

УДК 691.332

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ
ПРИ ИХ МОДИФИКАЦИИ ОТХОДАМИ КАМНЕОБРАБОТКИ И ТЕХНИЧЕСКИМИ ВОЛОКНАМИ**

Д.В. БУРБА; канд. техн. наук, доц. Д.И. САФОНЧИК
(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

Исследуются физико-механические свойства бетонов, изготовленных по разработанному авторами рецепту. На основании полученных результатов предложено заменять часть природного песка гранитовыми отходами, а также производить фиброармирование бетона при помощи полиэфирных волокон. Выполнены исследования характеристик гранитных отходов. Установлено, что использование отходов камнеобработки позволяет экономить природный кварцевый песок при изготовлении бетонных образцов, но может приводить к появлению усадочных трещин на поверхности бетона. Показана возможность исключить образование поверхностных трещин при комплексном использовании пластифицирующей добавки и полиэфирных волокон.

Ключевые слова: *тяжелый бетон, отходы камнеобработки, гранитные отсевы, кварцевый песок, полиэфирные и полиамидные волокна, пластифицирующие добавки, усадочные трещины, износостойкость, прочность на сжатие.*

Бетон – один из самых распространенных в настоящее время конструкционных материалов, обладающий целым рядом положительных свойств. С течением времени менялись требования к строительным конструкциям, что вызывало необходимость изменения состава тяжелого бетона. Современный бетон уже не является простым искусственным камнем, полученным в результате затвердевания смеси, состоящей из песка, щебня, цемента и воды. Для улучшения физико-механических характеристик в бетонные смеси вводят различные модификаторы, выполняется активация отдельных компонентов. Увеличение количества составляющих бетона приводит не только к изменению его свойств, но также увеличивает стоимость бетонных и железобетонных конструкций. Поэтому при проектировании составов бетонных смесей целесообразно использовать в их составе местные материалы и материалы, являющиеся отходами различных производств.

В Республике Беларусь имеются предприятия, на которых при производстве основной продукции образуются различные отходы. Затраты на утилизацию этих отходов значительно увеличивают конечную стоимость продукции, поэтому для любой производственной организации проблема утилизации отходов является весьма актуальной. К примеру, в Беларуси успешно функционирует предприятие РУПП «Гранит», на котором производят щебень различных фракций. В результате производства образуются гранитные отсевы крупностью 0...10 мм.

Проблеме использования отходов камнеобработки посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных исследователей. Результатом научно-исследовательских работ явились рекомендации по применению каменных отсевов при производстве следующих строительных материалов: пеностекло; сухие строительные смеси; цементы и бетоны.

В бетонах различного назначения гранитные отсевы, большую часть которых можно отнести к крупным и очень крупным пескам (с модулем крупности $M_{кр}$ от 2,5 до 3,6), применяются как укрупняющая добавка к природным мелким кварцевым пескам. Такая добавка позволяет заменить часть песка гранитными отсевами дробления и снизить расход вяжущего на 15...20% [1].

Основным препятствием для использования гранитных отсевов дробления является большое количество пылеватых частиц крупностью менее 0,14 мм, которое может достигать 15...20% от общего объема отсевов. Кроме того, в добываемой гранитной породе может присутствовать большое количество глинистых частиц (до 12%). Всё это приводит к увеличению водопотребности и к перерасходу цемента до 20%, а также к образованию неоднородной структуры бетона и шероховатой поверхности [1].

Анализ специальной литературы показал, что исследователи не пришли к единой точке зрения относительно влияния гранитных отсевов (в частности фракции менее 0,14 мм) на физико-механические и эксплуатационные характеристики бетонов. Значительная часть исследователей сходится во мнении о негативном влиянии этих частиц на свойства бетонных смесей (повышение водопотребности, уменьшение удобоукладываемости) [1; 2]. Другие считают, что частицы гранитных отсевов крупностью менее 0,14 мм обладают активностью и могут вступать в химическое взаимодействие с продуктами гидратации и влиять на свойства цементных систем.

Горностаевой Т.А. были проведены исследования по применению отсевов дробления в мелкозернистом бетоне, в результате которых установлено влияние отсевов дробления на структурообразование

мелкозернистых бетонов, получены основные зависимости свойств бетонных смесей и бетонов от их состава, обосновано их использование в бетонах классов по прочности на сжатие до В40 [3].

Исследования Л.Д. Чумакова, Нгуен Вьет Кыонга (МГСУ, Россия) позволяют сделать вывод о том, что пылеватые фракции гранитного щебня могут быть использованы в качестве активного наполнителя для тяжелых цементных бетонов (использование пылевидной фракции менее 0,14 мм, близкой по размерам к крупным зернам цемента, с удельной поверхностью 1800 см²/г, в качестве активного наполнителя способствует повышению прочности бетона на сжатие и при изгибе, а также сокращению расхода цементного вяжущего до 10% [4]).

В научной работе Е.Ф. Кузнецовой, Г.М. Соболева, К.Г. Соболева (БГТУ им. В.Г. Шухова, Россия) исследовалась возможность получения эффективных литых бетонов путем введения минерального микронаполнителя из отходов добычи и обработки известняка и гранитного щебня и суперпластификатора в состав бетонных смесей. Это способствует улучшению структуры цементного камня, повышению прочности бетона при сжатии при сокращении расхода цементного вяжущего до 10% [5].

В исследованиях П.Л. Федоровича, А.В. Смолякова, А.А. Дрозда, Э.И. Батыновского (БрГТУ, Беларусь) обоснована возможность использования гранитных отсеков в качестве минеральной добавки к цементу, а также возможность создания бетонов на мелком заполнителе, обогащенном крупными фракциями отсева. Экспериментально доказана эффективность обогащения мелкозернистых песков до $M_k = 3,5$ крупными фракциями гранитного отсева (приводит к улучшению морозо-, соле-, водостойкости; снижается водопоглощение мелкого заполнителя и увеличивается прочность бетона) [6].

Учеными центрального дорожного исследовательского института из Нью-Дели (Индия) проводилось исследование, в результате которого было определено влияние гранитных отсеков крупностью 0,315...5 мм на прочностные характеристики бетонов. Бетонные образцы размерами 100×100×100 мм испытывались на сжатие на 1, 7, 14, 28, 56, 90-е сутки. В результате испытаний был сделан вывод о том, что наилучшими показателями прочности на сжатие обладают бетонные образцы из составов, полученных путем замены 15% мелкого заполнителя гранитными отсеками крупностью 0,315...5 мм (максимальное увеличение прочности – 6% на 90-е сутки) [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что проблема использования отходов камнеобработки является актуальной. Однако по-прежнему не сформированы основные и эффективные области применения этих отходов в строительстве.

Еще одним примером крупного предприятия, на котором образуются отходы, является ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот» – крупный производитель полиамидных и полиэфирных нитей, а также композиционных материалов на их основе. При производстве указанных материалов образуются отходы в виде обрывков нитей и волокон. Известно, что короткие химические волокна можно применять для получения фибробетонов, которые отличаются повышенными трещиностойкостью и изностойкостью. В настоящее время в практике проектирования фибробетонов наибольшее распространение нашли фибры из стальной проволоки и базальтового волокна.

Исследовательская часть. В Гродненском государственном университете имени Янки Купалы выполняется научно-исследовательская работа по изучению свойств бетонов, модифицированных отходами камнеобработки и отходами синтетических волокон. Гранитные отсеки, использованные в работе, предоставлены предприятием КУП «Гроднооблдорстрой».

Отсевы гранитного щебня для их изучения предварительно разделялись на группы разной крупности, и для каждой группы определялся удельный вес частиц группы в общей массе навески (табл. 1).

Таблица 1 – Удельный вес частиц разной крупности в массе навески

Наименование показателя	Крупность частиц отсева, мм			
	> 10	5...10	0,14...5	< 0,14
Содержание в навеске частиц, %	0,92	3,00	82,92	13,14

По данным таблицы 1 можно сделать вывод о том, что в гранитных отсеках преобладают частицы крупностью 0,14...5 мм (их содержание составляет около 83% от общей массы исследуемой пробы).

При помощи цифрового микроскопа МИКРОН-500 были изучены формы поверхности частиц гранитных отсеков (рис. 1). На основе анализа снимка цифрового микроскопа, представленного на рисунке 1, сделан вывод о том, что поверхность гранитных частиц имеет развитую структуру. Это можно объяснить тем, что в результате механической обработки поверхностные слои гранита разрушаются, вследствие чего них создается множество дополнительных дефектов (дробление способствует актива-

ции поверхности за счет увеличения количества дефектов в частицах, а также приводит к увеличению площади поверхности отдельной частицы).

Таким образом, влияние частиц крупностью менее 0,14...5 мм отсевов дробления гранитного щебня на процесс гидратации и формирование структуры бетонов определяется характеристиками поверхности этих частиц.

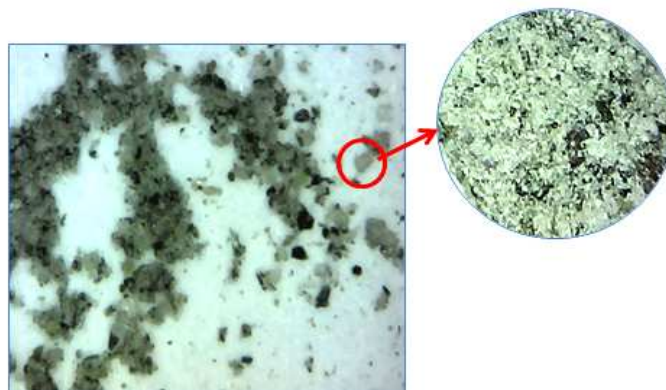


Рисунок 1. – Частицы отсевов дробления гранитного щебня

Химический состав гранитных отсевов изучался в сравнении с химическим составом кварцевого песка при помощи спектрометра СЕР-01 (рис. 2).

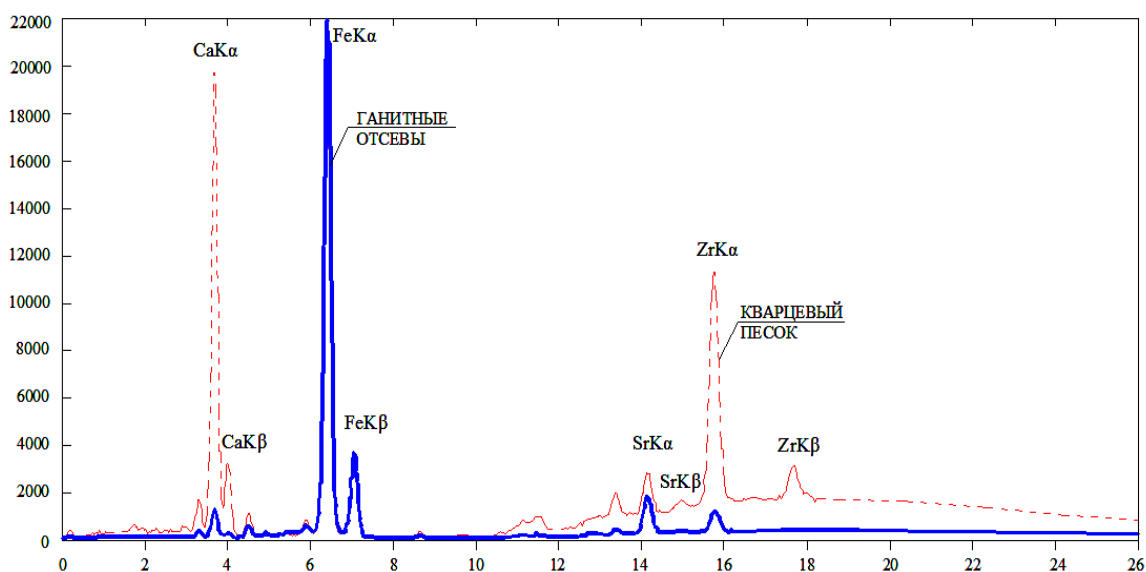


Рисунок 2. – Спектрограмма гранитных отсевов и кварцевого песка

По представленной на рисунке 2 спектрограмме можно сделать вывод, что гранитный отсев при сравнении его с кварцевым песком характеризуется содержанием в своем составе большего количества железа (Fe), кроме этого в его составе, в отличие от песка, присутствуют элементы иттрия (Y) и молибден (Mo).

Выполнив предварительное исследование гранитных отсевов, принято решение использовать их в качестве частичной замены кварцевого песка при изготовлении бетонов (применялись только частицы, сопоставимые по своей крупности с частицами природного песка).

Экспериментальные исследования показали, что при введении отсевов вместо части природного песка (до 10%) прочность образцов на сжатие не уменьшается, а даже наблюдается незначительное ее увеличение (до 6%). На поверхности образцов, изготовленных с применением отсевов, наблюдались поверхностные усадочные трещины. С целью уменьшения количества и размеров усадочных трещин в состав образцов предложено вводить синтетические волокна.

В качестве синтетического волокна нами использованы материалы, полученные с ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот». Основные свойства волокон приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства фиброволокна

Волокно	Плотность, кг/м ³	Предел прочности на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Температура деструкции, °С
Полиэфирное	1380	800...1000	2000...2500	240...260

Заключение. Использование полиэфирных волокон привело к ожидаемому результату и позволило повлиять на износостойкость образцов.

В результате выполнения научно-исследовательской работы предложен состав бетонной смеси. В смесь вводились гранитные отсеvy (10% природного песка заменялась отсеvами крупностью 0,14...5 мм), добавка С-3 и полиэфирные волокна.

Установлено, что бетонные образцы разработанного состава обладают повышенной прочностью на сжатие (до 14%).

Для бетонных образцов, изготовленных с применением отсеvов и синтетической фибры, величина водопоглощения изменяется незначительно (на 7-е сутки уменьшается на 2%, на 28-е – на 3%). Кроме того, несколько снижается показатель общей пористости бетона (на 2,63%), а также показатели объёма открытых капиллярных (на 3,02%) и некапиллярных (0,63%) пор.

Износостойкость бетонных образцов разработанного состава может быть улучшена на 18%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Использование отсеvов дробления изверженных горных пород при производстве щебня / М.Л. Писневич [и др.] // Строительные материалы. – 1982. – № 6. – С. 6–7.
2. Левин, Л.И. Применение отсеvов дробления в бетонах с эффективными пластификаторами / Л.И. Левин, В.Н. Тарасова, Е.И. Левина // Малоотходная технология при производстве нерудных строительных материалов и облицовочных материалов из природного камня : материалы семинара. – М. : МДНТП. – 1987. – С. 128–134.
3. Горностаева, Т.А. Мелкозернистые бетоны с использованием отсеvов дробления щебня изверженных горных пород : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Т.А. Горностаева. – М., 2005. – 236 л.
4. Чумаков, Л.Д. Влияние содержания пылевидных частиц в отсеvах дробления горных пород на свойства растворной составляющей бетона / Л.Д. Чумаков. – М. : МГСУ, 2008.
5. Кузнецова, Е.Ф. Получение эффективных литых бетонных смесей и бетонов на основе наноматериалов и отходов камнеобработки / Е.Ф. Кузнецова, Г.М. Соболев, К.Г. Соболев // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – С. 7–10.
6. Федорович, П.Л. Эффективность использования технологических гранитных отсеvов РУПП «Гранит» в цементных бетонах / П.Л. Федорович, А.В. Смоляков. – Брест : БрГТУ, 2014. – Ч. 2.
7. Ankit Nileshchandra Patel. Stone waste for concrete with value creation opportunities / Ankit Nileshchandra Patel // International journal of latest trends in engineering and technology (IJLTET). – 2013. – Vol. 2. – P. 113–120.

Поступила 07.06.2016

CHANGING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE MODIFICATIONS IN THEIR STONE PROCESSING WASTE AND TECHNICAL FIBERS

D. BURBA, D. SAFONCHYK

The results of the study of physical and mechanical properties of concrete made by the authors developed the recipe. It is proposed to replace part of the natural sand from the granite-strokes, as well as produce concrete using polyester fibers. The studies of granite waste characteristics. It was found that the use of stone processing waste saves natural quartz sand in the manufacture of concrete samples, but can give rise to shrinkage cracks in the concrete surface. To exclude the possibility of formation of surface cracks is possible with the integrated use of plasticizing additives and polyester fibers.

Keywords: heavy concrete, stone processing waste, granite screenings, quartz sand, polyester and polyamide fibers, plasticizers, shrinkage cracks, wear-resistance, compressive strength.