

## Экспериментальные исследования

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИБРОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

КЛЮЕВ С.В., канд. техн. наук, доц., докторант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г.

Шухова, E-mail: Klyuyev@yandex.ru

*В статье рассмотрены вопросы применения полипропиленовой фибры для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов. Проведены экспериментальные исследования фибробетонных образцов на композиционном вяжущем.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экспериментальные исследования, фибробетон, полипропиленовая фибра.

В настоящее время сфера использования железобетонных конструкций в России значительно расширяется. Многие здания и сооружения меняют свое функциональное назначение. Применение композиционных материалов способны разрешить данные проблемы [3]. Использование дисперсно-армированных цементных композиций позволяет выпускать облегченные строительные конструкции с повышенной прочностью на изгиб и ударной вязкостью. Выбор волокна обуславливается тем, какими свойствами должна обладать композиция для удовлетворения заданным требованиям.

Существуют многочисленные разновидности изделий из фибробетона, которые находят разнообразное применение. Использование полипропиленовых волокон позволяет получить экономию за счет сокращения размеров сечений. Изучение возможности замены полипропиленовым волокном других волокон в бетоне показало, что получаемый прочный и легкий композит с высокой вязкостью разрушения представляется весьма перспективным.

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 складировать 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, 2].

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

Таблица 1

Химический состав цемента

Марка цемента	Химический состав, % по массе								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	CaO <sub>св</sub>	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

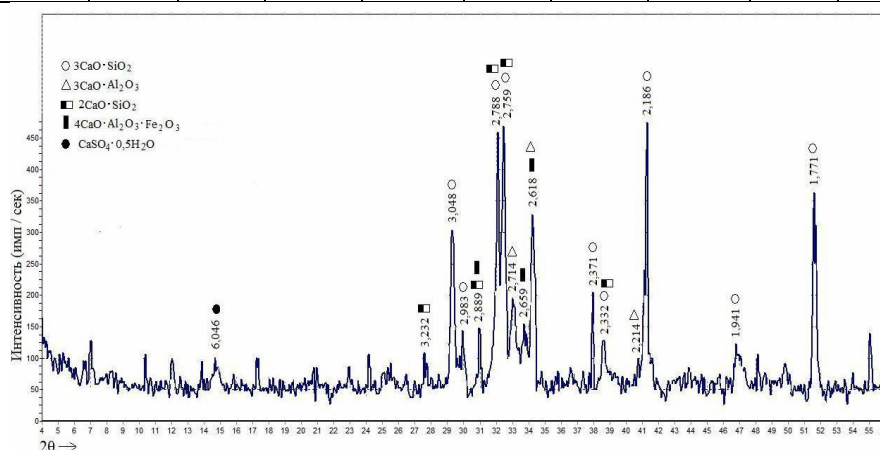


Рис. 1. Дифрактограмма цемента

Были проведены исследования по определению минералогического состава Цем I 42,5Н которые позволили установить, что минералогический состав образца цемента представлен силикатами кальция: 3CaO·SiO<sub>2</sub>, 2CaO·SiO<sub>2</sub>; алюминатом и алюмоферритом кальция: 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; полугидратом сульфата кальция CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O (рис. 1). Соотношение содержания основных

компонентов представленного образца цемента указывает на его соответствие ГОСТ 10178 – 85. Для оценки качества применяемых заполнителей были изучены их основные физико-механические свойства (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические характеристики заполнителя		
Наименование показателя	Отсев дробления КВП	Нижне-Ольшанский песок
Модуль крупности	3,50	1,12
Насыпная плотность в неуплотненном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1415	1467
Насыпная плотность в уплотненном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1490	1648
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2,71	2630
Пустотность, %	47,8	44,2
Водопогребность, %	5,5	11
Цементопотребность	0,530	0,63

Проведенные исследования по определению минералогического состава заполнителя позволили установить, что:

1) мелкий заполнитель в виде кварцевого песка Нижне-Ольшанского месторождения в качестве главного минерала содержит кварц ( $\beta$ -SiO<sub>2</sub>), идентифицируемый по отражениям 3,34, 4,25, 1,82 Å. Аксессуаром в исследуемом материале является кальцит (CaCO<sub>3</sub>), содержание которого не превышает 5 % (рис. 2, табл. 3).

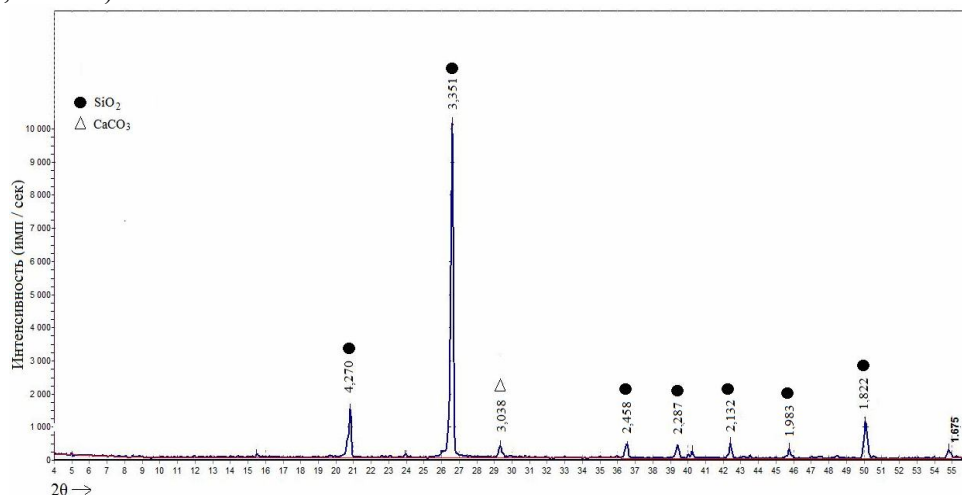


Рис. 2. Дифрактограмма кварцевого песка Нижне-Ольшанского месторождения

Таблица 3

Минералогический состав кварцевого песка Нижне-Ольшанского месторождения

№ пробы	Формула	Название	Основные отражения	Усл.* конц., %	Эталон № ICDD
06746	SiO <sub>2</sub>	Quartz	3,34, 4,25, 1,82	95,2	46-1045
	CaCO <sub>3</sub>	Calcite	3,03, 2,28, 2,09	4,8	5-586

2) основным минералом мелкого заполнителя в виде отсева дробления кварцопесчаника, относящегося к метаморфическому генезису, также является-

ся кварц, содержание которого составляет около 87 % (рис. 3, табл. 4). Акцессорными минералами выступают мусковит (6%), альбит (3%) и кальцит (1,6%).

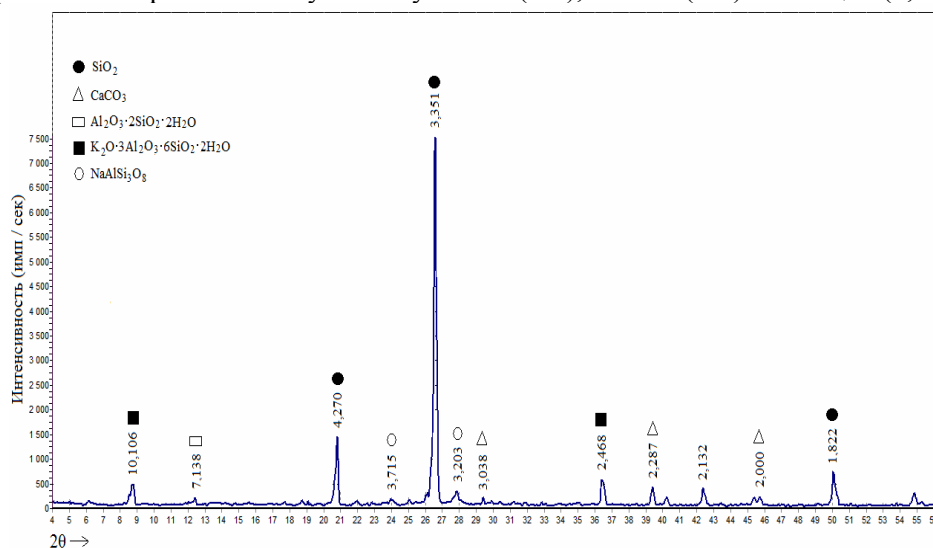


Рис. 3. Дифрактограмма отсева дробления кварцитопесчанника

Таблица 4

Минералогический состав отсева дробления кварцитопесчанника

№ пробы	Формула	Название	Основные отражения	Усл. * конц., %	Эталоны № ICDD
06747	SiO <sub>2</sub>	Quartz	3,34 <sub>x</sub> 4,25 <sub>2</sub> 1,82 <sub>2</sub>	87,3	46-1045
	CaCO <sub>3</sub>	Calcite	3,03 <sub>x</sub> 2,28 <sub>2</sub> 2,09 <sub>2</sub>	1,6	5-586
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Kaolinite	7,14 <sub>x</sub> 3,57 <sub>6</sub> 4,36 <sub>5</sub>	1,6	80-886
	K <sub>2</sub> O·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Muscovite	10,03 <sub>x</sub> 2,57 <sub>3</sub> 3,34 <sub>9</sub>	6,3	Горшков, с. 207-208
	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Albite	3,19 <sub>x</sub> 3,78 <sub>3</sub> 3,68 <sub>2</sub>	3,2	9-466

Производственная практика показала, что армирование цементной матрицы полипропиленовым 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%.

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°C. Затем были сняты формы и бетонные образцы перенесены в сухое место (камера твердения с температурой 20°C и влажностью более 90%, что соответствует требованиям ГОСТ).

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 методике. Результаты экспериментов представлены в табл. 5.

Анализ результатов экспериментов по изучению влияния различных дозировок полипропиленовых волокон показал, что бетонные образцы имеют различные показатели прочности на сжатие и на растяжение при изгибе. Наилучшие показатели прочности дали образцы, имеющие в составе полипропиленовое волокно в количестве 4 кг. При этом отмечается повышение прочности на сжатие до 13% и на растяжение при изгибе до 38% . С увеличением процента арми-

рования бетонных образцов отмечается снижение прироста прочности на сжатие, а на растяжение при изгибе прочность образцов становится меньше прочности контрольного образца.

Таблица 5

№ п/п	Состав бетона	Ед. изм.	1 Контр.	2	3	4
1	Композиционное вяжущее	кг	410	410	410	410
2	Песок	кг	640	640	640	640
3	Отсев КВП	кг	1160	1160	1160	1160
4	Вода	л	200	200	200	200
5	Полипропиленовая фибра	кг	–	4	6,7	9,3
6	Прочность бетона на растяжение при изгибе на 7 сут.	МПа	10,9	14,7	10,5	10,3
7	Прочность бетона на растяжение при изгибе на 28 сут.	МПа	14,9	20,6	13,8	13,3
8	Прочность бетона на сжатие 28 сут.	МПа	37,7	42,4	40,2	39,6

На основе результатов экспериментальных исследований осуществлена оценка эффективности влияния дисперсного армирования мелкозернистого бетона полипропиленовым волокном. Использование полипропиленового волокна более эффективно для повышения прочности мелкозернистого бетона на растяжение при изгибе и рекомендуется ее применение для конструкций, работающих на это воздействие.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лесовик, Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: дисс. ... д-ра техн. наук / Р.В. Лесовик. – Белгород, 2009. – 496 с.
2. Лесовик, Р.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций / Р.В. Лесовик, А.В. Клюев, С.В. Клюев // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: Сб. докл. Межд. науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч.3. – С. 140 – 143.
3. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны/ Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 174 с.

#### EXPERIMENTAL RESEARCHES OF FINE-GRAINED CONCRETE CONSTRUCTIONS

Klyuyev S.V.

Acute questions of polypropylene using for disperse-reinforced fine-grained concrete are considered. Researchers of steel fibber concrete patterns based on astringent material are held.

KEY WORDS: experimental research, steel fibber concrete patterns, polypropylene fibres.

