

Received: 07.10.2025

Revised: 10.01.2025

Accepted: 14.02.2025

DOI: 10.17804/2410-9908.2025.1.036-043

OPTIMAL DIMENSIONS OF MAGNESIUM OXIDE BRIQUETTES

L. I. Polyansky^{1, a}, N. A. Babailov^{2, b, *}, and Yu. N. Loginov^{3, c}


¹*Spaidermash LLC,*



54 Studencheskaya St., Ekaterinburg, 620912, Russia



²*Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,*

34 Komsomolskaya St., Ekaterinburg, 620049, Russia

³*Ural Federal University, 19 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russia*

a)  100pli100@mail.ru;

b)  <https://orcid.org/0000-0002-6245-2841>  n.a.babailov@urfu.ru;

c)  <https://orcid.org/0000-0002-7222-2521>  j.n.loginov@urfu.ru

Corresponding author: Email: n.a.babailov@urfu.ru

Address for correspondence: ul. Komsomolskaya, 34, Ekaterinburg, 620049, Russia

Tel.: +7 (343) 374-2594

The paper discusses experimental studies on determining the drop strength of cylindrical magnesium oxide briquettes used in the metallurgical and refractory industries. Briquettes with a magnesium oxide content of 97% were produced by dry pressing, i.e. without a binder or moisture. Special equipment for producing cylindrical briquettes by single-action compacting in a closed mold was manufactured in the laboratory. The particle size of the material to be compacted does not exceed 1 mm. The resulting briquettes are studied with the following compaction process parameters: compaction stress ranging from 20 to 100 MPa, without heating the mixture and without lubricating the inner surface of the mold. The cylindrical briquettes were produced on a vertical hydraulic press with a nominal force of 100 kN. All the series of briquettes were produced with the same mixture compaction coefficient, which is equal to 3. These modes of compacting charge mixtures are implemented on roller briquetting presses under commercial production conditions. The study determines the following briquette properties: average density and drop strength. The average briquette density is 2.05 g/cm³. The analysis of the mechanical properties yields the optimal briquette shape in terms of strength. The results of the study make it possible to optimize the process of producing briquettes from magnesium oxide and to change the shape and size of the cells cut on the rolls of briquetting presses. The results will increase the economic efficiency of briquetting processes and the productivity of the roll briquetting process.

Keywords: dry compaction, briquetting, single-action compacting, magnesia briquette, density, drop strength

Acknowledgement

The work was performed according to the research plan of the IES UB RAS, FUMG-2024-0002, No. R&D 124020800027-4.

References

1. Ravich, B.M. *Briketirovanie rud* [Briquetting of Ores]. Nedra Publ., Moscow, 1982, 183 p. (In Russian).
2. Avdokhin, V.M. *Osnovy obogashcheniya poleznykh iskopaemykh* [Fundamentals of Mineral Processing. Vol. 1]. Izd-vo MGGU Publ., Moscow, 417 p. (In Russian).

3. *Handbook of Powder Technology, Granulation*, vol. 11, eds., A.D. Salman, M.J. Hounslow, and J.P.K. Seville, Elsevier, 2007, 1375 p.
4. Wang, Z., Xu, A.-J., and He, D.-F. Influence factors of compressive strength of stainless-steel dust pellets by cold bonded briquetting. *Journal of Iron and Steel Research*, 2015, 27 (5), 25–29. DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1001-0963.20140114.
5. Mohanty, M.K., Mishra, S., Mishra, B., Sarkar, S., and Samal, S.K.A. Novel technique for making cold briquettes for charging in blast furnace. *IOP Conference, Materials Science and Engineering Series*, 2016, 115. DOI: 10.1088/1757-899X/115/1/012020.
6. Kuskov, V., Kuskova, Ya., and Udovitsky, V. Effective processing of the iron ores. In: *The Second International Innovative Mining Symposium*, E3S Web of Conferences, 2017, vol. 21, pp. 02010. DOI: 10.1051/e3sconf/20172102010.
7. Kuskov, V. and Kuskova, Ya. Research of physical and mechanical properties of briquettes, concentrated from loose high-grade iron ores. In: *17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017: Conference Proceedings*, STEF92 Technology, Sofia, 2017, vol. 17 (11), pp. 1011–1016.
8. Turchin, M.Yu., Masalimov, A.V., Smirnov, A.N., and Grishin, I.A. Highly reactive magnesia production: modeling and experiment. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2019, 60 (3), 254–257. DOI: 10.1007/s11148-019-00346-6.
9. Turchin, M.Y., Masalimov, A.V., Smirnov, A.N., and Grishin, I.A. Obtaining highly active magnesia: modeling and experiment. *Novye Ogneupory (New Refractories)*, 2019, 1 (5), 92–95. (In Russian). DOI: 10.17073/1683-4518-2019-5-92-95.
10. Masalimov, A., Smirnov, A., Orekhova, N., and Grishin, I. The raw material base for the discovery of magnesium oxide production promising sources in the beneficiation processes. *Vestnik Zabaykalskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2021, 27 (3), 16–25. (In Russian). DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25.
11. Poyarkova, E.V. and Makhnovskaya, A.S. Production and utilization of magnesium oxide in the Russian Federation. *Gornaya Promyshlennost*, 2024, 3, 135–138. (In Russian). DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-135-138.
12. Osadchenko, I.M., Lyabin, M.P., and Romanovskova, A.D. Magnesium oxide: properties, methods of preparation and application (analytical review). *Prirodnye Sistemy i Resursy*, 2018, 8 (3), 5–14. (In Russian). DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.1.
13. Loginov, Yu.N., Burkin, S.P., and Polyanskiy, L.I. *Mekhanika valkovogo briketirovaniya sypuchikh materialov* [Mechanics Roller Briquetting of Loose Materials]. AMB Publ., Ekaterinburg, 2011, 304 p. (In Russian).
14. Babailov, N.A., Polyanskiy, L.I., and Loginov, Yu.N. Briquetting metallurgical lime screenings and parameters making it possible to improve process efficiency. *Metallurgist*, 2016, 60, 576–580. DOI: 10.1007/s11015-016-0334-3.
15. Loginov, Yu.N., Babailov, N.A., and Polyanskii, L.I. Effect of the precompaction pressure on the density distribution in a metallurgical briquette during roller pressing. *Metallurgist*, 2018, 61, 849–852. DOI: 10.1007/s11015-018-0574-5.
16. GOST 21289-75. (In Russian).
17. GOST 25471-82. (In Russian).
18. Babailov, N.A., Loginov, Yu.N., and Polyanskii, L.I. Cracking in MgO briquettes. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*, 2023, 66 (1), 86–88. DOI: 10.17073/0368-0797-2023-1-86-88.
19. Polyansky, L.I., Babailov, N.A., and Loginov, Yu.N. Studying the mechanical properties of iron ore concentrate briquettes. *Diagnosics, Resource and Mechanics of materials and structures*, 2023, 2, 41–48. DOI: 10.17804/2410-9908.2023.2.041-048. Available at: http://dream-journal.org/issues/content/article_389.html
20. TU 3821-0015-0316524-2004. (In Russian).

Подана в журнал: 07.10.2025

УДК 07.10.2025

DOI: 10.17804/2410-9908.2023.1.036-043

ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ БРИКЕТОВ ИЗ ОКСИДА МАГНИЯ

Л. И. Полянский^{1, а}, Н. А. Бабайлов^{2, б, *}, Ю. Н. Логинов^{3, в}

¹ООО «Снайдермаш»,

ул. Студенческая, д. 54, Екатеринбург, 620912, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени


Э. С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук,



ул. Комсомольская, 34, Екатеринбург, 620049, Россия



³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»,

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002, Россия

^а  100pli100@mail.ru;

^б  <https://orcid.org/0000-0002-6245-2841>  n.a.babailov@urfu.ru;

^в  <https://orcid.org/0000-0002-7222-2521>  j.n.loginov@urfu.ru

Ответственный автор: Email: n.a.babailov@urfu.ru

Адрес для переписки: ул. Комсомольская, д. 34, Екатеринбург, 620049, Россия

Тел.: +7 (343) 374-25-94

В работе выполнены экспериментальные исследования по определению прочности на сбрасывание цилиндрических брикетов из оксида магния (MgO), используемых в металлургической и огнеупорной промышленности. Брикеты с содержанием MgO 97 % получены методом сухого брикетирования, т. е. без связующего или влаги. В лаборатории была изготовлена специальная оснастка для получения цилиндрических брикетов методом одностороннего прессования в закрытой пресс-форме. Размер частиц брикетируемого материала не превышает 1 мм. В работе изучены брикеты, полученные при следующих технологических параметрах брикетирования: напряжение прессования 20–100 МПа без нагрева брикетируемой смеси и без смазки внутренней поверхности пресс-формы. Цилиндрические брикеты были получены на вертикальном гидравлическом прессе с номинальным усилием 100 кН. Все серии брикетов были получены при одинаковом коэффициенте уплотнения брикетируемой смеси, равном 3. Такие режимы прессования шихтовых смесей реализуются на валковых брикетировочных прессах в условиях промышленного производства. В работе определены следующие свойства брикетов: средняя плотность и прочность на сбрасывание. Средняя плотность брикетов составила 2,05 г/см³. На основании анализа механических свойств определена оптимальная с точки зрения прочности форма брикета. Результаты исследования позволяют оптимизировать технологию получения брикетов из оксида магния, изменить форму и размеры ячеек, нарезанных на валках брикетировочных прессов. Результаты позволят увеличить экономическую эффективность процессов брикетирования и производительность процесса валкового брикетирования.

Ключевые слова: сухое брикетирование, прессование брикетов, одностороннее прессование, магниальный брикет, плотность, прочность на сбрасывание

1. Введение

Целью работы является определение оптимальных размеров брикетов из оксида магния при штемпельном брикетировании материалов для переноса полученных экспериментальных данных на процесс валкового брикетирования. Критерием оптимальности в работе

принята прочность брикетов на сбрасывание (максимальная прочность) при получении требуемой их плотности.

В настоящее время в России и за рубежом для окускования (брикетирования) мелкодисперсных (сыпучих) материалов в металлургии (для сталеплавильного, доменного и др. процессов) применяют различные методы и оборудование, например валковое брикетирование [1–8]. Так, для брикетирования сыпучих материалов используются штемпельные, валковые (вальцовые), кольцевые и револьверные прессы.

Авторы имеют опыт брикетирования техногенных отходов и отсевов рудного сырья, брикеты из которых используются в металлургическом (в том числе сталеплавильном) производстве.

Изучению свойств оксида магния и материалов на его основе посвящены работы [8–12].

Изучены процессы брикетирования отсевов (мелких фракций), например: кокса и кокса с окалиной [9], ферросплавов и железорудного концентрата, металлургической извести [10], а также других техногенных отходов черной металлургии и рудных материалов (с использованием различных связующих или без них) [13–15]. Механические свойства хромовых и железорудных материалов были исследованы и приведены в работах [13, 19].

Следует отметить, что одним из основных параметров прочности металлургических брикетов является прочность на сбрасывание, определяемая по ГОСТ 25471-82 [16] в интервале значений 0–100 %. При испытании должны соблюдаться следующие условия: количество сбрасываний пробы – три; высота сбрасывания на металлическую плиту – два метра.

Показатель прочности на сбрасывание вычисляют по формуле

$$X = \frac{m}{m + m_1} 100, \quad (1)$$

где m – масса кусков разрушенных брикетов размером свыше 5,0 мм после испытания на сбрасывание брикетов и последующего отсева на сите с квадратной ячейкой, равной 5 мм, кг; m_1 – масса кусков разрушенных брикетов размером менее 5,0 мм, кг.

2. Материал

Основным компонентом брикетируемой смеси является оксид магния. Смесь получена из горной породы магнезита путем мягкого отжига. Содержание MgO в брикетируемой смеси составляет 97 %. Кроме оксида магния в горной породе присутствуют сопутствующие оксиды кремния, кальция и железа. Их суммарное содержание в брикетируемой смеси составляет 3 %.

3. Методика

В работе при получении брикетов из оксида магния варьировали высоту получаемых брикетов. Во всех сериях подготовки брикетов коэффициент уплотнения принят равным 3. Коэффициент уплотнения смеси – стандартный показатель процессов прессования смесей, используемый в порошковой металлургии: $K_{упл} = \rho_1/\rho_0$ [8]. Такие условия брикетирования реализуются в промышленных условиях на валковых брикетировочных прессах. Здесь ρ_1 – плотность полученного брикета, ρ_2 – начальная плотность брикетируемого материала, которая равна 0,72 г/см³.

В экспериментах давление прессования смеси варьировали в интервале значений 20–50 МПа.

Подготовка шихтовых смесей перед прессованием направлена на снижение колебаний химического и гранулометрического состава и осуществляется в лабораторном смесителе гравитационного типа («пьяная бочка»). Прессование выполняли без подогрева шихтовых смесей или инструмента. Влажность брикетируемой смеси составляла 1,0 % и определялась с помощью анализатора влажности Эвлас-2М (с точностью измерения не более $\pm 0,2$ %).

4. Инструмент для брикетирования

В работе выполнены экспериментальные исследования по определению прочности брикетов на сбрасывание. Брикеты получены на вертикальном гидравлическом прессе усилием 100 кН в исследовательской лаборатории ООО «Спайдермаш».

Форма и геометрические размеры брикетов приведены на рис. 1 и в таблице. Для получения брикетов в работе использован метод одностороннего прессования (брикетирования) в закрытой пресс-форме с диаметром внутреннего отверстия $D = 30$ мм (рис. 2 а). Для получения брикетов цилиндрической формы с различной высотой (рис. 1 б) используется неразъемная пресс-форма (рис. 2 а). Пресс-форма состоит из следующих основных элементов: 1 – пуансон; 2 – корпус пресс-формы (втулка контейнера); 3 – плоское основание. Параметры исследуемых брикетов из оксида магния (форма и размеры) приведены в таблице.

В работе изучены прочностные свойства брикетов сразу после процесса брикетирования, без сушки и дальнейшего вылеживания на воздухе так называемых сырых брикетов.

Таблица

Геометрические параметры брикетов из оксида магния

Параметры брикета	Форма брикета			
	I	II	III	IV
Диаметр брикета D , мм	30			
Высота H , мм	27	33	38	65
Относительная высота брикета H/D	1,00	1,22	1,43	1,66
Объем брикета, мм ³	0,0064	0,0078	0,0092	0,0106
Коэффициент уплотнения материала $K_{упл}$	3	3	3	3

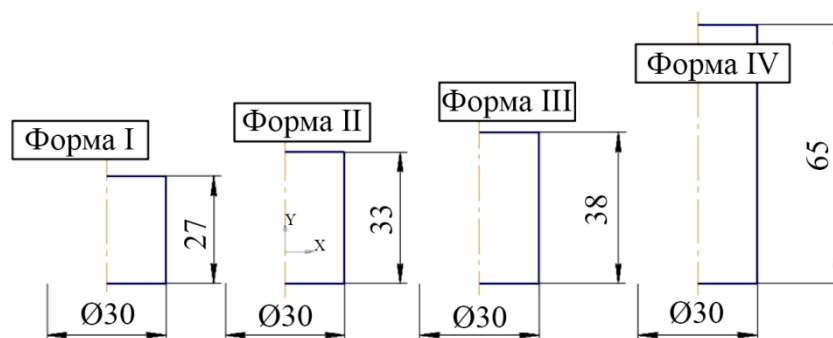


Рис. 1. Форма и размеры исследуемых цилиндрических брикетов

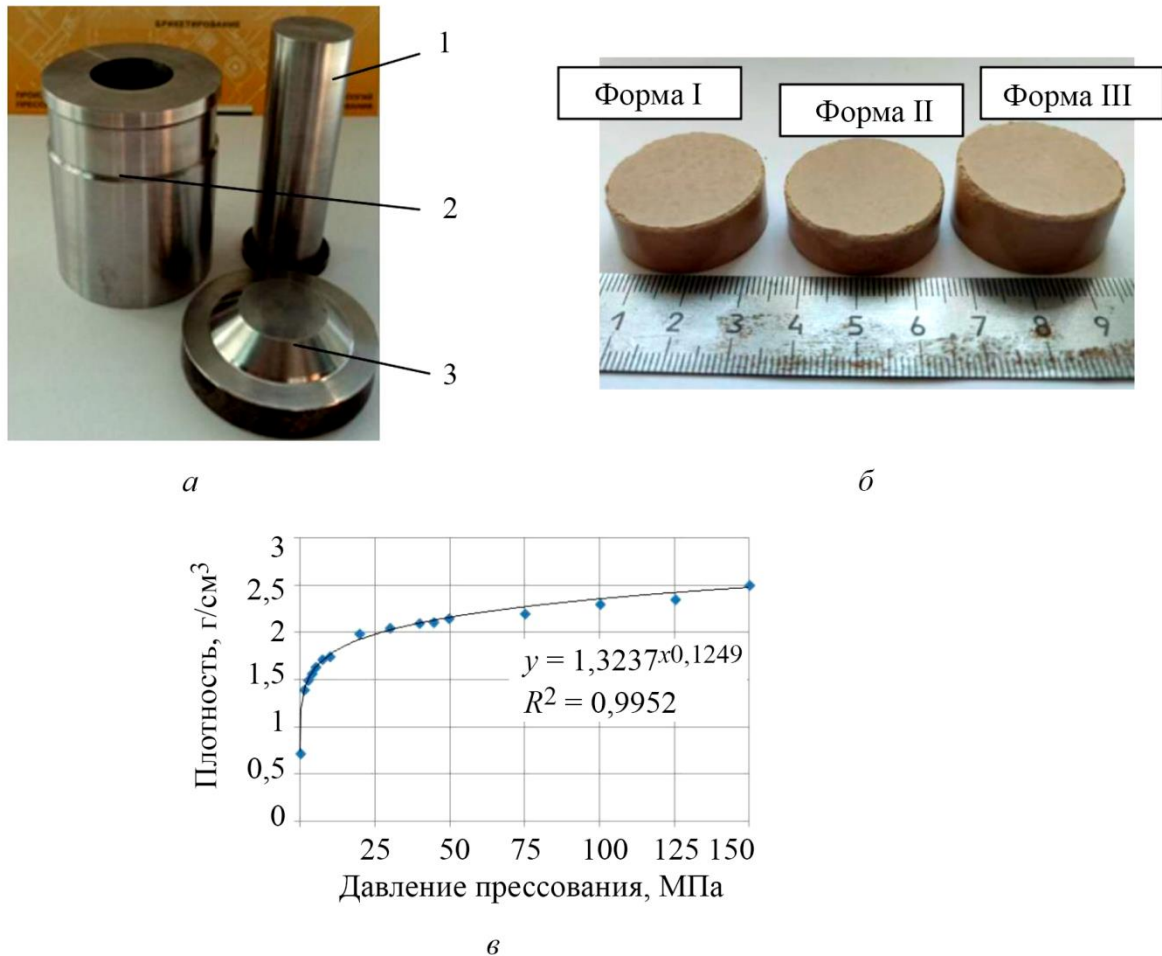


Рис. 2. Конструкция закрытой пресс-формы для брикетирования оксида магния (а); фотографии образцов различной формы (б); зависимость плотности брикета от давления прессования материала (в)

На рис. 2 в приведена зависимость средней плотности брикетов из оксида магния в зависимости от давления прессования смеси, так называемая компрессионная кривая. Среднюю плотность брикетов в работе определяли по ГОСТ 12730.1–2020 «Бетоны. Методы определения плотности» [17] для образцов правильной формы (брикеты представляют собой цилиндры диаметром 30 мм разной высоты). Средняя плотность брикета определяется как отношение массы образца (брикета) к его объему:

$$\rho = \frac{m}{V} 1000,$$

где m – масса брикета, г; V – объем брикета; $V = \pi D^2 H$, см³.

Массу брикетов определяли на электронных весах Ohaus Explorer Pro с точностью измерения 0,1 мг. Размеры брикетов определяли замером штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм. Форма (диаметр брикетов) определена размерами пресс-формы. Определена средняя плотность брикетов: $\rho = 2,05 \pm 0,05$ г/см³. Для построения графика испытаны по 3 образца на каждую точку измерения (рис. 2 в).

В работе не выявлено влияния относительной высоты брикета и давления прессования на среднюю плотность брикетов.

На рис. 3 приведены зависимости прочности брикетов на сбрасывание от относительной высоты получаемого брикета при давлении прессования. Проведено по 3 испытания брикетов на каждую точку исследования.

На основании анализа данных проведенного исследования механических свойств выбрана следующая оптимальная с точки зрения максимальной прочности форма брикетов: Форма I ($H/D = 1$) и Форма II ($H/D = 1,22$) (по таблице).

На рис. 3 приведены результаты исследования прочности на сбрасывание брикетов из оксида магния, полученных при различном давлении прессования, в зависимости от относительной высоты брикета.

5. Заключение

В работе проведены исследования механических свойств брикетов из оксида магния, полученных из горной породы магнезита. В работе определена оптимальная форма брикетов для получения максимальной их прочности на сбрасывание. Построены графические зависимости для определения оптимальной относительной высоты брикетов от давления прессования с целью получения плотности брикетов, рекомендованной с точки зрения технологии.

Приведены результаты исследований прочности на сбрасывание брикетов из оксида магния при различном давлении прессования в интервале 20–50 МПа и различной относительной высоте брикета. Определена оптимальная относительная высота брикетов в интервале значений 1,00–1,22. Результаты исследования позволят оптимизировать технологию брикетирования, а также увеличить производительность процесса брикетирования. Полученные результаты могут быть использованы для производства оборудования при брикетировании, в частности, оксида магния.

Благодарность

Работа выполнена в рамках плана НИР ИМАШ УрО РАН FUMG-2024-0002, НИОКТР № 124020800027-4.

Литература

1. Равич Б. М. Брикетирование руд. – М. : Недра, 1982. – 183 с.
2. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых : в 2 т. : учебник для вузов. Т. 1 : Обогащительные процессы. – М. : Изд-во МГТУ, 2006. – 417 с.
3. Handbook of Powder Technology. Granulation / ed. by A. D. Salman, M. J. Hounslow, J. P. K. Seville. – Elsevier, 2007. – Vol. 11. – 1375 p.
4. Wang Z., Xu A.-J., He D.-F. Influence factors of compressive strength of stainless-steel dust pellets by cold bonded briquetting // Journal of Iron and Steel Research. – 2015. – Vol. 27 (5). – P. 25–29. – DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1001-0963.20140114.
5. Novel technique for making cold briquettes for charging in blast furnace / M. K. Mohanty, S. Mishra, B. Mishra, S. Sarkar, S. K. A. Samal // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 115. – DOI: 10.1088/1757-899X/115/1/012020.
6. Kuskov V., Kuskova Ya., Udovitsky V. Effective processing of the iron ores // The Second International Innovative Mining Symposium. – E3S Web of Conferences, 2017. – Vol. 21. – P. 02010. – DOI: 10.1051/e3sconf/20172102010.
7. Kuskov V., Kuskova Ya. Research of physical and mechanical properties of briquettes, concentrated from loose high-grade iron ores // 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2017, Albena, Bulgaria, June 29– July 5, 2017 : conference proceedings. – Sofia : Stef92 Technology, 2017. – Vol. 17 (11). – P. 1011–1016.

8. Highly reactive magnesia production: modeling and experiment / M. Yu. Turchin, A. V. Masalimov, A. N. Smirnov, I. A. Grishin // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2019. – Vol. 60 (3). – P. 254–257. – DOI: 10.1007/s11148-019-00346-6.
9. Получение высокоактивной магнезии: моделирование и эксперимент / М. Ю. Турчин, А. В. Масалимов, А. Н. Смирнов, И. А. Гришин // *Новые огнеупоры*. – 2019. – № 5. – С. 91–95. – DOI: 10.17073/1683-4518-2019-5-92-95.
10. Состояние сырьевой базы для обнаружения перспективных источников получения оксида магния в процессах обогащения / А. В. Масалимов, А. Н. Смирнов, Н. Н. Орехова, И. А. Гришин // *Вестник Забайкальского государственного университета*. – 2021. – Т. 27 (3). – С. 16–25. – DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25.
11. Пояркова Е. В., Махновская А. С. Производство и применение оксида магния в Российской Федерации // *Горная промышленность*. – 2024. – № 3. – С. 135–138. – DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-135-138.
12. Осадченко И. М., Лябин М. П., Романовскова А. Д. Оксид магния: свойства, методы получения и применения (аналитический обзор) // *Природные системы и ресурсы*. – 2018. – Т. 8 (3). – С. 5–14. – DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.1.
13. Механика валкового брикетирования сыпучих материалов / Ю. Н. Логинов, С. П. Буркин, Н. А. Бабайлов., Л. И. Полянский. – Екатеринбург : АМБ, 2011. – 304 с.
14. Babailov N. A., Polyanskiy L. I., Loginov Yu. N. Briquetting metallurgical lime screenings and parameters making it possible to improve process efficiency // *Metallurgist*. – 2016. – Vol. 60. – P. 576–580. – DOI: 10.1007/s11015-016-0334-3.
15. Loginov Yu. N., Babailov N. A., Polyanskii L. I. Effect of the precompaction pressure on the density distribution in a metallurgical briquette during roller pressing // *Metallurgist*. – 2018. – Vol. 61. – P. 849–852. – DOI: 10.1007/s11015-018-0574-5.
16. ГОСТ 25471-82. Руды железные, агломераты и окатыши. Метод определения прочности на сбрасывание.
17. ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности.
18. Бабайлов Н. А., Логинов Ю. Н., Полянский Л. И. Трещинообразование в брикетах из оксида магния // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2023. – Т. 66 (1). – С. 86–88. – DOI: 10.17073/0368-0797-2023-1-86-88.
19. Полянский Л. И., Бабайлов Н. А., Логинов Ю. Н. Изучение механических свойств брикетов из железорудного концентрат // *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures*. – 2023. – Iss. 2. – P. 41–48. – DOI: 10.17804/2410-9908.2023.2.041-048.
20. ТУ 3821-001-50316524-2004. Основные типы прессов.