

## **ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПОСОБА ВОЗДУШНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РУДЫ САТПАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Дефицит водных ресурсов характерен для многих регионов Республики Казахстан, где осуществляется добыча полезных ископаемых. В этой связи актуальной является разработка эффективных технологий сухого обогащения руд.

Одним из важных процессов технологического цикла сухого обогащения является классификация сыпучих материалов, которая осуществляется после процессов сушки и измельчения исходной руды. Проведенные исследования показали, что для измельчения ильменитовых песков Сатпаевского месторождения, расположенного в Восточно-Казахстанской области, целесообразно применять шаровую мельницу, поскольку тонина помола и, следовательно, степень раскрытия зерен ильменита в ней выше по сравнению с дисковыми истирателями.

При проведении исследований руда, высушенная в барабанной сушилке, измельчалась в лабораторной шаровой мельнице диаметром 140 мм и шириной 70 мм в течение 6 и 20 минут. Как и следовало ожидать, увеличение времени обработки приводит к более тонкому помолу. Известно, что исследуемая руда содержит около 40% глины. Увеличение содержания фракции менее 0,1 мм, возможно, свидетельствует о том, что большая часть глины измельчается до состояния пудры.

После проведения ситового анализа каждая из фракций исследовалась на содержание в ней ильменита методом химического анализа. На рисунках 1 и 2 проведено сравнение интегральных распределений (+) руды и ильменита.

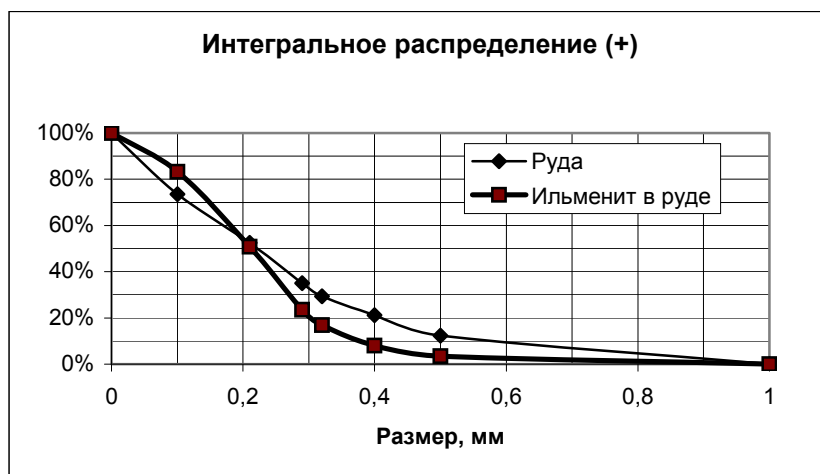


Рисунок 1 – Интегральное распределение зернового состава руды и содержащегося в ней ильменита после помола в шаровой мельнице в течение 6 минут

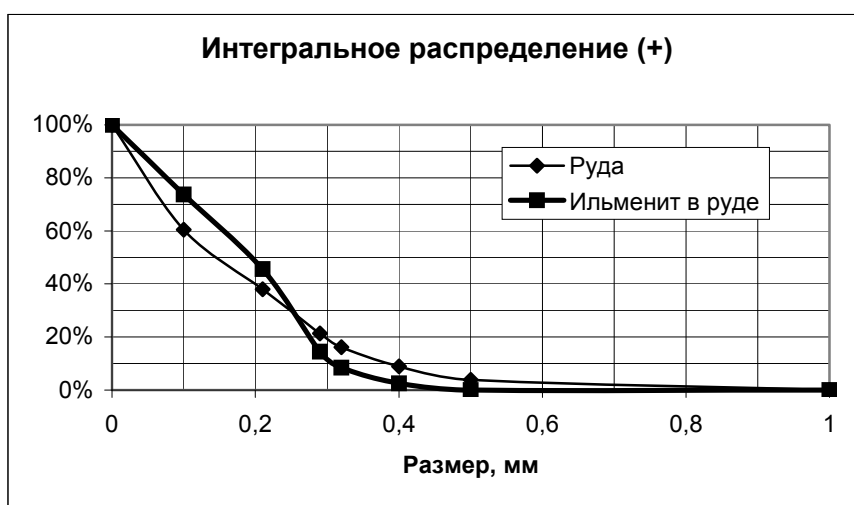


Рисунок 2 – Интегральное распределение (+) зернового состава руды и содержащегося в ней ильменита после помола в шаровой мельнице в течение 20 минут

Из графиков, приведенных на рисунках 1 и 2, следует, что характер распределения ильменита в общих чертах аналогичен характеру распределения руды, однако наблюдается смещение в область меньшего

размера частиц. Это свидетельствует о том, что произошло раскрытие основной части частиц ильменита.

Для сухого гранулометрического разделения сыпучих материалов с размером частиц меньше 1 мм используются, главным образом, методы воздушной классификации, в которых разделение частиц по крупности происходит в воздушных потоках на основании известных физических законов.

В воздушном потоке на частицу действуют две силы. Первая из них сила гравитации

$$F_g = mg,$$

где  $m$  – масса частицы,  $g$  – ускорение свободного падения.

Далее будем считать, что частицы имеют сферическую форму. Поэтому  $m = \pi \rho_m D^3 / 6$ . Здесь  $\rho_m$  – плотность материала,  $D$  – диаметр частицы.

Кроме того, со стороны движущегося воздуха на частицу действует сила сопротивления

$$F_c = \pi/8 \rho_v \lambda V_v^2,$$

где  $\rho_v$  – плотность воздуха,  $\lambda$  – коэффициент динамического сопротивления, зависящий от формы частицы,  $V_v$  – скорость воздуха относительно частицы материала.

Воздушные классификаторы применяются для размера частиц как менее 100 мкм, так и свыше 100 мкм. В первом случае используются два взаимно перпендикулярных воздушных потока. Классификация частиц с размером более 100 мкм производится с использованием одного воздушного потока. Применяются также приборы, в которых классификация происходит в горизонтальном потоке воздуха. В этом случае сыпучий сухой материал подается сверху через загрузочное окно.

Разделение частиц по размеру происходит в горизонтальном потоке воздуха, который имеет скорость  $V_b$ . В этих условиях важное значение имеет размер частиц – чем меньше частица, тем больший путь она пролетает в аэродинамической трубе и оседает в приемный бункер, расположенный дальше от загрузочного окна.

Если по вертикальной линии направить ось ординат  $Y$ , в горизонтальном направлении ось абсцисс  $X$ , то уравнения движения частиц представляют собой систему дифференциальных уравнений второго порядка:

$$d^2X/dt^2 = 3/4 \pi \rho_b \lambda / (\rho_m D) (V_b - dX/dt)^2$$

$$d^2Y/dt^2 = 3/4 \pi \rho_b \lambda / (\rho_m D) (dY/dt)^2 - g$$

Граничные условия:

при  $t=0$   $X=0$ ,  $Y=h$ ,  $dX/dt=0$ ,  $dY/dt=0$ . Здесь  $h$  – высота классифицирующей области. Частица пролетит в классифицирующем поле за некоторое время  $t_1$ , определяемое условием  $Y(t_1)=0$ , и попадет в бункер, координаты которого  $X(t_1)$ .

Из представленных уравнений следует, что частицы, имеющие одинаковое значение произведения  $\rho_m D$  будут попадать в один и тот же бункер. Следовательно, воздушная классификация производится по параметру, равному произведению значения плотности частицы на ее диаметр.

Для исследования классифицирующих свойств горизонтальных воздушных потоков был построен лабораторный классификатор с воздушным каналом высотой 12 см, шириной 6 см и длиной 120 см. Равномерная подача руды производилась с помощью валкового питателя. После проведения классификации изучался ситовый состав порошка в различных сборных бункерах устройства. Обработка полученных

результатов позволила построить графики изменения гранулометрического состава руды, прошедшей разные пути вдоль длины классификатора  $X$ . Эти данные представлены на рисунке 3. На нем также приводится зависимость плотности распределения количества руды и ильменита от длины пройденного пути частицами в горизонтальном направлении вдоль воздушного канала. Ильменит, который использовался для проведения испытаний, был ранее получен гравиметрическим методом.

Первый график на рисунке 3 показывает гранулометрический состав руды на входе в классификатор. Далее, по мере своего движения в аэродинамической трубе, руда классифицируется по крупности. Из нее последовательно выводится более крупная фракция. На отрезке  $X=0-50$  см движущийся рудный поток теряет 52% своего количества. Из него выводятся наиболее крупные частицы, которые оседают в сборных бункерах. На отрезке  $X=50-100$  см дальнейшие потери составляют примерно 18% от исходного количества, и на отметке  $X=100$  см в потоке остается только 30% от первоначального количества. Легко заметить, что, начиная с отметки  $X=50-60$  см, гранулометрический состав изменяется незначительно. Возможно, что это ошибки ситового анализа, поскольку при крупности частиц менее 100 мкм они неизбежны.

Для определения границ классификации ильменитовой руды построена зависимость интегральных распределений количеств руды и количеств руды и ильменита, осевших в воздушном канале на некотором отрезке пути от загрузочного окна, в зависимости от длины этого отрезка. Эти кривые представлены на рисунке 4.

Установлено, что общее количество осевшего в аэродинамической трубе материала составило 74% от исходного.

Проведенный химический анализ показал, что воздушная классификация обеспечивает обогащение рудного песка ильменитом в 1,61 раза на первом участке.

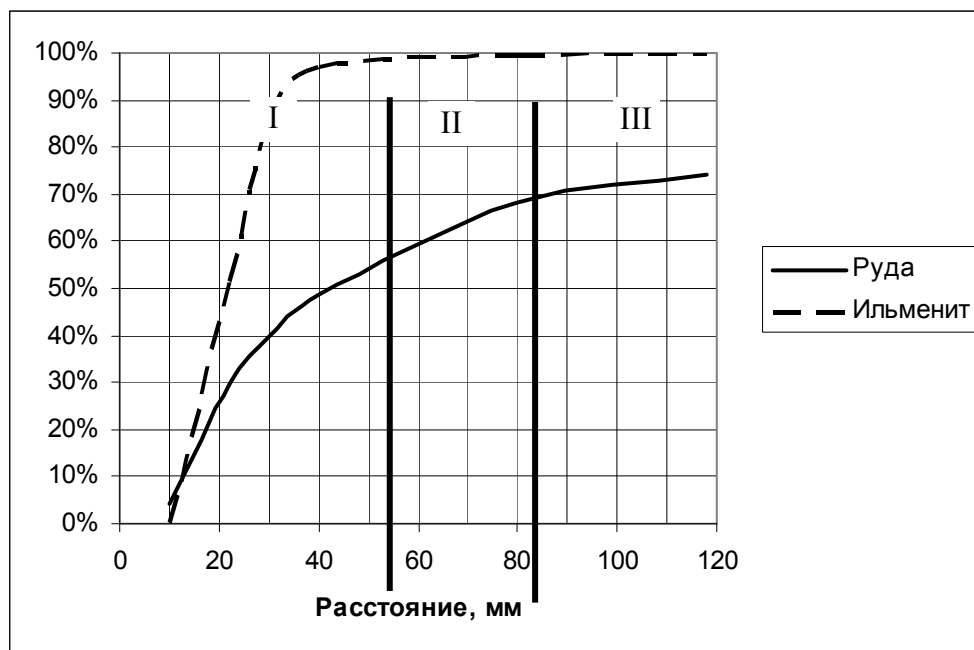


Рисунок 4 – Интегральные распределения количества руды и ильменита, осевших в классификаторе в зависимости от расстояния от точки входа

Для контрольной проверки данных, полученных методом химического анализа, для части образцов были проведены минералогические исследования. Для этого с помощью жидкости, имеющей высокую плотность, выделялась тяжелая фракция руды, минералогический состав которой затем изучался на микроскопе.

Эти исследования дали следующие результаты. В исходном материале выделено 10,2% тяжелой фракции. При этом доля ильменита в ней составляла 83%, т.е. в руде содержалось 8,5% ильменита. Исследование руды, разделенной в горизонтальном классификаторе, показало, что на первом участке песок содержал 15,6% тяжелой фракции с долей ильменита 92%. Следовательно, в обогащенной руде содержание ильменита увеличилось в 1,69 раза и составило 14,4 %. Эти данные согласуются с данными химического анализа, которые в пересчете на

ильменит ( $\text{TiFeO}_3$ ) дал его концентрацию 9,5% в исходной руде и 15,4% – в обогащенной руде.

На втором участке рудный песок содержал 7,7% тяжелой фракции, в которой доля ильменита составляет 7,3%. Для сравнения химический анализ показал содержание ильменита 8,5%.

На третьем участке оседает обедненная руда.

Таким образом, эксперимент показал, что частицы руды, осевшие на первом участке, составляют более половины общего количества классифицированной руды (52%), при этом они содержат 82% от общего количества ильменита.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы. Способ воздушной классификации может быть использован для обогащения ильменитовых песков Сатпаевского месторождения. Учитывая характер распределения частиц руды при воздушной классификации, для следующего этапа – магнитной сепарации можно рекомендовать переработку той части руды, которая осела на первом участке, что позволит уменьшить затраты на процесс обогащения.