

УДК 666.9.022.3

УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫВКИ ОТСЕВОВ ШАРХИНСКОГО КАРЬЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕНОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Федоркин С.И., Елькина И.И., Макарова Е.С., Ибраимов Р.Ф.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.,
E-mail: irivel@mail.ru

Аннотация: Исследовано влияние полусухого прессования на прочность образцов. Показано, что оптимальное удельное давление прессования образцов из формовочных смесей, содержащих 10, 20, 30% шлакопортландцемента, составляет 30МПа. С помощью РЦКП проведена статическая обработка экспериментальных результатов и получено уравнение регрессии зависимости прочности образцов от давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси.

При исследовании микроструктуры образцов установлено, что полученный материал представляет собой однородный и прочный конгломерат, кристаллы новообразований равномерно распределены по массе и связывают частицы шлама. Опытнo-промышленная проверка процесса полусухого прессования изделий установила возможность получения высококачественного пустотелого кирпича марок М100-М300 при содержании шлакопортландцемента в смеси в пределах 10-30% (мас.).

Предмет исследования: шламовые продукты промывки отсевов Шархинского карьера в производстве стеновых строительных материалов.

Материалы и методы: в работе использовали шлам Шархинского карьера и шлакопортландцемент Бахчисарайского цементного завода. Структуру образцов изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на микроскопе РЕМ-106, SELMI. Экспериментальные и промышленные испытания были проведены на оборудовании компании "Агрегат". Физико-механические свойства кирпича и тротуарных плит изучались в соответствии с нормами и стандартами, установленными в ГОСТ 6133-2019.

Результаты: Исследована микроструктура образцов и установлено, что полученный материал представляет собой однородный и прочный конгломерат, кристаллы новообразований равномерно распределены по массе и связывают частицы шлама. Было проведено экспериментальное и промышленное тестирование процесса полусухого прессования изделий из формовочных смесей, основанных на шламе Шархинского карьера. Была подтверждена возможность производства высококачественного пустотелого кирпича с маркировкой М100-М300 при использовании шлакопортландцемента в смеси в диапазоне 10-30% (по массе), что полностью соответствует требованиям, установленным в ГОСТ 6133-2019

Выводы: Шламовые продукты от промывки отсевов Шархинского карьера могут быть успешно использованы в производстве стеновых строительных материалов, что способствует утилизации отходов и улучшению экологического состояния окружающей среды. Эффективные методы утилизации шламовых продуктов позволяют получать качественные строительные материалы, с высокими физико-механическими свойствами и долговечностью.

Ключевые слова: шламовые продукты, отсевы, полусухое прессование, стеновые материалы, структура, свойства

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время утилизация вторичного сырья в многотоннажное производство строительных материалов имеет первостепенное значение. Комплексное использование сырья и отходов важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых технологий.

В процессе производства песка из отсевов, образующихся при дроблении грандиоритовых пород на Шархинском карьере (Республика Крым) при промывке образуется до 50-60 тыс. м³ отходов в год.

В настоящее время общий объем отсевов в отвалах – 600,4 тыс. м³, полностью заполнен шламоотстойник объемом 1,5 тыс. м³, построен новый шламоотстойник объемом 5 тыс. м³ (рис.1), который на сегодняшний день практически полностью заполнен.

Отсутствие экологически приемлемых условий для захоронения шламов на южном берегу Крыма (западная зона г. Алушты), вызывает необходимость поиска путей утилизации шлама.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Научные школы Ю.М.Баженова, П.П. Будникова, В.Т.Ерофеева, П.Г.Комохова, Л.Б.Сватовской, Т.М.Петровой, В.И. Соломатова и других ученых выполнили обширные исследования в области использования отходов в производстве строительных материалов. На основе их исследований созданы методики прогнозирования прочностных характеристик бетонов, изготавливаемых на основе техногенного сырья, изучены процессы кристаллизации при введении в цемент тонкодисперсных техногенных продуктов, разработаны технологические процессы

изготовления строительных материалов на основе побочных продуктов различных производств [1].



Рис. 1. Шламоотстойник Шархинского карьера объемом 5 тыс. м³
Fig. 1. Sludge sump of the Sharkhinsky quarry with a volume of 5 thousand m³

В работе [2] исследован процесс формирования структуры газобетонных изделий на основе тонкодисперсных отходов камнедробления горных пород, принципиально отличающихся по химическому и минеральному составу от традиционно применяемых наполнителей для производства ячеистых бетонов. При этом установлено следующее: тонкодисперсные отходы камнедробления горных пород могут быть эффективно использованы взамен традиционно применяемых кремнеземистых наполнителей при изготовлении ячеистых бетонов.

Анализируя ряд исследований [3,4,5,6] можно заключить, что одним из наиболее перспективных направлений утилизации шламовых отходов промывки отсеков является их использование в производстве строительных материалов, например, в качестве наполнителя-пластификатора цементных масс для производства стеновых строительных изделий. Однако при таком способе утилизации количество перерабатываемого шлама незначительно и не может решить экологические проблемы, связанные с увеличением объема шламонакопителей.

Таким образом, существующий опыт переработки высокодисперсных шламовых продуктов в строительные материалы свидетельствует о том, что наиболее эффективным способом увеличения объемов утилизации является полусухое прессование мелкоштучных стеновых материалов.

Шлам является отходом мокрой классификации отсеков карьера.

По минеральному составу шлам в основном представлен тонкодисперсными фракциями горной породы (кварцем и полевым шпатом).

Исследуя фракционный и химический состав Шархинских шламов, можно сделать вывод, что шламы представляют собой тонкодисперсный продукт, в котором зерна менее 0,15 мм составляют 98,5-99,9%, содержание в шламе фракции менее 0,05 мм составляет 70-99% в зависимости от места

отбора проб. Примерно 20% шлама представлено фракцией менее 0,01 мм.

Специфические свойства шлама Шархинского карьера: высокая дисперсность, пониженное содержание кремнезема, пассивированная поверхность частиц, наличие морских солей и др., предопределяет неприемлемость обычной широко опробованной технологии их переработки при изготовлении бетонных изделий. В итоге возникает необходимость поиска других технических решений его утилизации.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы является разработка эффективной технологии переработки шламовых продуктов промывки отсеков Шархинского карьера в стеновые строительные материалы с использованием метода полусухого прессования изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить влияние полусухого прессования на прочность образцов из формовочных смесей на основе шламовых продуктов промывки отсеков Шархинского карьера.
2. Исследовать микроструктуру образцов.
3. Провести опытно-промышленную проверку процесса полусухого прессования изделий из формовочных смесей на основе шлама Шархинского карьера.

Лабораторные исследования проводили на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 3 см. Сырьевую смесь заданного состава готовили перемешиванием шлакопортландцемента и шлама в лабораторном смесителе. Относительная формовочная влажность смеси 10% (мас.). Образцы-цилиндры прессовали на прессе П-10 при заданном удельном давлении. После прессования образцы выдерживали в течение 28 суток во влажных

условиях, а затем определяли их предел прочности при сжатии по стандартной методике.

Структуру образцов изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на микроскопе РЕМ-106, SELMI.

Опытно-промышленные испытания проводили на оборудовании фирмы «Агрегат» путем формования стандартного пустотелого кирпича. Физико-механические характеристики кирпича

определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 6133-2019.

На первом этапе нами были проведены исследования по определению оптимального давления полусухого прессования изделий.

Результаты исследования зависимости предела прочности образцов при сжатии от удельного давления прессования и состава смеси приведены в табл.1.

Таблица 1. Зависимость предела прочности образцов при сжатии от состава формовочной смеси и удельного давления прессования

Table 1. Dependence of the compressive strength of samples on the composition of the molding mixture and the specific pressing pressure

Удельное давление прессования, МПа	Предел прочности образцов при сжатии (МПа) состав (% мас.)		
	Шлам-90%, ШПЦ-10%	Шлам-80%, ШПЦ-20%	Шлам-70%, ШПЦ-30%
5	2,44	4,10	9,85
10	4,77	9,91	16,97
15	7,40	13,12	21,43
20	10,11	15,20	25,50
25	11,95	16,93	28,50
30	13,51	19,82	30,81
35	13,64	20,01	31,02
40	13,72	20,07	31,17

Из формовочной смеси, содержащей шлам Шархинского карьера и шлакопортландцемент Бахчисарайского цементного завода, прессовали образцы-цилиндры при удельном давлении 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40МПа. Образцы прессовали из сырьевой смеси трех составов, включающих 10, 20, 30% по массе шлакопортландцемента, соответственно.

Данные табл. 1 свидетельствуют о существенном росте прочности образцов с увеличением давления. Причем, до давления 30МПа происходит более интенсивный рост прочности образцов с 2,44-9,85 МПа до 13,51-30,81 МПа независимо от количества шлакопортландцемента. При увеличении давления прессования более 30МПа рост прочности незначителен (до 1,5%).

Полученные экспериментальные исследования показывают, что оптимальное давление прессования составляет 30 МПа.

Для изучения одновременного влияния давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси на физико-механические свойства образцов был принят ротатальный центральный композиционный план (РЦКП) [7,8].

Стандартная методика обработки ротатального плана позволила вывести уравнение

регрессии, описывающее аналитическую функцию изменения физико-механических свойств от исследуемых факторов.

Алгебраический полином второго порядка, описывающий зависимость прочности от давления прессования (X1) и количества шлакопортландцемента в формовочной смеси (X2), имеет следующий вид:

$$Y_1 = 22,14 + 1,01X_1 + 8,78X_2 - 0,71X_1^2$$

Представленное уравнение регрессии позволяет количественно оценить влияние варьирования каждого из изучаемых технологических факторов (давления прессования и количества шлакопортландцемента в формовочной смеси) на прочность образцов.

Анализ уравнения регрессии свидетельствуют о положительном влиянии роста давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси на увеличение прочности образцов.

Электромикроскопические исследования структуры цементного камня с содержанием шламовых продуктов 70, 80, 90% (мас.) приведены на рис. 2.

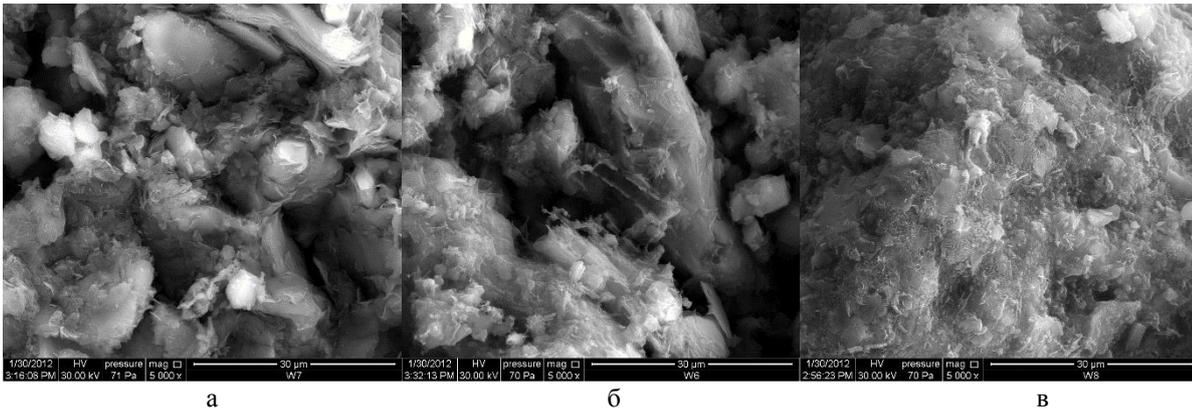


Рис. 2. Структура цементного камня с содержанием шлама 70% (а), 80% (б), 90%(в) в возрасте 28 суток
Fig. 2. Structure of cement stone with sludge content 70% (a), 80% (b), 90% (c) at the age of 28 days

Результаты электромикроскопических исследований показали, что структура образцов состоит из частиц шлама, продуктов гидратации шлакопортландцемента и его негидратированных зерен. Кристаллы гидросиликатов и гидроалюминатов кальция перекрывают поровое пространство. Образующийся при гидратации гидроксид кальция представлен кристаллами гексагональной формы и более массивными структурами. Кристаллы новообразований равномерно распределены по массе материала и скрепляют частицы шлама в плотный и прочный конгломерат, что подтверждают результаты физико-механических испытаний образцов.

В заводских условиях была проведена опытно-промышленная проверка технологии прессования пустотелого кирпича из формовочных смесей приведенных выше составов. Процесс формования и полученные изделия приведены на рис. 3.

Приготовленные в смесителе принудительного действия формовочные смеси направляли в промышленный гидравлический пресс двухстороннего действия А 300-С2 фирмы «Агрегат» для прессования пустотелого лицевого кирпича размером 250 × 120 × 65 мм. Удельное давление прессования кирпича на этом прессе составляло 30МПа.



Рис. 3. Процесс формования (а) и вид полученного кирпича (б)
Fig. 3. The molding process (a) and the type of the resulting brick (b)

В результате опытно-промышленной проверки получен пустотелый кирпич с пределом прочности при сжатии 12,5МПа (шлам-90%, ШПЦ-10%); 20,3 МПа (шлам-80%, ШПЦ-20%) и 31,6МПа (шлам-70%, ШПЦ-30%). Лицевой кирпич из опытной партии обладал следующими физико-механическими характеристиками: средняя плотность материала кирпича 1950 кг/м³, средняя плотность кирпича – 1400 кг/м³, водопоглощение – 8%, морозостойкость не менее 50 циклов

попеременного замораживания и оттаивания, пустотность кирпича – 33 %.

Таким образом, результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний свидетельствуют о возможности эффективной переработки шламовых продуктов промывки отсевов Шархинского карьера в качественные изделия с использованием метода полусухого прессования. При этом марка получаемого кирпича по ГОСТ 6133-2019 составляет М100-М300 в

зависимости от количества шлакопортландцемента в сырьевой смеси.

ВЫВОДЫ

1. Изучено влияние полусухого прессования на прочность образцов из формовочных смесей на основе шламовых продуктов промывки отсевов Шархинского карьера. Показано, что оптимальное удельное давление прессования образцов из формовочных смесей, содержащих 10, 20, 30% шлакопортландцемента, составляет 30 МПа.

2. С помощью рототабельного центрального композиционного плана проведена статическая обработка экспериментальных результатов и получено уравнение регрессии зависимости прочности образцов от давления прессования и содержания шлакопортландцемента в формовочной смеси.

3. Исследована микроструктура образцов и установлено, что полученный материал представляет собой однородный и прочный конгломерат, кристаллы новообразований равномерно распределены по массе и связывают частицы шлама.

4. Проведена опытно-промышленная проверка процесса полусухого прессования изделий из формовочных смесей на основе шлама Шархинского карьера. Установлена возможность получения высококачественного пустотелого кирпича марок М100-М300 при содержании шлакопортландцемента в смеси в пределах 10-30% (мас.) полностью соответствующего требованиям ГОСТ 6133-2019.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пахрудинов И.П. Бетоны на основе отсева щебеночных заводов: дис. кандидата технических наук : 05.23.05 / Пахрудинов Исмаил Пирмагомедович. – Ростов-на-Дону, 2005.-157 с.

2. Фомичева Г.Н. Неавтоклавный газобетон на основе дисперсных отходов камнедробления: дис. ...кандидата технических наук : 05.23.05 / Фомичева Галина Николаевна. – Новосибирск, 2005.-141 с.

3. Дворкин Л. И. Строительные материалы из промышленных отходов / Дворкин Л. И., Пашков И. А. – К. : Вища школа, 1980. – 144 с.

4. Поискные исследования по использованию шламовых продуктов промывки отсевов Шархинского карьера в производстве строительных материалов / [С.В.Ефанова, В.В.Корнеев, И.Л.Мошковская, П.Г.Сильченко, Ю.П. Скрыпник]. – Симферополь. : НИПКТИ строительных материалов "Укрстромниипроект", 1991. – 115 с. – (Научно-технический отчет ; № гос. регистрации 01.9.10011042).

5. Долгарев А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: Справ. пособие / Долгарев А.В. – М. : Стройиздат, 1990. – 456 с.

6. Пирогов Н. Л. Вторичные ресурсы: эффективность, опыт, перспективы / Пирогов Н. Л., Сушон С. П., Завалко А. Г. – М. : Экономика, 1987. – 199 с.

7. Вознесенский В. А. Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация в материаловедении / В.А. Вознесенский. – К., 1993. – 16 с.

8. Ермаков С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / Ермаков С. М., Жиглявский А. А. – М. : Наука, 1987. – 318 с.

9. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / Налимов В. В., Чернова Н. А. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

10. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / [Бродский В. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И., Никитина Е. П., Панченко Л. А.]. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

REFERENCES

1. Pakhrudinov I.P. Concretes based on screening of crushed stone plants: dissertation of Candidate of technical sciences: 05.23.05 / Pakhrudinov Ismail Pirmagomedovich. – Rostov-on-Don, 2005.-157 p.

2. Fomicheva G.N. Non-autoclaved aerated concrete based on dispersed stone crushing waste: dis. ...candidate of Technical Sciences : 05.23.05 / Fomicheva Galina Nikolaevna. – Novosibirsk, 2005.-141 p.

3. Dvorkin L. I. Building materials from industrial waste / Dvorkin L. I., Pashkov I. A. – K. : Vishcha shkola, 1980. – 144 p.

4. Exploratory research on the use of sludge products of washing out of the Sharkhinsky quarry in the production of building materials / S.V.Efanova, V.V.Korneev, I.L.Moshkovskaya, P.G.Silchenko, Yu.P. Skrypnik. – Simferopol. : NIPKTI of building materials "Ukrstroomniiproekt", 1991. – 115 p. – (Scientific and technical report ; state registration №. 01.9.10011042).

5. Dolgarev A.V. Secondary raw materials in the production of building materials / Dolgarev A.V. – М. : Stroyizdat, 1990. – 456 p. – (Physico-chemical analysis : Reference. the manual).

6. Pirogov N. L. Secondary resources: efficiency, experience, prospects / Pirogov N. L., Sushon S. P., Zavalko A. G. – М. : Economics, 1987. – 199 p.

7. Voznesensky V. A. Experimental statistical modeling and optimization in materials science / V.A. Voznesensky. – К., 1993. – 16 p.

8. Ermakov S. M. Mathematical theory of optimal experiment / Ermakov S. M., Zhiglyavsky A. A. – М. : Nauka, 1987. – 318 p

9. Nalimov V. V. Statistical methods of planning extreme experiments / Nalimov V. V., Chernova N. A. – М. : Nauka, 1965. – 340 p.

10. Tables of experimental plans for factorial and polynomial models / [Brodsky V. Z., Brodsky L. I.,

Golikova T. I., Nikitina E. P., Panchenko L. A.]. – M.:
Metallurgy, 1982. – 752 p.

UTILIZATION OF SLUDGE PRODUCTS OF WASHING OUT OF THE SHARKHINSKY QUARRY IN THE PRODUCTION OF WALL BUILDING MATERIALS

Fedorkin S.I., Elkina I.I., Makarova E.S., Ibragimov R.F.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Institute "Academy of Construction and Architecture"
181 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation
E-mail: irivel@mail.ru

Abstract. The effect of semi-dry pressing on the strength of samples has been studied. It is shown that the optimal specific pressure for pressing samples from molding mixtures containing 10, 20, 30% slag-portland cement is 30Mpa. With the help of RCCP, static processing of experimental results was carried out and a regression equation was obtained for the dependence of the strength of the samples on the pressing pressure and the content of slag-portland cement in the molding mixture.

When examining the microstructure of the samples, it was found that the resulting material is a homogeneous and durable conglomerate, the crystals of neoplasms are evenly distributed over the mass and bind the sludge particles. A pilot test of the semi-dry pressing process of products has established the possibility of obtaining high-quality hollow bricks of the M100-M300 grades with a content of slag-portland cement in the mixture in the range of 10-30% (wt.).

The subject of the study: sludge products of flushing the screenings of the Sharkhinsky quarry in the production of wall building materials.

Materials and methods: sludge from the Sharkhinsky quarry and slag-portland cement from the Bakhchisarai cement Plant were used in the work. The structure of the samples was studied using electron scanning microscopy on a REM-106 SELMI microscope. Experimental and industrial tests were carried out on the equipment of the Aggregate company. The physical and mechanical properties of bricks and paving slabs were studied in accordance with the norms and standards established in GOST 6133-2019.

Results: The microstructure of the samples was investigated and it was found that the resulting material is a homogeneous and durable conglomerate, the crystals of neoplasms are evenly distributed over the mass and bind the sludge particles. Experimental and industrial testing of the semi-dry pressing process of products from molding mixtures based on the sludge of the Sharkhinsky quarry was carried out. It was confirmed that it is possible to produce high-quality hollow bricks marked M100-M300 using slag-portland cement in a mixture in the range of 10-30% (by weight), which fully meets the requirements set out in GOST 6133-2019

Conclusions: Sludge products from the flushing of the Sharkhinsky quarry screenings can be successfully used in the production of wall building materials, which contributes to waste disposal and improvement of the ecological state of the environment. Effective methods of disposal of sludge products make it possible to obtain high-quality building materials with high physical and mechanical properties and durability.

Key words: sludge products, screenings, semi-dry pressing, wall materials, structure, properties