

**МЕТАЛЛУРГИЯ, ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**
**METALLURGY. PHYSICAL AND CHEMICAL REGULARITIES
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

УДК 622.8.055.2

К.Р.АРГИМБАЕВ, аспирант, *diamond-arg@mail.ru*

А.В.КОРНЕВ, аспирант, *antoxakornev@mail.ru*

Г.А.ХОЛОДНЯКОВ, д-р техн. наук, профессор, 328-86-33

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

K.R.ARGIMBAEV, post-graduate student, *diamond-arg@mail.ru*

A.V.KORNEV, post-graduate student, *antoxakornev@mail.ru*

G.A.KHOLODNYAKOV, Dr. in eng. sc., professor, 328-86-33

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ
В ПЕРЕРАБОТКУ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ
С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОКУСКОВАНИЕМ ПОЛУЧЕННЫХ
КОНЦЕНТРАТОВ**

Хвостохранилища железорудных горно-перерабатывающих предприятий оказывают крайне негативное воздействие на окружающую среду, но в то же время в условиях истощения запасов железных руд являются потенциальным сырьевым источником. В связи с этим вопрос вовлечения в переработку железосодержащих хвостов является весьма актуальным. В статье предлагается технология по переработке отходов обогащения железных руд. При этом окускование полученных концентратов может быть осуществлено путем брикетирования. В работе также приведены результаты исследований обогатимости железосодержащих хвостов и брикетируемости полученных из них концентратов.

Ключевые слова: железосодержащие хвосты, переработка, обогатимость, окускование, брикетируемость.

**SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF INVOLVEMENT
IN PROCESSING OF THE IRON-CONTAINING TAILS
WITH THE SUBSEQUENT CLOTTING OF THE OBTAINED
CONCENTRATES**

The tailings dumps of the iron-ore mining-reprocessing enterprises exert extremely negative influence on the environment, but at the same time, under the conditions of the impoverishment of iron ores they are potential raw source. In connection with this, a question of involvement in processing of the tails containing iron is extremely urgent. In the article the technology on processing of the waste of the beneficiation of iron ores is suggest. In this case the clotting of the obtained concentrates can be carry out by briquetting. In the work are also given the results of researches of the iron-containing tails concentrating and briquettability of the concentrates obtained of them.

Key words: iron-containing tails, processing, concentrating, clotting, briquettability.

В настоящее время большинство горно-добывающих предприятий черной металлургии работают в условиях истощения запасов железных руд. В то же время в результате переработки железорудного сырья обогатительными фабриками образуется большое количество отходов, накопление которых приводит к формированию огромных по площади хвостохранилищ. Так, например, объем отходов обогащения железистых кварцитов ГОКов КМА составляет 700 млн т*. Кроме этого, из землепользования выводятся обширные территории, отводимые под хвостохранилища. Однако содержание железа в хвостах достаточно высокое и пригодное для дообогащения, что объясняется рядом факторов: несовершенство существующей технологии обогащения, аварийные остановки оборудования, несовершенство или отсутствие схем утилизации и улавливания просыпей и продуктов промывов. Вовлечение в переработку железосодержащих хвостов позволит обеспечить горно-перерабатывающие предприятия дополнительной сырьевой базой еще не на одно десятилетие.

В связи с этим для определения возможности вовлечения в переработку железосодержащих хвостов были проведены исследования на пробах хвостов, отобранных с различных участков хвостохранилища Лебединского ГОКа.

В результате проведения химического и гранулометрического анализов отобранных проб было выявлено, что хвосты весьма неоднородны по содержанию железа и гранулометрическому составу. По мере удаления от точки сброса пульпы содержание железа снижается, а количество мелких фракций возрастает. Результаты проведенных анализов приведены в табл.1 и 2.

Пробы были пронумерованы по мере удаления точки отбора проб от места сброса

* *Аргимбаев К.Р.* Разработка хвостохранилища – запас минерально-сырьевого комплекса России // Экономика, управление, финансы: Материалы междунар. науч. конф. Пермь, 2011. С.8-11.

Argimbaev K.R. Development of tailings dump – stored up the mineral-ore complex of Russia // The economy, control, the finances: Materials internat. scientific conf. Perm, 2011. P.8-11.

пульпы. Из табл.1 видно, что химический состав хвостов обогащения железистых кварцитов представлен в основном такими компонентами, как кремнезем (SiO_2), оксид железа (Fe_2O_3), железо закисное (FeO).

Содержание кремнезема на Лебединском хвостохранилище 28,06-66,37%. Основная часть кремнезема связана с кварцем и лишь небольшое количество его входит в состав силикатов.

Оксиды железа слагают рудные минералы – магнетит и гематит – и в небольшом количестве содержатся в силикатах.

Закономерности изменения содержания компонентов обусловлены гравитационной дифференциацией: вблизи выпуска пульпы концентрируются минералы, содержащие железо (магнетит, гематит), а на удалении от выпуска повышается содержание SiO_2 (чистый кварц без сростков), CaO , MgO , Na_2O , K_2O (силикаты, амфиболы, карбонаты).

Состав хвостов обусловлен минеральным составом исходной руды, особенностями технологического процесса и характером дифференциаций материала в процессе заполнения хвостохранилища. Что касается соотношения рудных минералов, то для хвостов Лебединского ГОКа типично наибольшее содержание магнетита при низком содержании гематита.

Согласно данным табл.2, по мере удаления от места выпуска пульпы наблюдается отсутствие или снижение числа более крупных частиц (до 0,14 мм) при повышении доли тонких фракций (–0,071 мм). С глубиной отбора проб также отмечается незначительное повышение выхода мелких фракций.

Отходы обогащения визуально представляют разнотонный материал темно-серого цвета. Изучение отходов обогащения под растровым микроскопом показало, что в них присутствуют частицы минералов различных размеров – от долей микрона до нескольких сотен микрон. Форма зерен весьма разнообразна, но преобладают частицы изометрической остроугольной формы, реже удлиненно призматической.

При исследовании полированных образцов хвостов с помощью структурного

Результаты химического анализа проб исходных хвостов Лебединского ГОКа

Индекс пробы	Компоненты, %									
	Fe _{общ}	Fe _{маг}	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
ХВЛ-1	20,61	10,27	19,68	8,81	28,06	1,98	3,50	2,58	0,67	0,44
ХВЛ-2	20,06	10,88	21,28	9,19	52,23	2,04	3,96	3,08	0,65	0,45
ХВЛ-3	22,02	7,33	14,34	7,14	65,27	1,77	3,70	3,37	0,67	0,49
ХВЛ-4	15,57	5,95	18,72	8,97	58,78	2,36	2,93	2,50	1,21	0,70
ХВЛ-5	13,25	3,07	9,58	7,42	66,37	3,37	4,61	2,65	1,11	0,72

Таблица 2

Гранулометрический состав проб (в процентах) хвостов Лебединского ГОКа

Класс крупности, мм	Индекс пробы				
	ХВЛ-1	ХВЛ-2	ХВЛ-3	ХВЛ-4	ХВЛ-5
+5	0,2	1,8	–	–	–
– 5 + 3	0,2	0,8	0,4	–	–
– 3 + 1,2	0,24	4,4	1,0	0,03	–
– 1,2 + 0,56	2,0	20,5	2,2	0,9	0,2
– 0,56 + 0,28	10,03	34,5	11,6	9,1	1,45
– 0,28 + 0,14	14,05	15,4	11,2	12,0	0,8
– 0,14 + 0,1	7,94	0,4	6,1	13,3	5,4
– 0,1 + 0,71	24,8	15,0	22,0	21,74	19,65
– 0,71 + 0,044	17,24	4,3	20,0	20,53	26,1
– 0,044	23,3	2,9	25,5	22,4	46,4

анализатора «Эпиквант» было установлено, что линейный размер частиц магнетита составляет 20,0-45,0 мкм. Для крупных фракций хвостов (+5; +2,5 мм) характерен магнетит размером 44,5-45,0 мкм, а для мелких фракций (+0,63; – 0,14 мм) преобладающий размер частиц магнетита 22,3-22,8 мкм.

Влажность хвостов колеблется в широких пределах. По высоте намыва с глубиной отбора проб она увеличивается. В приповерхностной толще на глубине до 1,0 м влажность изменяется от 14 до 20 %. На больших глубинах достигает 36 %.

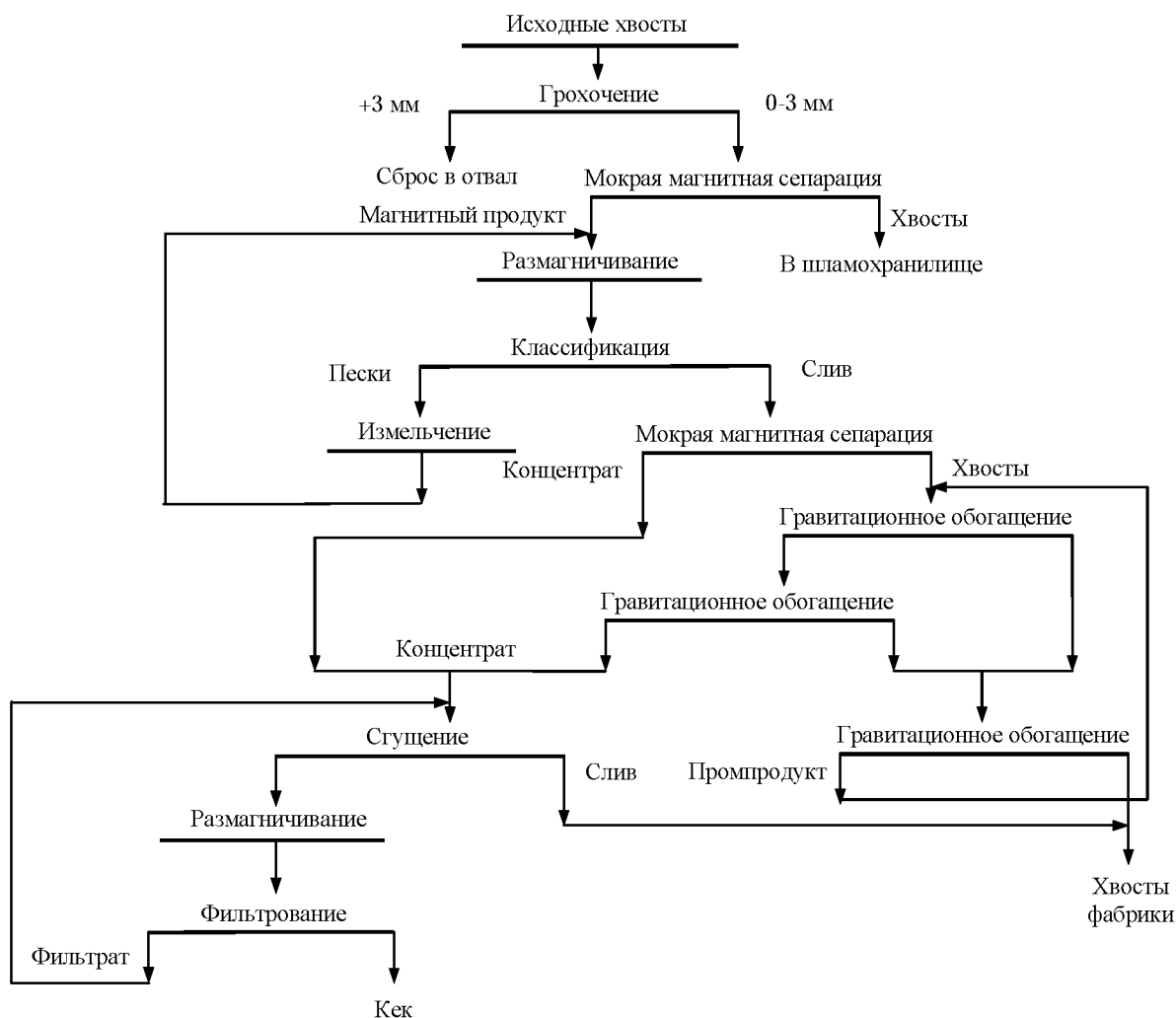
Среднее значение плотности хвостов составляет 2,62 г/см³. До глубины 3,0 м от кровли залегают свеженамытые водонасыщенные рыхлые хвосты, ниже – слабоуплотненные и слабослежавшиеся до среднеуплотненных и среднеслежавшихся, с глубиной плотность хвостов увеличивается.

На основе полученных данных по изучению вещественного состава отходов обо-

гашения железистых кварцитов была разработана технология дообогащения железосодержащих хвостов (см. рисунок).

Данная технология включает операцию грохочения исходных хвостов по классу 3 мм с целью повышения эффективности дальнейшего их обогащения, мокрую магнитную сепарацию с последующим размагничиванием и классификацией магнитного продукта, вторую стадию мокрой магнитной сепарации слива классификатора с дальнейшим сгущением, размагничиванием и фильтрованием полученного концентрата, а также три стадии гравитационного обогащения хвостов, полученных после второй стадии магнитной сепарации. Также в схеме предусмотрено дополнительное измельчение песков классификатора с последующей их подачей на размагничивание.

С целью оценки эффективности предложенной технологии были проведены исследования по обогатимости железосодер-



Технологическая схема переработки железосодержащих хвостов

жащих хвостов на ранее отобранных пробах ХВЛ-1 – ХВЛ-5. Полученные результаты представлены в табл.3.

Анализ полученных данных показал следующее. Обогащение железосодержащих хвостов по предложенной технологической схеме позволяет получить концентрат с содержанием железа, достаточным для его дальнейшей металлургической переработки. Концентрат, полученный с пробы ХВЛ-5 с содержанием железа 53,01 %, может быть использован при усреднении с более высокосортными концентратами.

Для дальнейшего использования в металлургическом переделе полученные из хвостов тонкие концентраты необходимо подвергать окускованию. Из известных способов окускования в данном случае наибо-

лее предпочтительно окомкование с последующим обжигом сырых окатышей или брикетирование. Брикетирование позволяет придать сыпучим, мелким и слабоструктурным материалам устойчивую, кусковую форму и тем самым получить возможность эффективно и рационально их использовать, а также концентрировать в минимуме объема максимум полезных составляющих данного материала.

С целью исследования брикетируемости магнетит-гематитовых концентратов, полученных путем переработки железосодержащих хвостов, был проведен ряд экспериментов при использовании различных видов связующих. Одним из основных оценочных параметров брикетируемости концентратов является предел прочности на од-

Результаты исследований обогатимости проб железосодержащих хвостов

Индекс проб	Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
			Fe _{общ}	Fe _{маг}	Fe _{общ}	Fe _{маг}
ХВЛ-1	Концентрат	16,2	66,02	60,38	51,89	95,24
	Общие отвальные хвосты	83,8	12,02	0,58	48,11	4,76
	Исходные хвосты	100	20,61	10,27	100	100
ХВЛ-2	Концентрат	15,5	65,53	60,51	50,63	86,20
	Общие отвальные хвосты	84,5	11,72	1,78	49,37	13,8
	Исходные хвосты	100	20,06	10,88	100	100
ХВЛ-3	Концентрат	12,7	62,27	49,17	35,94	85,19
	Общие отвальные хвосты	87,3	16,16	1,24	64,06	14,81
	Исходные хвосты	100	22,02	7,33	100	100
ХВЛ-4	Концентрат	9,3	61,47	57,54	36,72	89,94
	Общие отвальные хвосты	90,7	10,86	0,66	63,28	10,06
	Исходные хвосты	100	15,57	5,95	100	100
ХВЛ-5	Концентрат	4,5	53,01	50,05	18,00	73,36
	Общие отвальные хвосты	95,5	11,38	0,86	82,00	26,64
	Исходные хвосты	100	13,25	3,07	100	100

Таблица 4

Результаты исследований брикетированности концентратов, полученных из железосодержащих хвостов

Вид и расход связующего	Температура сушки, °С	Давление прессования, МПа	Средний предел прочности на одноосное сжатие, МПа
Бентонит – 2 %	105±5	40	8,2
Раствор КМЦ – 2,5 %	35±5	40	8,7
Портландцемент М-400 – 3 %	18±5	40	7,6

ноосное сжатие. Для каждого опыта изготавливалось не менее семи образцов цилиндрической формы. Давление прессования 20-80 МПа. Сушка сырых брикетов проводилась при $t = 18 \pm 5$ °С; 35 ± 5 °С; 60 ± 5 °С; 105 ± 5 °С. Расход связующего менялся от 1 до 5 %. Полученные значения прочности сравнивались с требуемым для доменного использования показателем (не менее 6 МПа). Наилучшие результаты представлены в табл.4.

Наиболее предпочтительно в качестве связующего применять раствор карбоксиметилцеллюлозы, что позволит за счет его невысокого расхода (0,25 % в пересчете на сухое вещество) внести в брикет минимальное количество посторонних примесей и тем самым минимально снизить содержание в нем железа. Также опытным путем было установлено, что обжиг брикетов, изготовленных с использованием раствора КМЦ (по-

добно обжигу окатышей) повышает их прочность до 30-40 МПа*.

Таким образом, предлагаемая технология переработки железосодержащих хвостов с последующим окускованием полученных концентратов путем окомкования или брикетирования, позволит обеспечить металлургические предприятия дополнительной сырьевой базой. Кроме этого, сокращение площадей хвостохранилищ за счет их разработки снизит экологическую нагрузку на окружающую среду.

* Пат. № 2467079 РФ. Способ окускования металлогидратного рудного материала. / В.Б.Кусков, Я.В.Кускова, А.В.Корнев, О.В.Черемисина. Заявл. 10.05.2011. Оpubл. 20.11.2012. Бюл. № 32.

Pat. 2467079 RF. A Method of batch preparation for metallurgical processing / V.B.Kuskov, Y.V.Kuskova, A.V.Kornev, O.V.Cheremisina. Stat. 10.05.2011. Publ. 20.11.2012. Bul. N 32.