

УДК 622.6:621.867

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОЛЩИН СТРУЖКИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ РУДЫ ПРОХОДЧЕСКИМИ И ОЧИСТНЫМИ КОМБАЙНАМИ

Кислов Н.В., Казаченко Г.В., Цыбуленко П.В., Басалай Г.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

Рассмотрен способ описания распределений расчетных толщин стружки при измельчении руды исполнительными органами проходческого и очистного комбайнов. Обоснована величина определяющего размера, в качестве которого выбирается толщина стружки, используемая при оценке расхода энергии на разрушение породы. Иллюстрируется влияние режимов работы исполнительных органов при заданной конструкции резцов на распределение толщин стружки фрезеруемой породы. Способ теоретической оценки характера распределения толщин стружки при измельчении руды предлагается использовать для предварительного описания фракционного состава руды в зависимости от конструктивных и режимных параметров исполнительных органов машин.

Введение

В общем случае фактическое распределение по фракциям частиц измельченной горной породы может быть получено только после дисперсионного анализа фракционного состава измельченной породы, что связано со значительными затратами. Для этого используют различные приборы и методы дисперсионного анализа. Однако даже в случае применения одного и того же метода, если анализы проводятся на приборах различной конструкции, результаты не всегда совпадают [1, 2]. В рассматриваемом случае наиболее приемлемым представляется метод ситового анализа, обеспечивающий описание массовых выходов отдельных фракций измельченной горной породы.

Аналитическая оценка распределения полидисперсной смеси частиц по фракциям осуществляется как по теоретическим зависимостям (Колмогоров, Ромашев, Гриффитс), так и по эмпирическим формулам (Мартин и Андресен, Годен и Андреев, Розин и Раммлер, Свенсон и Авдеев) [1]. Наибольшее распространение для описания кривых распределения частиц по фракциям и их суммарных характеристик получили логарифмически нормальный закон (ЛНР) и эмпирическая зависимость Розина-Раммлера [1, 2]. Заметим, что ЛНР применим только для тонко измельченных материалов и пылей [1]. Если зерновой состав нарушен просеиванием и аэродинамическими процессами, то ЛНР можно использовать и для описания усеченных распределений крупных фракций.

Зависимость Розина-Раммлера [1, 2], полученная в результате обработки опытных данных по распределению размеров частиц отдельных фракций, была представлена в виде кривой распределения, которая описывается выражением:

$$p = P'(d) = 100n \cdot d_e^{-n} \cdot d^{n-1} \cdot \exp\left[-(d/d_e)^n\right], \quad (1)$$

где $P'(d)$ – массовый выход p фракций на единицу интервала Δd ;

d – определяющий размер отдельной фракции;

n и d_e – параметры кривой распределения.

Зависимость (1) является дифференциальной кривой распределения частиц по массовым долям фракций. Ее интегрирование дает суммарную характеристику по плюсу:

$$P(d) = 100 \cdot \exp\left[-(d/d_e)^n\right], \quad (2)$$

где P – суммарный выход в % частиц крупнее заданного их размера d ;

d_e – размер частиц, соответствующий суммарному выходу по плюсу $P = 36,8\%$;

n – показатель неоднородности по размерам частиц полидисперсной смеси.

Действительно, если $d = d_e$, то $P = 100/d_e = 36,8\%$. Показатель степени n служит характеристикой неоднородности смеси по размерам частиц. Если $n > 1$, то на кривой распределения (1) имеется максимум, сдвинутый к оси ординат, в случае $n = 1$, максимум располагается на оси ординат, при $n < 1$, кривая распределения приобретает гиперболический вид, т.е. максимума на ней нет [3].

Межфракционное распределение частиц измельченной калийной руды и продуктов ее переработки определяется общетехническими и физико-механическими свойствами сырья, способами его диспергирования и технологической переработки.

Дифференциальные кривые распределения частиц по фракциям измельченных горных пород имеют один максимум или несколько максимумов (два или три) для усеченных распределений. Причем максимумы во всех случаях смещены, как правило, к оси ординат. Для ряда пород характерны кривые распределения гиперболического вида. Суммарные (интегральные) характеристики более идентичны по внешнему виду и представляют плавно изогнутые кривые, которые спрямляются, практически во всем диапазоне фракций или на усеченных его отрезках в координатах $\lg\left(\lg\frac{100}{P}\right) - \lg d$. Для описания функции $P(d)$ в [3] предлагается формула:

$$P(d) = P_k = 100 \cdot K^{-(d/d_k)^n}, \quad (3)$$

где K , d_k и n – параметры формулы.

Значения параметров K , d_k и n вычисляются в зависимости от суммарных выходов по плюсу P_k определенного диапазона интервалов размеров узкой группы фракций или их всей совокупности. Например, пусть d_k представляет собой размер частиц d_m , при котором суммарный выход $P_k = P_m = 50\%$, то есть d_m является медианным средним, делящим всю совокупность фракций полидисперсной смеси на две равные части. Тогда зависимость (3) принимает вид $P(d) = 100 \cdot 2^{-(d/d_m)^n}$. Действительно, если $d = d_m$, то $P(d)100/2 = 50\%$. В случае $d = d_e$ формула (3) принимает вид зависимости (2) Розина и Раммлера. Методика обработки опытных данных по изучению фракционного состава измельченной калийной руды и продуктов ее переработки приведена в наших работах [3, 4].

Цель настоящего исследования заключается в разработке теоретических основ оценки распределения части измельченных пород, которая возможна на стадии проектирования исполнительных органов. При этом в качестве обобщенного показателя может быть принята расчетная толщина стружки δ , изменяющаяся в зависимости от конструктивных и режимных параметров проектируемых исполнительных органов добычного оборудования.

Исследование и некоторые результаты

Распределение частиц горной породы по размерам существенно зависит от способов разрушения массива. Здесь рассматривается горная масса, получаемая при работе проходческих и очистных комбайнов в ОАО «Беларуськалий».

Применяемые комбайны можно разделить на машины, оснащенные исполнительными органами с постоянной и переменной толщиной δ стружки, равной глубине h резания породы отдельными резцами. К первой группе относятся, прежде всего, наиболее распространенные проходческие комбайны серии ПК с соосными роторами, которые оснащены дополнительно бермовыми фрезами и отрезными барабанами. Ко второй – проходческие комбайны серии «Урал» с планетарно-дисковым рабочим органом и очистные комбайны с исполнительным органом в виде горизонтальной шнек-фрезы на поворотной рукояти.

Глубина резания h при заданных режимах работы соосных роторов комбайнов серии ПК представляет собой толщину стружки δ , которая для всех видов исполнительных органов добычного оборудования определяется по перпендикуляру к траектории движения резцов. Поэтому для соосных роторов снимаемая резцами толщина стружки:

$$\delta = h = \frac{2\pi}{z} \cdot \frac{v_n}{\omega}, \text{ м} \quad (4)$$

где v_n – скорость подачи комбайна, м/с;

ω – угловая скорость рассматриваемого ротора, рад/с;

z – среднее число резцов в линии резания.

Тогда согласно широко используемой формуле (2) Розина-Раммлера для описания суммарных выходов P по плюсу фракций измельченных материалов в рассматриваемом случае, когда $\delta \neq const$ можно записать:

$$P(\delta) = 100 \cdot \exp\left[-(\delta/\delta_e)^n\right], \quad (5)$$

где δ_e – толщина стружки, соответствующая суммарному выходу по плюсу $P = 36,8\%$.

При работе шнековых фрез очистных комбайнов (рисунок 1) толщина δ стружки изменяется по глубине H фрезерования и имеет серповидный вид, так что при $H = 0$ и $H = D \cdot \delta = 0$, а при $H = R$ толщина $\delta = \delta_{\max}$.

Оценим характер изменения толщины стружки по мере увеличения H от 0 до $H = D$ (рисунок 1). Величина поступательного перемещения фрезы s за время t_1 ее поворота на угол между соседними резцами в линии резания:

$$s = v_n \cdot t_1 = \frac{2\pi}{z} \cdot \frac{v_n}{\omega} = \delta_{\max}, \quad (6)$$

что совпадает с (4).

Окружная скорость по концам резцов $v \gg v_n$. Поэтому угол ABC (рисунок 1) можно принять равным 90° . Тогда толщина стружки δ при изменении H от 0 до D :

$$\delta = \delta_{\max} \cdot \sin \varphi = \delta_{\max} \cdot \cos \alpha = \frac{4\pi}{z} \cdot \frac{v_n}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{H}{D}} \cdot \sqrt{1 - \frac{H}{D}}. \quad (7)$$

Формула (7) характеризует влияние режимных и конструктивных параметров шнек-фрезы на толщину снимаемой стружки.

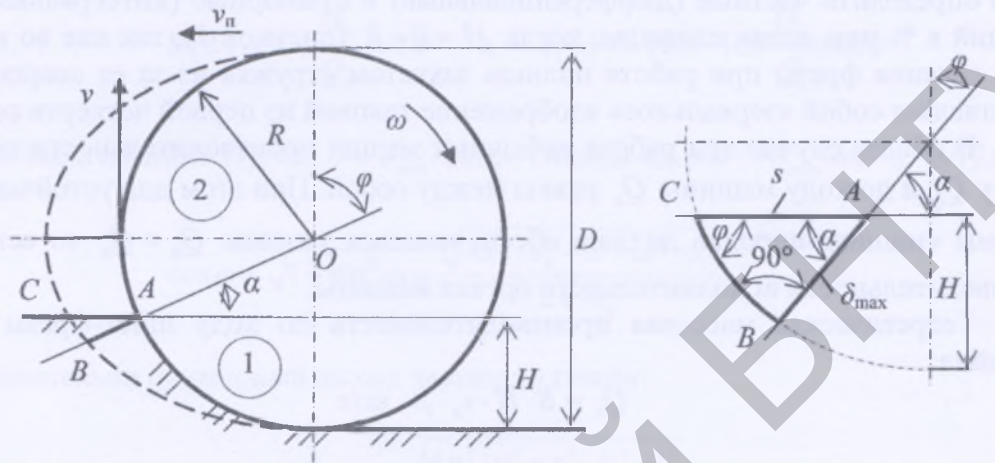


Рисунок 1 – К определению выхода горной массы в зависимости от толщины стружки δ

Для комбайнов, фрезы которых снимают переменную толщину δ стружки (рисунок 1), представляется возможным построить функции распределения этих толщин и их суммарных выходов по плюсу и минусу, взяв за основу формулы (3) и (5) с учетом зависимостей (6) и (7). Тогда суммарный выход по плюсу:

$$P(\delta) = 100 \cdot \exp \left[- \left(\frac{\delta_{\max}}{\delta_e} \cos \alpha \right)^n \right] = 100 \cdot \exp \left[- \left(\frac{\delta_{\max}}{\delta_e} \sin \varphi \right)^n \right], \quad (8)$$

где φ – угол контакта фрезы с массивом,

$$\cos \alpha = \sin \varphi = 2 \sqrt{\frac{H}{D}} \cdot \sqrt{1 - \frac{H}{D}}. \quad (9)$$

В расчетах производительности и удельных затрат мощности добычных машин используются значения средней толщины δ_c стружки. Для бермовых фрез проходческих комбайнов, машин с планетарно-дисковым рабочим органом и очистных комбайнов, оборудованных шнек-фрезами [5] при работе полным или половинным захватом:

$$\delta_c = \frac{2}{\pi} \delta_{\max} \cong \frac{2}{3} \delta_{\max} \quad \text{или} \quad \delta_c = \frac{4}{z} \cdot \frac{v_n}{\omega}. \quad (10)$$

При работе фрез в случае $H \ll R$ (фрезы для поверхностно-послойной добычи фрезерного торфа и других пород) средняя толщина стружки принимается как средняя высота прямоугольного криволинейного треугольника $\delta_c = 0,5 \cdot \delta_{\max}$ [6].

Зависимости (7) и (10) обеспечивают оценку численных значений толщин стружки, что необходимо для анализа возможной степени измельчения породы шнековыми фрезами проходческих и очистных комбайнов. Для этого необходимо и достаточно определить частные (дифференциальные) и суммарные (интегральные) выходы фракций в % или долях единицы, когда $H = 0 \div R$ (рисунок 1), так как во второй четверти сечения фрезы при работе полным захватом стружка из-за ее «серповидности» представляет собой «зеркальное» изображение таковой из первой четверти сечения.

В общем случае при работе добычных машин производительности по рабочему органу Q_ϕ и по ходу машины Q_x равны между собой. При этом для устойчивой работы системы «машина-порода» должно обеспечиваться условие $Q_\phi > Q_x$, то есть запас по производительности исполнительного органа машины.

Теоретическая массовая производительность по ходу шнек-фрезы очистного комбайна:

$$Q_x = B \cdot H \cdot v_n \cdot \rho, \text{ кг/с} \quad (11)$$

где B – ширина захвата шнек-фрезы, м;

H – мощность (высота) разрабатываемого слоя породы, м;

v_n – поступательная скорость комбайна, м/с;

ρ – плотность породы в массиве, кг/м³.

Производительность по шнек-фрезе (по слою породы со средней толщиной стружки δ_c):

$$Q_\phi = B \cdot \delta_c \cdot \frac{D}{2} \cdot \omega \cdot \rho, \quad (12)$$

где $\delta_c = 2 \delta_{\max} / \pi$ – средняя толщина стружки (формула 10), м;

δ_{\max} – наибольшая толщина стружки (формула 7), м;

$v = (D/2) / \omega$ – окружная скорость фрезы по концам резцов, м/с;

ω – угловая скорость фрезы, рад/с.

Для определения выходов стружки по средним значениям δ_i на равных интервалах изменения ее значений нами были выполнены расчёты для шнек-фрезы очистного комбайна, работающей полным захватом при следующих исходных данных: диаметр шнек-фрезы $D = 1,3$ м, толщина разрабатываемого слоя $H = D$, угловая скорость шнек-фрезы $\omega = 5,0$ рад/с, плотность породы $\rho = 2000$ кг/м³, поступательная скорость $v_n = 0,05$ м/с, число резцов в линии (плоскости) резания $z = 2$.

При анализе фракционного состава измельченной породы производительность по ходу шнек-фрезы можно рассматривать как общий суммарный выход фракций. В этом случае размеры фракций (толщины δ стружки) в зависимости от H_i будут изменяться в соответствии с закономерностью (7) от нуля до δ_{\max} при $H = R$.

Плотность горной породы ρ в слое ненарушенной структуры можно принять постоянной. Тогда при $H = R$ производительность по ходу шнек-фрезы $Q_x = R \cdot B \cdot v_n$, а при $H \leq R$ производительность с толщиной стружки δ : $Q_\delta = R \cdot B \cdot v_n \cdot \cos \varphi_i$. Отсюда

суммарные выходы фракций измельченной породы в долях единицы (интегральные функции распределения): $P(\delta) = Q_\delta / Q_x = \cos \varphi$.

Соответственно суммарные выходы по минусу: $P_1 = 1 - P(\delta)$.

При анализе фракционного состава измельченных пород интегральные функции распределения частиц по фракциям принято выражать в %. Тогда

$$P(\delta) = 100 \frac{Q_h}{Q_x} \cos \varphi \quad \text{и} \quad P_1(\delta) = 100 - 100 \frac{Q_h}{Q_x} \cos \varphi. \quad (14)$$

Ранее было показано (7), что $\delta = \delta_{\max} \cdot \sin \varphi$. Отсюда $\sin \varphi = \delta / \delta_{\max} = \delta \cdot z \cdot \omega / (2\pi \cdot v_n)$.

Тогда

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \frac{\sqrt{4\pi^2 \cdot v_n^2 - z^2 \cdot \omega^2 \cdot \delta^2}}{2\pi \cdot v_n}. \quad (15)$$

Окончательно суммарный выход частиц по плюсу:

$$P(\delta) = 100 \frac{\sqrt{4\pi^2 \cdot v_n^2 - z^2 \cdot \omega^2 \cdot \delta^2}}{2\pi \cdot v_n}, \%. \quad (16)$$

Представляет интерес не только выход измельченной горной породы по плюсу P в зависимости от наименьшего размера толщины стружки δ заданной группы фракции, но и дифференциальная функция распределения частиц по фракциям, т.е. выходы фракций на выбранную единицу длины интервала $\Delta\delta$. Эти данные служат в качестве исходных для получения суммарных характеристик по плюсу $P(\delta)$ и по минусу $P_1(\delta)$. В этом случае речь идет о распределении не случайной, а расчетной переменной величины – выходов фракций в узких равнозначных интервалах их размеров.

Для определения выхода горной массы при толщине стружки δ разобьем полный диапазон ее изменения от нуля до δ_{\max} на k равных по величине интервалов и вычислим ее среднее значение на каждом интервале:

$$\delta_{ic} = \frac{\delta_{i+1} + \delta_i}{2}, \quad (17)$$

где $i = 1, \bar{k}$ – номер интервала;

k – число интервалов;

δ_{i+1} и δ_i – значения толщины стружки на границах i -го интервала.

С учетом (7) имеем:

$$\delta_{ic} = \frac{\pi \cdot v_n}{\omega \cdot z} (\sin \varphi_{i+1} + \sin \varphi_i). \quad (18)$$

Это соответствует интервалу разрабатываемого слоя:

$$\Delta H_i = R(\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1}) \quad (19)$$

и производительности:

$$Q_i = R(\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1}) v_n \cdot \rho. \quad (20)$$

Тогда выход фракций при средней толщине стружки δ_{ic} :

$$P(\delta_i) = \frac{Q_i}{Q_x} = \frac{R(\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1}) B \cdot v_n \cdot \rho}{R \cdot B \cdot v_n \cdot \rho} = \cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1}. \quad (21)$$

Полученные зависимости позволяют строить дифференциальную и интегральную функции распределения толщины стружки.

Данные для дифференциальной функции распределения могут быть получены по следующему алгоритму:

1. Разбиваем угол $\varphi = 90^\circ$ (половина захвата фрезы по высоте слоя H (рисунок 1)) на интервалы $\Delta \varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$, обеспечивающие постоянные толщины стружки δ_i , то есть выполнение условия $\Delta \delta_i = \delta_{i+1} - \delta_i = const$.

2. Так как $\delta_i = \frac{2\pi \cdot v_n}{\omega \cdot z} \sin \varphi_i$, то среднее значение толщины стружки в отдельном интервале:

$$\delta_{i\text{cp}} = \frac{\delta_{i+1} + \delta_i}{2} = \frac{\pi \cdot v_n}{\omega \cdot z} (\sin \varphi_{i+1} + \sin \varphi_i). \quad (22)$$

3. Определяем углы φ_i для каждого из интервалов при условии, что φ_i изменяется от 0 до 90° и

$$\varphi_i = \arcsin \frac{\delta_i \cdot z \cdot \omega}{2\pi \cdot v_n}. \quad (23)$$

4. Вычисляем выходы руды для каждого интервала $\delta_{i+1} \div \delta_i$:

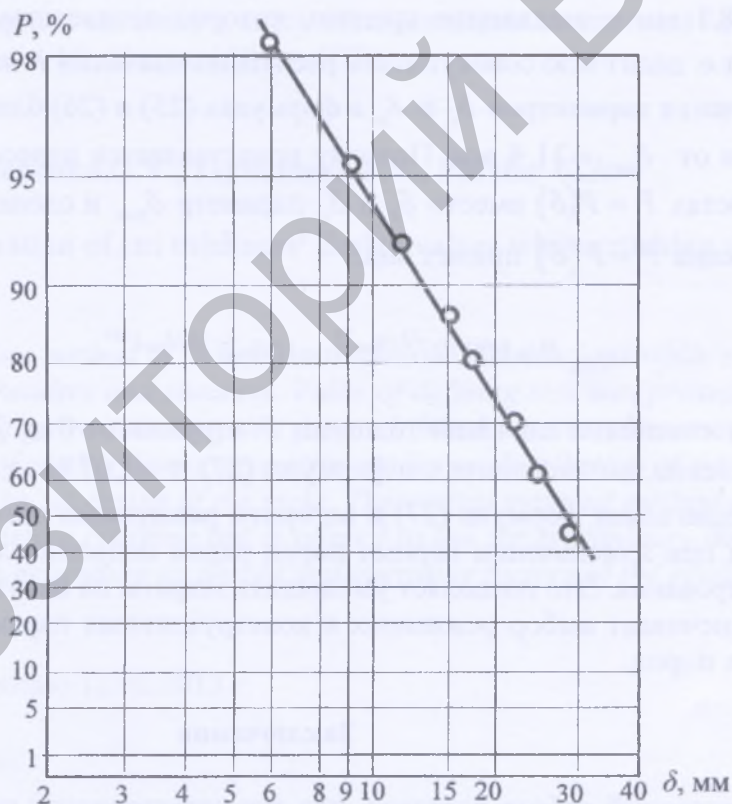
$$p_i = 100(\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1}). \quad (24)$$

5. Вычисляем суммарные выходы фракций P_i и P , строим график зависимости $P = P(\delta)$ (рисунок 2) и выполняем математическую обработку расчетных данных (таблица).

Анализ расчета (таблица) показывает, что при $H = R$ и $\delta_{\text{max}} = 31,4$ мм суммарный выход по плюсу P для частиц с толщиной стружки $\delta > 9$ мм составляет 95,8 %, для частиц с $\delta < 9$ мм, а для частиц с $\delta < 3$ мм всего лишь 0,5 %. Основная масса измельченной породы ($P = 61,1$ %) приходится на частицы с $\delta = 24 \div 31,4$ мм.

Таблица – Результаты расчета

δ_{\max} мм	δ_i мм	$\Delta\delta = \text{const}$ мм	φ_i град.	$\cos\varphi_i$	$\cos\varphi_i - \cos\varphi_{i+1}$	Частные выходы $P_i, \%$	Суммарные выходы при $H = R$	
							по минусу $P_1, \%$	по плюсу $P = 100 - P_1, \%$
31,4	0	-	0	1	0	0	0	100
	3		5,5	0,995	0,005	0,5	0,5	99,5
	6		11,0	0,982	0,013	1,3	1,8	98,2
	9		16,7	0,958	0,024	2,4	4,2	95,8
	12		22,5	0,924	0,034	3,4	7,6	92,4
	15	3	28,5	0,679	0,045	4,5	12,1	87,9
	18		36,3	0,806	0,073	7,3	19,4	80,6
	21		44,4	0,714	0,092	9,2	28,6	71,4
	24		52,8	0,605	0,109	10,9	39,5	61,1
	27		63,1	0,452	0,153	15,3	54,8	45,8
	31,4		90	0	0,452	45,2	100	0

Рисунок 2 – Зависимость суммарного выхода по плюсу P от расчетной толщины стружки δ

Расчетные значения суммарных выходов P по плюсу (таблица), изображенные на графике в координатах $\lg\left(\lg\frac{100}{P}\right) - \lg d$, представляют собой прямую линию. Математическая обработка этих данных показала, что функция $P = P(\delta)$ подчиняется закономерности (2) Розина-Рамллера и принимает вид:

$$P = 100 \cdot \exp \left[- \left(\frac{\delta_{ic}}{32,4} \right)^{2,33} \right], \% \quad (25)$$

где $d_e = 32,4$ мм и $n = 2,33$ – параметры формулы.

При этом среднеквадратическое отклонение σ вычисленных значений P от табличных для первых семи интервалов толщин δ стружки $\sigma = \pm 0,93 \%$, а для девяти интервалов – $3,2 \%$.

В рассматриваемом случае предельное значение толщины стружки $\delta_{\max} = 31,4$ мм. Параметр δ_e формулы (5) составляет 32,4 мм и соответствует суммарному выходу по плюсу $P = 36,8 \%$. Так как $\delta_e > \delta_{\max}$, то δ_e теряет физический смысл.

Если в формуле (3) принять $K = 2$, то зависимость (2) примет вид:

$$P = 100 \cdot 2^{-(\delta/\delta_m)^n} = 100 \cdot 2^{-(\delta/28,1)^{2,33}} \pm 1,5, \% \quad (26)$$

где $\delta_m = 28,1$ мм – медианное среднее, которое соответствует суммарному выходу $P = 50 \%$, т.е. делит всю совокупность расчетных значений P на две равные части.

Значения параметров δ_e и δ_m в формулах (25) и (26) близки между собой и мало отличаются от $\delta_{\max} = 31,4$ мм. Поэтому представляется целесообразным использовать в зависимостях $P = P(\delta)$ вместо δ_e и δ_m параметр δ_{\max} и сделать пересчет параметра n . Тогда функция $P = P(\delta)$ примет вид:

$$P = 100 \cdot 2^{-(\delta/\delta_{\max})^n} = 100 \cdot 2^{-(\delta/31,4)^{2,07}} \quad (27)$$

При изменении значений толщины δ стружки от 0 до 24 мм среднеквадратическое отклонение, вычисленное для формулы (27) $\sigma = 1,07 \%$, а при $\delta_i = 0 \div \delta_{\max} - 2,5 \%$.

Предлагаемая формула (27) и алгоритм реализации обеспечивают оценку выходов частиц при измельчении горных пород рядом исполнительных органов на стадии их проектирования. Это позволяет уменьшить затраты на изготовление опытных образцов и обеспечивает выбор режимных и конструктивных параметров органов разрушения горных пород.

Заключение

В настоящей работе показано, что для характеристик распределения случайных величин (определяющего размера кусков породы), получаемых после работы проходческих и добывающих горных машин, можно пользоваться и расчетными данными. В рассматриваемом случае в качестве такой величины взята толщина стружки. Определение толщины стружки построено на основе расчетных значений для очистного комбайна. Авторы полагают, что подобный подход может быть использован и для других горных машин.

Список использованных источников

1. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. – Л.: Химия, 1987. – 204 с.
2. Коптев, Д.В. Обеспыливание на электродных и электроугольных заводах / Д.В. Коптев. – М.: Metallurgy, 1980. – 128 с.
3. Кислов, Н.В. Исчисление параметров гранулометрических характеристик продуктов переработки калийной руды / Н.В. Кислов, П.В. Цыбуленко // Горная механика. – 2009. – № 3. – С. 33-46.
4. Кислов, Н.В. Методические принципы оценки гранулометрического состава продуктов переработки горных пород / Н.В. Кислов, П.В. Цыбуленко // Сб. научн.тр. Инновационные пути развития техники, технологий и инженерного обеспечения горнодобывающей промышленности РБ. – Минск: БНТУ, 2011. – С. 51-55.
5. Казаченко, Г.В. Энергетический баланс дисковой фрезы / Г.В. Казаченко, Н.В. Кислов, Г.А. Басалай // Горная механика и машиностроение. – 2010. – № 1. – С. 74-82.
6. Опейко, Ф.А. Торфяные машины / Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1960. – 408 с.
7. Солод, В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов. – М.: Недра, 1981. – 503 с.

Kislov N.V., Kazachenko G.V., Tsybulenko P.V., Basalay G.A.

Distribution estimation of cut thickness' design values while crushing ore by road headers and shearers

Reviewed description method of design cut thickness' distributions while crushing ore by cutting drums of road headers and shearers. Value of defining size was proved. Cut thickness used by evaluation of power consumption for rock breaking was chosen as a defining size. Illustrated influence of cutting drums' operating modes on distribution of cut thickness of the ore being crushed by the set design of the picks. Theoretical estimate method of cut thickness' distribution pattern while crushing ore is offered to use for preliminary description of fractional ore composition depending on design and operating factors of the equipments' cutting elements.

Поступила в редакцию 12.02.2013 г.