УДК 691:519.6

Г.М. Редькин, канд. техн. наук, доц. (Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ЛЕЩАДНЫХ ЗЁРЕН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Более 80% железорудных месторождений разрабатывают открытым способом, при котором попутно добывают вмещающие породы и складируют их в отвалы. Если эксплуатируемые месторождения метаморфогенного типа, то порядка 60% вмещающих горных пород представлены метаморфическими сланцами, которых только на месторождениях КМА разведано в пределах 1 млрд. м^3.

Строение метаморфических сланцев представлено композицией из: лепидо-, немато-, гранобластовых в основном микрозернистых структур и характеризуется слоистой, сланцеватой, полосчатой текстурами. В силу приведенных структурно-текстурно особенностей физико-механические и технологические свойства метаморфических сланцев различны в разных направлениях. Такие горные породы и строительные материалы называют анизотропными.

Неуклонный рост капитального строительства и сети автомобильных дорог в условиях дефицита строительного сырья делает актуальной проблему рационального использования попутно добываемых анизотропных горных пород.

Наиболее дефицитными являются крупно-тоннажные строительные материалы: щебень, гравий, песок, которые используют в качестве заполнителей при производстве бетонов, железобетонов, дорожных бетонов, асфальтобетонов, силикатного кирпича. Для производства заполнителей исходную горную массу подвергают дроблению и измельчению. Если дезинтегрируемые горные породы анизотропные, то получают щебень, гравий, песок преимущественно (до 70%) лещадной, игловидной, пластинчатой форм, что ухудшает технологические свойства и качество произведенных из них изделий стройиндустрии при их одновременном удорожании за счет перерасхода вяжущих материалов.

Выход зёрен лещадной формы при дроблении метаморфических сланцев зависит от факторов двух родов. К первому отнесем не зависящие от деятельности человека природные факторы, включающие минералогический состав исходной породы, её структурно-текстурное строение, прочность, физическое состояние: выветрелость, наличие пор, трещин и т.д.

Ко второму роду отнесем зависящие от деятельности человека управляемые факторы: способы измельчения, типы дробилок, технологии дробления. Важнейшую задачу снижения выхода лещадных зёрен при измельчении анизотропных пород можно решить только за счет управления факторами второго рода.

Разработаем математическую модель, позволяющую прогнозировать выход и погрешность выхода зёрен лещадной формы существующих способов дробления, а также новых технических решений и технологий.

Приведем тензорно-вероятностную модель [1] выхода содержаний и их дисперсий лещарных и игловидных зёрен в зависимости от направления воздействия разрушающей нагрузки на дробимый материал

$$[\Pi(\alpha)] = \sqrt{\bar{n} \cdot \Pi \cdot \bar{n}^T}, \qquad (1)$$

$$\sigma^2(\alpha) = \bar{n} \cdot D \cdot \bar{n}^T, \qquad (2)$$

где α - угол между плоскостью слоистости разрушаемого в камере дробления материала и направлением разрушающей нагрузки;

$[\Pi(\alpha)]$, $\sigma^2(\alpha)$ - среднее значение или математическое ожидание и дисперсия выхода лежащих зерен в направлении α;

$\bar{n} = (\cos\alpha; \sin\alpha), \bar{n}^T = \begin{pmatrix} \cos\alpha \\ \sin\alpha \end{pmatrix}$ – единичный и транспонированный единичный векторы направляющих косинусов, указывающие направление дробления α;

$$\Pi = \begin{Vmatrix} [\Pi_{\parallel}]^2 & 0 \\ 0 & [\Pi_{\perp}]^2 \end{Vmatrix}, \quad D = \begin{Vmatrix} \sigma_{\parallel}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\perp}^2 \end{Vmatrix} \qquad (3)$$

- тензоры второго ранга соответственно выхода и дисперсии выхода зёрен лещадной формы, которые в выбранных направлениях α представляются неособенными диагональными матрицами Π и D;

$[\Pi_{\parallel}]^2$, $[\Pi_{\perp}]^2$, $\sigma_{\parallel}^2$, $\sigma_{\perp}^2$ - квадраты средних значений и дисперсий выходов лещадных зёрен в направлениях параллельном и перпендикулярном сланцеватости.

Тензоры Π, D (3) являются полными и исчерпывающими характеристиками анизотропных структур выхода и дисперсии выхода зёрен лещадной формы. Они представляют собой более информативные аналоги коэффициента анизотропии k_Π – тензора нулевого ранга. Действительно, умножая их слева и справа на направляющие векторы $\bar{n}$ и $\bar{n}^T$, получим по формулам (1) и (2) математическое ожидание и дисперсию выхода лещадных зёрен в направлении α. Такого результата на основе коэффициента анизотропии k_Π получить невозможно в силу его малоинформативности.

Перемножим матрицы в правых частях равенств (1), (2) и получим математическое ожидание и дисперсию выхода лещадных зерен в направлении дробления α в функциональном виде

$$[\Pi(\alpha)] = \sqrt{[\Pi_\parallel]^2 \cos^2\alpha + [\Pi_\perp]^2 \sin^2\alpha}, \tag{4}$$

$$\sigma^2(\alpha) = \sigma_\parallel^2 \cos^2\alpha + \sigma_\perp^2 \sin^2\alpha. \tag{5}$$

из практики и диагональности матриц (3) следует, что величины $[\Pi_\parallel]^2$, $\sigma_\parallel^2$ и $[\Pi_\perp]^2, \sigma_\perp^2$ являются соответственно максимальными и минимальными значениями выражений (1) и (2), поэтому для них справедливы неравенства

$$[\Pi_\perp]^2 \le [\Pi(\alpha)]^2 \le [\Pi_\parallel]^2, \tag{6}$$

$$\sigma_\perp^2 \le \sigma^2(\alpha) \le \sigma_\parallel^2. \tag{7}$$

Приведем равенства (4) и (5) к выражениям

$$[\Pi(\alpha)] = [\Pi_\parallel]\sqrt{1 - k^2 \sin^2\alpha}, \tag{8}$$

$$\sigma^2(\alpha) = \sigma_\parallel^2\left(1 - l^2(1 - \cos 2\alpha)/2\right), \tag{9}$$

где коэффициенты k и l определяются формулами

$$k = \sqrt{[\Pi_\parallel]^2 - [\Pi_\perp]^2} / [\Pi_\parallel],$$

$$l = \sqrt{\sigma_\parallel^2 - \sigma_\perp^2} / \sigma_\parallel^2 \tag{10}$$

и в силу неравенств (6), (7) варьируют в пределах $0 \le k \le 1$, $0 \le l \le 1$.

Каждому способу дробления отвечает закон распределения направлений воздействия на дробимый материал, описываемый в общем виде плотностью вероятности $f(\alpha)$, $0 \le \alpha \le \pi/2$ - неотрицательной функции, которая выражает в долях единицы количество дробимого материала в направлении разрушающей нагрузки α и удовлетворяет условию нормировки

$$\int_0^{\pi/2} f(\alpha)d\alpha = 1. \tag{11}$$

Тогда в качестве прогноза ожидаемого выхода лещадных зёрен и погрешности прогноза выступают математические ожидания [2] соответственно выражений (8) и (9)

$$M\Pi = M[\Pi(\alpha)] = [\Pi_{\parallel}] \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}\ f(\alpha)d\alpha, \tag{12}$$

$$M\sigma^2 = M\sigma^2(\alpha) = \sigma_{\parallel}^2 \left(1 - l^2 \left(1 - \int_0^{\pi/2} f(\alpha)\cos 2\alpha\, d\alpha\right)/2\right). \tag{13}$$

Выражения (12), (13) составляют математическую модель выхода зёрен пластинчатой формы в общем виде, которая отражает физико-механические показатели, анизотропию структурно-текстурного строения метаморфических сланцев – природные, не зависящие от деятельности человека, факторы первого рода и законы распределения вероятностей направлений воздействия α - плотности вероятностей *f(α)*, которые формируются деятельностью человека (управляемые факторы второго рода) и отвечают известным применяемым или новым способам дробления.

Построим двух параметрическое семейство плотностей вероятностей, которое отражало бы распределение направлений воздействия на дробимый материал в камере дробления в зависимости от способа дробления с последующим уточнением значений параметров для приведенных в книге [3] известных типов дробилок.

Исследованиями установлено, что наиболее адекватно отражает распределение направлений воздействия, нормальный закон, который представим в виде

$$f(\alpha; a; N) = c(a; N) \cdot e^{-b(a;N)(\alpha - a)^2},\ 0 \le \alpha \le \pi/2, \tag{14}$$

где $c(a;N)$, $b(a;N)$ - неизвестные коэффициенты, зависящие от параметров a и N.

Исследование плотности вероятности (14) на отрезке $\left[0, \pi/2\right]$ приводит к следующим результатам:

1) своё максимальное значение $f_{\max}(\alpha;a;N) = \max\limits_{0\le\alpha\le\pi/2} f(\alpha;a;N)$ она принимает в точке $\alpha = a$, т.е. значение параметра a является модой распределения случайной величины α, $\alpha_{\mathrm{mod}} = a$;

2) свои минимальные значения в зависимости от значения моды a она принимает на концах отрезка $\left[0; \pi/2\right]$

$$\min_{0\le\alpha\le\pi/2} f(\alpha;a;N) = \begin{cases} f_{\min}(\pi/2;a;N), & 0 \le a < \pi/4, \\ f_{\min}(\pi/2;a;N) = f_{\min}(0;a;N), & a = \pi/4, \\ f_{\min}(0;a;N), & \pi/4 < a \le \pi/2. \end{cases} \tag{15}$$

Определим параметр N как отношение максимального и минимального (15) значений плотности вероятности (14)

$$N = f_{\max}(\alpha;a;N) / \min_{0\le\alpha\le\pi/2} f(\alpha;a;N) \tag{16}$$

Для выполнения равенства (16) график функции (14) должен проходить через точки: $(a;\, Np), (\pi/2;\, p)$ при $0 \le a < \pi/4$; $(a;\, Np), (0;\, p), (\pi/2; p)$ при $a = \pi/4$; $(a;\, Np), (0;\, p)$ при $\pi/4 < a \le \pi/2$, где значение p удовлетворяет условию нормировки (11).

Можно показать, что приведенным условиям (11), (16) однозначно отвечает двух параметрическое (параметры a и N) семейство плотностей вероятностей

$$f(\alpha;a;N) = \begin{cases} \dfrac{2\sqrt{\ln N}\exp\left(-4(\alpha-a)^2 \ln N/(\pi-2a)^2\right)}{(\pi-2a)\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{2\sqrt{2\ln N}a}{\pi-2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)}, & 0\le a\le\pi/4, \\ \dfrac{\sqrt{\ln N}\exp\left(-(\alpha-a)^2 \ln N/a^2\right)}{a\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{\sqrt{2\ln N}(\pi-2a)}{2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)}, & \pi/4\le a\le\pi/2, \end{cases} \tag{17}$$

где $\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_0^x e^{-t^2}dt$ - функция Лапласа, которая не выражается в конечном виде, но ее значения определены, широко представлены в литературе и по модулю меньше 0,5, а $\exp x = e^x$. Заметим, что выражения в правой части равенства (17) тождественны при $a=\pi/4$.

Для плотностей вероятностей (17) справедливы следующие предельные соотношения:

1) $\lim\limits_{N\to\infty} f(\alpha; a; N)=\infty$ в точке $\alpha=\alpha_{\text{mod}}=a$;

2) $\lim\limits_{N\to\infty} f(\alpha; a; N)=0$ в точках $\alpha\neq a$;

3) $\lim\limits_{N\to 1} f(\alpha; a; N)= f(\alpha; a; 1)=\frac{2}{\pi}$ при любых $\alpha, a\in[0;\pi/2]$.

Из первого и второго предельных соотношений следует, что с ростом N вероятность направлений воздействия будет концентрироваться в окрестности моды $\alpha=\alpha_{\text{mod}}=a$. Это означает, что параметр a характеризует направление максимальной концентрации направлений воздействия на дробимый анизотропный материал, его значение определяется направлением подачи дробимого материала в камеру дробления. Параметр N отражает меру рассеяния направлений дробления относительно значения параметра a. Большему значению параметра N отвечает меньшее рассеяние направлений воздействия на дробимый материал, большая концентрация вероятности в окрестности точки $\alpha_{\text{mod}}=a$.

Само же предельное положение семейства функций (17) представляет собой обобщенную дельта – функцию [4]

$$\lim_{N\to\infty} f(\alpha;a;N)=\sigma(\alpha-a)=\begin{cases}0; & \alpha\neq a,\\ \infty; & \alpha=a,\end{cases} \tag{18}$$

для которой справедливо условие нормировки (11), записанное в виде

$$\int\limits_{a-0}^{a+0}\sigma(\alpha-a)\,d\alpha=1\cdot \tag{19}$$

Третье предельное равенство определяет равномерное распределение вероятностей направлений воздействия.

Таким образом, разработанное семейство вероятностей (17) описывает широкий спектр способов дробления и варьирует от равномерного распределения вероятностей направлений воздействия на дробимый материал, в этом случае из семейства (17) при $N=1$ получим $f(\alpha;a;1)=2/\pi$, до концентрации всех направлений воздействия в моде $\alpha_{\mathrm{mod}}=a$, в этом случае из семейства (17) при $N=\infty$ получим обобщенную дельта – функцию (18), (19). Это позволяет семейство (17) записать в более детальной форме

$$f(\alpha;a;N)=\begin{cases} 2/\pi, & 0\le a\le\pi/2,\ N=1,\\ \dfrac{2\sqrt{\ln N}\exp\left(-4(\alpha-a)^2\ln N/(\pi-2a)^2\right)}{(\pi-2a)\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{2\sqrt{2\ln N}a}{\pi-2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)}, & 0\le a\le\pi/4,\ 1<N<\infty,\\ \dfrac{\sqrt{\ln N}\exp\left(-(\alpha-a)^2\ln N/a^2\right)}{a\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{\sqrt{2\ln N}(\pi-2a)}{2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)}, & \pi/4\le a\le\pi/2,\ 1<N<\infty,\\ \sigma(\alpha-a), & 0\le a\le\pi/2,\ N=\infty \end{cases} \tag{20}$$

Подставим плотности вероятностей (20) в равенства (12), (13), введем специальные функции

$$\begin{aligned} R_1(a;N;k)&=\int_0^{\pi/2}\sqrt{1-k^2\sin^2\alpha}\,e^{-\frac{4\ln N}{(\pi-2a)^2}(\alpha-a)^2}d\alpha, \quad 0\le a\le\pi/4, 1<N<\infty,\\ R_2(a;N;k)&=\int_0^{\pi/2}\sqrt{1-k^2\sin^2\alpha}\,e^{-\frac{\ln N}{a^2}(\alpha-a)^2}d\alpha, \quad \pi/4\le a\le\pi/2, 1<N<\infty,\\ L_1(a;N)&=\int_0^{\pi/2}e^{-\frac{4\ln N}{(\pi-2a)^2}(\alpha-a)^2}\cos 2\alpha\, d\alpha, \quad 0\le a\le\pi/4, 1<N<\infty,\\ L_2(a;N)&=\int_0^{\pi/2}e^{\frac{\ln N}{a^2}(\alpha-a)^2}\cos 2\alpha\, d\alpha, \quad \pi/4\le a\le\pi/2, 1<N<\infty, \end{aligned} \tag{21}$$

которые протабулированы и составлены таблицы их значений, и получим математическую модель выхода зёрен пластинчатой формы в зависимости от природных факторов первого рода и от способов дробления анизотропных пород – управляемых факторов второго рода

$$
M\Pi = \begin{cases} 2E(\pi/2;k)[\Pi_{\parallel}]/\pi & ,0 \le a \le \pi/2, N=1, \\ \dfrac{2\sqrt{\ln N} R_1(a;N;k)[\Pi_{\parallel}]}{(\pi-2a)\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{2\sqrt{2\ln N}a}{\pi-2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)}, & 0 \le a \le \pi/4, 1<N<\infty, \\ \dfrac{\sqrt{\ln N} R_2(a;N;k)[\Pi_{\parallel}]}{a\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{\sqrt{2\ln N}(\pi-2a)}{2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)}, & \pi/4 \le a \le \pi/2, 1<N<\infty, \\ \sqrt{1-k^2\sin^2 a}\cdot[\Pi_{\parallel}], 0 \le a \le \pi/2, N=\infty, \end{cases} \quad (22)
$$

$$
M\sigma^2 = \sigma_{\parallel}^2\left(1-l^2\left(1-\Psi(a;N)\right)/2\right) \quad (23)
$$

где $E(\varphi;k)=\int\limits_0^{\varphi}\sqrt{1-k^2\sin^2\alpha}\,d\alpha$ - эллиптический интеграл второго рода в форме Лежандра, который не выражается в конечном виде, но его значения определены и широко представлены в литературе;

$$
\Psi(a;N) = \begin{cases} 0 & ,0 \le a \le \pi/2, N=1, \\ \dfrac{2\sqrt{\ln N} L_1(a;N)}{(\pi-2a)\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{2\sqrt{2\ln N}a}{\pi-2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)} & ,0 \le a \le \pi/4, 1<N<\infty, \\ \dfrac{\sqrt{\ln N} L_2(a;N)}{a\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{\sqrt{2\ln N}(\pi-2a)}{2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)} & ,\pi/4 \le a \le \pi/2, 1<N<\infty, \\ \cos 2\alpha & ,0 \le a \le \pi/2, N=\infty. \end{cases}
$$

В выражениях (22), (23) природными факторами первого рода являются величины $[\Pi_{\parallel}]$, $\sigma_{\parallel}^2$, k, l, а управляемыми факторами второго рода – параметры a и N, значениям которых отвечают различные способы дробления.

Для определения природных величин необходимо по репрезентативной выборке исследуемой анизотропной породы экспериментальным путем определить значения выходов пластинчатых зёрен параллельно $\Pi_{\parallel,i}$ и перпендикулярно $\Pi_{\perp,i}$ сланцеватости, где $i = 1, 2, \ldots, N$ - число образцов выборки. затем по данным выборки найти средние значения $\lfloor \Pi_{\parallel} \rfloor, [\Pi_{\perp}]$, дисперсии средних $\sigma_{\parallel}^2, \sigma_{\perp}^2$ и по формулам (10) вычислить коэффициенты k и l.

Однако экспериментальное определение величин $\Pi_{\parallel,i}$ и $\Pi_{\perp,i}$ трудоёмко, дорогостояще и технически трудно осуществимо. В работе [5] приведен менее точный косвенный метод нахождения среднего значения выхода лещадных зёрен параллельно слоистости $\lfloor \Pi_{\parallel} \rfloor$ и коэффициента k

$$[\Pi_{\parallel}] = 100\sqrt{1 - k_R^2}\,, \qquad (24)$$

$$k = \sqrt{1 - \underline{\lim}^2 [\Pi] / 100^2 \left(1 - k_R^2\right)} \qquad (25)$$

где k_R - коэффициент анизотропии пределов прочности при сжатии, определяемый равенством

$$k_R = R_{\parallel} / R_{\perp}\,, \qquad (26)$$

в котором $R_{\parallel}$ и $R_{\perp}$ - пределы прочности породы в направлениях соответственно параллельном и перпендикулярном слоистости; $\underline{\lim}[\Pi]$ - нижний предел выходов зёрен лещадной формы.

Практикой дробления анизотропных пород установлено, что при дроблении различных видов метаморфических сланцев нижний предел выходов зависит от k_R и колеблется в пределах от 8 до 16%.

Вопросы косвенного определения дисперсий $\sigma_{\parallel}^2, \sigma_{\perp}^2$ и коэффициента l (10) требуют дальнейших исследований и в рамках данной статьи не рассматривались. Поэтому косвенному определению величины $\lfloor \Pi_{\parallel} \rfloor$, k отвечает на основе равенства (22) математическая модель выхода лещадных зёрен при дроблении пород сланцеватой текстуры

$$
МП=\begin{cases}
200E(\pi/2;k)\sqrt{1-k_R^2}/\pi & ,0\le a\le\pi/2, N=1,\\
\dfrac{200\sqrt{\ln N}R_1(a;N;k)\sqrt{1-k_R^2}}{(\pi-2a)\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{2\sqrt{2\ln N}a}{\pi-2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\partial mT}\right)\right)} & ,0\le a\le\pi/4, 1<N<\infty,\\
\dfrac{100\sqrt{\ln N}R_2(a;N;k)\sqrt{1-k_R^2}}{a\sqrt{\pi}\left(\Phi\left(\dfrac{\sqrt{2\ln N}(\pi-2a)}{2a}\right)+\Phi\left(\sqrt{2\ln N}\right)\right)} & ,\pi/4\le a\le\pi/2, 1<N<\infty,\\
100\sqrt{(1-k^2\sin^2 a)(1-k_R^2)} & ,0\le a\le\pi/2, N=\infty,
\end{cases}
\tag{27}
$$

где коэффициенты k, k_R определяются на основе природных факторов первого рода по формулам (25), (26) и не зависят от деятельности человека.

Для определения в модели (27) параметров a и N - управляемых факторов второго рода рассмотрим известные типы дробилок [3]. Разобьем их по виду воздействия на дробимый материал на две группы. В первую группу включим дробилки щёковые, конусные, валковые, принцип работы которых основан в разной степени на раздавливании, истирании, изгибании кусков породы. Ко второй группе отнесём дробилки ударного действия, которые измельчают породу ударом рабочего органа.

Дробимый слоистый материал занимает на питающем транспорте горизонтальное положение и в таком положении попадает в камеру дробления дробилок первой группы, где разрушающая нагрузка действует на дробимый материал преимущественно под углом $\alpha=0$ к плоскости слоистости. Поэтому мода распределения вероятностей направлений воздействия на дробимый материал для дробилок первой группы равна нулю, т.е. $\alpha_{\text{mod}}=a=0$.

Рассеяние направлений воздействия на дробимый материал относительно моды характеризуется спецификой дробящего устройства и определяется значением параметра N. Экспериментальным путем установлено, что для дробилок первой группы при значении параметра $a=0$ параметр N принимает значения: для щёковых $N=5$; для конусных $N=2$; для валковых $N=1$.

В камерах дробления дробилок ударного действия второй группы била ротора воздействуют на дробимый материал под углом и к слоистости в основном отличными от нуля, сообщая разрушаемому материалу большое количество энергии, необходимое на преодоление сил сцепления между частицами. Такому режиму дробления отвечают следующие значения управляемых параметров $a \cong \pi / 2$ и $N >> 1$ большое вплоть до $N = \infty$ включительно.

По разработанной математической модели (27) для косвенного нахождения величин $\lfloor \Pi_{\parallel} \rfloor, k$ определим выходы лещадных зёрен при дроблении на дробилках первой и второй групп метаморфических сланцев Курской серии (Pt, K_2), характеризующихся пределами прочности при сжатии: перпендикулярно слоистости 170 МПа; параллельно слоистости 80 МПа и нижним пределом выходов зёрен лещадной формы $\underline{\lim}[\Pi] = 12\%$.

На основе приведенных характеристик по формулам (26), (25) вычислим отражающие природные факторы коэффициенты $k = 0{,}47$ и $k = 0{,}99$. А по приведенным выше значениям управляемых параметров $a = 0$ и $N = 5$, $N = 2$, $N = 1$ определим по таблицам значения специальных функций $R_1(0; 5; 0{,}99) = 0{,}783,\ R_1(0; 2; 0{,}99) = 0{,}903,\ E(\pi / 2; 0{,}99) = 1{,}028$, характеризующие режимы дробления дробилок первой группы соответственно: щёковой, конусной, валковой.

Подставим полученные данные в формулу (27) и получим выходы лещадных зёрен для дробилок: щёковой – 68%; конусной – 63%; валковой – 58%. Эти результаты приведены в четвертом столбце таблицы с двумя входами для параметров N и a. Значения параметра N приведены в третьем столбце для первой – четвертой строк, а значения параметра a в четвертом – десятом столбцах. На пересечениях этих строк и столбцов стоят соответствующие им выходы пластинчатых зёрен.

Положим в формулу (27) $a = \pi / 2$ и $N = \infty$ и получим выход лещадных зёрен равный $M\Pi = 13\%$ при дроблении на дробилках ударного действия метаморфических сланцев (Pt, K_2), который приведен в таблице на пересечении 4 строки и 10 столбца.

Предположим, что разработаны новые технические решения, доставляющие слоистую горную породу в камеры дробления щёковых и конусных дробилок под разными отличными от нуля углами к плоскости слоистости.

Тогда по разработанной математической модели (формулы (22), (23), (27)) можно определить выходы и погрешности выходов пластинчатых зёрен и тем самым оценить эффективность и, следовательно, полезность предлагаемых технических решений. Так в таблице в 1-ой и 2-ой строках и 5-ом – 10-ом столбцам приведены, определенные по формуле (27), выходы пластинчатых зёрен для технических решений, доставляющих в камеры дробления щёковых и конусных дробилок слоистую породу под углами 15^0, 30^0, …, 90^0.

Более того любому техническому решению отвечают некоторые значения параметров a и N, использование которых в формулах (22), (23), (27) позволит оценить его эффективность.

Таким образом, разработанная математическая модель выхода пластинчатых зёрен (формулы (22), (23), (27)) позволяет определять выходы лещадных зёрен и, следовательно, эффективность как известных так и новых способов дробления пород слоистой текстуры.

Таблица 1

Результаты математического моделирования выходов лещадных зерен в зависимости от типов дробилок

№ п/п	Типы дробилок	N	α						
			0^0	15^0	30^0	45^0	60^0	75^0	90^0
1	Щёковые	5	68	67	65	60	52	49	48
2	Конусные	2	63	62	61	59	55	54	53
3	Валковые	1	58	-	-	-	-	-	-
4	Ударного действия	∞	-	-	-	-	-	-	13

Список литературы

1. Редькин Г.М. Математическое моделирование анизотропных структур свойств пород сланцеватой текстуры // Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве: Сб. научн. тр. Международной научн. - практ. конф. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. – Ч. 2. – С. 190-194.
2. Редькин Г.М. Характеристики выхода зерен лещадной формы // Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии: Сб. научн. тр. Всесоюзной конф. – Белгород: Изд.-во БТИСМ, 1991. Ч. 5. – С. 66-67.
3. Курденков Б.И., Мохортов К.В. Улучшение технических свойств каменных материалов при их производстве. – М.: Высшая школа, 1976, - 176 с.
4. Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике. – М.: «Наука», 1969, - 640 с.
5. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Редькин Г.М., Редькин В.Г. Математическая модель выхода лещадных зерен // Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве: Сб. науч. тр. Международной научн.-практ. конф. - Белгород: Изд.-во БелГТАСМ, 2002. – Ч. 2. – С. 45 – 49.