

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-3-10-20

**Елистраткин М.Ю., Бардаков Е.А, Маслов Н.А., Шаталова С.В., Карпенко А.М.,
Бухтияров И.Ю., Богун Н.В.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru*

СРАВНЕНИЕ ШЕСТИ ВИДОВ ФИБР ДЛЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ РЯДОВЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. В статье рассмотрены результаты сравнения основных доступных на рынке типов фибр при дисперсном армировании рядового тяжёлого бетона класса В30-В35, с оценкой их влияния на его реотехнологические и прочностные свойства, общий характер разрушения материала. Для проведения исследований были использованы 6 типов фибр: металлическая проволочная волновая, стеклянная, базальтовая, композитная, полипропиленовая и хризотиловая. Установлено, что наименьшее негативное влияние на удобоукладываемость бетонной смеси оказывают базальтовая и композитная фибры. Незначительное снижение подвижности, не требующее изменения способа формования или корректировки состава бетонной смеси, происходит при введении металлической и полипропиленовой фибр. Существенное снижение подвижности происходит при использовании стеклянной и хризотиловой фибр, что связано как с высокой удельной поверхностью волокон, так и с необходимостью тщательной диспергации трудно достижимой в стандартных бетоносмесителях. Повышение прочности бетона при сжатии было достигнуто при введении в состав бетонной смеси металлической и базальтовой фибр. Наибольший прирост прочности на осевое растяжение 50-60 % обеспечивает введение металлической и композитной фибр. Наиболее эффективно предупреждают образование обломков бетона после разрушения металлическая, композитная и полипропиленовая фибры. Полученные в отдельных случаях отрицательные результаты свидетельствуют о том, что применение таких дисперсно-армирующих добавок требует выбора рациональной области применения, адаптации рецептуры и процесса приготовления бетонной смеси, а не о низком качестве армирующей добавки.

Ключевые слова: тяжёлый бетон, металлические волокна, неметаллические волокна, хризотил, технологичность применения, осевое растяжение.

Введение. Дисперсное армирование давно вошло в повседневную практику строительства при решении задач повышения прочности и выносливости бетонов при работе в сложных условиях и как эффективное средство снижения трещинообразования конструкций [1–5]. На рынке представлено большое количество фибр на основе различных материалов, что зачастую может вызывать затруднения с выбором, не только у представителей малого бизнеса, в первую очередь, являющихся бизнесменами и, далеко не всегда, специалистами в строительном материаловедении, но и, порой, у крупных производителей железобетона и профильных специалистов. Это вызвано тем, что, при большом объёме публикаций на эту тему, большинство из них рассматривают один или несколько видов фибр для решения какой-либо специфической задачи, либо проводят глубокие исследования в узкой области, что затрудняет сравнение результатов из разных источников между собой. Кроме того, в сети Интернет представлено большое количество популярных материалов на данную тему, не всегда вызывающих доверие.

Для проведения данных исследований были использованы 6 типов фибр, основные характеристики которых приведены в разделе Материалы и методы: металлическая проволочная волновая, стеклянная, базальтовая, композитная, полипропиленовая, хризотиловая. Отдельные аспекты применения их в различных видах бетонов рассматриваются в ряде публикаций.

Так, в работе [6] проводились испытания фибробетонов на различных видах *стальных фибр*. Фибробетон на проволочной фибре показал меньшую прочность на растяжение, чем фибробетон на аморфной металлической фибре (металлические ленты с аморфизированной структурой), но его разрушение было более вязкое. В работе [7] отмечается положительное влияние металлических волокон, в частности, прогибы армированных образцов, при одинаковых с контрольным нагрузках, оказываются несколько меньшими. Авторы утверждают, что это свидетельствует о некотором повышении модуля упругости, и объясняют это тем, что введенная в состав бетона фибра некоторым образом модифицирует ее структуру. На макроуровне присутствие волокон, беспорядочно ориентированных

по всему объему образца, ограничивает его деформации. На микроуровне – вдоль всей поверхности волокон образуется контактная зона, обладающая более высокой твердостью и прочностью. Такие зоны создают, как и фибра, микрокаркас, который ограничивает деформации всего материала.

Кроме влияния на прочность, стальная проволочная фибра снижает истираемость бетонных полов и повышает устойчивость к механическим нагрузкам, но, в то же время, такая фибра уязвима к коррозии [8–10].

Согласно проведённым исследованиям [11], *стеклянным волокнам* присущи гораздо более высокие прочностные характеристики при растяжении и деформационных воздействиях, чем цементному камню. Коэффициент расширения у стекла и у цементного камня примерно одинаковый, что обеспечивает их хорошую совместную работу. Авторы [12] отмечают, что конструкции, армированные стекловолокном, отличаются устойчивостью к коррозии и морозостойкостью. По прочности и жёсткости они превосходят конструкции, армированные полимерными материалами. Стекловолоконная фибра имеет стойкость в кислой среде более чем в 10 раз, а в растворах солей – в 5 раз превосходящую аналогичный показатель стальной фибры [13, 14].

Композитная фибра (стекловолокно в полимерной оболочке) по данным [15] имеет в 3–4 раза более низкий модуль упругости, чем стальная фибра. Также имеет место снижение прочностных характеристик при нагреве. В диаграмме деформации отсутствует площадка текучести, в виду чего её разрушение при растяжении имеет хрупкий характер. Но также, по мнению авторов, стекловолокно имеет малый вес и высокую прочность, что, в совокупности с высокой коррозионной стойкостью, обуславливает перспективность его применения в качестве замены металлической фибры.

Базальтовая фибра способствует росту предела прочности при сжатии, растяжении и изгибе на 5–14 %, 24–39 % и 10–46 %, соответственно. По морозостойкости конструкция с базальтовой фиброй на 25 % лучше, чем обычный бетон, использованный для сравнения [16–19].

Особенностями *полипропиленовых* фибр является повышенная деформативность уже при небольших нагрузках на растяжение, утрата части своих свойств со временем (старение), а также низкая стойкость при воздействии открытого огня и повышенных температур. В то же время полипропиленовое волокно более эффективно, чем проволочная сетка предотвращает развитие трещин в конструкции и незначительно повышает прочность конструкции на изгиб

(на 2 %), может заменить вторичное армирование, утверждают авторы исследований [19–22].

Хризотилловая фибра, по данным [23], в количестве 1 % в виде хризотилловой суспензии позволила увеличить предел прочности на сжатие газобетона на 53 %. Также в настоящее время исследователи изучают возможности и перспективы использования хризотилового волокна для снижения трещиностойкости бетона и приводят результаты, в которых прочность на изгиб при растяжении бетона повышается на 22 %, модуль упругости возрастает в 1,8 раза. Отмечается также, что при введении хризотилового волокна происходит значительное увеличение затрат энергии, приходящейся на развитие магистральных трещин и энергии, расходуемой на разрушение образца вследствие восприятия растягивающих напряжений, в результате чего коэффициент трещиностойкости – вязкость разрушения, повышается с 0,65 до 0,78. Но также отмечается, что растворная составляющая бетона с добавкой хризотила уступает по характеристикам бетонам, армированным стальной фиброй. Причиной этого является неравномерное распределение хризотилловых волокон из-за их комкования в процессе перемешивания.

Как видно, во всех рассмотренных исследованиях отмечается, что применение фибр обеспечивает улучшение различных технологических показателей бетонов, но, в то же время, сопоставление их разных типов оказывается затруднительным, ввиду использования авторами различных базовых систем (бетонов и растворов).

В этой связи, *целью* данного исследования стало сквозное сравнение различных доступных типов фибр при армировании рядового тяжёлого бетона с оценкой их влияния на его реотехнологические и прочностные свойства.

Следует учитывать, что вопрос о том, какая фибра лучше, сам по себе некорректен, поскольку не может быть рассмотрен без привязки к конкретной задаче, без учёта состава и свойств используемых компонентов и технологии изготовления, параметров самой фибры. Поэтому результаты данного исследования следует рассматривать только в рамках условий проведения эксперимента, с возможностью проецирования на схожие типы бетонов и решаемых задач.

Материалы и методы. Для сравнения разных типов фибр в работе были заформованы образцы-кубы размерами 7×7×7 см, которые испытывались на сжатие в возрасте 2 и 28 суток, а также в возрасте 28 суток определялась прочность на растяжение при раскалывании. Хранение образцов до вторых суток осуществлялось в

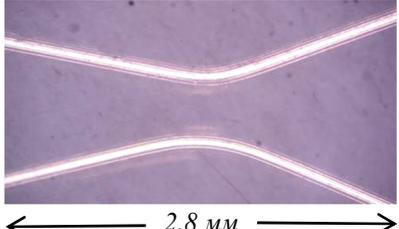
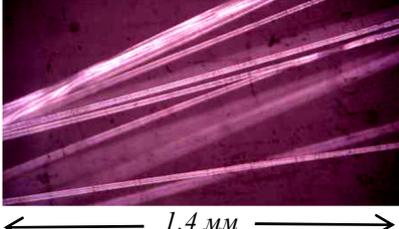
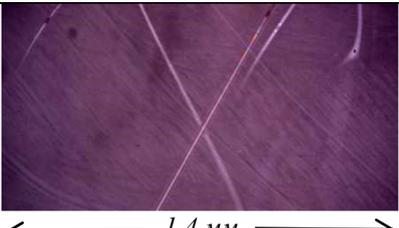
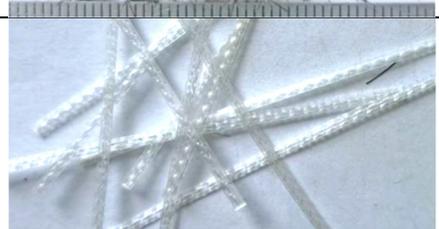
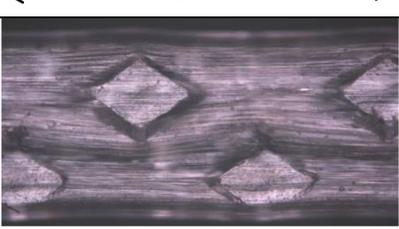
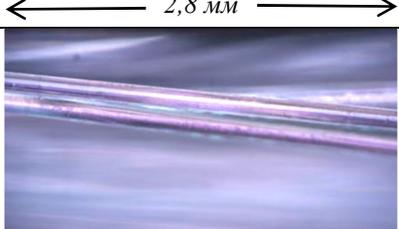
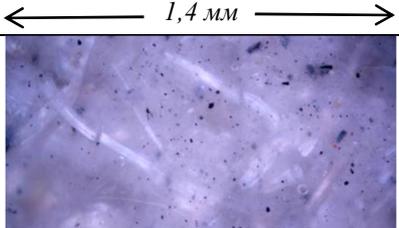
формах под полиэтиленовой плёнкой и далее, после расформовки, в воде при нормальной температуре.

В качестве вяжущего был использован портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства Верхнебаканского цементного завода (Краснодарский край). В качестве мелкого заполнителя приме-

нялся мытый кварцевый песок с модулем крупности M_k 1,5 (мелкий), типичный для Белгородского региона. В качестве крупного заполнителя, учитывая размер образцов и общую популярность в строительстве, применялся щебень фракции 5–10 мм из кварцитопесчаника (Белгородская обл).

Таблица 1

Характеристики и внешний вид рассмотренных фибр

Тип фибры, обозначение, средние размеры волокон	Внешний вид фибры (цена деления шкалы 1 мм)	Внешний вид волокон под микроскопом
Металлическая проволочная волновая (М): Ø 200 мкм / 15 мм		 ← 2,8 мм →
Стеклоплетенная (С): Ø 14...17 мкм / 12 мм		 ← 1,4 мм →
Базальтовая (Б): Ø 23...27 мкм / 5...25 мм		 ← 1,4 мм →
Композитная (А): 0,3 мм x 1,2 мм / 48 мм		 ← 2,8 мм →
Полипропиленовая (РР): Ø 78...80 мкм / 15 мм		 ← 1,4 мм →
Хризотилитовая (ХР): Ø 1,5...45 мкм / нет данных		 ← 1,4 мм →

Состав бетонной смеси во всех случаях принимался одинаковым: Ц : П : Щ = 0,16 : 0,38 : 0,46. В/Ц составляло 0,58. Перемешивание смеси осуществлялось в лабораторном планетарном смесителе. Дополнительная вода не вводилась ввиду чего, в зависимости от вида фибры, смеси получались разной консистенции, приемлемой для формования, которая уценивалась по условной шкале. Уплотнение бетонной смеси в формах производилось штыкованием, а затем вибрированием в течение 1 мин. Контрольный состав изготавливался без фибры.

Основные характеристики использованных фибр представлены в таблице 1.

Дозировка всех фибр была принята одинаковой и равной 1 % от объёма бетона. Расчёт вводимого количества в граммах осуществлялся, исходя из истинной плотности материала волокон.

Результаты и обсуждение. Внешний вид образцов показан на рисунке 1а. Результаты оценки подвижности смесей и испытаний образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов с разными видами фибры

№	Вид фибры	Относительная подвижность смеси	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут		Предел прочности на осевое растяжение при раскалывании, МПа (28 сут)
				2	28	
0	Без фибры (контроль)	0	2431	17	51,2	5,2
1	Металлическая проволочная волновая (М)	-1	2466	21,4	53,1	7,7
2	Стекловолоконная (С)	-2	2222	11,8	30,6	4,8
3	Базальтовая (Б)	0	2455	21,4	54,7	6
4	Композитная (А)	0	2420	18,9	45,9	8,3
5	Полипропиленовая (РР)	-1	2411	16,4	46	6,1
6	Хризотиловая (ХР)	-3	2315	12,2	30,4	5,9

Как видно из представленных результатов, введение в состав бетона армирующих волокон в количестве 1 % по объёму оказывает ощутимое влияние на все основные свойства материала. Контрольный образец без фибры, и, в целом, модифицируемый бетон, имеет достаточно высокие

показатели плотности и прочности (класс В35), что создаёт предпосылки для раскрытия потенциала дисперсной арматуры. Прочность при растяжении неармированного бетона составляет около 10 % от прочности на сжатие, что соответствует теоретическим представлениям.

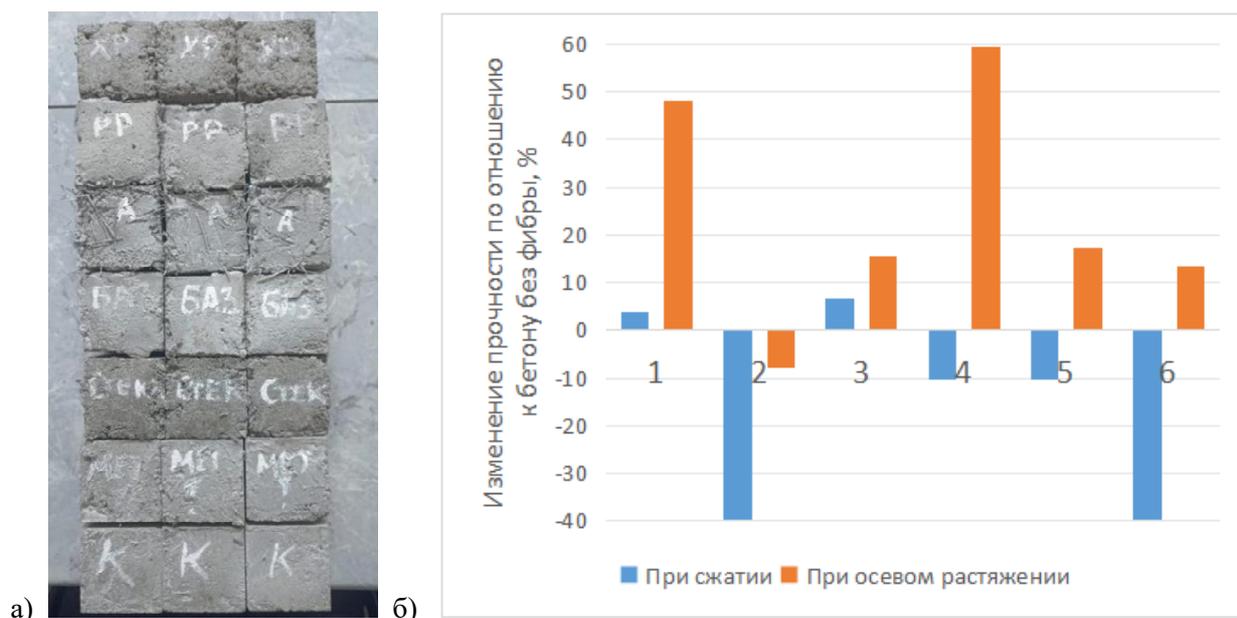


Рис. 1. Общий вид образцов с различными видами фибр (а) и влияние дисперсного армирования на прочность (б)

Введение в состав смеси металлической волоочной фибры несколько снижает удобоукладываемость бетонной смеси, практически не сказывается на средней плотности образцов и незначительно (+3,7 %) повышает прочность на сжатие (рисунок 1б). Повышение значения прочности на сжатие при приложении одноосной сжимающей нагрузки обусловлено тем, что возникающие в материале внутренние напряжения носят объёмный характер и, их вертикальная составляющая, в случае испытания образца на прессе, компенсируется его давлением, а горизонтальная воспринимается бетоном и частично передаётся на материал плиты пресса (эффект обоймы). Поэтому все методы, направленные на повышение прочности при растяжении, должны оказывать

положительное влияние и на прочность при сжатии.

Основным эффектом действия фибры типа М стало ощутимое повышение прочности бетона на растяжение, прирост составил 48 %. Дисперсное армирование металлической фиброй, хоть и не может полностью заменить традиционное армирование в изгибаемых бетонных элементах, но способно частично выполнить в них функции распределительной арматуры и усилить наиболее нагруженные участки. Кроме того, армирование металлической фиброй исключает полное разрушение материала (разлёт фрагментов) даже при очень большой ширине раскрытия трещин. Показанный на рисунке 2 образец с металлической фиброй после испытания невозможно разделить руками на две части.

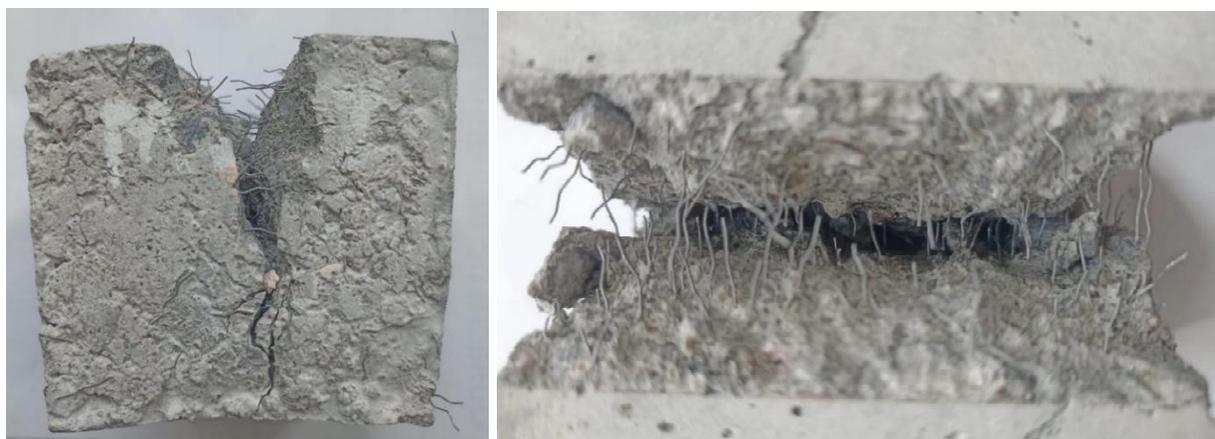


Рис. 2. Образец с фиброй типа М после раскалывания

Обращает на себя внимание, что разрушение образца произошло, преимущественно, с выдёргиванием фибр из тела бетона, что создаёт потенциал ещё большего повышения эффективности её работы за счёт улучшения анкеровки. Например, это может быть достигнуто повышением прочности матрицы, оптимизации зернового состава и количества мелкого заполнителя, или увеличением длины волокон при снижении их диаметра.

Особенностью стеклянной фибры является то, что её волокна изначально собраны в своеобразные пакеты (таблица 1). Для её эффективного использования, в процессе перемешивания смеси, необходимо добиться диспергации пакетов на отдельные волокна. Используемый в эксперименте бетоносмеситель, обеспечивает эффективное перемешивание традиционных смесей, как и большинство используемых в реальных производствах, но скорость его работы недостаточна для распушки волокон стеклянной фибры. Поэтому в бетонной смеси оказались распределены пакеты фибр в частично распушен-

ном состоянии. Ввиду их высокого водопоглощения это привело к тому, что удобоукладываемость смеси существенно снизилась и оказалась недостаточной для принятого способа формования и уплотнения, о чем свидетельствует пониженная более чем на 10 % средняя плотность образцов. Это привело к снижению прочности на сжатие более чем на 40 %. При этом прочность на осевое растяжение оказалась ниже контрольной всего на 8 %. Вероятно, фибра, даже не будучи полностью распушенной, частично выполнила свою армирующую функцию, несмотря на то, что при нахождении фибр в пучке сцепление с бетоном возникает только у волокон внешнего слоя. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют не о непригодности стеклянной фибры для армирования бетона, а, в первую очередь, о том, что для работы с данным типом фибры необходимо адаптировать процесс приготовления бетонной смеси, добившись равномерного распределения волокон, а не их пакетов.

Несмотря на то, что базальтовая и стеклянная фибры имеют близкий состав и свойства, более толстые волокна базальта, не собранные при

её производстве в пакеты, позволяют ей равномерно распределиться в составе бетона без использования быстроходных смесителей. В рассмотренном в эксперименте количестве базальтовая фибра не оказала заметного влияния на удобоукладываемость смеси, в результате чего образцы имеют среднюю плотность не ниже контрольных. Данный вид фибры оказал наибольшее положительное влияние на прочность на сжатие, повысив её почти на 7 %. Прирост прочности на осевое растяжение составил 15 % по отношению к контрольному составу. Особенностью разрушения образцов является малое количество выступающих фибр на поверхности раскола. Это свидетельствует о том, что разрушение происходит с разрывом фибр, соответственно анкеровка в теле бетона превышает их прочность. Для повышения эффективности использования базальтовой фибры в данном виде бетона, нужно использовать более толстые или короткие волокна в большем количестве, в этом случае есть

основания ожидать более значительного увеличения прочности при растяжении.

Испытанная композитная фибра представляет собой пучки стеклянных волокон, склеенных в пакет полимерным материалом, образующим некое подобие поперечных рёбер на их поверхности для улучшения сцепления. Длина волокон является явно избыточной для принятого размера образцов, что приводит к их выступанию на поверхность (заметно на рисунках 1а и 3) и не даёт гарантии равномерного распределения в объёме образца. Вероятно, данное явление будет проявляться в существенно меньшей степени при изготовлении изделий больших размеров. Тем не менее, данная фибра оказалась весьма технологичной в использовании: снижение удобоукладываемости бетонной смеси зафиксировано не было, плотность бетона соответствует среднему уровню.



Рис. 3. Образец с композитной фиброй после раскалывания

Прочность на сжатие в марочном возрасте оказалась на 10 % ниже контрольного значения, однако прирост прочности при осевом растяжении составил максимальные 60 %. Негативное влияние на прочность при сжатии, вероятно, может быть объяснено неравномерным распределением крупных волокон, со смещением к центру образца, в то время как при одноосном сжатии, из-за эффекта обоймы, наиболее уязвимыми являются внешние грани образца. Кроме того, крупные и, вероятно, анизотропные волокна (подобно древесине) могут образовывать плоскости скольжения при возникновении нормальных внутренних напряжений, локально ослабляя бетон. Расколотый образец не разделяется на отдельные части, по той причине, что часть волокон в пакете оказываются оборванными, а другие частично вытянутыми из него, но целыми. Такой

характер работы ценен в случае опасности разлёта осколков при разрушении конструкции.

Полипропилен является материалом с более низким модулем упругости по сравнению со сталью и другими испытанными неорганическими волокнами, поэтому изначально ожидания от его применения сводились к повышению ударной вязкости образцов и предотвращения образования осколков при разрушении, что хорошо видно на рисунке 4. Полипропиленовая фибра оказала умеренное негативное влияние на удобоукладываемость бетонной смеси, что, тем не менее, не отразилось на их средней плотности. Прочность бетона на сжатие упала на 10 %, что аналогично испытанной композитной фибре. Прочность бетона на осевое растяжение увеличилась на 17 %.

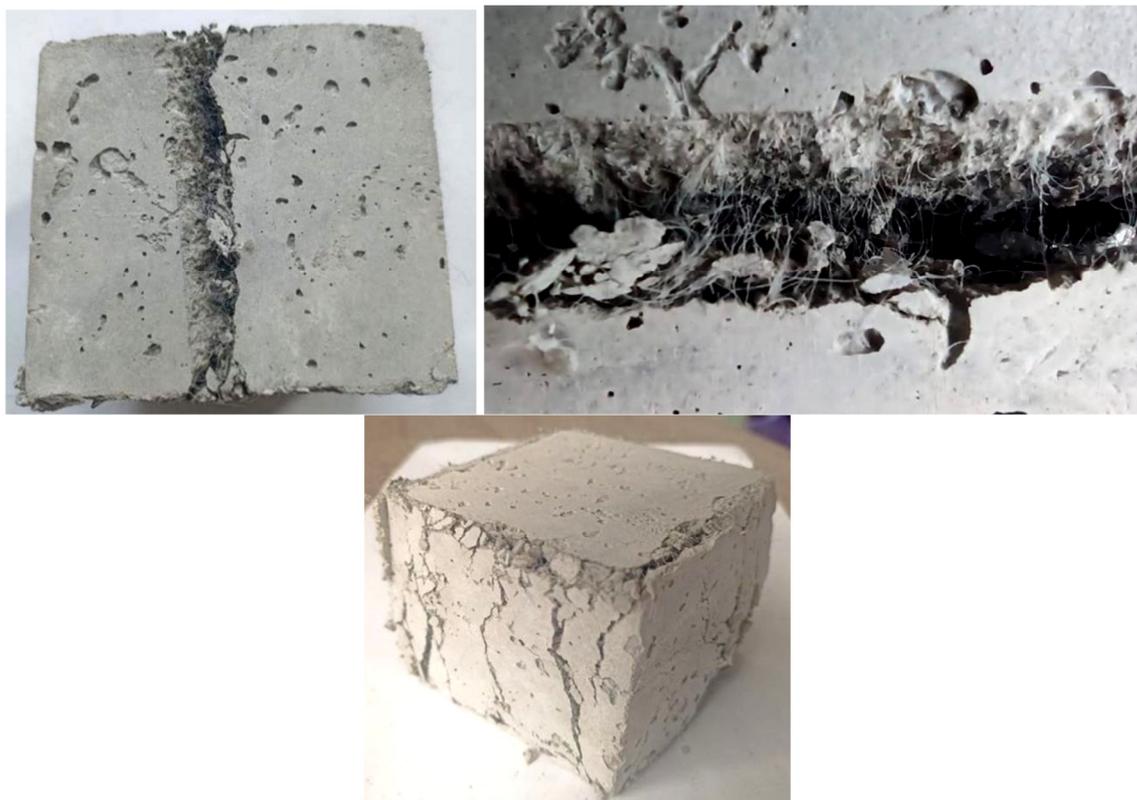


Рис. 4. Образцы с полипропиленовой фиброй после испытаний

Разнонаправленное действие на прочности бетона при сжатии и растяжении, вероятно, обусловлено схожим с композитной фиброй комплексом причин. Пониженная адгезия цементного камня к полипропилену обуславливает снижение прочности на сжатие за счёт локального ослабления бетона. Кроме того, при раскалывании образца волокна частично вытягиваются из матрицы, не обрываясь и образуют систему гибких связей, не позволяющих частям образца разделиться. Данный эффект также хорошо заметен на образце, подвергнутом сжимающему воздействию: будучи явно полностью разрушенным, он сохраняет свою форму.

Проблемой применения хризотила в качестве армирующего материала является необходимость качественной распушки, невозможной без использования специального оборудования, а также малая толщина и сравнительно низкая длина волокон. Последнее обуславливает высокую водопотребность данной добавки, что крайне негативно отражается на удобоукладываемости и формовкости смеси (таблица 2) и приводит к снижению средней плотности и прочности на сжатие. При всём этом прочность на растяжение повысилась на 13,5 %.

Есть основания полагать, что использование данной фибры в более корректных условиях, может обеспечить высокий технический результат. С учётом высокой водоудерживающей способности, её рационально применять в пластичных

мелкозернистых и тонкозернистых смесях, для повышения формоустойчивости и т.п. Также практический интерес представляет её сочетание с фибрами других видов.

Выводы. В проведённом исследовании были сравнены между собой основные, доступные на рынке, виды фибр на предмет влияния на свойства тяжёлых бетонов классов В30-В35 с крупным заполнителем. Сравнение проводилось при равных условиях, без учёта индивидуальных особенностей конкретных продуктов. Результаты сравнительных испытаний призваны сформировать общее представление об их назначении и особенностях применения. Полученные в отдельных случаях отрицательные результаты свидетельствуют о том, что применение таких дисперсно армирующих добавок требует выбора рациональной области применения, адаптации рецептуры и процесса приготовления бетонной смеси, а не о низком качестве армирующей добавки.

Наименьшее негативное влияние на удобоукладываемость бетонной смеси оказали базальтовая и композитная фибры. Незначительное снижение подвижности, не требующее изменения способа формирования или корректировки состава бетонной смеси, происходит при введении металлической проволоочной волновой и полипропиленовой фибр. Наибольшее снижение подвижности происходит при использовании стеклянной и хризотиловой фибр, что связано как с

высокой удельной поверхностью их частиц, так и необходимостью тщательной диспергации, требующей использования быстроходных смесителей и применения пластифицирующих добавок.

Незначительное повышение прочности бетона при сжатии на 3–7 % было достигнуто при введении в состав бетонной смеси металлической и базальтовой фибр. Наибольший прирост прочности на осевое растяжение 50–60 % обеспечивает введение металлической проволочной волновой и композитной фибр. Наиболее эффективно предупреждают образование обломков бетона после разрушения металлическая проволочная волновая, композитная и полипропиленовая фибры.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Zhang P., Qin Z., Gao Z., Wang F., Lai C. Research progress on impact resistance of fiber-reinforced concrete-A review // *Journal of Building Engineering*. 2025. 113982. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.113982
- Liu Q., Yi X., Yu B., Falchetto A.C., Wang D. A review of high-performance fiber concrete for airport pavements // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2025. Vol. 12(4). Pp. 907–925. DOI: 10.1016/j.jtte.2024.06.005
- Pukharens Yu.V., Khrenov G.M., Klyuev S.V., Khezhev T.A., Eshanzada S.M. Design of steel fiber-reinforced concrete for slip forming // *Construction Materials and Products*. 2024. Vol. 7, No. 5. DOI: 10.58224/2618-7183-2024-7-5-2
- Матюшин Е.В., Соловьев В.Г. Свойства сверхвысокопрочного фибробетона с различными видами стальной фибры при осевом растяжении // *Строительные материалы*. 2025. № 1-2. С. 45–53. DOI: 10.31659/0585-430X-2025-832-1-2-45-53
- Esaker M., Thermou G.E., Neves L. Impact resistance of concrete and fibre-reinforced concrete: A review // *International Journal of Impact Engineering*. 2023. Vol. 180. 104722. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2023.104722
- Пантелеев Д.А. Оценка эффективности полиармирования фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2013. № 6(41). С. 102–108.
- Жаворонков М.И. Определение характеристик разрушения и модуля упругости фибробетона // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2015. № 41(60). С. 34–43.
- Pyo S., Koh T., Tafesse M., Kim H.-K. Chloride-induced corrosion of steel fiber near the surface of ultra-high-performance concrete and its effect on flexural behavior with various thickness // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 224. Pp 206–213. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.063
- Yoo D.-Y., Shin W., Chun B., Banthia N. Assessment of steel fiber corrosion in self-healed ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and its effect on tensile performance // *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 133. 106091. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106091.
- Marcos-Meson V., Michel A., Solgaard A., Fischer G., Edvardsen C., Skovhus T.L. Corrosion resistance of steel fibre reinforced concrete - A literature review // *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 103. Pp. 1–20. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.05.016.
- Федюк Р.С., Жередию Ю.С. Разработка стеновой конструкции // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2014. №4 (10). С. 21–25.
- Окольникова Г.Э., Герасимов С.В. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве // *Экология и строительство*. 2015. №3. С. 14–21.
- Mirza F. A., Soroushian P. Effects of alkali-resistant glass fiber reinforcement on crack and temperature resistance of lightweight concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2002. Vol.24 (2). Pp. 223–227. DOI: 10.1016/S0958-9465(01)00038-5.
- Lan R., Jin G., Liu Y., Xu H., Wang R., Jiang P., Zhang N. Research on the mechanical properties and impermeability mechanisms of sea sand glass fiber reinforced concrete // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2025. Vol. 29 (11). 100267. DOI: 10.1016/j.kscej.2025.100267.
- Пустовгар А.П., Абрамова А.Ю. Дисперсное армирование бетонов и строительных растворов // *Новые технологии в строительстве*. 2023. Т. 9, Вып. 3, С. 126–140. DOI: 10.24412/2409-4358-2023-3-126-140
- Li Y., Zhang J., He Y., Huang G., Li J., Niu Z., Gao B. A review on durability of basalt fiber reinforced concrete // *Composites Science and Technology*. 2022. Vol. 225. 109519. DOI: 10.1016/j.compscitech.2022.109519.
- Dilbas H., Çakır Ö. Influence of basalt fiber on physical and mechanical properties of treated recycled aggregate concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 254. 119216. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119216.
- Нелюбова В.В., Бабаев В.Б., Алфимова Н.И., Усиков С.А., Масанин О.О. Повышение эф-

фактивности производства фибробетона // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2, № 2. С. 4–9.

19. Агамов Р.Э., Гончарова М.А., Пачин А.Р. Высокопрочные фибробетоны в конструкциях общестроительного и специального назначения // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 39–43. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-39-43

20. Al Marahla R.H., Shehzad M.K., Albostami A.S., Ghadi M.Q., Aldmour S.T., Almarahlleh N.H. Influence of Polypropylene Fibres on the Residual Flexural Strength of Concrete: Experiments and Sensitivity Analysis // KSCE Journal of Civil Engineering. 2025. 100390. DOI: 10.1016/j.kscej.2025.100390.

21. Ahmed T.W., Ali A.A.M., Zidan R.S. Properties of high strength polypropylene fiber concrete

containing recycled aggregate // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 241. 118010. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118010

22. Xiaogang W., Zhifan Q., Shiao W., Shuaixin M., Mengqing S., Jingyu F., Guanghui L. Experimental study on dynamic impact mechanical properties and fracture resistance mechanism of polypropylene fiber reinforced concrete // Journal of Building Engineering. 2025. Vol.112. 113654. DOI: 10.1016/j.jobbe.2025.113654.

23. Ощепков Н.Д., Калашников А.Д., Стивенс А.Э., Александров А.М., Яковлев Г.И. Дисперсное армирование газобетонов неавтоклавного твердения // Вестник ВСГУТУ. 2023. №1 (88). С. 73–82. DOI: 10.53980/24131997_2023_1_73

Информация об авторах

Елистраткин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бардаков Егор Андреевич, студент бакалавриата. E-mail: bardoeogo@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Маслов Никита Андреевич, студент бакалавриата. E-mail: nik.maslov.04@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шаталова Светлана Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры Теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: shatalova.sv@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Карпенко Александр Михайлович, студент магистратуры. E-mail: k4rpenko.alex@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бухтияров Илья Юрьевич, студент магистратуры. E-mail: gertakitry@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Богун Никита Владимирович, аспирант. E-mail: gertakitry@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 20.10.2025 г.

© Елистраткин М.Ю., Бардаков Е.А., Маслов Н.А., Шаталова С.В., Карпенко А.М., Бухтияров И.Ю., Богун Н.В., 2026

***Elistratkin M.Yu., Bardakov E.A., Maslov N.A., Shatalova S.V., Karpenko A.M., Bukhtiyarov I.Yu., Bogun N.V.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru*

COMPARISON OF SIX TYPES OF FIBERS FOR DISPERSED REINFORCEMENT OF ORDINARY CONCRETE

Abstract. The article considers the results of comparison of the main types of fibers available on the market for dispersed reinforcement of ordinary heavy concrete of class B30-B35, with an assessment of their influence on its rheotechnological and strength properties, the general nature of the destruction of the material. Six types of fibers were used for the research: metal wire wave, glass, basalt, composite, polypropylene and chrysotile. It was found that basalt and composite fibers have the least negative effect on the workability of the concrete mix. A slight decrease in mobility, which does not require changing the molding method or

adjusting the composition of the concrete mix, occurs with the introduction of metal and polypropylene fibers. A significant decrease in mobility occurs when using glass and chrysotile fibers, which is associated with both the high specific surface area of the fibers and the need for thorough dispersion, which is difficult to achieve in standard concrete mixers. An increase in the compressive strength of concrete was achieved by introducing metal and basalt fibers into the concrete mix. The greatest increase in axial tensile strength of 50-60% is provided by the introduction of metal and composite fibers. Metal, composite and polypropylene fibers most effectively prevent the formation of concrete debris after destruction. The negative results obtained in some cases indicate that the use of such dispersed reinforcing additives requires the selection of a rational area of application, adaptation of the formulation and process of preparation of the concrete mixture, and not the low quality of the reinforcing additive.

Keywords: concrete, metal fibers, non-metal fibers, chrysotile, technological application, axial stretching.

REFERENCES

- Zhang P., Qin Z., Gao Z., Wang F., Lai C. Research progress on impact resistance of fiber-reinforced concrete-A review. *Journal of Building Engineering*. 2025. 113982. DOI: 10.1016/j.job.2025.113982
- Liu Q., Yi X., Yu B., Falchetto A.C., Wang D. A review of high-performance fiber concrete for airport pavements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2025. Vol. 12(4). Pp. 907–925. DOI: 10.1016/j.jtte.2024.06.005
- Pukhareno Yu.V., Khrenov G.M., Klyuev S.V., Khezhev T.A., Eshanzada S.M. Design of steel fiber-reinforced concrete for slip forming // *Construction Materials and Products*. 2024. Vol. 7, No. 5. DOI: 10.58224/2618-7183-2024-7-5-2
- Matyushin E.V., Soloviev V.G. Properties of ultra-high-strength fiber-reinforced concrete with different types of steel fibers under axial tension [Svoystva sverkhvy` sokoprochnogo fibrobetona s razlichny`mi vidami stal`noj fibry` pri osevom rastyazhenii]. *Construction Materials*. 2025. No. 1-2. Pp. 45–53. DOI: 10.31659/0585-430X-2025-832-1-2-45-53 (rus)
- Esaker M., Thermou G.E., Neves L. Impact resistance of concrete and fibre-reinforced concrete: A review. *International Journal of Impact Engineering*. 2023. Vol. 180. 104722. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2023.104722
- Panteleev D.A. Evaluation of the efficiency of fiber-reinforced concrete polyreinforcement [Ocenka e`ffektivnosti poliarmirovaniya fibrobetona]. *Bulletin of civil engineers*. 2013. No. 6(41). Pp. 102–108. (rus)
- Zhavoronkov M.I. Determination of the characteristics of destruction and the modulus of elasticity of fiber-reinforced concrete [Opredelenie xarakteristik razrusheniya i modulya uprugosti fibrobetona]. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2015. No. 41(60). Pp. 34–43. (rus)
- Pyo S., Koh T., Tafesse M., Kim H.-K. Chloride-induced corrosion of steel fiber near the surface of ultra-high-performance concrete and its effect on flexural behavior with various thicknesses. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 224. Pp 206–213. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.063
- Yoo D.-Y., Shin W., Chun B., Banthia N. Assessment of steel fiber corrosion in self-healed ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and its effect on tensile performance. *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 133. 106091. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106091.
- Marcos-Meson V., Michel A., Solgaard A., Fischer G., Edvardsen C., Skovhus T.L. Corrosion resistance of steel fibre reinforced concrete - A literature review. *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 103. Pp. 1–20. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.05.016.
- Fedyuk R.S., Zherediy Yu.S. Development of wall structure [Razrabotka stenovoj konstrukcii]. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2014. No. 4 (10). Pp. 21–25. (rus)
- Okolnikova G.E., Gerasimov S.V. Prospects for the Use of Composite Reinforcement in Construction [Perspektivy` ispol`zovaniya kompozitnoj armatury` v stroitel`stve]. *Ecology and Construction*. 2015. No. 3. Pp. 14–21. (rus)
- Mirza F.A., Soroushian P. Effects of Alkali-Resistant Glass Fiber Reinforcement on Crack and Temperature Resistance of Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2002. Vol.24 (2). Pp. 223–227. DOI: 10.1016/S0958-9465(01)00038-5.
- Lan R., Jin G., Liu Y., Xu H., Wang R., Jiang P., Zhang N. Research on the Mechanical Properties and Impermeability Mechanisms of Sea Sand Glass Fiber Reinforced Concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2025. Vol. 29 (11). 100267. DOI: 10.1016/j.kscej.2025.100267.
- Pustovgar A.P., Abramova A.Yu. Dispersed reinforcement of concrete and mortars [Dispersnoe armirovanie betonov i stroitel`ny`x rastvorov]. *New technologies in construction*. 2023. Vol. 9, No. 3, Pp. 126–140. DOI: 10.24412/2409-4358-2023-3-126-140 (rus)

16. Li Y., Zhang J., He Y., Huang G., Li J., Niu Z., Gao B. A review on durability of basalt fiber reinforced concrete. *Composites Science and Technology*. 2022. Vol. 225. 109519. DOI: 10.1016/j.compscitech.2022.109519.
17. Dilbas H., Çakır Ö. Influence of basalt fiber on physical and mechanical properties of treated recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 254. 119216. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119216.
18. Nelyubova V.V., Babaev V.B., Alfimova N.I., Usikov S.A., Masanin O.O. Improving the efficiency of fiber-reinforced concrete production [Povy'shenie e'ffektivnosti proizvodstva fibrobetona]. *Construction materials and products*. 2019. Vol. 2, No. 2. Pp. 4–9. (rus)
19. Agamov R.E. Goncharova M.A., Pachin A.R. High-strength fiber-reinforced concretes in general-purpose and special-purpose structures [Vy'sokoprochny'e fibrobeton' v konstrukciyax obshhestvoitel'nogo i special'nogo naznacheniya]. *Construction materials*. 2023. No. 1-2. Pp. 39–43. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-39-43 (rus)
20. Al Marahla R.H., Shehzad M.K., Albostami A.S., Ghadi M.Q., Aldmour S.T., Almarahlleh N.H. Influence of Polypropylene Fibres on the Residual Flexural Strength of Concrete: Experiments and Sensitivity Analysis. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2025. 100390. DOI: 10.1016/j.kscej.2025.100390.
21. Ahmed T.W., Ali A.A.M., Zidan R.S. Properties of high strength polypropylene fiber concrete containing recycled aggregate. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 241. 118010. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118010
22. Xiaogang W., Zhifan Q., Shiao W., Shuaxin M., Mengqing S., Jingyu F., Guanghui L. Experimental study on dynamic impact mechanical properties and fracture resistance mechanism of polypropylene fiber reinforced concrete. *Journal of Building Engineering*. 2025. Vol.112. 1136
23. Oshchepkov N.D., Kalashnikov A.D., Stevens A.E., Alexandrov A.M., Yakovlev G.I. Dispersed reinforcement of aerated concrete of non-autoclave hardening [Dispersnoe armirovanie gazobetonov neavtoklavnogo tverdeniya]. *Bulletin of VSGUT*. 2023. No. 1 (88). Pp. 73–82. DOI: 10.53980/24131997_2023_1_73 (rus)

Information about the authors

Elistratkin, Mikhail Y. PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Construction Materials Science, Products and Structures. E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Bardakov, Egor A. Bachelor's student. E-mail: bardoeogo@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Maslov, Nikita A. Bachelor's student. E-mail: nik.maslov.04@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova, 46.

Shatalova, Svetlana V. PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics and Resistance of Materials. E-mail: shatalova.sv@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Karpenko, Aleksandr M. Master's student. E-mail: k4rpenko.alex@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Bukhtiyarov, Ilya Y. Master's student. E-mail: gertakitry@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova, 46.

Bogun, Nikita V. Postgraduate student. Email: gertakitry@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46.

Received 20.10.2025

Для цитирования:

Елистраткин М.Ю., Бардаков Е.А., Маслов Н.А., Шаталова С.В., Карпенко А.М., Бухтияров И.Ю., Богун Н.В. Сравнение шести видов фибр для дисперсного армирования рядовых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 3. С. 10–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-3-10-20

For citation:

Elistratkin M.Yu., Bardakov E.A., Maslov N.A., Shatalova S.V., Karpenko A.M., Bukhtiyarov I.Yu., Bogun N.V. Comparison of six types of fibers for dispersed reinforcement of ordinary concrete. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2026. No. 3. Pp. 10–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-3-10-20