

*Клюев А. В., канд. техн. наук, ст. преп.,
Клюев С. В., канд. техн. наук, доц.,
Нетребенко А. В., аспирант,
Дураченко А. В., инженер*

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ ФИБРОБЕТОН АРМИРОВАННЫЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫМ ВОЛОКНОМ*

Klyuyev@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы применения полипропиленовой фибры для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов. Проведены экспериментальные исследования фибробетонных образцов на композиционном вяжущем. Установлен оптимальный процент дисперсного армирования мелкозернистого бетона полипропиленовой фиброй равный 4 кг/м^3 . Это объясняется тем, что дальнейшее увеличение процента дисперсного армирования дает незначительный прирост эксплуатационных характеристик, а в некоторых случаях и их снижением за счет уменьшения толщины бетонного слоя настолько, что материал проявляет склонность к расслоению.

Ключевые слова: *мелкозернистый бетон, техногенный песок, фибробетон.*

В развитие науки о сталефибробетоне большой вклад внесли ученые Австрии, Австралии, Бельгии, Германии, Голландии, Испании, Канады, Китая, Польши, США, Франции, Чехии, Швейцарии, ЮАР, Японии, и других стран, из них необходимо отметить J.P. Romualdi, B. Gordon, G.B. Batson, M. Jeffrey, I.A. Mandel, I.L. Carson, W.F. Chen, D.I. Hannant, B. Kelly, P.S. Mangat, A.E. Naaman, R.N. Swamy, D. Colin Johnston, D.R. Lankard, V. Ramakrishnan, G. Ruffert, K. Kordina, W.A. Marsden, J. Vodichka и др.

В последние годы на практике очень часто имеют место случаи, когда в районе строительства отсутствуют качественные крупные заполнители. Транспортировка щебня из других регионов часто на значительные расстояния, становится экономически не оправданной. В этом случае встает вопрос о целесообразности применения местных материалов, в том числе, песков и отходов горно-обогатительной промышленности в качестве заполнителей бетонов.

В настоящее время нерудная, горнорудная и другие отрасли ежегодно складывают в отвалах сотни миллионов кубометров рыхлых отходов различного состава и строения, которые имеют размер зерен до 10 мм. Одной из причин неполного использования этих отходов в качестве мелких заполнителей бетонов является отсутствие их классификации, недостаточная изученность их характеристик и свойств бетонных смесей и бетонов на их основе.

Свойства техногенных песков, бетонных смесей и бетонов на их основе зависят от многих факторов, обусловленных свойствами исходных пород, способами их измельчения и методами обогащения полученного продукта и т.д. Наиболее существенное влияние оказывают прочность, структура и состав исходных пород.

При сопоставлении свойств природных и искусственных песков обращают на себя внимание основные, принципиальные различия этих материалов. Если первые являются в основном кварцевыми, с округлой формой зерен и гладкой поверхностью, то вторые имеют существенные различия по составу и свойствам исходных пород, форме зерен и шероховатости их поверхности. Искусственные пески имеют свежееобнаженную поверхность. В результате свойства последних различны. Взаимодействие поверхности техногенных песков с цементным тестом и цементным камнем значительно сложнее, чем у природных песков. Без учета этого взаимодействия невозможно изучить влияние гранулометрического состава, формы зерен, шероховатости поверхности и других характеристик песка на свойства смесей и бетонов [1 – 10].

Для оценки возможности применения техногенных песков как сырья для производства фибробетона, были разработаны составы мелкозернистого бетона с использованием в качестве заполнителя отсева дробления кварцитопесчаника. Для получения более плотной упаковки заполнителя использовался песок Таволжанского месторождения.

Экспериментальные исследования связаны с изучением поведения бетонных элементов, дисперсно-армированных полипропиленовым волокном, при сжатии и растяжении при изгибе.

Для приготовления высокопрочного мелкозернистого бетона применяют различные способы повышения активности цемента и качества бетонной смеси (домол и виброактивация цемента, виброперемешивание, применение суперпластификаторов).

Большие перспективы в получении высокопрочных бетонов связаны с применением композиционного вяжущего, которое получают

совместным помолом высокомарочного цемента и суперпластификатора С-3 [10 – 20].

Для его получения применялся товарный цемент ЗАО «Белгородский цемент» Цем I 42,5Н (табл. 1) и суперпластификатора С-3.

Таблица 1

Химический состав цемента

Марка цемента	Химический состав, % по массе								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	CaO _{св}	ппп
Цем I 42,5Н	22,49 ±0,5	4,77 ±0,3	4,40 ±0,1	67,22 ±1,0	0,43 ±0,03	2,04 ±0,01	0,20 ±0,05	0,20 ±0,05	1,5 ±0,5

Для оценки качества применяемых заполнителей были изучены их основные физико-механические свойства (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические характеристики заполнителя

Наименование показателя	Отсев КВП	Таволжанский песок
Модуль крупности	3,50	1,38
Насыпная плотность кг/м ³	1415	1448
Истинная плотность, кг/м ³	2710	2630
Пустотность, %	47,8	44,9
Водопоглощение, %	5,5	7

Производственная практика показала, что армирование цементной матрицы полипропиленовым

новым волокном, обладающим высокой химической устойчивостью к щелочной среде. Полипропиленовые волокна включаются в бетонные образцы с целью увеличения прочности бетона на сжатие от 10% до 60% и изгибе от 10% до 200%.

Приготовление дисперсно-армированной смеси в сухом состоянии является одним из ответственных этапов производства. Для обеспечения ее качества смеси специалистами кафедры механического оборудования БГТУ им. В.Г. Шухова пневмосмеситель для производства дисперсно-армированных смесей для смешивания компонентов смеси в сухом состоянии рис. 1.

Экспериментальные исследования показали его высокую производительность и гарантию «распушения» комков фибры.

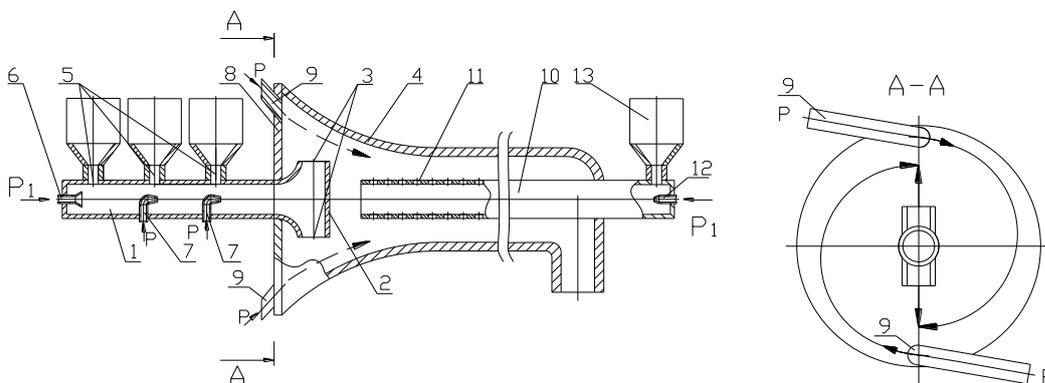


Рис. 1. Противоточный пневмосмеситель:

1 – подающая труба; 2 – закрытый торец; 3 – выходы; 4 – корпус; 5 – патрубки ввода; 6, 7, 12 – воздушные сопла; 8 – большой торец; 9 – наклонные воздушные сопла; 10 – патрубок; 11 – радиальные отверстия

Высушенный песок, отсев дробления кварцитопесчанника, композиционное вяжущее и полипропиленовое волокно были смешаны до получения гомогенного состава. Затем добавлялась вода до получения однородной массы. После формования и уплотнения образцы в течение 24 часов находились при температуре не ниже 15°С. Затем были сняты формы и бетонные образцы перенесены в сухое место.

Испытание образцов для определения прочности на сжатие (кубики 100×100×100мм) и на растяжение при изгибе (призмы 100×100×400мм) проводились на универсальной испытательной машине по стандартной методи-

ке. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Для увеличения эксплуатационных характеристик мелкозернистого бетона предложено использование композиционного вяжущего и дисперсное армирование полипропиленовым волокном, поскольку оно является щелочестойким.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили полипропиленовые фибры круглой формы диаметром 20 – 30 микрон и длиной 3 мм, 6 мм, 12 мм и 18 мм рис. 2.

От диаметра полипропиленового волокна зависят эксплуатационные характеристики и его долговечность. Использование полипропилено-

вого волокна с меньшим диаметром обеспечивает высокие показатели предела прочности на изгиб и ударную вязкость. Проведенные исследования показали, что чем больше диаметр волокна, тем дольше оно сохраняет свою армирующую способность.

С целью выявления рациональных размеров полипропиленовой фибры для мелкозернистых бетонов было изучено влияние его на прочностные характеристики. Процент армирования выбран 4 кг/м³. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

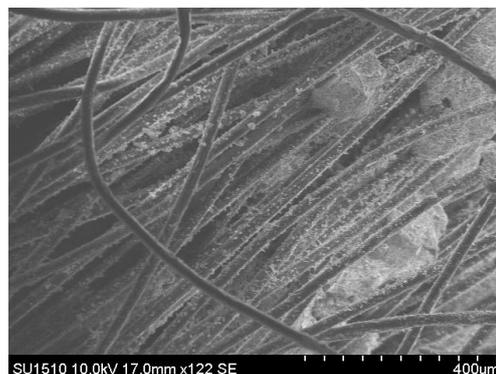


Рис. 2. Микроструктура пучка полипропиленовой фибры

Таблица 3

**Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона
в зависимости от длины полипропиленового волокна**

№ п/п	Состав бетона	Ед. изм.	Без фибры	Полипропиленовое волокно, длиной 3 мм	Полипропиленовое волокно, длиной 6 мм	Полипропиленовое волокно, длиной 12 мм
1	ЦЕМ I 42,5 Н	кг	400	400	400	400
2	Песок	кг	520	520	520	520
3	Отсев КВП	кг	1240	1229	1229	1229
4	Вода	л	220	223	225	226
5	Полипропиленовое волокно	кг	–	4	4	4
6	Предел прочности при сжатии	кг	36,2	43,5	45,4	40,3
7	Предел прочности при изгибе		4,3	6,2	6,5	5,8

Анализ проведенных исследований показывает, что наибольший прирост прочностных характеристик наблюдается при армировании полипропиленовым волокном длиной 6 мм. Для дальнейших исследований принимает его.

Для оптимизации структуры мелкозернистого фибробетона в качестве вяжущего будем

применять ВНВ-100 и установим оптимальный процент дисперсного армирования полипропиленовым волокном. Составы дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Составы бетонов

№ п/п	Состав бетона	Ед. изм.	1 Контр.	2	3	4
1	ВНВ-100	кг	400	400	400	400
2	Песок	кг	520	520	520	520
3	Отсев КВП	кг	1240	1229	1224	1221
4	Вода	л	220	225	227	229
5	Полипропиленовая фибра, длиной 6 мм	кг	–	3	4	5

Результаты экспериментальных исследований по влиянию армирующего материала на прочностные характеристики мелкозернистого бетона представлены на рис. 3.

Проведенные исследования показали эффект от дисперсного армирования мелкозернистого бетона на техногенном сырье и композиционном вяжущем, поскольку предел прочности

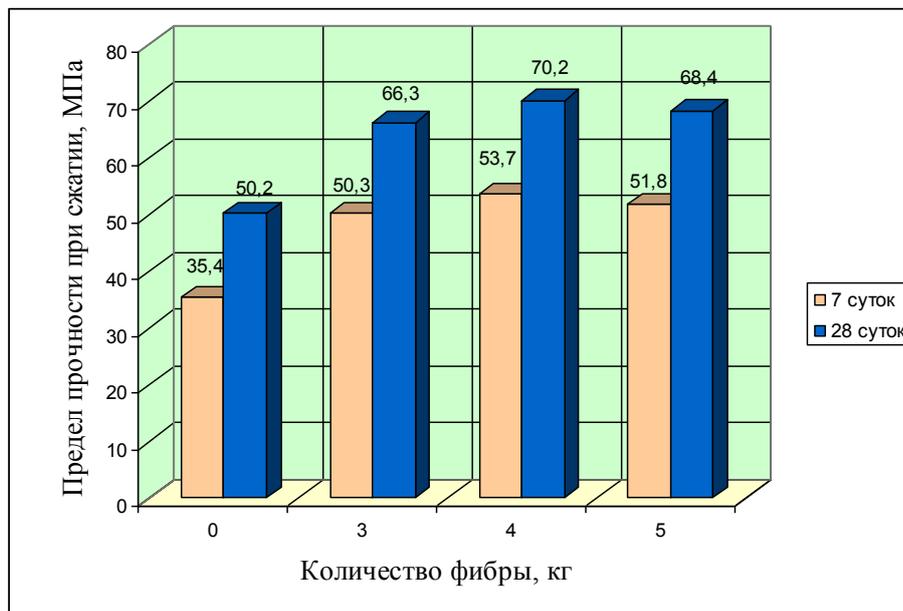
при сжатии повысился до 32% и предел прочности при изгибе до 64%. Таким образом, установлено оптимальное содержание полипропиленового волокна в мелкозернистом бетоне для покрытий автомобильных дорог равное 4 кг/м³.

Из проведенных экспериментальных исследований доказана возможность использования противоточного пневмосмесителя для производ-

ства дисперсно-армированных смесей, поскольку благодаря его использованию происходит «распушение» полипропиленовых волокон и удается избежать образования «ежей» и «ком-

ков», что приводит к увеличению содержания армирующего материала в мелкозернистом бетоне до 5 раз, это и приводит к увеличению его прочностных характеристик

a



б

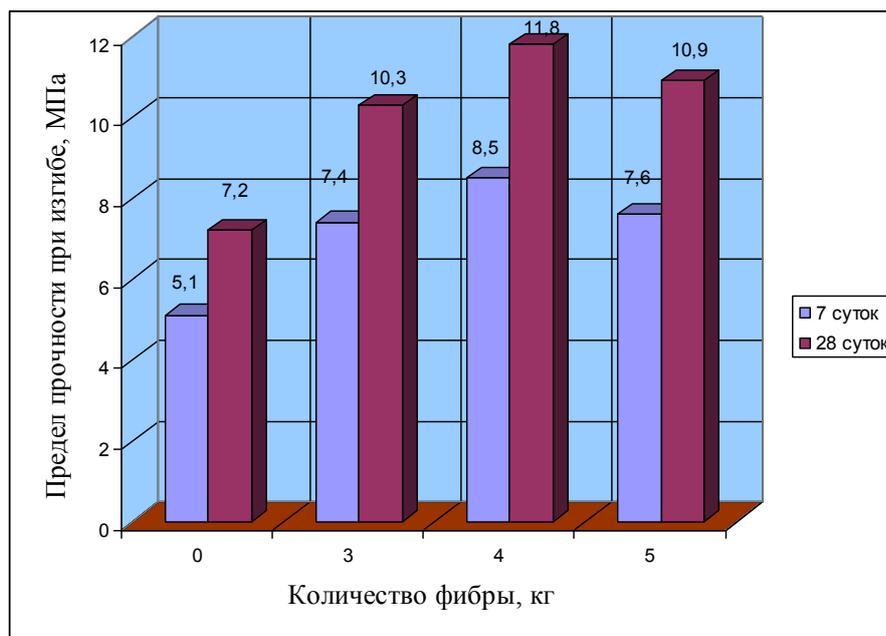


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований мелкозернистого фибробетона: *a* – предел прочности при сжатии; *б* – предел прочности при изгибе

В мелкозернистом бетоне (состав 4) происходит его «переармирование», что приводит к снижению прочностных характеристик и дальнейшее увеличение содержания полипропиленового волокна не целесообразно, это объясняется тем, что толщина цементного камня между волокнами становится слишком мала и образец склонен к расслоению. Изучения микроструктуры контактной зоны полипропиленового волокна и цементного камня представлены на рис. 4.

Установлен оптимальный процент дисперсного армирования мелкозернистого бетона полипропиленовой фиброй равный 4 кг/м³. Это объясняется тем, что дальнейшее увеличение процента дисперсного армирования дает незначительный прирост эксплуатационных характеристик, а в некоторых случаях и их снижением за счет уменьшения толщины бетонного слоя настолько, что материал проявляет склонность к расслоению.

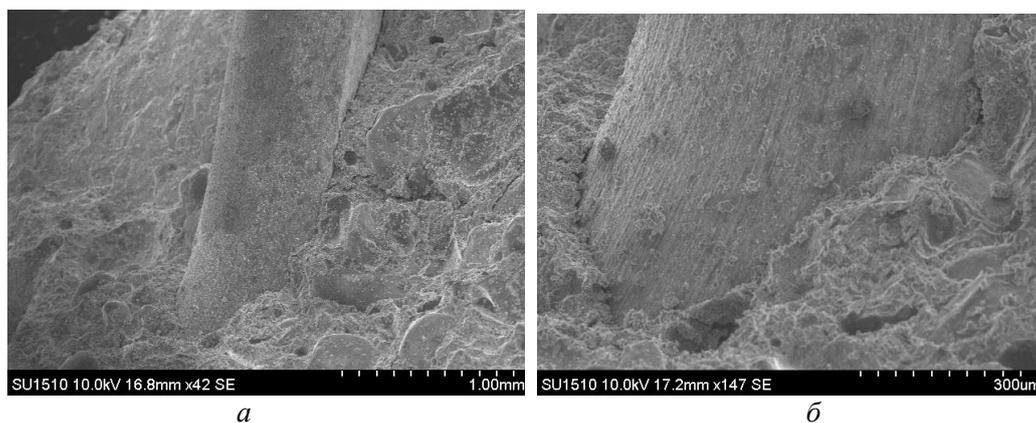


Рис. 4. Микроструктура контактной зоны «цементный камень – полипропиленовое волокно»:
а – на ВНВ-100; б – на Цем I 42,5Н

Выявлены особенности микроструктуры контактной зоны полипропиленовая фибра – цементная матрица в зависимости от вида вяжущего, заполнителя и суперпластификатора. Установлен характер зависимости прочности сцепления полипропиленовой фибры от вида и количества вышеперечисленных параметров.

**Работа выполнена в рамках реализации гранта президента Российской Федерации МК-5667.2013.8 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 г. грант №Б-21/12.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клюев А.В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон на техногенном песке КМА для изгибаемых изделий: автореф. дис. ... к.т.н. Белгород 2012. 24 с.

2. Клюев А.В. Стальные фибры и их применение для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов // Инновационные материалы технологии; сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф.: Белгород, 11-12 окт. 2011 г. / Белгор. гос. технол. ун-т, Белгород: Из-во БГТУ, 2011. Ч. 1. С. 229 – 232.

3. Клюев А.В., Лесовик Р.В. Техногенные пески как сырье для производства фибробетона // Инновационные материалы технологии; сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / Белгор. гос. технол. ун-т, Белгород: Из-во БГТУ, 2010. Ч. 3. С. 273 – 277.

4. Клюев А.В. Сталефибробетон для сборно-монолитного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 60 – 63.

5. Клюев А.В., Лесовик Р.В. Сталефибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках КМА для изгибаемых конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 14 – 16.

6. Клюев А.В. Экспериментальные исследования сталефибробетонных конструкций //

Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 21 – 26.

7. Клюев С.В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №4. С. 71 – 74.

8. Клюев С.В. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 61 – 66.

9. Лесовик Р.В., Клюев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 41 – 47.

10. К вопросу применения техногенных песков для производства мелкозернистого фибробетона / А.В. Клюев, А.В. Нетребенко, А.В. Дураченко, Е.К. Пикалова // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. №1. С. 32 – 34.

11. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №1. С. 30 – 33.

12. Лесовик Р.В., Клюев А.В. Расчет высокоплотной упаковки зерен мелкозернистого бетона // Инновационные материалы технологии; сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / Белгор. гос. технол. ун-т, Белгород: Из-во БГТУ, 2011. Ч. 1. С. 233 – 238.

13. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. №1(649). С. 28 – 33.

14. High strength fiber concrete for industrial and civil engineering / S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, R.V. Lesovik, A.V. Netrebenco // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №10. С. 1280 – 1285.

15. Fiber Concrete on Composite Knitting and Industrialsand KMA for Bent Designs / R.V. Lesovik, S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, A.V. Netrebenko, N.V. Kalashnikov // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30 №8. С. 964 – 969.

16. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2013. – 127 с. ISBN 978-3-659-35755-8

17. Lesovik V. S., Alfimova N. I., Savin A. V., Ginzburg A. V., Shapovalov N. N. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // World Applied Sciences Journal. – 2013 – 24 (12) – 1691–1695.

18. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н., Ластовецкий А.Н. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья

для производства строительных материалов* // Региональная архитектура и строительство. 2008. №2. С. 10–15.

19. Пат. 2389711 Российская Федерация, МПК С04В 04/00, В02С 19/18, В82В 1/00. Способ получения вяжущих для бетонов / Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Лесовик Р.В., Строкова В.В., Шейченко М.С., Трунов П.С. //заявитель и патентообладатель Белг. гос. тех. универ. им. В.Г. Шухова– №2008137823/03; заявл. 29.09.08; опубл. 20.05.10, Бюл. №14 (П.ч.) – 3 с.

20. Пат. 2385301 Российская Федерация, МПК С 04В 7/02 С. Композиционное вяжущее / Лесовик В.С., Хархардин А.Н., Вишневская Я.Ю., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Трунов П.В. // заявитель и патентообладатель Белг. гос. тех. универ. им. В.Г. Шухова– № 2009109034/03; заявл. 11.03.2009; опубл. 27.03.10, Бюл. №9 (П.ч.) – 4 с.