

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБОГАЩЕНИЯ КУСКОВЫХ ГЕМАТИТОВЫХ РУД КРИВБАССА

Экономический потенциал Украины в значительной степени зависит от состояния железорудной промышленности. В настоящее время при добыче железорудного сырья потери руд со средним содержанием железа до 57 % составляют седьмую часть от общего объема, а засорение вмещающими породами с содержанием железа 37,5 % составляет шестую часть от общего объема добычи руд.

В условиях дефицита сырья вовлечение в сферу добычи и переработки бедных руд, а также промышленных отходов, является реальной возможностью увеличения объемов добычи и обеспечения более рационального использования минеральных ресурсов. В частности, снижение порога массовой доли железа в исходной руде до 40 % позволит увеличить запасы железорудного сырья в Кривбассе в 2,05 раза.

Статья Трачук А.А. «Анализ способов обогащения кусковых гематитовых руд Кривбасса» посвящена сравнительному исследованию различных способов обогащения железорудного сырья. Установлено, что при обогащении в тяжелой суспензии и обогащении с помощью рентгенорадиометрического метода извлечение полезного компонента выше, чем при использовании сухого магнитного метода обогащения и обогащения отсадкой.

Сравнение экономической целесообразности различных методов обогащения, включая базовый вариант, показал явное преобладание радиометрического метода обогащения над остальными, приведенными в статье.

Ключевые слова: гематитовая руда, способы обогащения, рентгенорадиометрический метод, железорудная отрасль.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Годовой объем открытой и подземной добычи железорудного сырья в Кривбассе составляет более 60 млн т. Вместе с тем, высокие темпы развития промышленности требуют увеличения объемов добычи руд. Балансные запасы богатой руды Кривбасса со средней массовой долей железа 56,7% составляют 1,5 млрд т, а железистых кварцитов со средней массовой долей железа 34,3 % - 18 млрд т.

Анализ исследований и публикаций. Одним из важнейших показателей эффективности производственной деятельности горнодобывающей отрасли промышленности является качество железорудного сырья. По качественным показателям железные руды Кривбасса значительно уступают крупнейшим мировым производителям аналогичной продукции (табл. 1) [1].

Таблица 1

Качественные характеристики железных руд мировых экспортеров

Страна	Массовая доля, %			
	железа	кремнезема	фосфора	серы
Австралия	62,6-64,9	3,1-4,3	0,05-0,07	0,01-0,02
Швеция	66,5	3,9	0,01	0,001
Венесуэла	63,8	2,2	0,06	0,001
Бразилия	68	1,3-1,5	0,025	3,9
Украина	57,4-62,0	8,9-14,0	0,01-0,0073	0,007-0,02

Из-за низких показателей массовой доли железа цены на товарную продукцию шахт Кривбасса почти в 1,9 раза ниже цен мировых экспортеров. В результате на каждой тонне товарной продукции поставщики Украины теряют до 1,1 долл. [2].

Совершенствование техники и технологии обогащения и усреднения товарной продукции железорудного сырья требует разработки оптимальных режимов, учитывающих зависимость конечных результатов от характеристики сырья и основных параметров процесса обогащения.

Обогащением руды называется операция, увеличивающая содержание железа или снижающая содержание вредных примесей в руде. Обогащение позволяет существенно повысить содержание железа в шихте доменных печей, улучшить условия восстановления железа, уменьшить выход шлака, улучшая тем самым ход печи и снижая расход кокса при возрастающей производительности. Установлено, что в средних условиях плавки повышение содержания железа в шихте на 1 % позволяет увеличить производительность печи на 2-2,5 % при снижении удельного расхода кокса на 2-2,5 %.

Постановка задачи. Обогащение гематитовых руд Кривбасса производится следующими основными способами:

обогащение отсадкой;

сухая магнитная сепарация;
обогащение в тяжелой суспензии;
радиометрическая сепарация.

Отсадка - это способ гравитационного обогащения полезных ископаемых, основанный на разделении минеральной смеси по плотности в вертикальном колеблющемся потоке воды переменного направления. Конечные продукты - концентрат с высоким содержанием полезного компонента и отходы [1].

Магнитная сепарация применяется для обогащения руд, содержащих минералы с относительно высокой магнитной восприимчивостью (к ним относятся магнетит, франклинит, ильменит и пирротин, а также некоторые другие минералы железа, поверхности которых могут быть приданы нужные свойства путем низкотемпературного обжига).

Сепарация производится как в водной, так и в сухой среде. Сухая сепарация больше подходит для крупных зерен, мокрая - для тонкозернистых песков и шламов. Обычный магнитный сепаратор представляет собой устройство, в котором слой руды толщиной в несколько зерен перемещается непрерывно в магнитном поле. Магнитные частицы вытягиваются из потока зерен лентой и собираются для дальнейшей переработки; немагнитные частицы остаются в потоке.

Обогащение гематитовых руд целесообразно производить с помощью именно сухой магнитной сепарацией.

Сущность процесса обогащения в тяжелой суспензии заключается в том, что тонкоизмельченный суспензид или утяжелитель перемешивается с водой и находится в ней во взвешенном состоянии, образуя суспензию заданной плотности, в которой легкие минералы всплывают, в тяжелые оказываются на дне аппарата.

В промышленности в качестве тяжелых сред применяются тяжелые суспензии, т.к. тяжелые жидкости (трихлорэтан C_2HCl_3 , дибромэтан $C_2H_4Br_2$, бромформ $CHBr_3$, жидкость Туле) являются ядовитыми и имеют высокую стоимость.

Дробленая руда поступает на грохот для отделения мелких классов и шламов. Подрешетный продукт направляется в суспензионный сепаратор, где и происходит разделение его на легкую и тяжелую фракции. Продукты обогащения поступают на грохот с размером отверстия 1-3 мм, на которых сильной струей воды из брызгал, установленных над грохотом, производится отмывка утяжелителя, который направляется на регенерацию [3].

Регенерация утяжелителя, обладающего магнитными свойствами (ферросилиций, магнетит) проводится на магнитных сепараторах в одну или две стадии. Выделенный утяжелитель подвергается размагничиванию для предотвращения образования флоккул и направляется в емкость для приготовления суспензии.

Радиометрическое обогащение руды - это процесс переработки руд, основанный на взаимодействии различных видов излучений с веществом.

В технологии радиометрического обогащения руд выделяются два вида процессов:

Радиометрическая сортировка - процесс, при котором из добываемой руды выделяются сорта по содержанию ценного компонента.

Как правило, объектом анализа и разделения является порция горной массы. Порционную сортировку делят на призабойную - в ковше погрузо-доставочной машины, посамосвальную, повагонеточную, мелкопорционную.

Радиометрическая сепарация - процесс, основанный на неравномерности распределения полезного либо вредного компонента в кусках руды [4].

Известно более тридцати методов радиометрического обогащения, из которых наиболее распространенными являются [5]:

Радиометрический метод сепарации, основанный на разделении руд с естественной радиоактивностью по интенсивности гамма-излучения.

Рентгенорадиометрический (рентгенофлуоресцентный) метод, основанный на регистрации возбужденного рентгеновскими трубками либо источниками гамма-излучения характеристического рентгеновского излучения атомов определяемых элементов, входящих в состав горных пород. Данный метод применяется при переработке руд черных, цветных и благородных металлов. Является одним из наиболее универсальных методов.

Рентгеноабсорбционный метод сепарации, основанный на различии в ослаблении потока рентгеновского излучения кусками породы и руды.

Инфракрасный метод основан на различии теплоемкости руды и пустой породы.

Изложение материала и результаты. На шахтах Кривбасса проведены сравнительные испытания по обогащению кусковых гематитовых руд различными способами (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сравнительных испытаний по обогащению кусковых гематитовых руд Кривбасса различными способами

Способ обогащения	Шахта Ленина		Шахта Гвардейская		Шахта Родина		Шахта Октябрьская	
	массовая доля, %	извлечение, %	массовая доля, %	извлечение, %	массовая доля, %	извлечение, %	массовая доля, %	извлечение, %
В тяжелых суспензиях	61,1	87,1	61,6	87,4	62	86,7	61,7	83,6
Радиометрический	60,5	81,9	61,2	79,9	61,7	85,9	61,5	82,4
Сухой магнитный	59,7	58	60,1	62,6	61	74,2	60,9	68,6
Отсадка	60,9	84,7	61,3	81	61,8	86	61,6	82,9

Исследованы были методы обогащения в тяжелых суспензиях, радиометрический метод, сухой магнитный метод обогащения и отсадка. Испытания проводились на шахте им.Ленина, шахте Гвардейская, шахте Родина и шахте Октябрьская.

В результате выявлено, что наибольшим извлечением обладает обогащение путем использования тяжелой суспензии и обогащение с использованием радиометрического метода.

По табл. 2 построены сравнительные гистограммы, демонстрирующие целесообразность указанных методов.

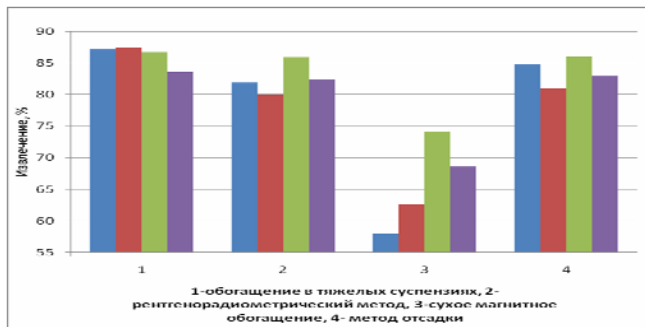


Рис. 1. Зависимость извлечения полезного компонента из гематитовых руд шахт Кривбасса от массовой доли железа общего Fe_2O_3 , слева направо: шахты им. Ленина, Гвардейская, Родина, Октябрьская

Кроме того, исследованы показатели экономической целесообразности различных вариантов обогащения окисленной железной руды шахт Кривбасса (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительная экономическая целесообразность различных способов обогащения окисленной железной руды шахт Кривбасса: (1 - стоимость добычи, грн/т; 2 - стоимость обогащения, грн/т; 3 - суммарная стоимость, грн/т; 4 - цена продукта, грн/т; 5 - общая прибыль, грн/т)

	Шахта Ленина					Шахта Гвардейская					Шахта Октябрьская					Шахта Родина				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Базовый вариант	48,11	0	48,11	48,16	0,05	59,1	0	59,1	59,66	0,56	59,25	0	59,25	63,25	4	59,69	0	59,69	65,12	5,43
Тяжелая суспензия	48,11	11,27	59,38	59,69	0,31	59,1	11	70,1	72,6	2,5	59,25	10,96	10,21	73,36	3,15	59,69	10,27	69,96	73,4	3,44
Радиометрический сепаратор	48,11	8,1	56,21	59,1	2,89	59,1	8,14	67,24	72,15	4,91	59,25	7,57	66,82	73,15	6,33	59,69	7,05	66,74	73,05	6,3
Сухая магнитная сепарация	48,11	9,6	57,7	58,33	0,62	59,1	8,71	67,81	70,86	3,05	59,25	7,66	66,91	72,41	5,5	59,69	6,86	66,55	72,22	5,67
Отсадка	48,11	10,82	58,93	59,5	0,57	59,1	11,06	70,16	72,27	2,11	59,25	10,34	69,59	72,93	3,34	59,69	9,66	69,35	73,17	3,82

Исходя из результатов табл. 3 очевидно, что наиболее целесообразным является способ обогащения с помощью радиометрической сепарации, при этом прибыль при указанном методе составляет от 2,89 до 6,33 грн/т для разных шахт Кривбасса.



Рис. 2. Зависимость прибыли, получаемой при обогащении окисленной железной руды при применении различных методов обогащения на шахтах Кривбасса: ряд 1 - данные шахты им. Ленина; ряд 2 - шахта Гвардейская; ряд 3 - шахта Родина; ряд 4 - шахта Октябрьская

По данным табл. 3 построены гистограммы (рис. 2)

зависимости прибыли, получаемой при обогащении окисленной железной руды при применении различных методов обогащения на шахтах Кривбасса. Продемонстрированы результаты по шахтам им. Ленина, Гвардейской, шахте Родина и шахте Октябрьская. Очевидно, что наиболее стабильную прибыль дает использование радиометрического способа обогащения.

Выводы и направление дальнейших исследований. Применяемые в настоящее время технологии обогащения гематитовых руд требуют значительного совершенствования, что обусловлено снижающимся содержанием ценных компонентов и усложнением минералогического состава.

Повышение эффективности обогащения минерального сырья, снижение материальных затрат на переработку, повышение экологической безопасности горно-обогатительного производства требуют разработки и применения научно обоснованных методов контроля и регулирования технологического процесса.

Применение радиоизотопных средств и методов для обогащения железорудного сырья позволит повысить эффективность обогатительного передела гематитовых железных руд.

Применение радиометрического обогащения позволяет сократить объем горной массы поступающей на дальнейшее глубокое обогащение, при одновременном повышении качества горной массы.

Кроме того, применение радиометрического обогащения стабилизирует качество горной массы, поступающей на дальнейшую переработку.

Список литературы

1. **Азарян А.А.** Оперативный контроль качества минерального сырья с использованием рассеянного гамма-излучения. Разработка рудных месторождений: НТС.- Кривий Ріг: Мінерал, №93, 2010 –с.153-158.
2. **Трачук А.А.** Особенности обогащения гематитовых руд шахтной добычи Кривбасса на базе радиоизотопных средств // Дисс. канд. техн. наук.-Кривой Рог, - КТУ, 2006.-170 с.
3. **Самылин Н. А.** Технология обогащения угля гидравлической отсадкой, М., 1967; Справочник пообогащению руд, т. 2, М., 1974; Coal preparation, ed. J. W. Leonard, D. R. Mitchell, 3 ed., N. Y., 1968.
4. **Якубович А.Л., Зайцев Е.И., Пржиялговский С.М.** Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. - М.: Атомиздат, 1973. - 378 с.
5. **Азарян В.А.** Доклад на 6-ой международной конференции Стратегия качества в промышленности и образовании «Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины» Варна, (4-10 июня) 2010.-с.52-56.
6. **Азарян А.А** Модель геометрии измерения интенсивности рассеянного от горных пород гамма-излучения, Институт проблем моделирования, «Электронное моделирование» №5, Киев, 2010.-с.111-117.
7. **Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А.** Доклад на международной научно-практической конференции. «Пути повышения точности оперативного контроля качества железорудного сырья». Кривой рог, Видавничий дiм, 2010. –С. 106-107.
8. **Азарян А.А.** Разработка методов и средств физико-технического контроля и управления качеством руд черных металлов при добыче и переработке: Дис. докт. техн. наук: 05.15.11. – Киев., 1993. – 470 с.
9. **Азарян А.А.** Выбор параметров блока регистрации рассеянного гамма-излучения // Матер. II Межд. симпозиума. "Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке" (Качество-99) – Ялта: АГНУ, 1999. – С. 202-206.
10. **Азарян А.А.** Оперативный контроль качество минерального сырья/ **А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Колосов** // М, Горный журнал, 2005.- №5.-С 106-108.
11. **Азарян В.А., Трачук А.А.** Обоснование геометрических и технологических параметров системы оперативного контроля качества исходной руды и продуктов обогащения / **В.А. Азарян, А.А. Трачук** - Варна, 2007.- Стратегия качества в промышленности и образовании.– Т.1. -С. 487-491.
12. **Близнюк Г.И., Большаков А.Ю.** Способ рудоподготовки с использованием данных ядернофизического опробования //Обогащение руд. -1979 -№ 5, С. 10-11.
13. **Салищева Е.П., Шикаренко С.Ф.** Флотация железных руд подземной добычи Кривбасса // Обогащение и окускование руд черных металлов.-М.: Недра.-1970.-Вып.11.-С.81-94.
14. **Губин Г.В., Губин Г.Г.** Переработка и обогащение полезных ископаемых.- Кривой Рог :Минерал,1997.-131 с. Рукопис подано до редакції 14.04.15