

УДК 622.6:621.867

ПЛОТНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ КАЛИЙНОЙ РУДЫ И ПРОДУКТОВ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

Кислов Н.В., Цыбуленко П.В. (УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Беларусь)

Приводятся результаты экспериментального определения плотности частиц измельченной калийной руды и продуктов ее переработки, установлена взаимосвязь между плотностью частиц и определяющими размерами их фракций, выполнена аналитическая оценка этой зависимости.

Введение

Плотность горных пород определяется отношением массы горной породы к ее объему, измеряется в $\text{кг}/\text{м}^3$ и зависит от их минерального состава, структурно-текстурных особенностей, пористости, вида вещества, заполняющего поры и пустоты (газ, вода, нефть), а также от условий образования и залегания породы. Различают плотность горной породы в естественном состоянии, плотность абсолютно сухого вещества (отношение массы высушенных и измельченных до исчезновения пор твердых частиц к их объему), насыпную плотность породы (отношение массы измельченной породы к объему мерной емкости, т. е. к объему свободной засыпки с учетом пор между частицами (макропор) и внутри их (микропор) и, наконец, плотность частиц измельченной горной породы (отношение массы частиц определенной фракции к их объему с учетом микропор). На различии плотности горных пород основаны гравиметрическая разведка и отделение тяжелых рудных минералов от пустой породы при гравитационном обогащении. Значения плотности определяют поведение горных пород при их разрушении в процессах добычи (буримость, взрываемость, резание, дробление), переработке (сушка, гранулирование, прессование, механическая и химическая переработка) и перемещении средствами непрерывного транспорта [1, 3, 4].

Результаты исследования

Обоснование режимных и конструктивных параметров систем обеспыливания при отбойке калийной руды и пневматическом перемещении продуктов ее переработки обуславливает необходимость определения плотности частиц различных фракций измельченной горной породы и продукции ее обогащения [2, 5].

В качестве объектов исследования плотности частиц использованы образцы измельченной калийной руды, отбитой проходческо-очистным комбайном Урал-10КС (из-под бермовых фрез), и продуктов переработки (хлористого калия и сульфата калия). В общем случае плотность частиц:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m – масса частиц отдельной фракции, кг;
 V – объем частиц в пробе, м^3 .

Объем частиц определялся пикнометрическим способом. В качестве рабочей жидкости использовался керосин. При определении объема мелкодисперсных фракций ($d < 0,315$ мм) применялся гелиево-вакуумный пикнометр. Массы проб определялись на электронных весах. Размер частиц каждой фракции оценивался их средним значением. Повторяемость опытов была принята трехкратной.

Опытные значения плотности частиц каждой фракции измельченной калийной руды приведены в таблице 1 и изображены в виде зависимости $\rho = f(d)$ на рисунке 1. Анализ этих данных и их математическая обработка показали, что функция $\rho = f(d)$ подчиняется закономерности:

$$\rho = \rho_1 d^{-a}, \quad (2)$$

где ρ_1 и a – параметры эмпирической формулы.

Таблица 1 – Плотность частиц измельченной калийной руды

№	$d_i - d_{i-1}$, мм	d , мм	Плотность частиц ρ , кг/м ³			
			опыт	по формуле $\rho = \frac{2166}{d^{0,024}}$	по формуле $\rho = \frac{2193}{d^{0,03}}$	по формуле $\rho = \frac{2138}{d^{0,03}}$
1	2	3	4	5	6	7
1	30-20	25	1974	2005	1991	-
2	20-10	15	2060	2030	2022	-
3	10-7	8,5	2052	2058	2057	-
4	7-5	6,0	2085	2075	2078	-
5	5-3	4,0	2108	2095	2104	-
6	3-2	2,5	2166	2119	2134	-
7	2-1	1,5	2140	2145	2181	2112
8	1-0,63	0,82	2126	2176	-	2151
9	0,63-0,315	0,47	2185	2206	-	2187
1	2	3	4	5	6	7
10	0,315-0,2	0,26	2232	2237	-	2226
11	0,2-0,16	0,18	2200	3357	-	2250
12	0,16-0,1	0,13	2295	2275	-	2273
13	0,1-0,05	0,075	2336	2305	-	2311
14	<0,05	-	глина	-	-	-
Среднеквадратическое отклонение σ				± 32 кг/м ³	± 28 кг/м ³	± 24 кг/м ³

Параметр ρ_1 имеет конкретный физический смысл и представляет собой плотность частиц, средний размер которых $d_1 = 1$ мм. Параметр a характеризует интенсивность убывания плотности частиц по мере увеличения их среднего размера фракций измельченной породы. Для того, чтобы размерности левой и правой частей функции $\rho = f(d)$ были однозначными, введем в аргумент дополнительный параметр $d_1 = 1$ мм. Тогда формула (2) примет вид:

$$\rho = \rho_1 \cdot (d/d_1)^{-a}, \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность частиц (размер которых $d_1 = 1$ мм), кг/м^3 ;

d – средний размер частиц фракции, мм;

a – коэффициент, характеризующий интенсивность уменьшения плотности частиц по мере увеличения их размера.

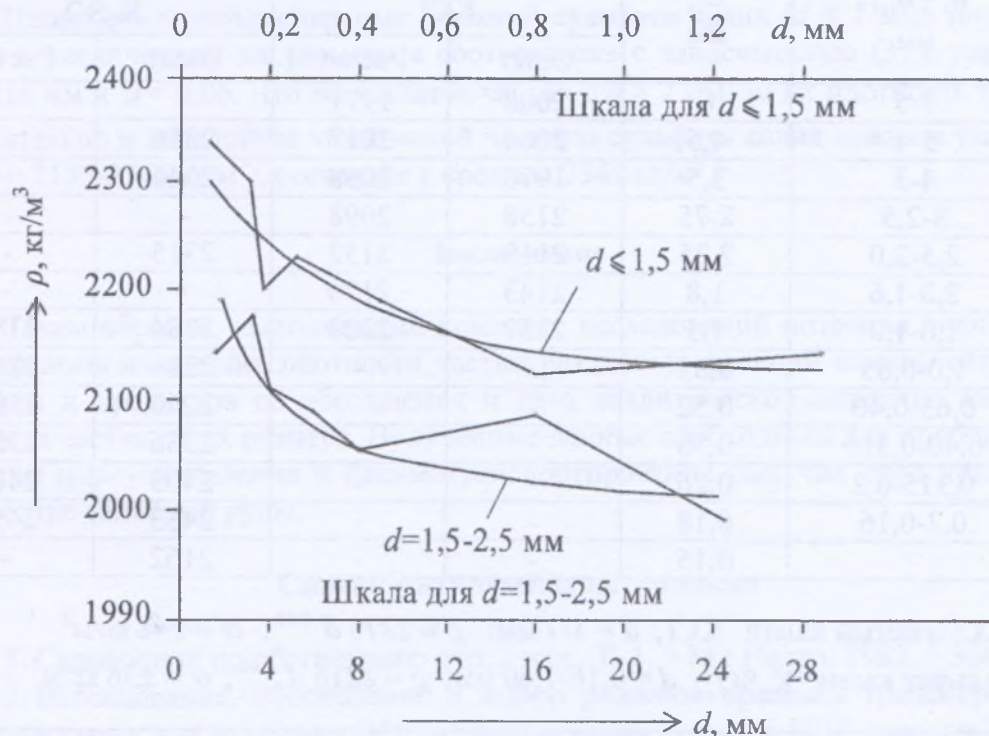


Рисунок 1 – Зависимость плотности ρ частиц измельченной калийной руды от среднего размера d фракций

Формула (3) для всего диапазона фракций калийной руды, отбитой бермовой фрезой проходческо-очистного комбайна Урал-10КС, имеет вид:

$$\rho = 2166 \cdot (d/d_1)^{-0,024} \quad (4)$$

Среднеквадратическое отклонение расчетных значений ρ от опытных в этом случае составляет $\pm 0,32 \text{ кг/м}^3$ (таблица 1).

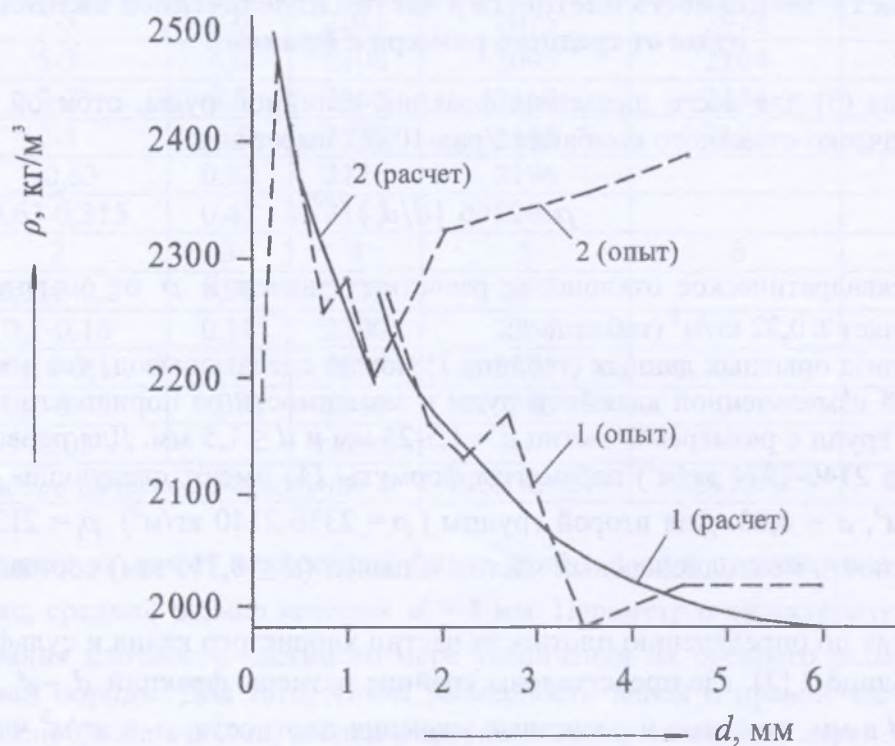
Из анализа опытных данных (таблица 1) можно сделать вывод, что вся совокупность фракций измельченной калийной руды в зависимости от пористости частиц состоит из двух групп с размерами частиц $d = 1,5-25$ мм и $d \leq 1,5$ мм. Для первой группы фракций ($\rho = 2140-1974 \text{ кг/м}^3$) параметры формулы (4) имеют следующие значения: $\rho_1 = 2193 \text{ кг/м}^3$, $a = 0,03$. Для второй группы ($\rho = 2336-2140 \text{ кг/м}^3$) $\rho_1 = 2138 \text{ кг/м}^3$ и $a = 0,03$. Плотность мелкодисперсных частиц и пылей ($d \leq 0,315$ мм) составляет $2232-2336 \text{ кг/м}^3$.

Сведения по определению плотности частиц хлористого калия и сульфата калия сведены в таблице 2 [2], где представлены крайние размеры фракций $d_i - d_{i-1}$, средние их значения d в мм, опытные и расчетные значения плотности ρ в кг/м^3 частиц этих фракций и эмпирические формулы для вычисления ρ . Для наглядности эти данные изображены на рисунке 2 в виде зависимостей $\rho = f(d)$.

Таблица 2 – Плотность частиц хлористого калия и сульфата калия в зависимости от размера их фракций

№	$d_i - d_{i-1}$, мм	d , мм	Плотность частиц ρ , кг/м ³			
			KCl		K ₂ SO ₄	
			Опыт	Расчет	Опыт	Расчет
1	7-5	6	2008	1971	-	-
2	5-4	4,5	2004	2017	2366	-
3	4-3	3,5	1976	2058	2344	-
4	3-2,5	2,75	2158	2098	-	-
5	2,5-2,0	2,25	2118	2132	2315	-
6	2,0-1,6	1,8	2143	2170	-	-
7	1,6-1,0	1,3	2257	2229	2184	2181
8	1,0-0,63	0,82	-	-	2284	2242
9	0,63-0,40	0,52	-	-	2240	2305
10	0,40-0,315	0,36	-	-	2336	2356
11	0,315-0,2	0,26	-	-	2403	2402
12	0,2-0,16	0,18	-	-	2453	2456
13		0,15	-	-	2162	-

Хлористый калий KCl, $d = 1-7$ мм: $\rho = 2275 d^{-0,08}$; $\sigma = \pm 48$ кг/м³
 Сульфат калия K₂SO₄, $d = 0,16-1,60$ мм: $\rho = 2216 d^{-0,06}$; $\sigma = \pm 36$ кг/м³



1 – KCl; 2 – K₂SO₄

Рисунок 2 – Зависимость плотности ρ частиц от среднего размера d фракций

Плотность частиц хлористого калия уменьшается с увеличением среднего размера d фракций. При изменении d от 7 до 1 мм, плотность ρ составляет 2008-2257 кг/м³ и подчиняется закономерности (3). В рассматриваемом случае $\rho_1 = 2275$ кг/м³, $a = 0,08$.

Плотность мелкодисперсных фракций сульфата калия ($d \leq 1$ мм) также уменьшается с увеличением их размера в соответствии с зависимостью (3) с параметрами $d_1 = 2216$ мм и $a = 0,06$. Что же касается частиц с $d \geq 2$ мм, то их плотность изменяется незначительно и вследствие химической чистоты сульфата калия лежит в узких пределах ($\rho = 2135-2366$ кг/м³), составляя в среднем 2342 кг/м³.

Заключение

Таким образом, выполненный комплекс исследований позволил оценить характер и пределы изменения плотности частиц различных фракций измельченной калийной руды и продуктов ее обогащения и дать аналитическое описание зависимости плотности частиц от их размера. Полученные данные необходимы для подбора и расчета систем пылеулавливания и пневмотранспортирования сыпучих сред при добыче и переработке калийной руды.

Список цитируемых источников

1. Справочник по обогащению руд, 2 изд., Т. 1. – М.: Недра, 1982. – 366 с.
2. Исследование, обоснование и выбор режимов процесса транспортирования продуктов сырья и обогащения ПО «Беларуськалий»: отчет о НИР (заключ.) / Бел. политехн. ин-т; рук. темы Н.В. Кислов. – Мн., 1984. – 84 с. (ч. 1), 43 с. (ч. 2). – № ГР 0182.5014474.
3. Горная энциклопедия: в 5 т. / редкол.: Е.А. Козловский (гл. ред.) [и др.]. – М.: Сов. энциклопедия, 1984-91. – Т. 2: Геосферы – Кенай. – 1986. – 575 с.
4. Кислов, Н.В. Аэродинамика измельченного торфа / Н.В. Кислов; под ред. И.И. Лиштвана. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 175 с.
5. Швыдкий, В.С. Очистка газов / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.

Kislov N.V., Tsybulenko P.V.

Density features of the crashed potash ore and products of its processing

The results of the experimental determination of density of the crushed potash ore particles and products of its processing are provided. The relation between the particles density and definitive dimensions of its factions was determined, as well as analytical evaluation of this relation was carried out.

Поступила в редакцию 31.01.2011 г.