

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2791755

### СПОСОБ ОБОГАЩЕНИЯ СЛАБОМАГНИТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Кусков Вадим Борисович (RU), Белоглазов Илья Ильич (RU), Устинова Яна Вадимовна (RU)*

Заявка № 2022125410

Приоритет изобретения **28 сентября 2022 г.**

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации **13 марта 2023 г.**

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **28 сентября 2042 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*В03В 7/00 (2023.02)*

(21)(22) Заявка: 2022125410, 28.09.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.09.2022

Дата регистрации:  
13.03.2023

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 28.09.2022

(45) Опубликовано: 13.03.2023 Бюл. № 8

Адрес для переписки:  
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Кусков Вадим Борисович (RU),  
Белоглазов Илья Ильич (RU),  
Устинова Яна Вадимовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2296623 С2, 10.04.2007. RU  
2388544 С1, 10.05.2010. RU 2601884 С1,  
10.11.2016. RU 2424060 С1, 20.07.2011. RU  
2012144122 А, 27.04.2014. RU 2619624 С2,  
17.05.2017. US 9724706 В2, 08.08.2017.  
ТОЛКУШЕВ А.Г. и др. "Повышение  
комплексности использования сырья при  
переработке руды сложного вещественного  
состава Михайловского месторождения",  
Известия (см. прод.)

## (54) СПОСОБ ОБОГАЩЕНИЯ СЛАБОМАГНИТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

(57) Реферат:

Предложенное изобретение относится к области обогащения полезных ископаемых и может быть использовано при обогащении полезных ископаемых, например слабомагнитных железных руд различного состава. Способ обогащения слабомагнитных железных руд включает измельчение, гравитационное концентрирование в движущемся потоке, обработку реагентами. Обработку пульпы производят катионным реагентом-собирателем Lilafлот при расходе от 80 до 320 г/т и депрессором, в качестве которого используют крахмал при расходе от 130 до 270 г/т, затем пульпу аэрируют и подают под давлением на гравитационное концентрирование в короткоконусный гидроциклон, с изменяемым от 10 до 120° углом конусности, с получением слива, который

направляют в отвал, и чернового железного концентрата, который направляют на концентрационный стол. Последний выполняют с рифлями из постоянных магнитов, которые выполнены с возможностью изменения высоты и с одновременным изменением индукции от 0,1 до 0,4 Тл. При этом осуществляют постоянное регулирование расхода смывной воды на стол через видеокамеру, которую устанавливают на кронштейне и соединяют через провода с контроллером и рабочей станцией. Видеокамера непрерывно передает информацию на контроллер, который производит сравнение текущего значения цветности пульпы с заданным, и в случае изменения посылает сигнал на насос для увеличения или уменьшения расхода воды. Изменение высоты рифлей проводят при

получении данных о крупности обогащаемого материала, от рабочей станции на контроллер, который дает команду на увеличение или уменьшение высоты рифлей, на которых образуется слой из сильномагнитных минералов и намола шаров мельницы. Указанный слой препятствует смыву наиболее мелких магнитных

частиц в хвосты, в результате получают железный концентрат, который является конечным продуктом, и хвосты, которые направляют в отвал. Технический результат - повышение эффективности разделения слабомагнитных железных руд. 4 табл.

(56) (продолжение):

Курского государственного технического университета, 2009, N1 (26), с.30-33. "Lilafлот 811М, Product Line Surfactants - Cationic and fatty amines", найдено в Интернет : <https://www.nouryon.com/product/lilafлот-811m/>, размещено на сайте 16.01.2021.

RU 2791755 C1

RU 2791755 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*B03B 7/00 (2023.02)*

(21)(22) Application: **2022125410, 28.09.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**28.09.2022**

Registration date:  
**13.03.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **28.09.2022**

(45) Date of publication: **13.03.2023** Bull. № 8

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU  
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",  
Patentno-litsenziornyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Kuskov Vadim Borisovich (RU),  
Beloglazov Ilya Ilich (RU),  
Ustinova Iana Vadimovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet» (RU)**

(54) **METHOD OF ENRICHMENT OF WEAKLY MAGNETIC IRON ORES**

(57) Abstract:

FIELD: mineral processing.

SUBSTANCE: processing of minerals, such as weakly magnetic iron ores of various compositions. The method of enrichment of weakly magnetic iron ores includes grinding, gravitational concentration in a carrier stream, treatment with reagents. The pulp is treated with a cationic collecting agent Lilafлот at a flow rate of 80 to 320 g/t and a depressant, which is starch at a flow rate of 130 to 270 g/t, then the pulp is aerated and fed under pressure for gravitational concentration into a short-cone water cyclone, with a change from 10 to 120° taper angle, obtaining a drain, which is sent to the dump, and a rough iron concentrate, which is sent to the concentration table. The latter is performed with riffles of permanent magnets, which are made with the possibility of changing the height and with a simultaneous change in induction from 0.1 to 0.4 T. At the same time, the flow of flush water to the table is constantly regulated through a video camera, which is

installed on the bracket and connected via wires to the controller and the workstation. The video camera continuously transmits information to the controller, which compares the current pulp colour value with the set one, and in case of a change, sends a signal to the pump to increase or decrease the water flow. The change in the height of riffles is carried out upon receipt of data on the size of the enriched material, from the workstation to the controller, which gives a command to increase or decrease the height of the riffles, on which a layer of highly magnetic minerals and grinding of mill balls is formed. This layer prevents the smallest magnetic particles from being washed into the tailings, resulting in an iron concentrate, which is the final product, and tailings, which are sent to the dump.

EFFECT: increased efficiency of separation of weakly magnetic iron ores.

1 cl, 4 tbl

Изобретение относится к области обогащения полезных ископаемых и может быть использовано при обогащении полезных ископаемых, например, слабомагнитных железных руд различного состава.

Известен способ мокрого магнитного обогащения слабомагнитных тонковкрапленных железных руд, (патент РФ № 2123389, опубликовано 20.12.1998), включающий измельчение дробленой исходной руды, классификацию измельченного продукта в гидроциклонах, магнитную гидросепарацию измельченной руды, в которую добавляют сильномагнитные частицы, при этом в измельченной исходной руде поддерживают концентрацию сильномагнитных магнетитовых частиц, достаточную для флокуляции ими слабомагнитных частиц, при этом магнитную гидросепарацию осуществляют через щелевые магнитные системы с пересечением частицами магнитных силовых линий для подмагничивания слабомагнитных частиц руды.

Основные недостатки способа в низкой эффективности разделения руды из-за недостаточного намагничивания слабомагнитных частиц, вносимыми магнетитовыми частицами, а также необходимость внесения дополнительно этих магнетитовых частиц.

Известен способ обогащения железных руд сложного вещественного состава (патент РФ № 2432207, опубл. 27.10.2011), который включает измельчение исходного материала, его классификацию на тонкую и крупную фракции, измельчение крупной фракции, обесшламливание и магнитную сепарацию тонкой фракции с получением магнетитового концентрата и хвостов мокрой магнитной сепарации. Первоначально хвосты подвергают первичной гидравлической классификации в гидроциклонах с выделением крупных фракций песков и тонких фракций слива, затем тонкие фракции слива первичной гидравлической классификации подвергают вторичной гидравлической классификации в гидроциклонах в одну или несколько стадий с выделением тонких фракций слива и воды в хвосты, а крупные фракции сгущенных песков подвергают контрольной гидравлической классификации в одну или несколько стадий с направлением тонких фракций слива и воды в хвосты. Пески первичной и контрольной гидравлической классификации подвергают механической классификации на просеивающих поверхностях высокочастотных вибрационных грохотах в режиме виброкипения и сегрегации минеральных фракций по объемной плотности и крупности с повышением массовой доли железа общего в подрешетном продукте, при этом надрешетные продукты механической классификации песков первичной и контрольной гидравлической классификации направляют в хвосты, а подрешетные продукты объединяют, усредняют в режиме перемешивания и направляют на флотацию или подвергают разделению на винтовых сепараторах с получением гематитового концентрата и хвостов.

Основные недостатки способа в сравнительно низкой эффективности разделения особенно в случае обогащения мелковкрапленных материалов, разделяемые компоненты которых слабо различаются по плотности и по удельной магнитной восприимчивости.

Известен способ обогащения железных руд (патент РФ № 2500822, опубл. 10.12.2013), который включает дробление и измельчение рудного сырья, ее селективную флокуляцию, дешламацию и магнитную сепарацию песков дешламации с получением железорудного концентрата, при измельчении рудного сырья его обрабатывают диспергатором, содержащим силикатные соли, расход которых составляет 0,2-0,6 кг на тонну измельченной руды, при этом в качестве силикатных солей используют 1,0-1,5% массовой доли соли тяжелых металлов в виде хрома, меди или цинка, а селективную флокуляцию частиц измельченной руды выполняют в жидкой среде дешламатора при рН 7,0-10,5, что позволяет обеспечить эффективное разделение минеральной составляющей железорудного сырья с получением высококачественного концентрата

и отвальных хвостов обогащения.

Основные недостатки способа в сравнительно низкой эффективности разделения особенно в случае обогащения мелковкрапленных материалов, разделяемые компоненты которых слабо различаются по плотности и по удельной магнитной восприимчивости.

5 Известен способ получения магнетитового концентрата (патент РФ № 2535722, опубл. 20.12.2014), предусматривающий классификацию, доизмельчение, магнитную сепарацию и магнитную дешламацию с получением магнетитового концентрата и отвальных хвостов, перед доизмельчением рядового магнетитового концентрата осуществляют его предварительную подготовку путем уплотнения и дезактивации, 10 магнитно-гравитационное концентрирование в восходящем потоке и электромагнитном поле с получением отвальных хвостов и чернового концентрата и классификацию чернового концентрата на крупный и тонкий продукты, при этом крупный продукт доизмельчают перед объединением с тонким с последующей дешламацией и магнитной сепарацией.

15 Основные недостатки способа в сравнительно низкой производительности процесса и эффективности разделения особенно в случае обогащения мелковкрапленных материалов, разделяемые компоненты которых слабо различаются по плотности и по удельной восприимчивости.

Известен способ обогащения железных руд (патент РФ № 2773491, опубл. 06.06.2022), 20 принятый за прототип, в котором руду, измельчают, производят обработку пульпы катионным реагентом-собирателем Flotigam EDA при расходе от 100 до 300 г/т и депрессором, в качестве которого используют декстрин при расходе от 150 до 250 г/т, время обработки от 3 до 7 минут, затем пульпу аэрируют и подают под давлением по касательной относительно внутренних стенок корпуса гидроциклона, в котором 25 осуществляют магнитно-гравитационное концентрирование и флотацию с получением железного концентрата и хвостов, при этом в питающем патрубке гидроциклона пульпу намагничивают постоянным магнитным полем с последовательно увеличивающейся от 0 до 0,1 Тл индукцией.

30 Основные недостатки способа в сравнительно низкой эффективности разделения особенно в случае обогащения мелковкрапленных материалов, разделяемые компоненты которых слабо различаются по плотности и по удельной магнитной восприимчивости.

Техническим результатом является повышение эффективности разделения слабомагнитных железных руд.

35 Технический результат достигается тем, что обработку пульпы производят катионным реагентом-собирателем Lilafлот, при расходе от 80 до 320 г/т и депрессором, в качестве которого используют крахмал при расходе от 130 до 270 г/т, затем пульпу аэрируют и подают под давлением в коротко-конусный гидроциклон, с изменяемым от 10° до 120° углом конусности, с получением слива, который направляют в отвал, и чернового железного концентрата, который направляют на концентрационный стол с рифлями, 40 которые выполнены с возможностью изменения высоты из постоянных магнитов, с одновременным изменением индукции от 0,1 Тл до 0,4 Тл, при этом осуществляют постоянное регулирование расхода смывной воды на стол, через видеокамеру, которую устанавливают на кронштейне и соединяют через провода с контроллером и рабочей станцией, видеокамера непрерывно передает информацию на контролер, который 45 производит сравнение текущего значения цветности пульпы с заданным, и в случае изменения посылает сигнал на насос для увеличения или уменьшения расхода воды, а изменение высоты рифлей проводят при получении данных о крупности обогащаемого материала, от рабочей станции на контролер, который дает команду на увеличение или

уменьшение высоты рифлей, на которых образуется слой из сильномагнитных минералов и намол шаров мельницы, при этом слой препятствует смыву наиболее мелких магнитных частиц в хвосты, в результате получают железный концентрат, который является конечным продуктом и хвосты, которые направляют в отвал.

5       Способ осуществляется следующим образом. Исходное сырье подвергают мокрому измельчению в шаровой мельнице до крупности от 0,5 до 1,5 мм, которое обеспечивает достаточно полное раскрытие сростков минералов. Полученную пульпу обрабатывают в контактном чане катионным реагентом-собирателем Lilafлот, при расходе от 80 до 320 г/т и депрессором, в качестве которого используют крахмал, при расходе от 130  
10 до 270 г/т. После реагентной обработки пульпу аэрируют и под давлением подают через питающий патрубок в коротко-конусный гидроциклон, с углом конусности, изменяющимся от 10 до 120° с получением удельно-легких частиц слива и удельно-тяжелых песков. Удельно-легкие частицы слива, которые представляют собой немагнитные частицы пустой породы, за счет реагентной обработки, приобретают  
15 гидрофобные свойства, закрепляются на пузырьках воздуха, уменьшая плотность агрегатов «частицы пустой породы – воздух», направляются в отвал. Различия в плотностях магнитных и немагнитных частиц дополнительно способствует повышению эффективности процесса разделения. Удельно-тяжелые пески, являются магнитными частицами и образуют черновой железный концентрат и направляются на  
20 концентрационный стол.

На концентрационном столе осуществляется непрерывное регулирование расхода смывной воды. Для этого над концентрационным столом на кронштейне установлена видеокамера, которая соединена через провода с контроллером, а затем с рабочей станцией. Видеокамера непрерывно передает информацию на контролер, который  
25 производит сравнение текущего значения цветности пульпы с заданным, и в случае изменения посылает сигнал на насос для увеличения или уменьшения расхода смывной воды для промывки. Рифли на концентрационном столе изготовлены из постоянных магнитов, а индукция на поверхности рифлей меняется в диапазоне от 0,1 до 0,4 Тл, за счет увеличения их высоты. Рифли соединены, через провода с контроллером, а затем  
30 с рабочей станцией. Высота рифлей пропорциональна крупности обогащаемого материала и может регулироваться от загрузки, к загрузке. На рабочей станции задаются данные о крупности обогащаемого материала, далее информация передается на контролер, который дает команду на увеличение или уменьшение высоты рифлей, а соответственно происходит изменение диапазонов индукции. На магнитных рифлях  
35 образуется слой, состоящий из сильномагнитных минералов, таких как магнит, обычно присутствующий, в небольших количествах, в слабомагнитных железных рудах. Также к рифлям намагничивается и намол шаров мельницы. Наличие подобного, слоя дополнительно препятствует смыву наиболее мелких магнитных частиц в хвосты, что в свою очередь повышает извлечение в концентрат. В результате получают железный  
40 концентрат, который является конечным продуктом способа и хвосты, которые направляют в отвал.

Способ поясняется следующими примерами.

Обогащению подвергалась окисленная железная руда одного из месторождений Курской магнитной аномалии с содержанием железа общего – 42,28 % и железа магнитного – 1,56 %.

Руда подвергалась мокрому измельчению в шаровой мельнице до крупности – 1 мм. Полученная пульпа в контактном чане обрабатывалась катионным реагентом-собирателем Lilafлот, и реагентом депрессором – крахмалом, в течении 5 минут. После

реагентной обработки пульпа азрировалась и под давлением подавалась в цилиндрикоконический коротконусный гидроциклон. Угол конусности менялся от 120° - у цилиндрической части, до 10° - у песковой насадки.

Влияние расхода реагента собирателя на результаты обогащения показано в таблице

1.

Таблица 1 – влияние расхода реагента собирателя на результаты обогащения.

№ опыта	Расход собирателя, г/т	Выход концентрата, %	Содержание железа в концентрате, %	Извлечение железа в концентрате, %
1	70	47,4	63,17	72,75
2	80	52,9	66,82	85,88
3	200	57,1	69,18	95,97
4	320	58,2	68,13	96,34
5	330	61,4	64,11	95,64

Как видно таблицы 1, уменьшение расхода реагента собирателя меньше 80 г/т ведет к снижению содержания и извлечения железа в концентрат. Увеличение расхода собирателя выше 320 г/т также ведет к снижению содержания железа в концентрате, а незначительный рост извлечения не «компенсирует» снижение его качества.

Влияние расхода реагента депрессора на результаты обогащения показано в таблице

2.

Таблица 2 – влияние расхода реагента депрессора на результаты обогащения.

№ опыта	Расход депрессора, г/т	Выход концентрата, %	Содержание железа в концентрате, %	Извлечение железа в концентрате, %
1	100	62,9	61,76	94,38
2	130	58,1	66,89	94,42
3	200	56,8	69,11	95,37
4	270	55,9	69,12	93,87
5	290	53,7	69,12	90,18

Как видно из результатов таблицы 2, уменьшение расхода реагента депрессора ниже 130 г/т ведет к существенному снижению содержания железа в концентрате. Увеличение расхода депрессора больше 270 г/т ведет к снижению извлечения железа в концентрат практически без роста содержания железа в концентрате.

Влияние величины магнитной индукции на поверхностях рифлей стола на результаты обогащения показано в таблице 3.

Таблица 3 – влияние величины магнитной индукции на результаты обогащения

№	Индукция на верхней рифле, Тл	Индукция на нижней рифле, Тл	Выход концентрата, %	Содержание железа, %	Извлечение железа, %
1	0,08	0,3	46,7	65,02	73,77
2	0,1	0,35	51,3	66,54	82,93
3	0,1	0,4	57,1	69,08	95,83
4	0,12	0,4	58,73	65,11	92,90
5	0,15	0,5	59,82	63,18	91,82

Как видно из результатов таблицы 3, выход магнитной индукции за пределы диапазона от 0,1 до 0,4 Тл ведет к снижению технологических показателей обогащения.

Влияние углов конусности в гидроциклоне приведены в таблице 4

Таблица 4 – влияние углов конусности в гидроциклоне на результаты обогащения.

№	Угол конусности у пескового отверстия, °	Угол конусности у цилиндрической части, °	Выход концентрата, %	Содержание железа, %	Извлечение железа, %
1	8	110	46,1	64,13	71,83
2	10	110	51,3	66,54	82,93



3	10	120	57,6	69,17	96,80
4	10	125	55,95	65,82	89,47
5	15	130	53,88	64,34	84,22

5 Как видно из результатов таблицы 4 выход углов конусности за пределы от 10 до 120° ухудшает технологические показатели обогащения.

Способ может быть использовано при обогащении слабомагнитных железных руд, например окисленных железистых кварцитов с получением концентратов, пригодных для использования в металлургической промышленности, в том числе и для процессов прямого восстановления железа.

10

#### (57) Формула изобретения

Способ обогащения слабомагнитных железных руд, включающий измельчение, гравитационное концентрирование в движущемся потоке, обработку реагентами, отличающийся тем, что обработку пульпы производят катионным реагентом-собирателем Lilafлот при расходе от 80 до 320 г/т и депрессором, в качестве которого используют крахмал при расходе от 130 до 270 г/т, затем пульпу аэрируют и подают под давлением на гравитационное концентрирование в короткокonusный гидроциклон, с изменяемым от 10 до 120° углом конусности, с получением слива, который направляют в отвал, и чернового железного концентрата, который направляют на концентрационный стол с рифлями, которые выполнены с возможностью изменения высоты из постоянных магнитов, с одновременным изменением индукции от 0,1 до 0,4 Тл, при этом осуществляют постоянное регулирование расхода смывной воды на стол через видеокамеру, которую устанавливают на кронштейне и соединяют через провода с контроллером и рабочей станцией, видеокамера непрерывно передает информацию на контроллер, который производит сравнение текущего значения цветности пульпы с заданным, и в случае изменения посылает сигнал на насос для увеличения или уменьшения расхода воды, а изменение высоты рифлей проводят при получении данных о крупности обогащаемого материала, от рабочей станции на контроллер, который дает команду на увеличение или уменьшение высоты рифлей, на которых образуется слой из сильномагнитных минералов и намола шаров мельницы, при этом слой препятствует смыву наиболее мелких магнитных частиц в хвосты, в результате получают железный концентрат, который является конечным продуктом, и хвосты, которые направляют в отвал.

35

40

45