УДК 622.778

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ МЕЛКОДРОБЛЕНОЙ МАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ

Н. А. СЕДИНКИНА, канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, magnetyt@mail.ru; О. Е. ГОРЛОВА, канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых; Н. В. ГМЫЗИНА, канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых; Е. Ю. ДЕГОДЯ, канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск)

Аннотация. Сухая магнитная сепарация (СМС) позволяет на начальной стадии обогащения железных руд отделить немагнитную фракцию и тем самым снизить затраты на дальнейшую их переработку. Однако при этом значительное количество металла теряется с хвостами СМС. Эффективность СМС в значительной степени зависит от разницы между верхним и нижним пределами крупности руды (диапазона крупности руды), поступающей на обогащение. На ДОФ-5 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» этот диапазон составляет от 50 до 15 мм. Для определения оптимальной крупности руды, поступающей на СМС, были проведены исследования по определению удельной магнитной восприимчивости магнетита и вмещающей породы для магнетитовой руды месторождения Малый Куйбас. В результате исследования сепарации железной руды различной крупности показана целесообразность снижения крупности питания СМС до 30–7 мм. Установлена возможность получения дополнительного продукта крупностью 7–0 мм, пригодного для агломерации. Это позволит уменьшить количество материала, поступающего на измельчение и мокрую магнитную сепарацию, а также снизить затраты на транспортировку и складирование хвостов мокрой магнитной сепарации. Рассмотрены особенности СМС мелкодробленой магнетитовой руды во взвешенном состоянии, определены оптимальные параметры работы сепаратора и показана ее высокая эффективность при обогащении магнетитовой руды крупностью 7–0 мм.

Ключевые слова: обогащение мелкодробленой магнетитовой руды, сухая магнитная сепарация, диапазон крупности руды, напряженность магнитного поля, сепарация во взвешенном состоянии.

Ссылка для цитирования. Сединкина Н.В., Горлова О.Е., Гмызина Н.В., Дегодя Е.Ю. Изучение возможности обогащения мелкодробленой магнетитовой руды сухой магнитной сепарацией // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 5. С. 564–571.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-5-564-571

STUDY OF A POSSIBILITY OF ENRICHMENT OF FINE-CRUSHED MAGNETITE ORE BY DRY MAGNETIC SEPARATION

N. A. SEDINKINA, PhD (Tech), Prof. Ass., Dpt "Geology, surveyor and mineral concentration", magnetyt@mail.ru; O. E. GORLOVA, PhD (Tech), Prof. Ass., Dpt "Geology, surveyor and minerals concentration"; N. V. GMYZINA, PhD (Tech), Prof. Ass., Dpt "Geology, surveyor and minerals concentration"; E. YU. DEGODYA, PhD (Tech), Prof. Ass., Dpt "Geology, surveyor and minerals concentration" (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Russia, Chelyabinsk rgn., Magnitogorsk)

Abstract. Dry magnetic separation (DMS) enables to separate the non-magnetic fraction of iron ores at the initial stage of their concentration and therefore to decrease cost of their further processing. However, a considerable amount of metal is lost in DMS tails at that. The efficiency of DMS considerably depends on difference between the upper and lower limits of the ore coarseness (ore coarseness range), delivered for concentration. At the Magnitogorsk steel-works crushing and concentration plant No. 5 this range is from 50 mm up to 15 mm. To determine the optimal ore size, delivered to DMS, studies accomplished to determine the specific magnetic susceptibility of the magnetite and the burden for the magnetite ore of Maly Kuibas deposit. After the study of different size iron ore separation, a reasonability of the DMS feed size decreasing down to 30–7 mm shown. A possibility to obtain additional product of 7–0 mm size determined, suitable for sintering. It will enable to decrease the amount of material, delivered for crushing and wet magnetic separation, as well as to decrease expenses for transporting and storage of wet separation tails. Peculiarities of fine magnetite ore processing by DMS in a suspended state considered, optimal parameters of the separator determined and its high efficiency for magnetite ore of 7–0 mm size concentration shown.

Key words: concentration of fine magnetite ore, dry magnetic separation, ore size range, magnetic field intensity, separation in suspended state.

For citation. Sedinkina N.V., Gorlova O.E., Gmyzina N.V., Degodya E.Yu. Study of a possibility of enrichment of fine-crushed magnetite ore by dry magnetic separation. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tehnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 4, pp. 564–571. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-5-564-571

Сухая магнитная сепарация (СМС) в технологии обогащения железных руд является операцией предконцентрации, которая позволяет на начальной стадии обогащения отделить немагнитную фракцию и тем самым повысить качество руды, поступающей на стадийное мокрое обогащение, а также снизить капитальные и эксплуатационные затраты на ее измельчение. При этом значительные потери металла могут быть связаны с выделением железорудных минералов в хвосты СМС, что объясняется широким диапазоном крупности руды, поступающей на сепарацию. На большинстве обогатительных фабриках крупность руды в операции СМС составляет 60–15 (10) мм [1–3].

Эффективность СМС в значительной степени зависит от разницы между верхним d_1 и нижним d_2 пределами крупности руды, поступающей на обогащение, что составляет диапазон крупности руды. А.П. Квасковым предложена формула для определения допустимой разницы между верхним и нижним пределами крупности обогащаемой руды Δd [4, 5]:

$$\Delta d = d_1 - d_2 = \lg K' / \lg e = 2,3 \lg K' / \pi = 0,73 \lg K', \quad (1)$$

где $K' = \chi' / \chi''$, а χ' и χ'' — удельные магнитные восприимчивости магнетита и вмещающей породы соответственно, $\text{м}^3/\text{кг}$; S — шаг полюсов, м.

Для определения оптимальной крупности руды, поступающей на СМС, было проведено исследование по определению удельной магнитной восприимчивости магнетита χ' и вмещающей породы χ'' для магнетитовой руды месторождения Малый Куйбас. Установлено, что $\chi' = 5 \times 10^{-4}$ и $\chi'' = 2,8 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{кг}$.

По формуле (1) определено, что при таких значениях удельной магнитной восприимчивости допустимая разница Δd для эффективного обогащения должна составлять 24 мм. Для руды крупностью 50–15 (10) мм, поступающей на СМС на ДОФ-5 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК), она составляет 35 (40) мм. Это значительно снижает избирательность разделения и является одной из причин низких показателей СМС. На ДОФ-5 потери железа с хвостами СМС достигают 12 %. Таким образом, эффективная сепарация возможна при меньшем диапазоне крупности обогащаемой руды [6].

Для интенсификации процесса СМС были проведены исследования по влиянию крупности магнетитовой руды на показатели обогащения (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. РЕЗУЛЬТАТЫ СМС МАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ РАЗЛИЧНОЙ КРУПНОСТИ

TABLE 1. RESULTS OF DIFFERENT SIZE MAGNETITE ORE CONCENTRATION BY DMS

Крупность руды, мм	Продукт	Выход, %	Массовая доля железа, %	Извлечение железа, %
50–15	Магнитный	63,66	47,96	88,50
	Немагнитный	36,34	10,90	11,50
50–10	Магнитный	64,20	47,83	89,00
	Немагнитный	35,80	10,60	11,00
50–7	Магнитный	63,27	48,60	89,13
	Немагнитный	36,73	10,16	10,87
40–7	Магнитный	62,95	49,20	89,77
	Немагнитный	37,05	9,83	10,23
30–7	Магнитный	62,79	49,80	90,64
	Немагнитный	37,21	9,46	9,36

Примечание. Массовая доля железа в исходной руде составляет 34,5 %.

Результаты СМС магнетитовой руды различной крупности показывают, что при снижении крупности руды с 50–15 до 50–7 мм потери железа с немагнитным продуктом уменьшились с 11,5 до 10,87 %. При дораблывании руды до 40–7 и 30–7 мм происходит дальнейшее снижение массовой доли железа и потерь железа с хвостами СМС. Минимальные потери железа с хвостами

получены при крупности руды 30–7 мм, которые составили 9,36 % при массовой доле железа 9,46 %. При этом диапазоне крупности разница между верхним и нижним пределами Δd составляет 23 мм, что ниже допустимой. Уменьшение диапазона крупности руды, поступающей на СМС, позволит повысить эффективность разделения, а именно извлечение железа и массовую

долю железа в магнитном продукте. Таким образом, оптимальная крупность магнетитовой руды, поступающей на СМС, должна составлять 30–7 мм [7].

На эффективность СМС мелкодробленой руды оказывают существенное влияние конструктивные параметры сепаратора. Для магнетитовых руд нашли применение сепараторы, рабочий орган которых выполнен в виде шкива или барабана, внутри которого находится магнитная система с постоянной или чередующейся полярностью. Такие системы позволяют создавать магнитные поля на относительно большом расстоянии от полюсов и в большом объеме рабочего пространства [8].

На обогатительных фабриках для сухого магнитного обогащения магнетитовой руды широко применяются барабанные сепараторы с верхней или нижней подачей питания. Сепараторы с нижним питанием имеют меньшую удельную производительность и вызывают значительные потери железа с немагнитными продуктами по сравнению с сепараторами с верхним питанием, но качество концентрата при этом более высокое [9]. Основным недостатком барабанных сепараторов является низкая эффективность сепарации мелкодробленой руды, особенно при повышенной влажности. Для эффективного обогащения мелкодробленой руды предложен способ сепарации во взвешенном состоянии [10]. Данный способ сепарации обеспечивает неоднократное вытягивание частиц из потока материала и отрыв их от магнитной системы, в результате чего происходит освобождение и выпадение механически увлеченных частиц, самоочистка сталкивающихся частиц от налипших мелких и повышение качества магнитного продукта в каждой последующей зоне сепарации (рис. 1).

При сепарации во взвешенном состоянии мелкодробленой магнетитовой руды за счет повышения степени ее раскрытия и высокой избирательности самого процесса сепарации, реализуемого при перемещении материала в электромагнитном поле с резко изменяющейся и убы-

вающей по ходу движения материала максимальной напряженностью магнитного поля, возможно получение магнитного продукта высокого качества. Этот продукт может быть использован непосредственно в агломерации, если по массовой доле железа (не менее 45 %) и крупности (не более 10–0 мм) он отвечает требованиям к агло- руде.

Рис. 1. Схема лабораторной установки для сухой магнитной сепарации во взвешенном состоянии:
1 — бункер; 2 — хвостовой барабан; 3 — лента для съема магнитного продукта; 4 — магнитная система;
5 — приводной барабан; 6 — регулирующий шибер;
7 — ленточный конвейер

Fig. 1. Diagram of the laboratory facility for dry magnetic separation in suspended state:
1 — bunker; 2 — tail drum; 3 — tape for removal of the magnetic product; 4 — magnetic system;
5 — drive drum;
6 — regulating gate; 7 — belt conveyor

Для изучения влияния крупности руды на показатели обогащения были рассмотрены пробы магнетитовой руды месторождения Малый Куйбас, отобранные в разное время с наклонных конвейеров, подающих руду в мельницы. Полный химический состав проб магнетитовой руды представлен в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. ПОЛНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОБ МАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ ДОФ-5 ОАО ММК, % (мас.)

TABLE 2. COMPLETE CHEMICAL COMPOSITION OF MAGNETITE ORE OF JSC MMK CRUSHING AND CONCENTRATION PLANT No. 5, % (mas.)

Компонент	Проба 1	Проба 2	Проба 3
Fe _{общ}	44,870	37,270	40,500
FeO	13,700	15,650	15,970
Fe ₂ O ₃	44,310	28,640	37,290
TiO ₂	0,420	0,740	0,720
V ₂ O ₅	0,030	0,040	0,040
SiO ₂	17,100	24,090	20,570
Al ₂ O ₃	2,440	6,000	5,100
Cr ₂ O ₃	0,210	0,060	0,080

Компонент	Проба 1	Проба 2	Проба 3
CaO	5,700	13,500	10,360
MgO	1,640	2,180	2,020
MnO	0,300	0,280	0,250
K ₂ O	0,130	0,440	0,330
Cu	0,045	0,052	0,050
Zn	0,050	0,028	0,032
Pb	0,034	0,041	0,039
Ni	0,034	0,040	0,039
Co	0,017	0,013	0,014
As	0,006	0,004	0,005
S	1,610	1,960	1,700
P	0,114	0,133	0,120
П.п.п.	7,360	2,420	2,200

Результаты химического анализа (см. табл. 2) показали, что в пробах содержится значительное количество примесей. Вредные примеси (фосфор, мышьяк, олово, цинк, свинец и медь) находятся в пробах в незначительном количестве. Массовая доля серы в пробах в среднем составляет 1,75 %, что не препятствует промышленному использованию сернистых руд, поскольку они

после обогащения подвергаются агломерации. Массовая доля общего железа в пробах 1, 2 и 3 составляет 44,87; 37,27 и 40,5 % соответственно.

Результаты исследования обогащения магнетитовой руды с использованием сепарации во взвешенном состоянии и возможностью получения продукта, пригодного для агломерации, приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ РУДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ

TABLE 3. THE EFFECT OF ORE SIZE ON THE ENRICHMENT INDICES

Продукт	Крупность руды, мм								
	15–0			10–0			7–0		
	Показатели обогащения, %								
	выход	массо- вая доля железа	извле- чение железа	выход	массо- вая доля железа	извле- чение железа	выход	массо- вая доля железа	извле- чение железа
Проба 1									
Аглоруда	53,57	58,21	69,50	54,98	57,31	70,22	55,47	57,22	70,74
Промпродукт	27,16	44,61	27,01	26,88	44,35	26,57	26,43	44,36	26,13
Хвосты	19,27	8,15	3,49	18,14	7,94	3,21	18,10	7,76	3,13
Исходный	100,0	44,87	100,0	100,0	44,87	100,0	100,0	44,87	100,0
Проба 2									
Аглоруда	38,18	58,41	58,27	43,05	57,11	64,24	47,94	56,86	71,23
Промпродукт	46,27	31,94	38,62	41,46	30,20	32,72	35,55	27,59	25,63
Хвосты	15,55	7,63	3,11	15,49	7,51	3,04	16,51	7,28	3,14
Исходный	100,0	37,27	100,0	100,0	38,27	100,0	100,0	38,27	100,0
Проба 3									
Аглоруда	42,55	58,74	61,71	45,34	58,64	65,65	48,79	57,32	69,05
Промпродукт	40,75	34,76	34,97	39,14	32,42	31,33	34,95	32,13	27,73
Хвосты	16,70	8,05	3,32	15,52	7,88	3,02	16,26	8,02	3,22
Исходный	100,0	40,5	100,0	100,0	40,5	100,0	100,0	40,5	100,0
Примечание. Угол подъема магнитной системы — 10 град.; напряженность магнитного поля — 105 кА/м; высота подъема частиц — 40 мм; скорость перемещения материала — 0,28 м/с.									

При уменьшении крупности выход аглоруды и извлечение в нее железа повышаются во всех случаях. При снижении крупности материала с 15–0 до 7–0 мм выход аглоруды повышается соответственно для проб 1, 2 и 3 с 53,57 до 55,47 %, с 38,18 до 47,94 % и с 42,55 до 48,79 %, а извлечение железа — с 69,5 до 70,74 %, с 58,27 до 71,23 % и с 61,71 до 69,05 % соответственно. При этом

массовая доля железа снижается незначительно. Это свидетельствует о высокой избирательности процесса СМС во взвешенном состоянии.

Таким образом, особенности процесса СМС во взвешенном состоянии позволяют получать достаточно высокие показатели при обогащении мелкого материала, что, в свою очередь, позволяет уменьшить количество материала, поступаю-

щего на измельчение и мокрую магнитную сепарацию (ММС), а также снизить затраты на транспортировку и складирование хвостов ММС [11].

Результаты изучения влияния напряженности магнитного поля на показатели обогащения магнетитовой руды ДОФ-5 ОАО ММК крупностью 7–0 мм приведены на рис. 2.

Рис. 2. Влияние напряженности магнитного поля на показатели обогащения проб руды 1, 2 и 3

Fig. 2. Effect of the magnetic field intensity on concentration indices of ore samples 1, 2 and 3

Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что при повышении напряженности магнитного поля извлечение железа в аглоруду для всех трех проб увеличивается при некотором снижении массовой доли железа. При повышении напряженности магнитного поля с 87 до 120 кА/м извлечение железа в аглоруду увеличивается в среднем на 9 %. При этом массовая доля железа в аглоруде для этих проб снижается на 3 %. Это происходит вследствие того, что при повышении напряженности магнитного поля увеличивается удельная магнитная сила f_m , действующая на частицы. При этом в магнитный продукт извле-

каются частицы с меньшей удельной магнитной восприимчивостью и меньшей массовой долей железа. Одновременно увеличивается ускорение частиц при перемещении к магнитной системе, что сокращает время их подъема и вероятность очистки поверхности частиц от налипших. Установлено, что оптимальным значением напряженности магнитного поля в процессе сепарации во взвешенном состоянии является 105 кА/м.

Результаты исследования по изучению влияния угла подъема магнитной системы на показатели обогащения руды крупностью 7–0 мм приведены на рис. 3.

Рис. 3. Влияние угла подъема магнитной системы на показатели обогащения проб руды 1, 2 и 3

Fig. 3. Effect of the magnetic system elevation angle on concentration indices of ore samples 1, 2 and 3

Данные, представленные на рис. 3, показывают, что с увеличением угла подъема магнитной системы от 3 до 15 град. извлечение железа в аглоруду в случае проб 1, 2 и 3 снижается соответственно с 70,42 до 66,12 %, с 62,46 до 57,12 % и с 63,24 до 59,74 %, а массовая доля железа в аглоруде повышается с 55,71 до 62,33 %, с 52,97 до 59,43 % и с 55,11 до 61,21 %. Это происходит вследствие того, что при увеличении угла подъема магнитной системы в каждом последующем участке активной зоны повышается высота подъема частиц до магнитной системы. При этом увеличивается удельная магнитная сила, необходимая для извлечения частиц из по-

тока перемещающегося материала, уменьшается длина активной зоны и, соответственно, время пребывания в ней частиц. Установлено, что наилучшие результаты по качеству получаемой аглоруды получены при увеличении подъема угла магнитной системы от 7 до 15 град. Оптимальным углом подъема магнитной системы следует считать 10 град.

Важное значение для показателей обогащения магнетитовой руды крупностью 7–0 мм имеет высота подъема частиц к магнитной системе. Результаты исследования влияния высоты рабочей зоны на показатели сепарации руды крупностью 7–0 мм приведены на рис. 4.

Рис. 4. Влияние высоты подъема магнитной системы на показатели обогащения проб руды 1, 2 и 3

Fig. 4. Effect of the magnetic system elevation height on concentration indices of ore samples 1, 2 and 3

Результаты, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о том, что при увеличении высоты подъема магнитной системы с 20 до 60 мм извлечение железа в аглоруду снижается, а массовая доля железа в ней повышается в случае всех трех проб руды, так как при увеличении высоты рабочей зоны сепаратора напряженность

магнитного поля снижается. Извлечение железа в аглоруду уменьшается в среднем на 5 %. Изменение монотонное, достаточно плавное. Решающими показателями при определении оптимальной высоты подъема магнитной системы являются массовая доля железа в хвостах и потери с ними железа (рис. 5).

Рис. 5. Влияние высоты подъема магнитной системы на показатели обогащения проб руды 1, 2 и 3

Fig. 5. Effect of the magnetic system elevation height on concentration indices of ore samples 1, 2 and 3

При подъеме магнитной системы от конвейерной ленты с 20 до 40 мм потери железа с хвостами снижаются в случае всех трех проб, при этом массовая доля железа в хвостах повышается незначительно. Массовая доля железа в хвостах для пробы 1 повышается на 0,47 %, для проб 2 и 3 — на 0,27 и 0,39 % соответственно. С повышением подъема магнитной системы до 60 мм потери железа с хвостами возрастают на 2,14 % для пробы 1, для проб 2 и 3 — на 5,1 и 4,73 % соответственно. Таким образом, наилучшие результаты получены при подъеме маг-

нитной системы установки для СМС во взвешенном состоянии в диапазоне от 30 до 50 мм [12].

Таким образом, технология рудоподготовки магнетитовой руды, предусматривающая снижение крупности руды, поступающей на СМС, с 50–15 (10) мм до 30–7 мм и использование СМС во взвешенном состоянии промпродукта крупностью 7–0 мм позволят снизить количество материала, поступающего на измельчение и ММС, и тем самым повысить технико-экономические показатели обогащения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обогащительные фабрики: справочник по обогащению руд / Под ред. О.С. Богданова, Ю.Ф. Ненарокова. — М.: Недра, 1984. — 358 с.
2. Баранов В.Ф., Патковская Н.А., Тасина Т.И. Современные тенденции в технологии переработки магнетитовых железных руд. Основные направления // Обогащение руд. 2013. № 3. С. 10–17.
3. Пелевин А.Е. Пути повышения эффективности технологии обогащения железорудного сырья // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. № 2. С. 137–146.
4. Богданов О.С. Справочник по обогащению руд. Т. 2. Основные и вспомогательные процессы. — М.: Недра, 1974. — 448 с.
5. Пелевин А.Е., Черепанов Д.В. Влияние крупности частиц на магнитную силу и на результаты сухой магнитной сепарации // Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья: материалы научно-технич. конф., проводимой в рамках VII Уральского горнопромышленного форума. — Екатеринбург, 2017. С. 163–167.
6. Чижевский В.Б., Мудрых Н.А., Дегодя Е.Ю. Совершенствование технологии рудоподготовки магнетитовой руды месторождения Малый Куйбас // VIII Конгресс обогатителей стран СНГ: сб. материалов. Т. II. — М.: МИСиС, 2011. С. 93–96.
7. Чижевский В.Б., Сединкина Н.А. Особенности сухой магнитной сепарации мелких продуктов во взвешенном состоянии // Обогащение руд. 2007. № 1. С. 25–28.
8. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. — М.: Недра, 1977. — 274 с.
9. Справочник по обогащению руд черных металлов / Под ред. С.Ф. Шинкоренко. — М.: Недра, 1980. — 527 с.
10. Свидетельство на полезную модель № 26450 РФ, МПК⁷ В 03 С1/18. Устройство для извлечения магнитных частиц из сыпучего материала / В.Б. Чижевский, Р.С. Тахаутдинов, И.П. Захаров // БИПМ. 2002. № 34. С. 390.
11. Сединкина Н.А. Влияние различных параметров на сепарацию промпродукта ДОФ-5 ОАО ММК // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 3 (2). С. 22–25.
12. Чижевский В.Б., Сединкина Н.А., Шавакулева О.П. Изучение основных параметров магнитного поля установки для магнитной сепарации во взвешенном состоянии // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы междунар. научно.-практич. конф. — Екатеринбург, 2008. С. 63–66.

Поступила 2 апреля 2019 г.

REFERENCES

1. *Obogatitel'nye fabriki* [Processing plants]. Bogdanova O.S., Nenarokomova Yu.F. ed. Moscow: Nedra, 1984, 358 p. (In Russ.).
2. Baranov V.F., Patkovskaya N.A., Tasina T.I. Current trends in the processing technology of magnetite iron ores. Basic directions. *Obogashchenie rud*, 2013, no. 3, pp. 10–17. (In Russ.).
3. Pelevin A.E. Ways of increasing the efficiency of iron ore dressing technology. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, no. 2, pp. 137–146. (In Russ.).
4. Bogdanov O.S. *Spravochnik po obogashcheniyu rud. Osnovnye i vspomogatel'nye protsessy. T. 2. Osnovnye i vspomogatel'nye protsessy* [Handbook of enrichment of ores. The main and auxiliary processes: in 3 vol. Vol. 2. The main and auxiliary processes]. Moscow: Nedra, 1974, 448 p. (In Russ.).
5. Pelevin A.E., Cherepanov D.V. *Vliyanie krupnosti chastits na magnitnuyu silu i na rezul'taty sukhoy magnitnoi separatsii* [The influence of particle size on magnetic force and on the results of dry magnetic separation]. *Innovatsionnye tekhnologii obogashcheniya mineral'nogo i tekhnogenogo syr'ya: materialy nauchno-tekhnich. konf., provodimoi v ramkakh VII Ural'skogo gorno-promyshlennogo foruma* [Innovative technologies of enrichment of mineral and technogenic raw materials: materials scientifically-tech. Conf., held in the framework of the VII Ural Mining Forum]. Ekaterinburg, 2017, pp. 163–167. (In Russ.).
6. Chizhevskii V.B., Mudrykh N.A., Degodya E.Yu. *Sovershenstvovanie tekhnologii rudopodgotovki magnetitovoi rudy mestorozhdeniya Malyy Kuibas* [Improving the technology of ore preparation of magnetite ore of the Maly Kuibas deposit].

- VIII Kongress obogatitelei stran SNG: sb. materialov. T. II* [CIS Congress of the Mineral Processing Engineers: sat. of materials. Vol. II]. Moscow: MISiS, 2011, pp. 93–96. (In Russ.).
7. Chizhevskii V.B., Sedinkina N.A. Peculiarities of dry magnetic separation of small products in suspension. *Obogashchenie rud*, 2007, no. 1, pp. 25–28. (In Russ.).
 8. Ostapenko P.E. *Obogashchenie zheleznykh rud* [Iron ore dressing]. Moscow: Nedra, 1977, 274 p. (In Russ.).
 9. *Spravochnik po obogashcheniyu rud chernykh metallov* [Handbook of enrichment of ferrous metals]. Shinkorenko S.F. ed. Moscow: Nedra, 1980, 527 p. (In Russ.).
 10. Chizhevskii V.B., Takhautdinov R.S., Zakharov I.P. *Ustroistvo dlya izvlecheniya magnitnykh chastits iz sypuchego materiala* [A device for extracting magnetic particles from bulk material]. Utility model certificate RF no. 26450. IPC B 03 C 1/18. *BIPM*, 2002, no. 34, pp. 390. (In Russ.).
 11. Sedinkina N.A. The influence of various parameters on the separation of the industrial product DOP-5 of OJSC MMK. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2007, no. 3 (2), pp. 22–25. (In Russ.).
 12. Chizhevskii V.B. Sedinkina N.A., Shavakuleva O.P. *Izuchenie osnovnykh parametrov magnitnogo polya ustanovki dlya magnitnoi separatsii vo vzveshennom sostoyanii* [Study of the main parameters of the magnetic field of an installation for magnetic separation in a suspended state]. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogenogo syr'ya: materialy Mezhdunar. nauchno.-praktich. konf.* [Scientific bases and practice of processing ores and technogenic raw materials: materials of the Intern. scientific-practical. conf.]. Ekaterinburg, 2008, pp. 63–66. (In Russ.).

Received April 2, 2019