

УТИЛИЗАЦИЯ СИЛИКАТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

М.Д. Бутакова, Д.В. Ульрих

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Проблему эффективного использования минерального сырья и, в частности, переход на безотходную технологию следует рассматривать с точки зрения устранения противоречий между экономическим ростом (необходимостью все большего вовлечения ресурсов в производство) и «производительной возможностью» окружающей среды (истощение запасов, снижение качества минеральных ресурсов, нарушение экологического баланса). Решение этих противоречий вероятно при рациональном и комплексном использовании добываемых ресурсов, а также отходов производства. Главное направление снижения объема отходов производства – их утилизация в различных отраслях народного хозяйства и особенно в строительной индустрии. Актуальность и необходимость расширения утилизации отходов производства с каждым годом возрастают вследствие истощения запасов богатых руд, сложившейся структуры их добычи, увеличения потребности в строительных материалах и обострения проблемы хранения отходов.

Ключевые слова: отходы, экология, вяжущее, зола, шлак, гипс, физико-механические характеристики.

Природно-ресурсный потенциал России огромен, но не бесконечен. Это делает актуальными вопросы использования ресурсов и сопутствующие им экологические проблемы, возникающие по техногенным причинам. Поэтому так важно решение вопроса о рациональном применении твердых промышленных отходов (ТПО), скапливающихся в процессе металлургического производства.

«Доменные шлаки формируются одновременно с чугуном при плавке шихты, в состав которой входят топливный материал руда и флюс, состоящий из известняка. Шлак из-за малой плотности отделяется от чугуна и всплывает наверх. Его отделяют от основного материала через отверстие, расположенное сверху. Это отверстие называют леткой. Шлак, сливаемый через нее, не содержит в себе металла. Часть шлаковых отходов остается в нижней части печи. Их сливают после выпуска основной продукции (чугуна), отправляют на переработку. Смысл этой переработки заключается в выделении остатков металла из полученных отходов» [1].

«Доменные шлаки отличает изменчивость состава, который определяется составом шихты. Как правило, они на 95 % состоят из окислов кремния, кальция и других материалов» [1].

В то же время во многих районах есть большие количества гранулированных доменных шлаков, которые могут представлять большой практический интерес.

При использовании последних решается и такая важная народнохозяйственная задача, как рациональное использование шлаков, зол, побочных

продуктов металлургической, энергетической и химической отраслей промышленности. Молотые гранулированные доменные шлаки могут быть использованы в качестве компонента гипсошлаковых вяжущих совместно с пуццолановыми добавками.

«В практике строительства ведущих стран мира темпы выпуска стеновых материалов на основе гипсобетонов стремительно растут. Особенно это касается композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) повышенной водостойкости. Поэтому в 80-х годах XX века в строительном материаловедении получило развитие направление, связанное с разработкой водостойких композиционных гипсовых вяжущих низкой водопотребности, технология получения которых предусматривает применение пластифицирующих и пуццолановых добавок в сочетании с механохимической активацией компонентов вяжущего и содержанием клинкерного цемента менее 15 %» [2, 3].

В качестве пуццолановых добавок к композиционным гипсовым вяжущим применяется широкий ряд материалов природного и техногенного происхождения. В ряде работ выявлена эффективность введения в состав композиционных гипсовых и ангидритовых вяжущих гибридных минеральных добавок, например, молотого доменного шлака и трепела [4–6], цеолитсодержащей породы и известняка [7], цеолитсодержащей породы и микрокремнезема [8].

А.В. Волженский предложил комбинированное вяжущее следующего состава (%): гипс полу-

водный – 40–65; молотый гранулированный доменный шлак – 30–40; пуццолановая добавка – 10–15; портландцемент – 5–8 [6].

Такое гипшошлакоцементнопуццолановое вяжущее (ГШЦПВ) приобретает способность твердеть в воде, его прочность к 28 суткам увеличивается в 3–4 раза по сравнению с прочностью чистого гипса. Основная роль портландцемента в данном случае сводится к щелочной активации вяжущих свойств шлаков в начальный период твердения системы. В последующий период повышенная концентрация гидрата оксида кальция в водной фазе при наличии портландцемента снижается до того предела, при котором дальнейшее твердение системы идет без опасных деформаций [6, 9–14].

«Изделия и материалы на основе гипсовых вяжущих широко применяются для отделки помещений. Причиной ограниченного использования гипсового вяжущего и материалов на его основе является их низкая водостойкость, которая сопровождается такими отрицательными явлениями, как увеличение ползучести и значительное снижение прочности изделий при их увлажнении. В настоящее время существует много различных способов повышения водостойкости гипсовых изделий. Они основаны на уменьшении растворимости гипса, уплотнении гипсовой (гипсобетонной) массы, пропитке веществами, которые препятствуют прониканию влаги в изделие, применении наружной защитной обмазки. Одной из попыток повысить водостойкость гипсового вяжущего явилось его смешение с портландцементом. В первые два месяца твердения такая композиция обладала высокой прочностью и водостойкостью, однако в последующем композиция подвергалась разрушению. Для выяснения причин разрушения материала и создания долговечной композиции были изучены физико-химические процессы, происходящие при ее твердении. Установлено, что причиной разрушения затвердевшего материала явилось образование этрингита на поздних сроках гидратации» [15–19].

«А.В. Волженский с соавторами предложили использовать в качестве третьего компонента активную минеральную добавку, которая обеспечивала регулировку состава жидкой фазы твердеющей композиции и предохраняла ее от разрушения» [20].

Китайскими учеными изучалось влияние добавки шлака на процесс геополимеризации и сульфатостойкость щелочеактивированного цемента. Замена метаксаолина шлаком повысила реакционную способность контрольных образцов, это объясняется увеличением скорости реакции и ускорением процесса геополимеризации. Механические свойства и сульфатостойкость значительно улучшились при введении шлака. Результаты показали, что изменение гелевых фаз и развитие пористых структур привели к повышению сульфатостойкости. Количество образования С-А-S-Н увеличивалось с повышением содержания шлака, а также уплотнялась микроструктура С-А-S-Н.

Уменьшение размера пор произошло за счет более высокой заполняющей способности фазы С-А-S-Н и эффекта заполнения частицами шлака. Оптимальное количество метаксаолина, которое можно заменить, с точки зрения развития устойчивости к сульфатам, составило 30 % [21–24].

Однако до конца не исследовано совместное влияние золошлаковой смеси и пластификаторов на физико-механические характеристики (повышение водостойкости гипсовых изделий) гипсовых изделий. Исходя из этого, тема исследования является актуальной.

Для получения смешанного вяжущего использовали строительный гипс, золошлаковую смесь в количестве 25 и 50 %, суперпластификатор СП-1 в количестве 0,5 и 1 % и воду. За контрольный образец было принято гипсовое вяжущее без добавок.

Для исследования фазового состава применялся дифференциально-термический анализ (ДТА). В работе были исследованы 3 пробы гипсового камня с разным процентным содержанием золошлаковой смеси – 0, 25 и 50 %. Графики исследования – дериватограммы – приведены на рис. 1–3.

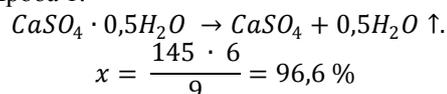
Анализ изменения фазового состава гипсового камня с добавлением золошлаковой смеси методом ДТА выявил, что во всех дериватограммах присутствует эндоэффект при 120–180 °С, связанный с дегидратацией гипсового камня сначала до полуводного затем до полного обезвоживания – ангидрита, а также при 380 °С наблюдаем экзоэффект, соответствующий перестройке кристаллической решетки ангидрита.

На дериватограммах с содержанием в гипсовом камне 25 и 50 % золошлаковой смеси при температуре около 500 °С можем предположить образование силикагеля.

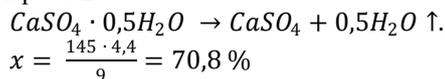
Также эффекты, протекающие при температуре свыше 700 °С, точно не ясны, возможно, они связаны с плавлением кремнезема в золе.

По потерям массы до 180 °С проведен расчет содержания $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ во всех трех пробах.

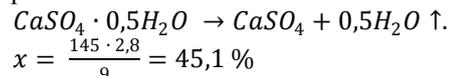
Проба 1:



Проба 2:



Проба 3:



Также по дериватограмме можно обнаружить содержание примесей во всех трех пробах. Поскольку в залежах гипса можно наблюдать включения известняка и глины, то можно предположить, что примесями являются глинистые включения, которые при температуре 650–750 °С теряют конституционную воду.

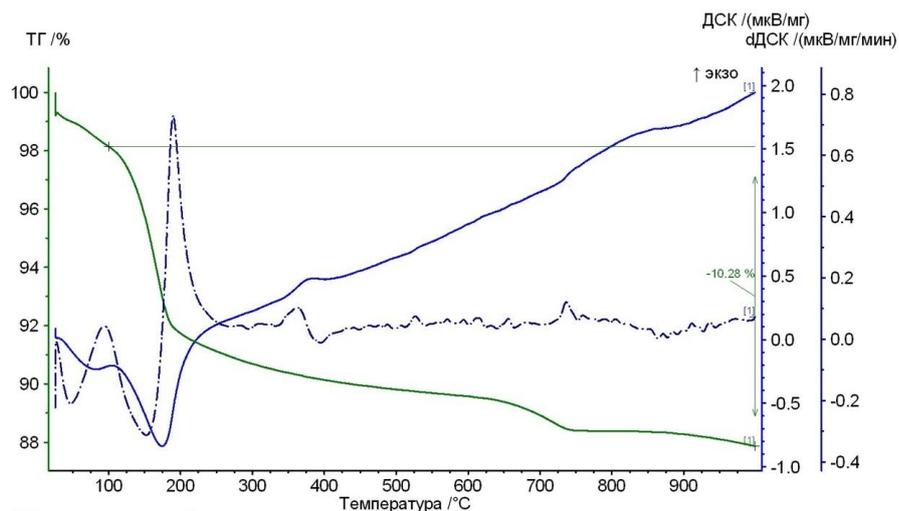


Рис. 1. ДТА гипсового камня с содержанием золошлаковой смеси 0 %

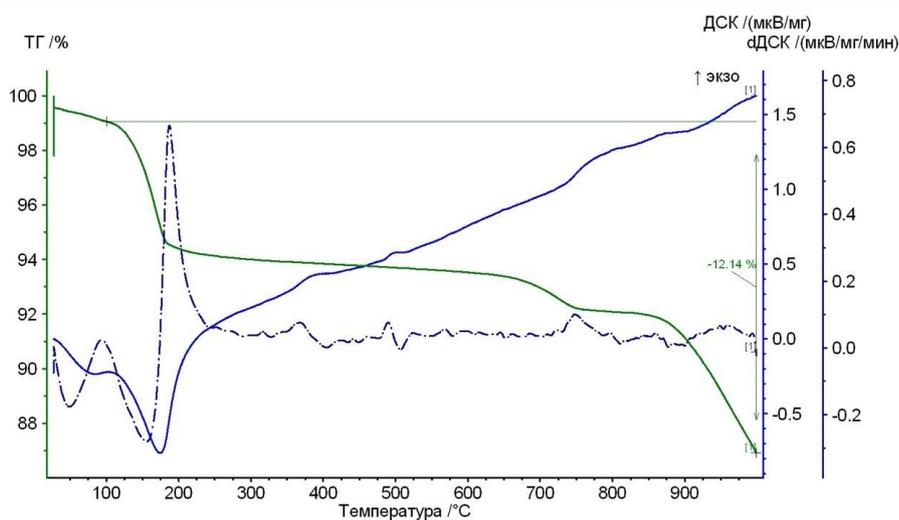


Рис. 2. ДТА гипсового камня с содержанием золошлаковой смеси 25 %

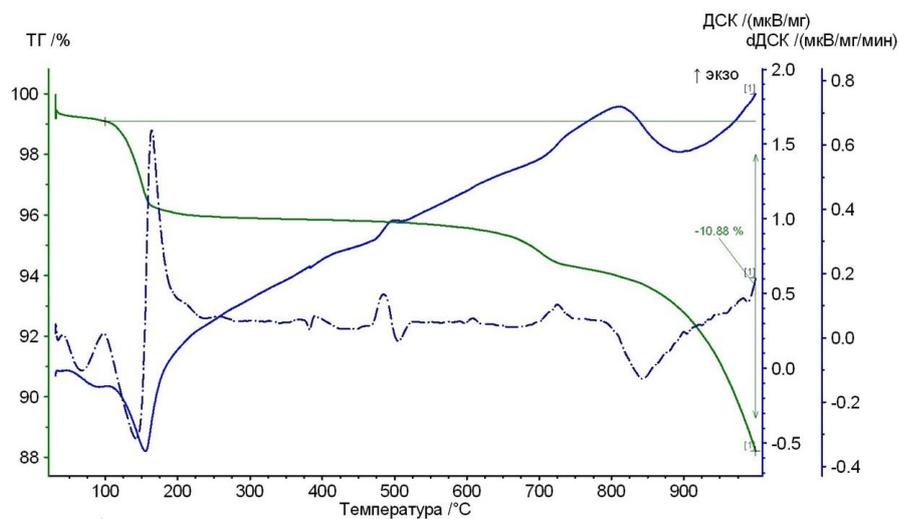


Рис. 3. ДТА гипсового камня с содержанием золошлаковой смеси 50 %

Строительные материалы и изделия

И так же происходят потери масс в пробах 2 и 3 после 860 °С, предположительно связанные с содержанием оксида железа в золе.

Для более полного анализа влияния топливных шлаков на прочностные характеристики был проведен двухфакторный эксперимент по следующей матрице (табл. 1). Обработка полученных данных отображены в табл. 2 и на рис. 4, 5. На рис. 4, 5 показаны зависимости свойств от варьируемых факторов: процентного содержания добавки СП-1 и золошлака.

Выводы

Введение в гипсовое вяжущее золошлаковой смеси в количестве 25 и 50 % приводит к снижению содержания $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ на 25 и 50 % соответственно.

С увеличением количества золошлаковой смеси прочность на изгиб и сжатие начинает падать. Это связано с разрушением структуры из-за содержания в составе гипсового камня золошлаковой смеси более 25 %.

Исходя из этого, оптимальным составом для производства сухих строительных смесей можно

Таблица 1

Варьируемые факторы и соответствующие им коды

№	Варьируемые факторы			
	Золошлак		Добавка	
	Кодовое значение	Физическое значение, %	Кодовое значение	Физическое значение, %
1	-1	0	-1	0
2	0	25	-1	0
3	1	50	-1	0
4	-1	0	0	0,5
5	0	25	0	0,5
6	1	50	0	0,5
7	-1	0	1	1
8	0	25	1	1
9	1	50	1	1

Таблица 2

Матрицы экспериментов

№	Ризг, МПа		Рсж, МПа		Сроки схватывания, начало, мин		Сроки схватывания, конец, мин	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	2,2	3,9	4,1	13	15	19	21
2	1,76	1,97	3,59	3,79	14	16	17,5	19,5
3	0,87	1,1	2,05	2,25	18	20	20	22
4	1,7	1,9	3,48	3,68	17	19	19	21
5	1,9	2,1	3,74	3,94	16,45	18,45	18,2	20,2
6	1,07	1,27	1,86	2,06	19	21	21,5	23,5
7	1,8	2	3,63	3,83	19	21	20,4	22,4
8	1,9	2,13	3,9	4,1	17,3	19,3	20	22
9	1	1,2	1,88	2,08	8,5	10,5	10,5	12,5

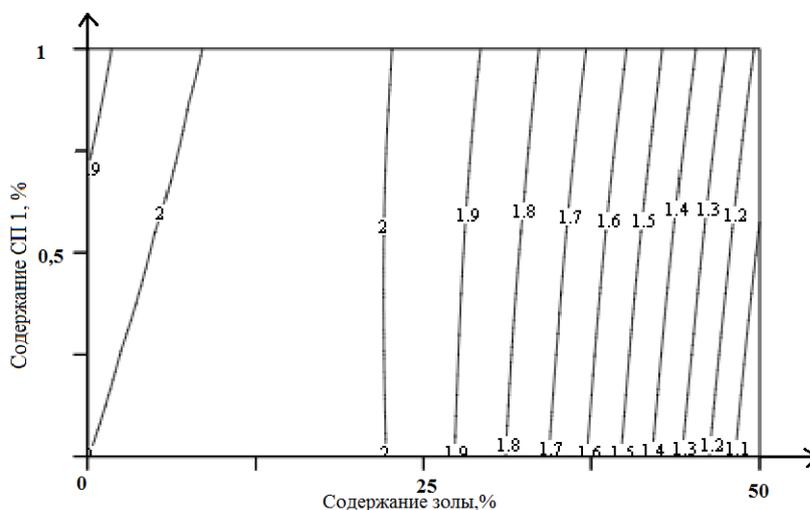


Рис. 4. Изолинии предела прочности на изгиб гипсового камня, МПа

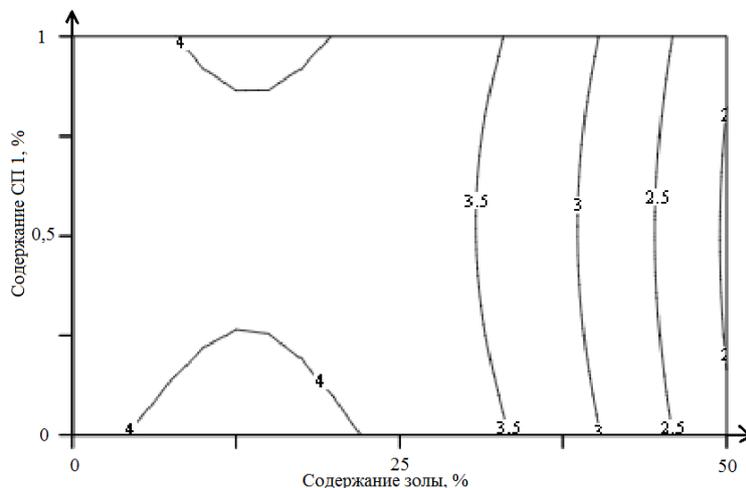


Рис. 5. Изолинии предела прочности на сжатие гипсового камня, МПа

считать вяжущее в соотношении до 75 % гипса, до 25 % золошлаковой смеси и более 1 % СП 1.

Литература

1. Бобович, Б.Б. *Переработка отходов производства и потребления* / Б.Б. Бобович, В.В. Девяткин. – М.: Интермет инжиниринг, 2000. – 496 с.

2. Нарышкина, М.Б. *Стеновые материалы на основе композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости: дис. ... канд. техн. наук* / М.Б. Нарышкина. – Белгород, 2010. – 188 с.

3. Болдырев, А.С. *Использование отходов в промышленности строительных материалов* / А.С. Болдырев, А.Н. Люсов, Ю.А. Алехин. – М.: Знание, 1984. – 64 с.

4. Маннанова, Г.В. *Техника и технология утилизации твердых отходов* / Г.В. Маннанова. – М.: Знание, 2007. – 24 с.

5. Халиуллин, М.И. *Композиционное ангидритовое вяжущее повышенной водостойкости: автореф. дис. ... канд. техн. наук* / М.И. Халиуллин. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 1997. – 34–35 с.

6. Волженский, А.В. *Гипсовые вяжущие и изделия* / А.В. Волженский, А.В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1974. – 328 с.

7. Сагдатуллин, Д.Г. *Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов* / Д.Г. Сагдатуллин, Н.Н. Морозова, В.Г. Хозин // *Известия КазГАСУ*. – 2009. – № 2. – С. 263–268.

8. Гаркави, М.С. *Термодинамический анализ структурных превращений в вяжущих системах* / М.С. Гаркави. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2005. – 243 с.

9. Рахимов, Р.З. *Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков* / Р.З. Рахимов, М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин // *Строительные материалы*. – 2012. – № 7. – С. 13–16.

10. *Влияние пластификаторов на твердение гипсового вяжущего* / С.С. Шленкина, М.С. Гаркави, Р. Нова, и др. // *Строительные материалы*. – 2007. – № 9. – С. 61–62.

11. Беляев, В.К. *Токсичные элементы в Кузнецком и Канско-Ачинском угольных бассейнах* / В.К. Беляев, Б.Д. Трунов // *Геолого-промышленная оценка угольных бассейнов Южной Сибири*. – Л.: Изд-во Витурис, 1984. – С. 30–37.

12. Беляев, В.С. *Токсичные элементы в углях Улугхемского и Минусинского бассейнов* / В.С. Беляев // *Геологические методы поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых: ЭИ ВИЭМС*. – М.: Истина, 1985. – С. 1–5.

13. Панфилов, М.И. *Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии* / М.И. Панфилов. – М.: Металлургия, 1987. – 238 с.

14. Бундюк, В.С. *Элементы-примеси в углях Канско-Ачинского бассейна* / В.С. Бундюк, А.В. Волостнов, В.Ю. Берчук // *Геологические методы поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых: ЭИ ВИЭМС*. – М.: Истина, 1985. – С. 1–5.

15. Чаус, К.В. *Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций* / К.В. Чаус, Ю.Д. Чистов, Ю.В. Лабзина. – М.: Стройиздат, 1988.

16. Сулименко, Л.М. *Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учеб. для вузов* / Л.М. Сулименко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 334 с.

17. Коровяков, В.Ф. *Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве* / В.Ф. Коровяков // *Российский химический журнал*. – 2003. – Т. ХГУ-УН, № 4. – С. 18–25.

18. *Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник* / под общ. ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.

19. Лесовик, В.С. *Гипсовые вяжущие материалы и изделия: учеб. пособие* / В.С. Лесовик,

С.А. Погорелов, В.В. Строчкова. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – 224 с.

20. Волженский, А.В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А.В. Волженский, И.В. Иванов, В.Н. Виноградов. – М.: Изд-во Стройиздат, 1984. – 225 с.

21. *Insights to the Sulfate Resistance and Microstructures of Alkali-Activated Metakaolin / Slag Pastes* / Zhu H., Guangwei Liang, Haoxin Li et al. // *Applied Clay Science*. – 2021. – Т. 202. – С. 105968.

22. Puertas, F. *Mineralogical and microstruc-*

tural characterisation of alkali-activated fly ash/slag pastes/ F. Puertas, A. Fernandez-Jimenez // *Cement & Concrete Composites*. – 2003. – № 25. – P. 287–292.

23. *Hydration heat of slag or fly ash in the composite binder at different temperatures* / Han Fanghui, He Xuejiang, Liu Juanhong, Zhang Zengqi // *Thermochimica Acta*. – 2017. – № 655. – P. 202–210.

24. *Binding mechanism and properties of alkali-activated fly ash/slag mortars* / M. Chi, R. Huang // *Construction and Building Materials*. – 2013. – № 40. – P. 291–298.

Бутакова Марина Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и изделия», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), butakovamd@susu.ru

Ульрих Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, доцент, директор Архитектурно-строительного института, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ulrikhdv@susu.ru

Поступила в редакцию 13 февраля 2022 г.

DOI: 10.14529/build220203

DISPOSAL OF SILICATE-CONTAINING WASTE TO IMPROVE WATER RESISTANCE OF GYPSUM PRODUCTS

M.D. Butakova, butakovamd@susu.ru

D.V. Ulrikh, ulrikhdv@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

The issue of the effective use of mineral raw materials and, in particular, the transition to waste-free technology should be examined from the point of view of eliminating contradictions between economic growth (necessity of increasing the number of resources involved in production) and “productive capacity” of the environment (depletion of reserves, decrease in the quality of mineral resources, violation of ecological balance). Overcoming these contradictions is possible with the rational and integrated use of the extracted resources, as well as production waste. The main direction of reducing the volume of production waste lies in their disposal in various sectors of the national economy and, especially, in the construction industry. The relevance and necessity of expanding the disposal of production waste is increasing every year due to depletion of rich ores, the existing structure of their extraction, the increase in the need for building materials and the aggravation of the problem of waste storage.

Keywords: waste, ecology, binder, ash, slag, gypsum, physical and mechanical characteristics.

References

1. Bobovich B.B., Devyatkin V.V. *Pererabotka otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Processing Waste Products of Production and Consumption]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2000. 496 p.

2. Naryshkina M.B. *Stenovyye materialy na osnove kompozitsionnogo gipsovogo vyazhushchego povyshennoy vodostoykosti. Dis. kand. tekhn. nauk* [Wall Materials Based on a Composite Gypsum Binder with Increased Water Resistance. Cand. sci. diss.]. Belgorod, 2010. 188 p.

3. Boldyrev A.S., Lyusov A.N., Alekhin Yu.A. *Ispol'zovaniye otkhodov v promyshlennosti stroitel'nykh materialov* [Waste Use in the Building Materials Industry]. Moscow, Znaniye Publ., 1984. 64 p.

4. Mannanova G.V. *Tekhnika i tekhnologiya utilizatsii tverdykh otkhodov* [Technique and Technology of Solid Waste Disposal]. Moscow, Znaniye Publ., 2007. 24 p.

5. Khaliullin M.I. *Kompozitsionnoye angidritovoye vyazhushcheye povyshennoy vodostoykosti: avtoref. kand. diss.* [Composite Anhydrite Binder of Increased Water Resistance. Abstract of Cand. sci. diss.]. Kazan', KazGASU Publ., 1997, pp. 34–35.

6. Volzhenskiy A.V., Ferronskaya A.V. *Gipsovyye vyazhushchiye i izdeliya* [Gypsum Binders and Products]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 328 p.

7. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G. [Rheological Characteristics of Aqueous Suspensions of Composite Gypsum Binder and its Components]. *Izvestiya KazGASU* [News of KSUAE], 2009, no. 2, pp 263–268. (in Russ.)
8. Garkavi M.S. *Termodinamicheskiy analiz strukturnykh prevrashcheniy v vyazhushchikh sistemakh* [Thermodynamic Analysis of Structural Transformations in Binding Systems]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 2005. 243 p.
9. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gayfullin A.R. [Composite Gypsum Binders Using Expanded Clay Dust and Blast-Furnace Slags]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2012, no. 7, pp. 13–16. (in Russ.)
10. Shlenkina S.S., Garkavi M.S., Nova R. [Influence of Plasticizers on the Hardening of Gypsum Binder]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2007, no. 9, pp. 61–62. (in Russ.)
11. Belyayev V.K., Trunov B.D. [Toxic Elements in the Kuznetsk and Kansk-Achinsk Coal Basins]. *Geologopromyshlennaya otsenka ugol'nykh basseynov Yuzhnoy Sibiri* [Geological and Industrial Assessment of Coal Basins in South Siberia]. Leningrad, Vituris Publ., 1984, pp. 30–37. (in Russ.)
12. Belyayev B.C. [Toxic Elements in the Coals of the Ulugkhem and Minusinsk basins]. *Geologicheskiye metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy tverdykh goryuchikh iskopayemykh: EI VIEMS* [Geological Methods of Prospecting and Exploration of Deposits of Solid Fossil Fuels: EI VIEMS]. Moscow, Istina Publ., 1985, pp. 1–5. (in Russ.)
13. Panfilov M.I. *Pererabotka shlakov i bezotkhodnaya tekhnologiya v metallurgii* [Slag Processing and Non-Waste Technology in Metallurgy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987. 238 p.
14. Bundyuk B.C., Volostnov A.V., Berchuk V.Yu. [Elements-Impurities in the Coals of the Kansk-Achinsk Basin]. *Geologicheskiye metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy tverdykh goryuchikh iskopayemykh: EI VIEMS* [Geological Methods of Prospecting and Exploration of Deposits of Solid Fossil Fuels: EI VIEMS]. Moscow, Istina Publ., 1985, pp. 1–5. (in Russ.)
15. Chaus K.V., Chistov Yu.D., Labzina Yu.V. *Tekhnologiya proizvodstva stroitel'nykh materialov, izdeliy i konstruktivnykh* [Technology of Production of Building Materials, Products and Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 448 p.
16. Sulimenko L.M. *Tekhnologiya mineral'nykh vyazhushchikh materialov i izdeliy na ikh osnove: ucheb. dlya vuzov* [Technology of Mineral Binders and Products Based on Them]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 2005. 334 p.
17. Korovyakov V.F. [Gypsum Binders and their Application in Construction]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemical Journal], 2003, vol. XLVII, no. 4, pp. 18–25. (in Russ.)
18. Ferronskoy A.V. (Ed.) *Gipsovyye materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye): spravochnik* [Gypsum Materials and Products]. Moscow, ASV Publ., 2004. 488 p.
19. Lesovik V.S., Pogorelov S.A., Strokova V.V. *Gipsovyye vyazhushchiye materialy i izdeliya: Ucheb. posobiye* [Gypsum Binders and Products]. Belgorod, BelGTASM Publ., 2000. 224 p.
20. Volzhenskiy A.V., Ivanov I.V., Vinogradov V.N. *Primeneniye zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Application of Ashes and Fuel Slags in the Production of Building Materials]. Moscow, Izd-vo Stroyizdat Publ., 1984. 225 p.
21. Zhu H., Guangwei Liang, Haoxin Li, Qisheng Wu, Changsen Zhang, Zhifeng Yin, Sudong Hua [Insights to the Sulfate Resistance and Microstructures of Alkali-Activated Metakaolin/Slag Pastes]. *Applied Clay Science*, 2021, vol. 202, pp. 105968.
22. Puertas F., Fernandez-Jimenez A. [Mineralogical and Microstructural Characterisation of Alkali-Activated Fly Ash/Slag Pastes]. *Cement and Concrete Composites*, 2003, no. 25, pp. 287–292.
23. Fanghui Han, Xuejiang He, Juanhong Liu, Zengqi Zhang [Hydration Heat of Slag or Fly Ash in the Composite Binder at Different Temperatures]. *Thermochimica Acta*, 2017, no. 655, pp. 202–210.
24. Chi M., Huang R. [Binding mechanism and properties of alkali-activated fly ash/slag mortars]. *Construction and Building Materials*, 2013, no. 40, pp. 291–298.

Received 13 February 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Бутакова, М.Д. Утилизация силикатсодержащих отходов для повышения водостойкости гипсовых изделий / М.Д. Бутакова, Д.В. Ульрих // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 21–27. DOI: 10.14529/build220203

FOR CITATION

Butakova M.D., Ulrikh D.V. Disposal of Silicate-Containing Waste to Improve Water Resistance of Gypsum Products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022, vol. 22, no. 2, pp. 21–27. (in Russ.). DOI: 10.14529/build220203