis of micro silica and quicklime. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra*, 323(4), 30–37. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.3>

Информация об авторах:

Крутских Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений.

E-mail: mister.krutskih@mail.ru

Петропавловская Виктория Борисовна

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций.

E-mail: victoriapetrop@gmail.com

Петропавловский Кирилл Сергеевич

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений.

E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

Новиченкова Татьяна Борисовна

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций.

E-mail: tanovi.69@mail.ru

Information about the author:

Krutskikh Andrey V.

Tver State Technical University, Tver, Russia,
senior lecturer of the Department of structures and constructions.

E-mail: mister.krutskih@mail.ru

Petropavlovskaya Victoria B.

Tver State Technical University, Tver, Russia,
doctor in technical sciences, docent, professor of the department of production of building products and structures.

E-mail: victoriapetrop@gmail.com

Petropavlovskii Kirill S.

Tver State Technical University, Tver, Russia,
candidate in technical sciences, associate professor of the department of structures and constructions.

E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

Novichenkova Tatiana B.

Tver State Technical University, Tver, Russia,
candidate in technical sciences, docent, associate professor of the department of production of building products and structures.

E-mail: tanovi.69@mail.ru