

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО ГРАНАТОВОГО ПЕСКА ПОСЛЕ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ ИЗ ФТОРАНГИДРИТА

К.Т. Врона<sup>1</sup>, А.В. Матвиенко<sup>2</sup>

Научный руководитель - В.В. Матвиенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

В настоящее время при производстве минеральных и органических веществ на промышленных предприятиях России и мира всё больше внимания обращается на проблему образования и накопления крупнотоннажных отходов, содержащих гипс. Одним из видов гипсосодержащих отходов является фторангидрит – побочный продукт производства плавиковой кислоты. Ежегодно в Томской области образуется 13,5 тыс. т фторангидрита, в России – около 350 тыс. т, а в Казахстане – 100 тыс. т [2] Эти отходы обычно вывозят на полигоны, либо сбрасываются в реки, тем самым загрязняя гидросферу и литосферу. Исследователями были открыты различные направления использования фторангидрита в качестве сырья при производстве бетонов, шпатлевок, красок, сухих строительных смесей, строительных растворов и т.д. [1].

Одно из направлений использования фторангидрита – в качестве слоя дорожной одежды автомобильных дорог, однако, ввиду низкой водостойкости фторангидрита (около 50%), необходимо добавлять добавки, повышающие водостойкость. В качестве такой добавки было предложено использовать отработанный гранатовый песок, являющийся отходом, образующимся при гидроабразивной резке. Гидрорезка представляет собой процесс воздействия на материал высокоскоростной струи воды, смешанной с абразивом. В результате, после использования, образуемую пульпу гранатового песка не регенерируют по причине сложности дифференциации крупнодисперсных частиц гранатового песка от мелкодисперсных частиц гранатового песка и частиц разрезаемых деталей, и вывозят отработанный гранатовый песок на полигоны. Авторами [4, 5] обнаружено, что целесообразно использовать отработанные гранатовые пески после пескоструйной обработки в качестве замены речного песка в геополимерном самоуплотняющемся бетоне. Исследования показали удовлетворительную производительность с высокой прочностью на сжатие. Количество гранатового песка – 25 % (мас.) показало оптимальную производительность как по способности самоуплотнения, так и по механическим свойствам.

Целью работы являлось определение возможности использования отработанного гранатового песка в качестве добавки для повышения водостойкости слоев дорожной одежды из фторангидрита. Задачи исследования – разработка составов водоангидритовых суспензий, определение прочности и водостойкости этих составов.

Приборы и методы исследования: исследование гранулометрического состава отработанного гранатового песка проводилось согласно ГОСТ 27562-87 методом ситового анализа – автоматически ситовым вибрационным анализатором АСВ-200, а также вручную с промывкой водой. Использовали сита с размером ячейки: 100, 75, 44 мкм. Гранулометрический анализ фторангидрита проводился по микрофотографиям со сканирующего электронного микроскопа «Hitachi TM-3000», химический анализ гранатового песка проводился на энергодисперсионном рентгеновском спектрометре «JEOL JED-2300». Определение прочности на сжатие разрабатываемых составов проводили по ГОСТ 23789-2018 на лабораторном гидравлическом прессе. Водостойкость определяли по экспериментальной методике, основанной на ГОСТ 30629-99 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний» и ГОСТ 23789-2018.

Слои дорожной одежды из фторангидрита должны иметь значения предела прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии согласно приведенным в таблице 1 [3].

В качестве вяжущего был взят нейтрализованный фторангидрит – сульфаткальциевый отход фтороводородного производства ОАО «СХК», г. Северск. Средняя дисперсность нейтрализованного и измельченного ангидрита составляла 10 мкм. В качестве отработанного гранатового песка был взят гранатовый песок, использовавшийся в гидрорезке деревянных, металлических и керамических изделий фирмой «Гидрорез», г. Томск. Гранулометрический состав гранатового песка представлен в таблице 2.

Таблица 1

*Значения предела прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии*

Марка по прочности по ПНСТ 265	Предел прочности при сжатии (МПа) в возрасте, сут.	
	7	28
40	от 2,0 до 3,0	от 4,0 до 6,0
60	от 3,0 до 4,0	от 6,0 до 7,5
75	от 4,0 до 5,0	от 7,5 до 10

Таблица 2

*Результаты ситового анализа отходов гранатового песка*

Класс, мкм	+100	-100+75	-75+44	-44
Массовое содержание, %	50,4	11,9	14,5	23,2

Химический состав показан в таблице 3, как видно из таблицы, гранатовый песок представлен

преимущественно минералом альмандином –  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , а также пиропом –  $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , спессартином –  $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  и уваровитом –  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ .

Таблица 3

Химический анализ отработанного гранатового песка

Элемент	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Всего
% (мас.)	38,27	4,32	10,16	13,78	2,11	1,43	0,51	0,77	28,65	100,00
Соединение	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	FeO		
% (мас.)	7,16	19,20	29,48	2,95	2,39	0,75	1,22	36,85		100,00

Были приготовлены кубики размером (4×4×4) см следующего состава: ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) – 100% (мас.), сверх 100 % ангидрита: ускоритель схватывания ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) – 1,5% (мас.), отход гранатового песка – от 0 (индикаторные образцы) до 50% (мас.), вода – 35% (мас.). Через 28 суток выдержки на воздухе эти кубики были подвергнуты испытаниям на прочность сжатия и на водостойкость.

На рисунке представлены результаты испытаний лабораторных образцов, как видно, наибольшая прочность на сжатие у составов при содержании гранатового песка 5% (мас.) сверх 100 % (мас.) фторангидрита. При увеличении содержания в составах гранатового песка прочность сжатия уменьшается. При определении водостойкости было установлено, что при содержании гранатового песка 10 % (мас.) сверх 100 % (мас.) фторангидрита достигается наибольшая водостойкость – 78 %, что превышает в два раза водостойкость составов без добавления гранатового песка.

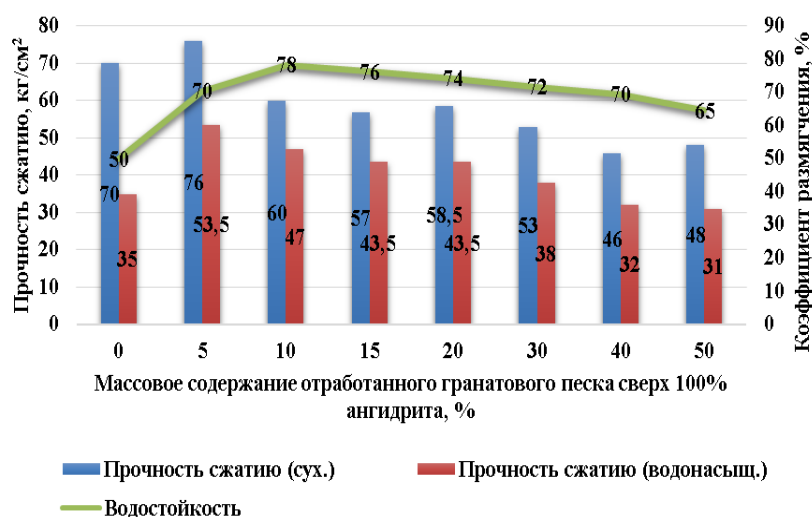


Рис. Зависимость прочности сжатия и водостойкости от массового содержания гранатового песка в водоангидритовых суспензиях

Было установлено, что разработанные составы в водонасыщенном состоянии соответствуют по прочности марке – 40 и 60 согласно ПНСТ 265, а учитывая, что наибольшая водостойкость достигается при содержании 10 % (мас.) отработанного гранатового песка сверх 100 % (мас.), рекомендуется добавлять отходы гранатового песка от 5 до 10 % (мас.). Таким образом, утилизация отходов, содержащих фторангидрит и гранатовый песок, в качестве дорожной одежды позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

#### Литература

1. Русина О. Н. Методика применения моделей и алгоритмов для повышения эффективности управления технологическим процессом утилизации сульфаткальциевых отходов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 – Томск, 2017. – 207 с.
2. Федорчук Ю.М. Техногенный ангидрит, его свойства, применение. – Томск: Изд-во ТГУ, 2003. – 110 с.
3. Фосфогипс дорожный для строительства дорожной одежды: ТУ (Изм. №1: СТО 24406528-01-2018 / Балаковский филиал АО «Апатит». – Балаково, 2018 г.
4. Muttashar H.L., Ariffin M.A.M., Hussein M.N., Hussin M.W., Ishaq S.B. Self-compacting geopolymer concrete with spend garnet as sand replacement // Journal of Building Engineering. – 2018. – Vol. 15. – P.85 – 94.
5. Muttashar H. L. et al. Microstructures and physical properties of waste garnets as a promising construction materials //Case studies in construction materials. – 2018. – Т. 8. – С.87 – 96.