





















































































Таблица 6 – Аэродинамические свойства измельченной калийной руды

$d_n - d_{n-1}$ , мм	$d_3$ , мм	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\vartheta_{ss}$ , м/с	$\sqrt{\frac{\rho \cdot d_3}{\rho_g}}$	$A$	$c_{л}$	$k_{\phi}$	$\vartheta_{sp}$ , м/с	$\sigma$ , м/с	$A_p$ , $c_{лр}$ , $k_{\phiр}$
30–20	12,5	1,974	20,6	4,525	4,55	0,630	2,104	21,6	±1,1	4,77 0,58 1,92
20–10	7,5	2,060	18,3	3,581	5,11	0,50	1,669	17,1		
10–7	4,25	2,052	14,5	2,690	5,39	0,50	1,426	12,8		
7–5	3,0	2,085	12,6	2,290	5,53	0,428	2,111	10,9		
5–3	2,0	2,108	8,5	1,870	4,54	0,633	–	8,9		
3–2	1,25	2,166	7,5	1,500	5,00	0,522	–	7,2		
2–1	1,2	2,140	5,4	1,460	5,14	0,496	–	7,0		
1–0,63	0,652	2,126	4,2	1,072	3,92	0,852	–	5,1		
0,63–0,5	0,452	2,174	3,62	0,903	4,01	0,814	–	4,3		
0,5–0,25	0,3	2,225	2,81	0,744	3,78	0,918	–	3,5		
< 0,25	0,1	2,317	1,58	0,438	3,60	1,007	–	2,1		

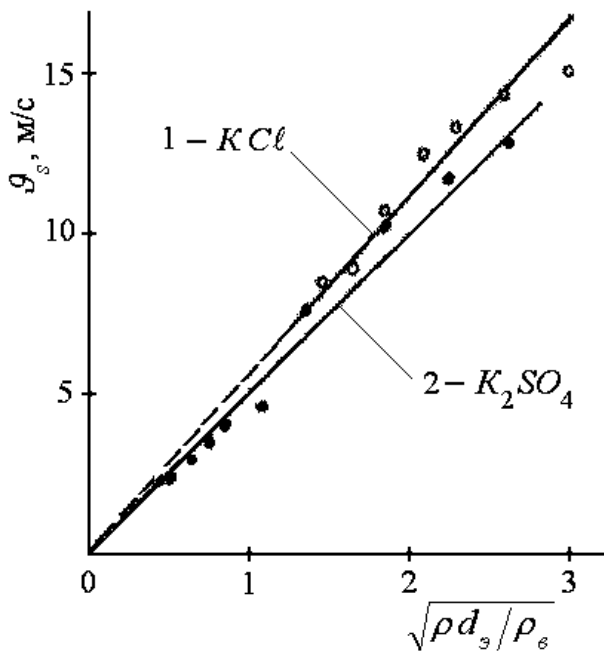
Если сгруппировать все опытные значения скоростей витания  $\vartheta_s$ , то обобщенная зависимость (24) для KCl и K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> принимает следующий вид:

$$\vartheta_s = 5,04 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_g} d_3} \pm 0,8, \text{ м/с.} \quad (25)$$

Основываясь на полученных результатах по определению скоростей витания измельченной калийной руды и продуктов ее переработки, выполним расчет приведенных скоростей витания  $\vartheta_{sn}$ . При этом определяющим является средний размер  $d_{10}$  фракции, суммарный выход по плюсу которой  $P = 10\%$ . Согласно данным таблицы 2 и расчету по формулам (22)  $d_{10} = 28,7$  мм.

Фракции измельченной калийной руды в случае  $d_3 > 2$  мм представлены пластинчатыми частицами, эквивалентный диаметр которых  $d_3 = (0,4–0,6) d$ . Согласно данным таблицы суммарный выход  $P$

фракций размером  $d_i = 30\text{--}20$  мм составляет 12,22 %, а коэффициент однородности размеров этих частиц очень мал ( $n = 0,35$ ). В связи с этим средний расчетный размер частиц  $d_{10}$ , соответствующий выходу  $P = 10$  %, получается больше среднего размера фракции  $d_i = 30\text{--}20$  мм. Поэтому эквивалентный диаметр этой фракции превышает ее средний размер и составляет  $d_{310} = 0,5 d = 14,35$  мм. Коэффициент формы частиц в этом случае  $k_\phi = 2,104$  (см. таблицу 6).



1 – KCl,  $A = 5,25$ ; 2 –  $K_2SO_4$ ,  $A = 4,79$

Рисунок 7 – Зависимость  $v_s = A \cdot \sqrt{\rho d_3 / \rho_g}$

Расчетное значение плотности  $\rho$  частиц измельченной калийной руды в случае  $d_{10} = 28,7$  мм по формуле (18)

$$\rho_{10} = \rho_1 \cdot (d/d_1)^{-a} = 2193 \cdot (28,7/1)^{-0,03} = 1983 \text{ кг/м}^3.$$



Согласно формуле (23) приведенная скорость витания измельченной калийной руды

$$\vartheta_{sn} = \frac{3,62}{\sqrt{k_{\phi} \cdot c}} \sqrt{\frac{\rho_{10}}{\rho_e} d_{\text{э}10}} = \frac{3,62}{\sqrt{2,104 \cdot 0,3}} \sqrt{\frac{1983 \cdot 0,01435}{1,205}} = 22,1 \text{ м/с.}$$

Обобщенная зависимость (24) также может быть использована для определения приведенной скорости витания. В этом случае  $\vartheta_{sn} = 23,2 \text{ м/с.}$

Ранее было установлено (14), что для  $\text{K}_2\text{SO}_4$  размер частиц  $d_{10}$  при  $P = 10 \%$  составляет 2 мм. Тогда эквивалентный диаметр частиц  $d_{\text{э}10} = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ мм,}$  а плотность этих частиц

$$\rho_{10} = 2262 d_{10}^{-0,06} = 2170 \text{ кг/м}^3.$$

По обобщенной формуле (25) приведенная скорость витания  $\vartheta_{sn} = 8,5 \text{ м/с,}$  а по формуле (23) – 8,4 м/с.

Для  $\text{KCl}$  при  $P = 10 \%$   $d_{10} = 4,3 \text{ м/с,}$   $d_{\text{э}10} = 2,15 \text{ мм,}$   $\rho_{10} = 2275 d_{10}^{-0,08} = 2024 \text{ кг/м}^3,$  приведенная скорость витания по формуле (25)  $\vartheta_s = 9,6 \text{ м/с,}$  а по формуле (23) – 10,1 м/с.

Полученные значения приведенных скоростей витания служат основой для определения скорости несущей среды при пневмотранспорте измельченной калийной руды и продуктов ее переработки.

## ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка размерно-плотностных и аэродинамических свойств измельченной калийной руды и продуктов ее переработки, установлены закономерности изменения этих свойств от определяющих факторов и разработаны методические принципы расчета характеристик измельченной и обогащенной калийной руды как объекта перемещения под воздействием воздушного потока.

2. Межфракционное распределение частиц измельченной калийной руды и их плотности определяется общетехническими и физико-механическими свойствами сырья, способами его диспергирования и технологической переработки. Обоснован новый метод и предложены аналитические зависимости для описания суммарных (интегральных) и дифференциальных кривых распределения частиц по фракциям при разнообразных условиях измельчения и переработки сырья, предложен показатель оценки межфракционной неоднородности измельченной калийной руды и продуктов ее обогащения. Разработанный метод приемлем и для других материалов.

3. Предложена обобщенная зависимость для определения суммарных выходов фракций по плюсу сыпучих материалов в широком диапазоне изменения размеров частиц различных фракций, разработана методика расчета параметров этой зависимости и использования ее для оценки выходов различных классов крупности частиц. Доказано, что для оценки выходов отдельных фракций полидисперсной смеси частиц рыхлой, измельченной и переработанной горной породы необходимо и достаточно располагать сведениями о величине условной средней крупности смеси заданной группы фракций и параметром, характеризующим неоднородность их по размерам частиц.

4. Определен характер изменения плотности частиц отдельных фракций отбитой калийной руды и продуктов ее переработки, установлена аналитическая зависимость изменения плотности частиц от их размеров.

5. Полученные результаты использованы при оценке аэродинамических свойств фракций отбитой калийной руды и продуктов ее переработки. Определены величины коэффициентов сопротивления частиц потоку несущей среды, коэффициентов формы частиц, установлены значения приведенных скоростей витаний полидисперсных смесей частиц, разработана методика оценки аэродинамических свойств сыпучих материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, С.Е. Закономерности размельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава / С.Е. Андреев, В.В. Товаров, В.А. Петров. – М.: Недра, 1959. – 433 с.

2. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов П.А. Коузов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

3. Хрусталеv, Б.М. Пневматический транспорт / Б.М. Хрусталеv, Н.В. Кислов. – Минск: ООО Информационная служба недвижимости, 1998. – 452 с.

4. Швыдкий, В.С. Очистка газов / В.С. Швыдкий, М.Н. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.

5. 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. – Минск: 1984. – № ГР 0182.5014474.

6. Кислов, Н.В. Размерно-плотностные и аэродинамические свойства пылей при выполнении технологических операций в машиностроении / Н.В. Кислов, В.Я. Щерба, П.В. Цыбуленко // Горная механика. – 2008. № 2. – С. 69–77.

7. Мяздриков, О.А. Дифференциальные методы гранулометрии / О.А. Мяздриков. – М.: Недра, 1974. – 242 с.

8. Зайков, В.И. Эффективность применения комбайновых исполнительных органов различных типов при разработке калийных солей / В.И. Зайков // Расчет и конструирование горных машин и комплексов: сб. науч. тр. / ред. А.В. Топчиев. – М.: Недра, 1971. – С. 56–66.

Учебное издание

**КИСЛОВ** Николай Владимирович  
**ЦЫБУЛЕНКО** Петр Васильевич

**ИСЧИСЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОДУКТОВ  
ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей  
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»,  
1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства»

Редактор *Т. В. Кипель*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 13.04.2012. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 100. Заказ 195.  
Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.