РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ СИДЕРИТОВЫХ РУД

*Б. П. ЮРЬЕВ, канд. техн. наук, доцент кафедры “Теплофизика и информатика в металлургии”;
О. Ю. ШЕШУКОВ, д-р техн. наук, директор; В. А. ДУДКО, аспирант кафедры
“Теплофизика и информатика в металлургии”, v.a.dudko@urfu.ru
(Институт Новых материалов и технологий Уральского федерального университета
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург)*

Аннотация. Уменьшение содержания железа в сидеритовых рудах, добываемых шахтным способом, обусловило необходимость разработки технологии их обогащения, позволяющей повысить содержание железа не менее чем до 35 %. В результате анализа существующих технологий обогащения полезных ископаемых установлено, что наиболее перспективным для обогащения сидеритовых руд является рентгенорадиометрический метод. Суть его состоит в регулируемой подаче кускового материала определенной крупности, распределении потоков кусков по ручьям и поштучной выдаче кусков руды в зону анализа – разделения, в которой осуществляется рентгенофлуоресцентный анализ основных химических элементов. Специальные микропроцессорные средства измерительно-управляющей системы производят сравнение результатов измерений с заданным порогом сепарации и принимают решение о присоединении конкретного куска к одному из продуктов сортировки. В результате конкретный кусок поступает в течку либо с богатым продуктом, либо в свободном падении уходит в течку бедного продукта. Проведены испытания технологии сепарации кусковых сидеритовых руд с использованием промышленных рентгенорадиометрических сепараторов. Изучено влияние крупности руды на показатели процесса обогащения. Установлено, что при внедрении метода рентгенорадиометрической сепарации целесообразно ограничиться машинными классами 250–100 и 100–30 мм. Предложена технологическая схема, обеспечивающая получение концентрата крупностью 30–10 мм с содержанием железа 35 %. Получаемый концентрат можно использовать для его восстановительного обжига в шахтных печах. Образующиеся отсевы после обогащения в полях высокой напряженности предложено подвергать металлизации во вращающихся печах или в печах с вращающимся подом. Металлизированный продукт может быть проплавлен в рудно-термической печи с получением стального полупродукта, используемого в большегрузных электродуговых печах.

Ключевые слова: обогащение сидеритовых руд, рентгенорадиометрическая сепарация, рентгенофлуоресцентный анализ, показатели процесса обогащения, восстановительный обжиг, металлизированный концентрат.

Ссылка для цитирования: Юрьев Б.П., Шешуков О.Ю., Дудко В.А. Разработка экологически чистой технологии обогащения сидеритовых руд // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 8. С. 923–929.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-8-923-929

ELABORATION OF AN ENVIRONMENTALLY APPROPRIATE TECHNOLOGY OF SIDERITE ORES CONCENTRATION

*B. P. YUR'EV, PhD (Tech.), Prof. Ass., Dpt. “Thermal physics and informatics in metallurgy”;
O. YU. SHESHUKOV, HD (Tech.), Director; V. A. DUDKO, Postgraduate,
Dpt. “Thermal physics and informatics in metallurgy”, v.a.dudko@urfu.ru
(Institute of new materials and technologies, Ural Federal University after
the First President of Russia B.N. El'tsin, Russia, Ekaterinburg)*

Abstract. Decrease of iron content in siderite ores, mined in mines stipulated a necessity to elaborate technologies of their concentration, which allow increasing iron content at least 35%. As a result of analysis of existing technologies of minerals concentration it was determined, that X-ray radiometric method is the most promising one for siderite ores concentration. Its essence is in a controlled supply of lump material of definite size, distribution of lump flows by streams and by the piece supply of ore lumps into analysis-division zone, in which the X-ray fluorescent analysis of main chemical elements takes place. Special microprocessor means of the measuring-control system make comparison of measuring results with the set threshold of separation and make decisions to direct the particular piece to one of the grading product. As the result, the particular piece comes to a chute either with rich product or by free fall comes to the chute of poor product. Tests of the technology of lump siderite ore separation accomplished by using industrial X-ray radiometric separators. Influence of ore size on the concentration process indices studied. It was determined, that at implementation the X-ray radiometric method of separation it is reasonable to limit by machine classes of 250–100 mm and 100–30 mm. A technological flowchart proposed to provide the concentrate obtaining with the size of 30–10 mm and iron content of 35%. The concentrate can be used for reducing roasting of it in shaft furnaces. The formed screenings after concentration in the high intensity fields were proposed to subject to metallization in the rotating furnaces or rotating hearth furnaces. The metallized product can be smelted in an ore-thermal furnace to obtain steel semi-product used in large-scale EAF.

Key words: siderite ore concentration, X-ray radiometric separation, X-ray fluorescent analysis, concentration process indices, reducing roasting, metallized concentrate.

For citation: Yur'ev B.P., Sheshukov O.Yu., Dudko V.A. Elaboration of an environmentally appropriate technology of siderite ores concentration. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 8, pp. 923–929. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-8-923-929

В связи с переходом на добычу сидеритовой руды шахтным способом с содержанием железа не более 28–30 % возникли сложности в ее использовании для высокотемпературного восстановительного обжига [1–4]. Кроме того, наличие в руде до 25–30 % легкоплавких сланцев не позволяет повышать температуру обжига до 1150–200 °С, необходимую для процесса металлизации. В результате возникла необходимость в разработке технологий и способов обогащения сидеритовых руд, позволяющих повысить содержание железа не менее чем до 35 %.

В работах [5–15] рассмотрены различные методы и технологии обогащения полезных ископаемых, в том числе и сидеритовых руд. В результате анализа этих работ установлено, что наиболее перспективным из них является новый высокоэффективный, экологически чистый рентгенорадиометрический метод исследований элементного состава вещества горных пород и руд [13–15]. В основе метода заложено современное технологическое оборудование для кусковой сепарации. Суть метода состоит в регулируемой подаче кускового материала определенной крупности, распределении потоков кусков по ручьям и поштучной выдаче кусков руды в зону анализа – разделения. В зоне анализа проводится рентгенофлуоресцентный анализ основных химических элементов. Специальные микропроцессорные средства измерительно-управляющей системы производят сравнение результатов измерений с заданным порогом сепарации и принимают решение о присоединении конкретного куска к одному из продуктов сортировки. В результате конкретный кусок поступает в течку либо с богатым продуктом, либо в свободном падении уходит в течку бедного продукта.

В работе [13] показано, что из исходной сидеритовой руды с содержанием железа 27 % с помощью рентгенорадиометрической сепарации (РРС) может быть получен концентрат с содержанием железа не менее 34 %.

Цель данной работы состояла в разработке технологии РРС кусковых сидеритовых руд, позволяющей за счет обогащения повышать содержание железа и тем самым подготавливать руды к восстановительному обжигу и последующему использованию в металлургических переделах. Для ее реализации были проведены испытания на пробе руды массой 10 т с использованием промышленных рентгенорадиометрических сепараторов СРФ4–150М и СРФ2–20.

Настройка сепараторов на выделение кусков с более высоким содержанием железа осуществлялась с помощью аналитического параметра:

$$P_{\text{Fe}} = \frac{N_{\text{Fe}}}{N_S}, \quad (1)$$

где N_{Fe} — регистрируемое от куска характеристическое излучение железа; N_S — регистрируемое от этого же куска рассеянное (вторичное) излучение первичного спектра источника рентгеновского облучения — портативного малоомощного рентгеновского излучателя ПРАМ-50М с рентгеновской трубкой прострельного типа БХВ-10 (Re).

Аналитический параметр P_{Fe} представляет собой алгоритм, реализующий способ спектральных отношений, который наиболее полно учитывает изменение геометрических условий (размер, форму куска, расстояние от датчика, отклонение от траектории) и способствует компенсации матричного эффекта (зависимость от изменения и взаимовлияния вещественного состава). Порог сепарации представляет собой задаваемое граничное значение аналитического параметра.

Выделенные при грохочении технологической пробы сидеритовой руды машинные классы пропускали через сепараторы по определенным схемам. Выбору порогов РРС для обогащения всех классов крупности предшествовали предварительные исследования на кусковом материале (более 100 кусков), в задачу которых входило определение порогов разделения с целью выделения фракций с различным содержанием железа. Было выбрано и рекомендовано для испытаний на сепараторе несколько порогов разделения для получения более полной и достоверной информации о возможностях рентгенорадиометрического обогащения применительно к данной пробе сидеритовой руды.

Все продукты РРС и грохочения подвергались предварительному взвешиванию на электронных весах (с целью определения их выхода). Хвосты РРС и класс крупностью 20–0 мм, выделенный при грохочении, подвергали проборазделению.

Хвосты сепарации поступали на первую стадию дробления в промышленную щековую дробилку, где происходило сокращение крупности материала до 20–0 мм. Затем дробленый материал подвергали тщательному перемешиванию и сокращению. Минимальная масса пробы определялась по формуле

$$P = KD^2, \quad (2)$$

где K — коэффициент неравномерности распределения минералов (элементов) в материале; D — размер максимального куска в отбираемой пробе, мм.

Отобранная после первой стадии дробления проба хвостов сепарации, так же как и проба класса крупностью 20–0 мм, выделенная из исходной руды грохочением, поступала на вторую стадию дробления в лабораторную щековую дробилку, где происходило их сокращение до крупности 20–0 мм. Затем дробленые до 20–0 мм пробы подвергались перемешиванию и сокращению. Производился отбор проб массой 400–500 г в соответствии с выражением:

$$P = 0,1 \times 2^2 = 0,4 \text{ кг.}$$

При этом основная масса материала после перемешивания и сокращения (отбора проб), полученная после первой и второй стадий дробления, направлялась в отвал.

Измельчение проб до крупности 0,074 мм проводили на дисковом истирателе. После измельчения от каждой пробы отбирали навески массой до 100 г и отправляли на химический анализ с целью определения в них основных компонентов.

Концентраты и промпродукты, выделенные при РРС, были направлены на проборазделку с целью получения продуктов крупностью 30–10 мм, необходимых для восстановительного обжига.

Все продукты грохочения взвешивали на электронных весах. Крупнокусковые фракции крупностью 30–10 мм от всех концентратов и промпродуктов, полученных при РРС, объединяли и направляли на опытно-промышленные испытания по их пирометаллургической переработке.

Так как в настоящее время Бакальское рудоуправление перешло на добычу сидеритовой руды шахтным способом, то содержание железа в руде уменьшилось с 32 до 28 %, т. е. на 4 % по сравнению с рудой карьерной добычи из-за загрязнения ее алюмосиликатными сланцами. Меньшее содержание основного минерала, сидероплезита, определяет сокращение содержания в шахтной руде его составляющих: FeO, MgO и ПМПП (потери массы при прокаливании). Из-за ухудшения качества шахтной руды ее использование для высокотемпературного восстановительного обжига не представляется возможным вследствие оплавления пустой породы.

В связи с этим очевидна необходимость обогащения кусковой руды перед ее металллизацией. Поэтому для испытаний метода РРС были поставлены с Бакальского рудоуправления две партии руды подземной добычи.

Обе партии по химическому составу приближались к средней пробе шахтной руды как по содержанию железа ($Fe_{\text{общ}} = 27\text{--}28\%$), так и по содержанию оксида магния ($MgO = 9,0\text{--}10,5\%$). Следовательно, испытания по РРС поставленных обеих проб можно считать вполне представительными.

Опытно-промышленные испытания проводили в ЗАО НПК «Техноген» по общепринятой методике. Все продукты классификации по крупности (грохочения) прошли стадию взвешивания на электронных весах с целью определения их выхода.

Машинные классы (фракции крупностью 300–200; 200–100; 100–40 и 40–20 мм) были направлены на РРС на сепаратор СРФ4–150М.

На первой стадии исследования были проведены эксперименты по выбору порогов разделения и режимов сепарации на относительно небольшой пробе руды крупностью 100–40 мм массой 212 кг.

В результате исследования характеристических рентгеновских спектров отдельных кусков руды (до 100 шт.) был определен алгоритм разделения и выбраны два порога РРС. В качестве алгоритма использовали соотношение (1). Экспериментально было выбрано два порога разделения: $P_1 = 3,0$ и $P_2 = 5,5$.

После разделения на рентгенорадиометрическом сепараторе СРФ4–150М на три продукта пробы, отобранной для тестовых испытаний от класса крупностью 100–40 мм, определяли выход каждого продукта путем их взвешивания на электронных весах. Объединение концентрата и промпродукта сепарации позволяет получить обогащенный продукт, содержащий 33,6 % железа, имеющего выход 76,9 % и извлечение железа в него 95,2 %.

Проведено исследование влияния крупности руды на показатели процесса обогащения. Вначале исследовалась первая проба. Исходные данные по распределению ценных компонентов в продуктах РРС и несортируемом классе 20–0 мм с общим балансом по всей пробе приведены в таблице. Здесь же указаны массовые характеристики продуктов, необходимые для оценки гранулометрического состава (определения относительных выходов).

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРОДУКТА РРС СИДЕРИТОВОЙ РУДЫ ПЕРВОЙ ПРОБЫ (ПАРТИИ)

RESULTS OF ANALYSIS OF X-RAY RS PRODUCT OF THE FIRST SAMPLE (LOT) SIDERITE ORE

Класс крупности, мм	Продукт	Масса, кг	Содержание, %			
			Fe _{общ}	FeO	MgO	ПМПП
300–150	Концентрат	615	35,3	46,5	8,67	32,7
	Промпродукт	431	32,3	42,4	9,70	33,1
	Хвосты	270	13,4	18,7	7,30	24,6
	Исходный	1316	29,8	39,4	8,73	31,2
150–40	Концентрат	674	33,9	46,0	9,00	32,6
	Промпродукт	346	33,4	44,0	9,28	32,5
	Хвосты	822	19,0	26,6	9,65	27,7
	Исходный	1842	27,2	37,0	9,34	30,4
40–20	Концентрат	205	34,3	45,3	9,33	33,3
	Промпродукт	162	32,9	43,3	7,79	30,9
	Хвосты	276	17,9	25,0	9,45	27,9
	Исходный	643	26,9	36,1	8,99	30,4
20–0	Продукт после грохочения	2105	23,8	29,8	8,29	28,0
	Продукт с колосникового грохота сепаратора	285	22,8	28,5	8,37	27,0
300–0	Исходная технологическая проба (баланс)	6191	26,4	34,6	8,77	29,6

Как следует из данных таблицы, при выбранных порогах РРС (P_1 и P_2) в концентраты и промпродукты РРС по всем машинным классам выделена та часть руды, содержание железа в которой составляет 32–35 %. Таким образом, и концентрат, и промпродукт могут быть объединены и считаться единым обогащенным продуктом.

Хвосты РРС по качеству соответствуют пустой породе с содержанием железа от 13 до 19 %, что было установлено также их визуальной оценкой. Анализ продуктов по содержанию FeO показывает, что и концентрат, и промпродукт содержат практически полностью двухвалентное железо, соответствующее минеральной формуле сидерита.

Обобщенные показатели по выходу объединенного обогащенного (концентрат и промпродукт) продукта и хвостов для всех исследованных фракций, а также данные по зависимостям показателей РРС и содержания железа в продуктах обогащения от средней крупности выделенных фракций позволяют заключить следующее. По мере снижения крупности содержание железа существенно снижается с 30 % во фракции 300–150 мм до 23,5 % в отсевах 20–0 мм. Это связано с различной твердостью непосредственно рудного материала, сидероплезита, и кремний-алюминатных сланцев, составляющих основу пустой породы. Последние имеют значи-

тельно меньшую прочность, чем сидероплезит, и при первичном дроблении в щековой дробилке сосредотачиваются преимущественно в мелком классе. Несмотря на это, концентраты РРС различных фракций практически не отличались друг от друга и содержание железа в них находилось на уровне 34 %. Следовательно, эффективность разделения полезного минерала и пустой породы на рентгенорадиометрическом сепараторе достаточно высокая и при увеличении числа кусков сланцев в средних и мелких фракциях они не попадают в концентрат. Однако обеднение исходной руды по мере снижения крупности существенно отражается на показателях обогащения. Выход концентрата снизился с 80 % в классе 300–150 мм до 55 % в классах 150–40 и 40–20 мм, а содержание железа в хвостах увеличилось с 13 до 20 %. Естественно, что рост железа в хвостах с одновременным увеличением их количества сопровождается дополнительными потерями железа, которые достигают 30 % при обогащении мелкого класса 40–20 мм. В то же время потери железа при сепарации фракции 300–150 мм не превышают 10 %.

В среднем объединенные показатели РРС по общему машинному классу 300–20 мм показывают, что в обогащенный продукт выделяется 64,4 % качественной сидеритовой руды от класса, или 41,4 % от исходной. В этот продукт извлекается более 50 % Fe (52,6 %), в несорти-

руемом классе 20–0 мм остается около 32 % Fe (по извлечению), для которого требуется, естественно, и другой метод обогащения.

По гранулометрическому составу, учитывая достаточно высокий (около 65 %) выход крупных классов больше 20 мм, руда вполне пригодна для покусковой сепарации. Однако, учитывая существенное снижение эффективности обогащения фракции со средним размером частиц 30 мм, при внедрении метода РРС целесообразно ограничиться машинными классами 250–100 и 100–30 мм. Для фракции 30–0 мм авторами предложена технологическая схема обогащения в полях высокой напряженности.

Вторая обогащенная проба отличалась от вышерассмотренной (первой) более высоким содержанием железа: 27,2 % против 26,5 %, пониженным содержанием кремнезема: 6,0 % против 12,0 % и повышенным содержанием ПМПП. Это свидетельствует о том, что содержание основного материала, сидероплезита, во второй пробе выше, а содержание железа, входящего в состав кремнистых сланцев и гетита, — ниже. Сказанное должно отразиться на показателях обогащения. Анализ показателей обогащения по второй пробе и сравнения их с показателями по первой пробе показал, что тенденция снижения содержания железа для мелких фракций сохранилась, однако разница между фракциями 300–150 и 20–0 мм сократилась с 6 % (первая проба) до 4 % (вторая проба). Обогащение второй пробы с преимущественно сидероплезитовым составом проходило более эффективно. Потери железа с хвостами для средних и мелких классов были в 2–3 раза ниже, чем в первой пробе, и не

превышали 4,5 %. Этот результат достигнут за счет существенного снижения содержания железа в отвальных хвостах: с 17,7 % (первая проба) до 8,9 % (вторая проба). Необходимо отметить, что довольно низкие потери железа достигнуты при достаточно хорошем качестве концентрата РРС, содержание железа в котором находилось на уровне 33–34 %, достаточном для восстановительного обжига в шахтных печах.

Таким образом, проведенные испытания по обогащению кусковых фракций руд шахтной добычи с исходным содержанием железа 26,5–27,2 % показали эффективность использования РРС с точки зрения как низких потерь железа (не более 10 %), так и качества концентратов ($Fe_{общ} = 33–34 \%$). Это позволяет рекомендовать РРС к использованию на Бакальском рудоуправлении после проведения соответствующих испытаний.

Для достижения необходимых показателей при подготовке сидеритовой руды к металлизации была предложена технологическая схема, обеспечивающая получение концентрата РРС крупностью 30–10 мм с содержанием 35 % Fe и его выходом 60 %, или 1,5 млн т/год. Выделяющиеся при обогащении отсева в количестве 20 % с содержанием железа 25 % рекомендуется после обогащения в полях высокой напряженности подвергать металлизации совместно с богатыми отсевами, выделяющимися при дроблении концентрата РРС, во вращающихся печах или в печах с вращающимся подом [16–19]. Отвальные сухие хвосты, содержащие 15 % Fe, намечено складировать аналогично существующим в Бакальском рудоуправлении.

Заключение

Разработана технология РРС кусковых сидеритовых руд шахтной добычи, позволяющая получать концентрат, который можно использовать при восстановительном обжиге в шахтных печах. Образующиеся отсева после обогащения в полях высокой напряженности предлагается под-

вергать металлизации во вращающихся печах или в печах с вращающимся подом. Металлизированный концентрат может быть проплавлен в рудно-термической печи с получением стального полупродукта, используемого в большегрузных электродуговых печах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н.А. Ватолин, С.В. Шаврин, Н.С. Шумаков. — М.: Металлургия, 1997. — 432 с.
2. Сенин А.В., Куприянов Л.С. Превращения в сидеритовой руде при восстановительном нагреве // Вестник ЮУрГУ. Серия “Металлургия”. 2013. Т. 13. № 1. С. 19–23.
3. Вусихис А.С. Термообработка и пирометаллургическое обогащение сидеритовой руды: дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 1994. — 113 с.
4. Технологические и теплотехнические основы подготовки сидеритовых руд к металлургическим переделам / Б.П. Юрьев, С.Г. Меламуд, Н.А. Спирин, В.В. Шацillo. — Екатеринбург: ООО АМК “День РА”, 2016. — 428 с.
5. Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В. К вопросу о способах переработки сидеритовых руд // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11 (часть 4). С. 580–582.

6. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. Т. 1. — М.: изд-во МГУ, 2005. — 159 с.
7. Загайнов С.А., Юрьев Б.П. Обогащительные процессы и устройства для их реализации. — Екатеринбург: УрФУ, 2012. — 110 с.
8. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 1. — М.: МГТУ, 2006. — 417 с.
9. Бигеев В.А., Колесников Ю.А. Прогнозирование технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием сидерита // Теория и технология металлургического производства. 2011. № 11. С. 30–36.
10. Ключковский С.П., Смирнов А.Н., Савченко И.А. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2015. № 1 (49). С. 26–31.
11. Савченко И.А., Смирнов А.Н., Турчин М.Ф. Подготовка высокомагнезиальных сидеритов Бакальского рудного поля к металлургическому производству методами пиро- и гидрометаллургии // Вестник ЮУрГУ. Серия “Металлургия”. 2016. Т. 16. № 3. С. 63–69.
12. Шемякин В.С., Скопов С.В. Исследование рентгенорадиометрической обогатимости минерального сырья Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 1. С. 93–98.
13. Радиометрическая сепарация сидеритовых руд / В.С. Шемякин, С.В. Скотов, Е.Ф. Цытин и др. // VII Конгресс обогатителей стран СНГ. Материалы конгресса. Т. 2. — М.: Альтекс, 2009. С. 25–30.
14. Основы рентгенорадиометрического обогащения полезных ископаемых / В.С. Шемякин, Ю.О. Федоров, М.Ю. Федоров и др. — Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2015. — 250 с.
15. Мокроусов В.А., Лилеев В.А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. — М.: Недра, 1979. — 192 с.
16. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Кн. 2. — М.: Теплотехника, 2004. — 592 с.
17. Анализ технико-экономических показателей процесса металлизации окатышей во вращающейся печи / В.А. Романец, В.А. Питателев, В.И. Галкин и др. // Труды МИСиС. — М.: Металлургия, 1982. Вып. 137. С. 28–38.
18. Горбачев В.А., Евстигун С.Н., Копоть Н.Н. и др. Принципы выбора технологии прямого получения железа // Сталь. 2006. № 6. С. 42–46.
19. Разаз Юнес, Опрытко И.А., Лобода П.И. Анализ технологий прямого восстановления оксидов металлов с применением печей с вращающимся подом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”. 2011. № 61. С. 184–192.

Поступила 30 мая 2019 г.

REFERENCES

1. Leont'ev L.I., Vatolin N.A., Shavrin S.V., Shumakov N.S. *Pirometallurgicheskaya pererabotka kompleksnykh rud* [Pyrometallurgical processing of complex ores]. Moscow: Metallurgiya, 1997, 432 p. (In Russ.).
2. Senin A.V., Kupriyanov L.S. Transformations in siderite ore at reducing heating. *Vestnik YuUrGU. Seriya "Metallurgiya"*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 19–23. (In Russ.).
3. Vusikhis A.S. *Termoobrabotka i pirometallurgicheskoe obogashchenie sideritovoi rudy: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Thermal treatment and pyro-metallurgical concentration of siderite ore. Cand. Sci. Dis.]. Ekaterinburg, 1994, 113 p. (In Russ.).
4. Yur'ev B.P., Melamud S.G., Spirin N.A., Shatsillo V.V. *Tekhnologicheskie i teplotekhnicheskie osnovy podgotovki sideritovykh rud k metallurgicheskim peredelam* [Technological and heat-engineering base of siderite ores preparation to metallurgical processing]. Ekaterinburg: OOO AMK “Den’ RA”, 2016, 428 p. (In Russ.).
5. Kostina Z.I., Krylova S.A., Ponurko I.V. About methods of siderite ores processing. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, no. 11 (chast' 4), pp. 580–582. (In Russ.).
6. Karmazin V.V., Karmazin V.I. Magnitnye, elektricheskie i spetsial'nye metody obogashcheniya poleznykh iskopaemykh. T. 1 [Magnetic, electric and special methods of minerals concentration. Vol. 1]. Moscow: izd-vo MGU, 2005, 159 p. (In Russ.).
7. Zagainov S.A., Yur'ev B.P. *Obogatitel'nye protsessy i ustroystva dlya ikh realizatsii* [Concentration processes and facilities for their realization]. Ekaterinburg: UrFU, 2012, 110 p. (In Russ.).
8. Avdokhin V.M. *Osnovy obogashcheniya poleznykh iskopaemykh* [Fundamental of minerals concentration]. Moscow: MGTU, 2006, 417 p. (In Russ.).
9. Bigeev V.A., Kolesnikov Yu.A. Prediction of technological parameters of steel smelting in BOF by using siderite. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*, 2011, no. 11, pp. 30–36. (In Russ.).
10. Klochkovskii S.P., Smirnov A.N., Savchenko I.A. Elaboration of physical and chemical base of complex utilization of high-magnesia siderites. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2015, no. 1 (49), pp. 26–31. (In Russ.).
11. Savchenko I.A., Smirnov A.N., Turchin M.F. Preparation of high-magnesia siderites of Bakal ore field to metallurgical production by methods of pyro- and hydro-metallurgy. *Vestnik YuUrGU. Seriya "Metallurgiya"*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 63–69. (In Russ.).
12. Shemyakin V.S., Skopov S.V. Study of X-ray radiometric dressability of mineral raw materials. *Izvestiya VUZov. Gornyi zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 93–98. (In Russ.).
13. Shemyakin V.S., Skotov S.V., Tsytn E.F., Koltunov A.V., Fedorov Yu.O. *Radiometricheskaya separatsiya sideritovykh rud* [Radiometric separation of siderite ores]. VII Kongress obogatitelei stran SNG. Materialy kongressa. T. 2 [VII CIS Congress of the Mineral Processing Engineers. Congress materials. Vol. 2]. Moscow: Al'teks, 2009, pp. 25–30. (In Russ.).
14. Shemyakin V.S., Fedorov Yu.O., Fedorov M.Yu. etc. *Osnovy rentgenoradiometricheskogo obogashcheniya poleznykh iskopaemykh* [Fundamental of Xray radiometric concentration of minerals]. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset', 2015, 250 p. (In Russ.).

15. Mokrousov V.A., Lileev V.A. *Radiometricheskoe obogashchenie neradioaktivnykh rud* [Radiometric concentration of non-radioactive ores]. Moscow: Nedra, 1979, 192 p. (In Russ.).
16. Lisienko V.G., Shchelokov Ya.M., Ladygichev M.G. *Vrashchayushchiesya pechi: teplotekhnika, upravlenie i ekologiya. Kn. 2* [Rotating furnaces: heat engineering, control and ecology. Book 2]. Moscow: Teplotekhnika, 2004, 592 p. (In Russ.).
17. Romanets V.A., Pitatelev V.A., Galkin V.I., Zhitnikov O.D., Komarov G.A. *Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei protsessa metallizatsii okatyshei vo vrashchayushchiesya pechi. Trudy MISiS* [Analysis of technical and economic indices of pellets metallization process in a rotating furnace. Proc. MISiS]. Moscow: Metallurgiya, 1982, no. 137, pp. 28–38. (In Russ.).
18. Gorbachev V.A., Evstyugin S.N., Kopot' N.N. etc. Principles of selection of a technology for direct reduction of iron. *Stal'*, 2006, no. 6, pp. 42–46. (In Russ.).
19. Razaz Yunes, Oprytko I.A., Loboda P.I. Analysis of technologies of direct reduction of metal oxides by using frotating hearth furnaces. *Vestnik NTUU "Kievskii politekhnicheskii institut"*, 2011, no. 61, pp. 184–192. (In Ukr.).

Received May 30, 2019

У одного из соавторов статьи “Определение физической теплоемкости материалов металлургического производства методом аддитивности” (Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 7. С. 810–817) Юрьева Б.П. допущена ошибка в указании ученой степени. Правильно — канд. техн. наук.