

Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.,  
Ястребинский Р.Н., канд. физ.-мат. наук, доц.,  
Широков А.В., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМАТИТА, ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ПРЕССОВАНИЯ

mpvbgtu@mail.ru

В данной статье приведены основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования; приведены методики с помощью которых проводились научные исследования. Представлены данные влияния времени помола гематита на изменение среднего показателя диаметра частиц и их средней удельной поверхности. Приведены результаты изучения воздействия высоких давлений прессования на плотность и на основные прочностные характеристики исследуемого материала. Данный материал может являться наполнителем при разработке новых видов радиационно-защитных материалов строительного назначения.

**Ключевые слова:** гематит, физико-механические свойства, частица, дисперсность, прочность на сжатие, плотность, давление, воздействие.

**Введение.** Интенсивное развитие атомной энергетики и промышленности, широкое внедрение ядерно-энергетических объектов во многие отрасли жизнедеятельности человека выдвигает на первый план проблему выполнения требований обеспечения норм радиационной безопасности. Это может быть достигнуто в том случае, если подвергающиеся воздействию ионизирующих излучений строительные конструкции объектов будут изготовлены с применением материалов, обладающих высокими физико-механическими характеристиками, технологичностью, экологичностью и в тоже время высокими показателями радиационно-защитных свойств. Одним из перспективных направлений является использование экологически чистого и широко распространённого в природе наполнителя для радиационно-защитных материалов строительного назначения, такого как модифицированный гематитовый железорудный концентрат [1–19].

**Методология.** Помол материала осуществлялся в шаровой мельнице. Фракционный состав частиц гематитового железорудного концентрата исследован методом лазерного рассеивания на лазерном анализаторе размеров частиц "ANALYSETTE 22 NanoTecplus", а также методом ситового анализа с помощью стандартного набора сит. Образцы подвергнутые физико-механическим испытаниям, изучения основных физико-механических характеристик материала выполнены в соответствии с установленными нормативными документами (ГОСТы, СНиПы, ТУ).

**Основная часть.** Для исследований был выбран высокодисперсный обогащенный железорудный концентрат с плотностью 4770 кг/м<sup>3</sup> Яковлевского месторождения КМА со следующим химическим и минеральным составом представленных в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1

Химический состав гематитового железорудного концентрата Яковлевского месторождения КМА (мас.%)

FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO
28,31	66,82	0,18	0,17	4,39	0,09	0,09	0,29

Таблица 2

Минеральный состав гематитового железорудного концентрата Яковлевского месторождения КМА (мас.%)

Магнетит	Гематит	Кварц	Силикаты	Карбонаты
3,3	93,5	2,5	0,5	0,2

Минеральный состав высокодисперсного гематитового железорудного концентрата в ре-

зультате химической обработки и очистки на 99,7-99,9% представлен гематитом (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Гематитовый железорудный концентрат после проведения мероприятий по очистке и химической обработки, проходил процесс модифицирования, и в работе использовался модифицированный наполнитель с пленкой на его поверхности из оксида алюминия.

Перед процессом формования образцов материала и дальнейшего исследования их основных физико-механических характеристик пред-

ставлялся интерес в определении зависимости влияния времени помола исходного материала на дисперсность его частиц.

На рисунках 1–3 приведены результаты исследований, дисперсности частиц гематита в зависимости от времени помола.

На рисунке 1 представлены результаты исследования фракционного состава помола гематита в течении 30 минут.

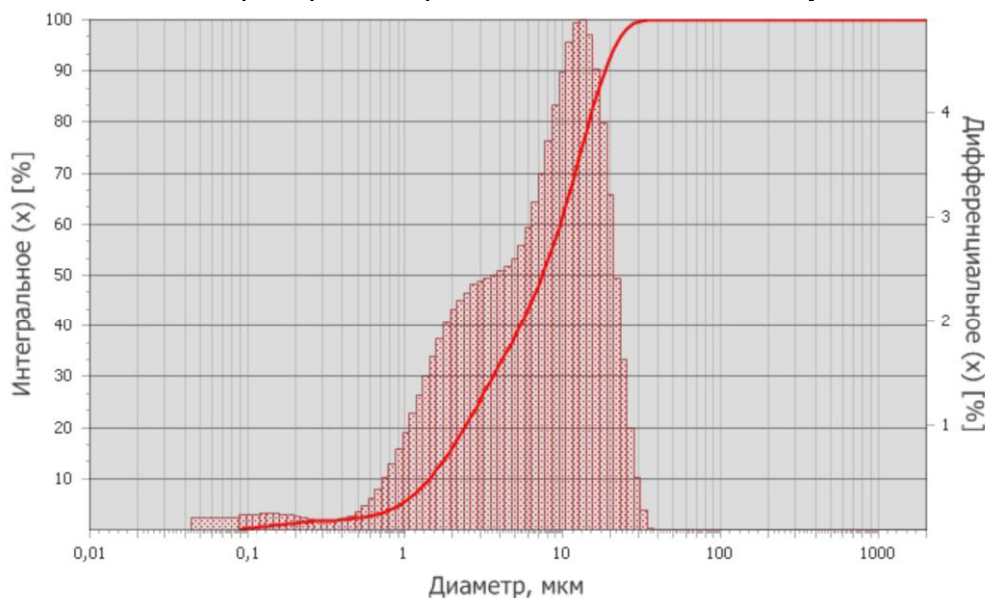


Рис. 1. Фракционный состав гематита с помолем в течение 30 минут

Из рисунка 1 видно, что модальный диаметр частиц исходного материала составляет 12,94 мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет 23064 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>. Распределение фракций дисперсности частиц гематита состав-

ляет: 0,1–1 мкм – 12 %; 1–5 мкм – 27 %; 5–10 мкм – 25 %; 10–50 мкм – 36 %;

На рисунке 2 представлены результаты исследования фракционного состава гематита с помолем в течении 60 минут.

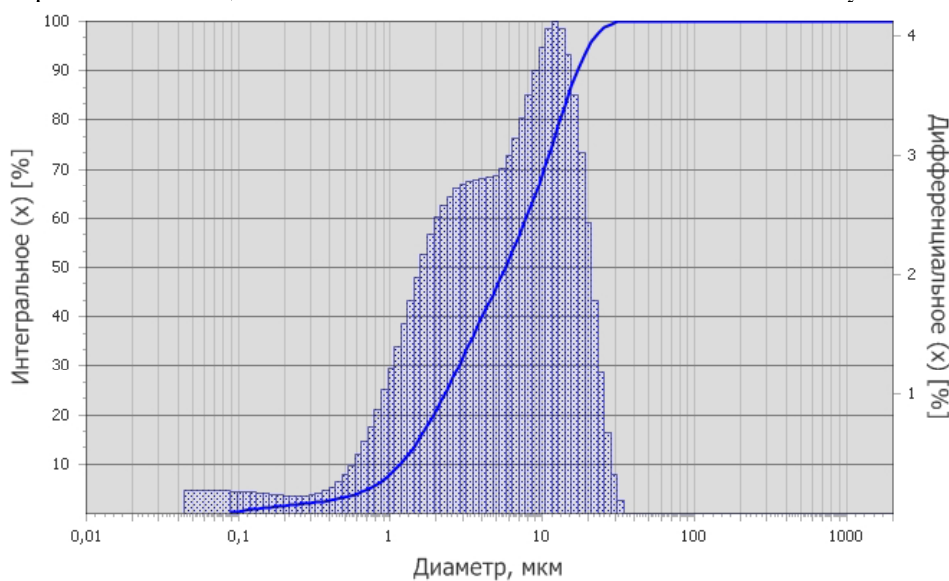


Рис. 2. Фракционный состав гематита с помолем в течение 60 минут

Из рисунка 2 следует, что модальный диаметр частиц исходного материала составляет 12,12 мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет 28373 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

На рисунке 3 представлены результаты исследования фракционного состава гематита с помолем в течении 90 минут.

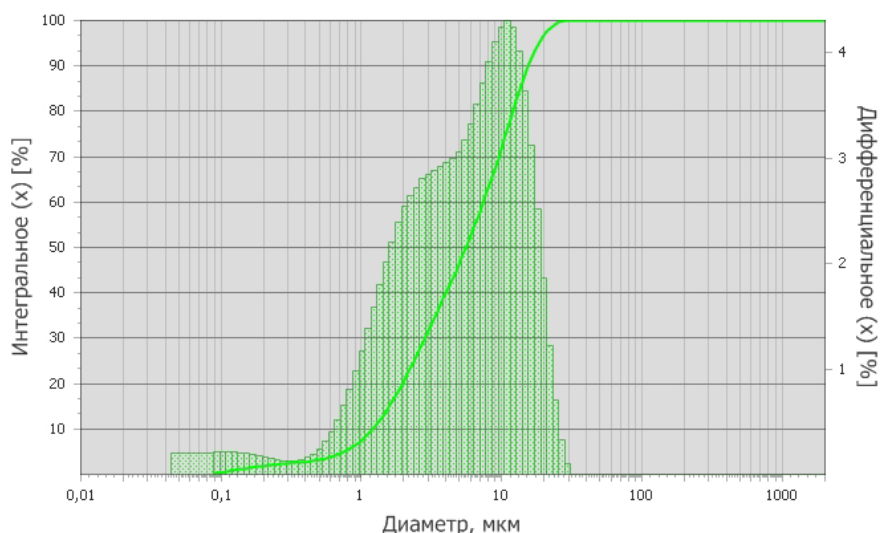


Рис. 3. Фракционный состав гематита с помолом в течение 90 минут

Из рисунка 3 следует, что модальный диаметр частиц исходного материала составляет 11,00 мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет  $28925 \text{ см}^2/\text{см}^3$ .

Проанализировав полученные результаты исследований, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени помола гематита с 30 минут до 60 минут происходит уменьшение среднего показателя диаметра на 17 % и одновременно увеличение средней удельной поверхности частиц гематита на 25 %. Но с дальнейшим увеличением времени помола до 90 минут средние показатели диаметра частиц и удельной поверхности изменяются незначительно (в пределах погрешности измерения прибора). В связи с этим можно сделать вывод о целесообразности проведения помола гематита не более 60 минут.

Дальнейшим этапом исследований было изучение зависимости различных давлений

прессования на плотность образцов гематита и их прочностные характеристики на сжатие. Формования образцов гематитового железорудного концентрата осуществлялись со следующими значениями давления прессования:  $50000 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ,  $100000 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ,  $150000 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ,  $200000 \text{ кгс}/\text{см}^2$ . Гематитовый железорудный концентрат после технологической стадии его помола подвергался процессу модифицирования с целью нанесения на его поверхность микрослоя алюминиевой оболочки. Модифицированный гематит является одним из наполнителей при разработке новых видов радиационно-защитных материалов на основе алюминиевой матрицы [1–7, 10, 12, 13, 18].

На рисунке 3 представлены данные результатов зависимости плотности образцов гематита от давления их прессования.

$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$

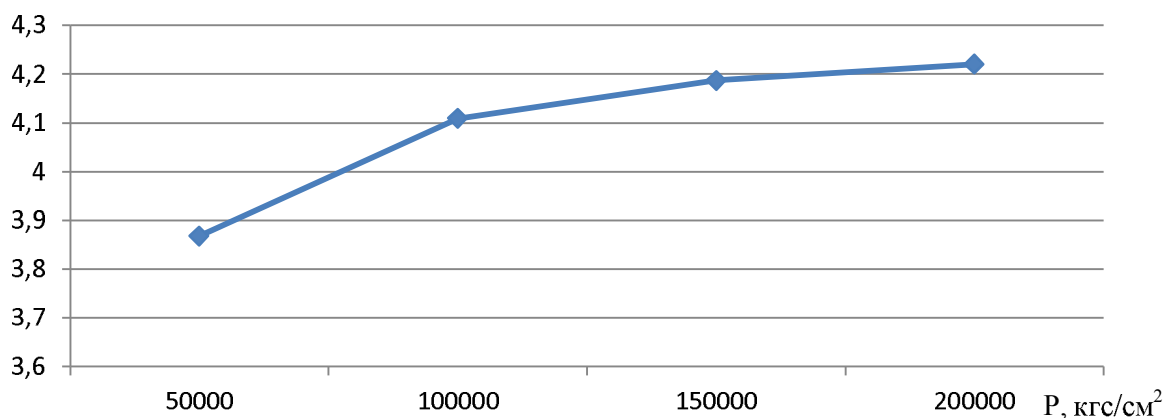


Рис. 3. Результаты зависимости плотности образцов гематита от давления их прессования

В результате воздействия давления прессования на гематит с усилием в  $50000 \text{ кгс/см}^2$  плотность исходного материала составляет  $3868 \text{ кг/см}^3$ , в  $100000 \text{ кгс/см}^2$  плотность составляет  $4109 \text{ кг/см}^3$ , в  $150000 \text{ кгс/см}^2$  плотность составляет  $4187 \text{ кг/см}^3$ , в  $200000 \text{ кгс/см}^2$  плотность составляет  $4220 \text{ кг/см}^3$ .

Из приведённых данных представленных на рисунке 3 видно, что при увеличении давления прессования с  $50000$ - $200000 \text{ кгс/см}^2$  плотность образцов железорудного концентрата возросла  $\sigma \text{ кгс/см}^2$

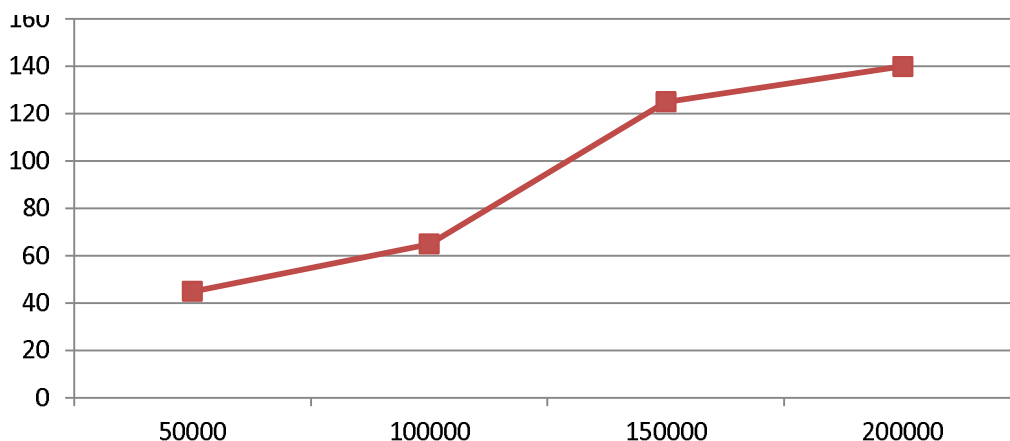


Рис. 4. Зависимость прочности образцов гематита на сжатие от давления его прессования

Анализируя полученные данные, приведённые на рисунке 4 можно сделать вывод, что при увеличении давления прессования на образцы гематита наблюдается тенденция роста их прочностных характеристик. Например, можно наблюдать значительное увеличение прочности на сжатие в 3,1 раза образца полученного, при давлении  $200000 \text{ кгс/см}^2$  по сравнению с образцом полученным при давлении  $50000 \text{ кгс/см}^2$ ; при рассмотрении значений прочностей на сжатие образцов полученных при давлениях прессования  $150000 \text{ кгс/см}^2$  и  $200000 \text{ кгс/см}^2$  наблюдается незначительное увеличение значений прочности на сжатие в 1,12 раз, что говорит о повышении плотности упаковки структуры образцов гематитового железорудного концентрата, то есть происходит более плотное компактирование частиц гематита внутри образца.

**Выводы.** Проведенные исследования влияния времени помола на изменения фракционного состава частиц гематита говорит о целесообразности его проведения в течение не более 60 минут. При повышении давления прессования на образцы гематита до  $200000 \text{ кгс/см}^2$  наблюдается тенденция роста его плотности прочности на сжатие, что говорит о более компактной упаковке структуры образцов гематита.

на 9 %; то есть наблюдается тенденция роста плотности гематитового железорудного концентрата при повышении давления прессования на него.

В дальнейшем была изучена зависимость прочности на сжатие образцов гематита от давления их прессования. На рисунке 4 представлены данные исследований зависимости прочности на сжатие образцов гематита от давления их прессования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапов Ю.Б., Борисов Ю.М., Барабаш Д.Е. Концептуальный подход к проектированию эффективных композиций на основе модифицированных олигодиенов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 69–74.
2. Потапов Ю.Б., Эффективные строительные композиты и конструкции на их основе с комплексом заданных свойств. Промышленное и гражданское строительство. 2010. №9. С. 9–11.
3. Лаптев Г.А., Потапов Ю.Б., Ерофеев В.Т. Разработка технологии изготовления металлобетонов // Строительство и реконструкция. 2015. № 1 (57). С. 123–129.
4. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В., Павленко З.В., Самойлова Ю.М. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским

фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области: Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова. 2015. С. 491–499.

5. Болдырев А.М., Орлов А.С., Е. Г. Рубцова Ресурсосберегающие технологии получения металлобетонных строительных композитов // Известия вузов. Строительство 2002. №4. С. 38–43.

6. Королев Е.В. Серные композиционные материалы специального назначения // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 99–106.

7. Баженов Ю.М., Королев Е.В., Самошин А.П., Королева О.В. Выбор заполнителя для радиационно-защитных бетонов вариатропно-каркасной структуры // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 1. С. 9–13.

8. Павленко В.И. Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Куприева О.В., Самойлова Ю.М. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области: Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова. 2015. С. 320–330.

9. Гарькина И.А., Данилов А.М., Домке Э.Р., Королев Е.В. Синтез композиционных материалов как сложных систем // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2009. № 4. С. 48–55.

10. Данилов А.М., Королев Е.В., Самошин А.П., Смирнов В.А. Материалы специального назначения: выбор элементного состава // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 37–40.

11. Zagirov N.N., Sidelnikov S.B., Lopatina E.S., Technology for preparing composite materials

based on processing nonferrous metal and alloy turnings. Metallurgist. 2011. P. 1–9.

12. Королёв Е.В., Самошин А.П., Смирнов В.А., Королева О.В., Гришина А.Н. Методики и алгоритм синтеза радиационно-защитных материалов нового поколения: Учебное пособие. Пенза: ПГУАС, 2009. 130 с.

13. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. №10. С. 85–86.

14. Матюхин П.В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. №9. С. 35–39.

15. Kasagi T., Suenaga S., Tsutaoka T., Hatakeyama K. High frequency permeability of ferromagnetic metal composite materials. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. Т. 310. №2 SUPPL. PART 3. P. 2566–2568.

16. Belomytsev M.Yu., Kozlov D.A, Stability of composite materials nail-refractory metal with cellular structure. Metal Science and Heat Treatment. 2006. Т. 48. № 5-6. P. 255-260.

17. Minaev Y.A. Fundamental property of metals-grain boundaries phase transition as a basis of nanostructured layers, materials and composites production. Materials Science Forum. 2010. Т. 654–656. P. 1852–1855.

18. Матюхин П.В. Радиационно-защитный конструкционный композиционный материал // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. №9 (28). С. 40–41.

19. Болдырев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г., Особенности создания композиционных строительных материалов с металлическими матрицами (металлобетонов). // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 5–11.

---

**Matyuhin P.V., Yastrebinsky R.N., Shirokov A.V.**  
**BASIC PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HEMATITE**  
**EXPOSED TO HIGH COMPACTION PRESSURE**

*This article describes the basic physical and mechanical properties of hematite subjected to high compression pressures; Techniques by which carried out the research. The data time hematite grinding effect on the average variation of the particle diameter and the average specific surface area. The data of the study of the impact of high compression pressures on the density and on the basic strength properties of the material. This material may be filled in the development of new types of radiation-shielding materials for construction application.*

**Key words:** hematite, physical and mechanical properties, particle dispersibility, compressive strength and density, pressure, effect.

---

**Магюхин Павел Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: mpvbgtu@mail.ru

**Ястребинский Роман Николаевич**, кандидат физико-математических наук, доцент теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Широков Алексей Владиславович**, магистрант кафедры теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: led777007@gmail.com