

УДК 691.335

## ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО СЕРСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА

*Т.В. Булай<sup>1</sup>, М.И. Кузьменков<sup>2</sup>, Н.М. Шалухо<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск

e-mail: TRoman@grsu.by, kuzmenkov@belstu.by, shalukho@belstu.by

*Рассмотрен вопрос утилизации отходов камнеобработки в Республике Беларусь и применение гранитных отсеков в качестве заполнителей для создания композиционных материалов, изготовленных на основе серы. Приведены экспериментальные данные по исследованию физико-механических свойств серного бетона, таких как прочность и водопоглощение, в зависимости от количества серы, песка и гранитных отсеков, образующихся на РУПП «Гранит». Сделаны выводы о влиянии гранитных отсеков на свойства серного бетона.*

**Ключевые слова:** композиционный материал, серный бетон, наполнитель, прочность, водопоглощение.

## INFLUENCE OF FILLERS ON THE PROPERTIES OF THE COMPOSITE SULFUR-CONTAINING MATERIAL

*T. Bulai<sup>1</sup>, M. Kuzmenkov<sup>2</sup>, N. Shalukho<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>The Grodno state university of a name Yanka Kupala, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarus state technological university, Minsk

e-mail: TRoman@grsu.by, kuzmenkov@belstu.by, shalukho@belstu.by

*The issue of utilization of stone processing wastes in the Republic of Belarus and the use of granite screenings as aggregates for the creation of sulfur-based composite materials are considered. Experimental data on the physical and mechanical properties of sulfur concrete, such as strength and water absorption, are given, depending on the amount of sulfur, sand and granite screenings formed at the Granit RUPP. Conclusions are drawn about the effect of granite screenings on the properties of sulfur concrete.*

**Keywords:** composite material, sulfuric concrete, filler, strength, water absorption.

Промышленность строительных материалов на сегодняшний день является наиболее развитой и перспективной отраслью по переработке отходов производства и использованию вторичного сырья, по разработке и созданию новых видов строительных материалов с улучшенными свойствами. Проблемы утилизации отходов в Республике Беларусь по-прежнему остаются актуальными. Объемы образующихся отходов растут, что влечет за собой увеличение затрат на их утилизацию, хранение и транспортирование. Одним из предприятий, на котором до сих пор не решена проблема рационального

использования отходов, является РУПП «Гранит», на котором при изготовлении щебня образуется побочный продукт – гранитные отсевы, которые можно применять в качестве заполнителей для композиционных материалов.

Одним из перспективных композиционных материалов является строительный материал на основе серы, которая выступает в качестве вяжущего компонента. При различных сочетаниях серы и разнообразных заполнителей можно получить композиции нового строительного материала по свойствам не уступающего, а часто и превосходящего традиционные.

Наиболее рациональными областями применения серного бетона являются:

- коррозионностойкие элементы промышленных и сельскохозяйственных зданий: коллекторные кольца, лотки, кирпич, плитка, блоки, силосы на фермах, сгустители;
- элементы дорог: покрытия дорог, бордюрный камень, плитка тротуарная и др.;
- трубы: дренажные, канализационные и др.;
- стеновые материалы: кирпич, плитка, блоки и др.;
- элементы нулевого цикла: сваи, фундаментные блоки и др.;
- площадки для выгула скота;
- декоративные элементы;
- монолитные коррозионностойкие полы;
- кровельные материалы: черепица, навесы и др. [1].

Требования, предъявляемые к сере при изготовлении серных бетонов, связаны в основном с экологической безопасностью. Чистая сера не является экологически опасным продуктом, но при взаимодействии с окружающей средой, она может образовывать вредные химические соединения или выделять в окружающую среду растворенные в ней газы, прежде всего сероводород. Поэтому для обеспечения экологической безопасности достаточным является строгое соблюдение технологического режима производства, а именно исключение возможного значительного перегрева серобетонной смеси [2,3].

Кроме серы в состав серного бетона входят заполнители, наполнители и модификаторы для сохранения свойств материала в течение длительного времени.

С целью оптимизации составов композиционного серосодержащего материала осуществлялось варьирование составом смеси: сера + наполнители и оценивались основные физико-механические свойства, такие как прочность и водопоглощение.

В качестве вяжущего компонента для изготовления серного бетона использовалась сера, в качестве наполнителей песок и отходы камнеобработки – гранитные отсевы, которые образуются на РУПП "Гранит" (г. Микашевичи, Брестская обл.) в процессе добычи и обработки гранитного щебня [4,5,6].

Изготовление экспериментальных образцов из серного бетона включало приготовление шихты, состоящей из серы, заполнителей и наполнителей, предварительно перемешанных и нагретых до температуры 140-150 °С. В результате получается однородная смесь, которая в горячем легкоподвижном состоянии заливается в формы и уплотняется. После остывания смеси образцы извлекаются из форм.

Исследования свойств серного бетона проводились в несколько этапов. Первоначально испытания прочности и водопоглощения проводились на образцах, изготовленных из серы и отсева гранитного щебня различных фракций. Результаты показали, что прочность колеблется в пределах от 5,40 до 14,67 МПа, что гораздо ниже значений прочности образцов, изготовленных ранее из серы и песка, принятых за эталонные. Предел прочности данных образцов составил от 45,3 до 53 МПа.

В НИИЖБЕ были проведены исследования свойств композиций на основе термопластичного серного вяжущего и разработана технология производства материала. Приготовление серобетонной смеси, состоящей из термопластичного серного вяжущего (20-40%) и заполнителей (60-80 %) и формовка изделий производилась в горячем состоянии при температуре 130-150 °С. Затем следовало уплотнение смеси. Твердение смесей на основе серы является физическим процессом и происходило в результате остывания и образования прочной и плотной монолитной структуры. Были исследованы составы из термопластичного серного вяжущего, приготовленного с использованием технической серы, на прочность. Предел прочности контрольных составов на технической сере составил  $61 \pm 5,6$  МПа. В итоге, эксперимент показал, что значения пределов прочности образцов на основе серы, полученные в НИИЖБЕ и в наших исследованиях практически одинаковы [7].

На втором этапе состав сера + гранитные отсева был дополнен введением песка в различных процентных соотношениях по отношению к исходным компонентам. В результате наблюдали увеличение прочности образцов до 26,6 МПа.

Далее проводилось исследование водопоглощения образцов, изготовленных из серы и гранитных отсеков и из серы, гранитных отсеков и песка в возрасте 90 суток. Результаты показали, что водопоглощение колеблется в диапазоне соответственно от 0,1 до 0,86 % и от 0,22 до 1,3 %, что гораздо ниже, чем у традиционных бетонов на портландцементном вяжущем, составляющем 4,7-5,7 % [8,9].

Так как основной целью исследований на данном этапе являлось изучение влияния различных наполнителей на свойства серных бетонов, то можно сделать вывод о том, что наличие в составе композиционного материала, изготовленного на основе серы, гранитных отсеков приводит к уменьшению прочности материала в три и более раза в сравнении с эталонными образцами, изготовленными с использованием серы и песка.

Однако, исследования водопоглощения образцов показали отличный результат и подтвердили, что сера обладает гомогенной структурой и обеспечивает плотное расположение молекул относительно друг друга, а присутствие наполнителя приводит к тому, что молекулы серы сцепляют молекулы наполнителя и тем самым плотно заполняют внутреннее пространство вещества и сводят пористость материала к нулю.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волгушев, А.Н. Применение серы в строительстве / А.Н. Волгушев // Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности Newchemistry.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=4348](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4348). – Дата доступа: 03.11.2019.

2. Айдосов, А.А. Анализ производства серных бетонов и использование серы в дорожном строительстве / А.А. Айдосов, Г.А. Айдосов, Н.Г. Айдосов // Вестник КазНТУ. – 2011. – № 4(86). – С. 39-44.
3. Попова, И.А. Бетоны с повышенными физико-техническими свойствами на основе серосодержащих вторичных отходов: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.05 / И.А. Попова. – Москва, 2004. – 180 с.
4. Сера техническая. Технические условия: ГОСТ 127.1-93. – Введ. 01.01.1997. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1997. – 9 с.
5. Песок для строительных работ. Методы испытаний. ГОСТ 8735-88. – Введ. 01.07.1989. – Государственный строительный комитет СССР: Стандартиформ, 2006. – 26 с.
6. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. ГОСТ 8267-93. – Введ. 01.01.1995. – Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, 1995. – 12 с.
7. Волгушев А.Н. Основные физико-механические свойства строительных композитов на основе термопластического серного вяжущего. – Бетон и железобетон – 2007. – № 4. – С. 28–31.
8. Бетоны. Метод определения водопоглощения. ГОСТ 12730.3-78 – Введ. 01.01.1980. – Государственный строительный комитет СССР по делам строительства: Стандартиформ, 2007. – 4 с.
9. Морозостойкость и водонепроницаемость бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vremya-stroiki.net/morozostojkost-i-vodonepronicamost-betona/>. – Дата доступа: 05.11.2019.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.  
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.  
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

---

Подписано к использованию 09.09.2020.  
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>