

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ АСИММЕТРИЧНЫХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ТРЕЩИНУ НОРМАЛЬНОГО РАЗРЫВА

Статья посвящена разработке математической модели нагруженности асимметричных дисковых инструментов при формировании устойчивых магистральных трещин. Установлены зависимости усилий на оси дисковых инструментов от геометрических, режимных параметров и прочностных характеристик крепких пород. Адекватность результатов моделирования была подтверждена экспериментальными исследованиями.

Производственные испытания конических исполнительных органов проходческого комбайна избирательного действия, оснащенных асимметричными дисковыми инструментами, установили способность асимметричных дисковых инструментов в процессе циклического нагружения раскалывать крепкие породы магистральными трещинами [1].

Разработка рабочих органов с дисковыми инструментами для проведения подготовительных выработок на породах с повышенным содержанием крепких прослоек и твердых включений требует знания усилий на одиночном дисковом инструменте от геометрических, режимных параметров и прочностных характеристик пород. Критерии роста магистральных трещин в хрупких породах под лезвием асимметричных дисковых инструментов позволили установить нагруженность дисковых инструментов диаметром 0,28 м с различными углами заострения дисковых инструментов в условиях заблокированного режима разрушения [2].

Целью настоящей работы является разработка модели нагруженности асимметричного дискового инструмента в уступном режиме разрушения от его диаметра, углов заострения, режимных и прочностных параметров при формировании трещин нормального разрыва в породах средней и выше крепости.

Схема, описывающая взаимодействие асимметричного дискового инструмента с твердой породой, приведена на рис. 1. Напряженное состояние в окрестности трещины определялось на основе метода граничных элементов и метода разрывных смещений [3, 4]. Увеличение площади трещины $S = m \cdot l$ в процессе расчетов осуществлялось в направлении l при фиксированных значе-

ниях величин m . В результате моделирования было установлено, что угол заострения $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ оказывает существенное влияние на механизм раскрытия берегов трещины. Угол заострения меньше 45° создает условия, при которых нормальные напряжения на два порядка превышают касательные напряжения на берегах трещины. Это позволило определить один коэффициент интенсивности напряжений первого рода на основе асимптотического метода [5]. Математическая модель нагруженности асимметричного дискового инструмента, описывающая формирование краевой прямоугольной магистральной трещины в полупространстве и четверти пространства, в результате расчетов принимает следующий вид

$$P = \frac{(\pi D l)^{3/4}}{B \sqrt{\pi}} \frac{\sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} K_I T, \quad (1)$$

где

$$\alpha = \arctg \left[\frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \cos \varphi_1 \cos \varphi_2} \right], \text{ град.};$$

φ_1, φ_2 – углы заострения асимметричного дискового инструмента, град. ($20 \leq \varphi_1 + \varphi_2 \leq 45^\circ$);

$\beta = 57,66641$, град.;

K_I – коэффициент интенсивности напряжений первого рода, Н/м^{3/2};

P – усилие, действующее на дисковый инструмент, Н;

$S = ml = \pi D l$ – площадь трещины, м²;

m, l – геометрические размеры трещины, м;

D – диаметр асимметричного дискового инструмента, м;

$B = 0,215915442$ – постоянная величина;

$$T = (1,8x - x^2)^{1/2};$$

$x = t_p / t_{\text{нред}}$ – безразмерная величина;

t_p – расстояние от линии прохода диско-

вого инструмента до вертикальной свободной поверхности (шаг разрушения), м

$$(0 < t_p \leq 0,08);$$

$t_{пред} = 0,1$ – предельный шаг разрушения, м.

При $T=1$ асимметричный дисковый инструмент воздействует на полупространство с краевой прямоугольной трещиной, в котором отсутствует свободная вертикальная поверхность.

Усилие P , действующее на ось асимметричного дискового инструмента, представляет собой равнодействующую силу

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2},$$

где P_x, P_y, P_z – проекции вектора усилия на оси декартовой системы координат OX, OY, OZ соответственно.

Нагрузка в экспериментальных исследованиях при последовательных проходах дискового инструмента по одному и тому же следу принимается средней по длине прохода разрушаемого породного блока, и достоверность результатов определяется $N=6...10$ количеством независимых опытов. Поэтому за среднее усилие на дисковом асимметричном инструменте при моделировании циклического нагружения пород выбиралась величина $m = \pi D$, характеризующая полный оборот дискового инструмента.

Коэффициент интенсивности напряжений был определен для точки C , изображенной на рис. 1. Вычисляя производную величину по переменной S от равенства (1), получаем $dP/dS > 0$.

Таким образом, магистральные трещины, образованные в породе при последовательных проходах асимметричных дисковых инструментов, имеют устойчивый характер развития и для их дальнейшего роста требуется приращение внешней нагрузки.

Влияние диаметра на силовые показатели асимметричного дискового инструмента ($\varphi_1 = 0^\circ, \varphi_2 = 40^\circ, l = 0,006 \text{ м}, K_1 = 80 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^{3/2}$) при образовании трещины $l = 0,006 \text{ м}$ показано на рис. 2, а. Из графиков видно, что усилия P на дисковом инструменте в диапазоне изменения диаметров от 0,16 до 0,28 м имеют практически линейный характер развития независимо от шага разрушения t_p . При увели-

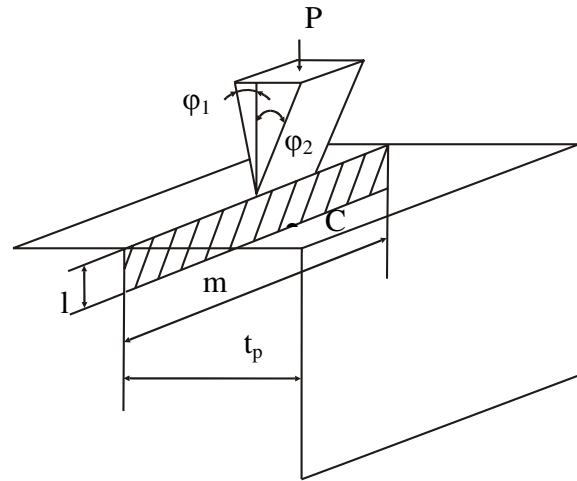


Рисунок 1. Схема, описывающая развитие магистральной трещины в породе с боковой обнаженной поверхностью

чению диаметра от 0,16 до 0,28 м в 1,522 раза увеличиваются усилия на оси дискового инструмента, необходимые для роста трещины нормального разрыва.

На рис. 2, б приведены зависимости влияния углов заострения на силовые показатели, возникающие на асимметричных дисковых инструментах при разрушении твердых пород ($t_p = 0,04 \text{ м}, D = 0,2 \text{ м}, l = 0,007 \text{ м}, K_1 = 80 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^{3/2}$).

Анализ полученных зависимостей, представленных на рис. 2, б, показывает, что:

- усилия на оси дисковых инструментов от углов заострения имеют нелинейный характер развития;
- нагрузки имеют минимальные значения для углов заострения, равных 30° , независимо от геометрической формы дисковых инструментов;
- минимальные усилия на дисковых инструментах возникают, когда угол $\varphi_1 = 10^\circ$;
- возрастание угла заострения φ от 30° до 45° при заданном боковом угле $\varphi_1 = 10^\circ$ увеличивает нагруженность на дисковом инструменте в 1,86 раза;
- возрастание бокового угла φ_1 от 0° до 10° при фиксированном угле $\varphi = 45^\circ$ уменьшает нагруженность на дисковом инструменте в 1,21 раза.

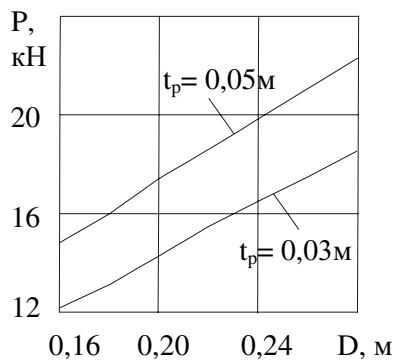
На рис. 2, г показаны зависимости нагрузки на дисковом инструменте от шага разрушения t_p ($D = 0,18 \text{ м}, \varphi_1 = 5^\circ, \varphi_2 = 30^\circ, l = 0,006 \text{ м}$).

Анализ приведенных зависимостей показывает, что нагрузки на дисковом инструменте от шага разрушения имеют нелинейный характер распределения. Возрастание шага разрушения от 0,03 до 0,05 м приводит к увеличению усилий на дисковом инструменте в 1,2 раза.

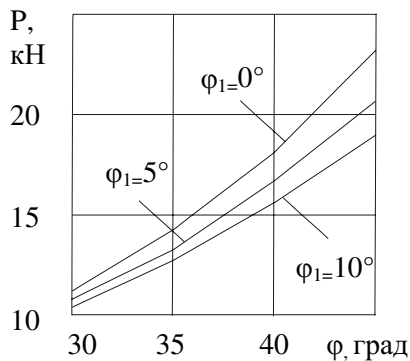
В таблице 2 представлены данные экспериментальных исследований по разрушению песчаника дисковым инструментом, определенные по разработанной методике [6], и ре-

Таблица 2. Результаты разрушения песчаника дисковым инструментом

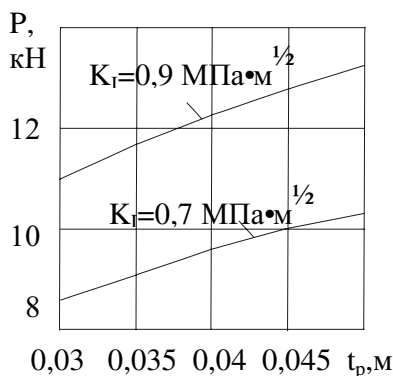
Номер прохода	D, м	h, м	R, кН	l, м	P, кН
1	0,16	0,005	10,21	0,005	8,20
2		0,008	12,96	0,008	11,64
3		0,010	14,52	0,010	13,76
1	0,20	0,005	11,40	0,005	9,70
2		0,007	13,52	0,007	12,45
3		0,010	16,20	0,010	16,27
1	0,24	0,005	12,48	0,005	11,09
2		0,007	14,79	0,007	14,28
3		0,010	17,71	0,010	18,65
1	0,26	0,005	12,99	0,005	11,78
2		0,010	18,43	0,010	19,81



а)



б)



в)

Рисунок 2. Изменение усилий на оси дискового инструмента от геометрических и режимных параметров

зультаты расчетов, которые выполнены по математической модели (1).

Разрушению подвергался породный блок размером $1,0 \times 1,0 \times 1,0 \text{ м}^3$. Блок песчаника $\sigma_{сж} = 70,5$ (МПа, $\sigma_p = 4,08$ МПа) разрушался дисковыми инструментами с углом заострения $\phi_1 = 0^\circ$, $\phi_2 = 35^\circ$ и шагом разрушения 0,04 м.

В таблице приняты следующие обозначения: D – диаметр дискового инструмента; h – суммарная глубина прохода дискового инструмента по одному и тому же следу; R – равнодействующая сила на оси дискового инструмента, определенная по методике [6]; l – длина трещины; P – равнодействующая сила, расчет которой производился по формуле (1).

Коэффициент интенсивности напряжений первого рода для песчаника $K_1 = 70 \cdot 10^4 \text{ Н / м}^{3/2}$.

Первая колонка таблицы 2 обозначает количество проходов дискового инструмента по одному и тому же следу до образования неустойчивой трещины.

Анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований показывает, что глубина прохода дискового инструмента по одному и тому же следу соответствует численному значению длины устойчивой трещины.

Результаты сопоставления нагруженности дисковых инструментов в экспериментальных и теоретических исследованиях, приведенные в таблице 2, указывают на вполне удовлетворительную их сходимость.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет определять усилия на оси асимметричного дискового инструмента в зависимости от геометрических,

режимных и прочностных характеристик и выбирать на ее основе рациональные параметры для формирования трещин разрыва в крепких горных породах.

Список использованной литературы:

1. Расширение области применения проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Ю.Г. Полкунов, В.В. Кузнецов и др.; Под ред. В.И. Нестерова – Кемерово: КузГТУ, 2000. – 36 с.
2. Нестеров В.И., Полкунов Ю.Г. Прогнозирование разрушения крепких горных пород асимметричными дисковыми инструментами // Известия вузов. Горный журнал. – 2002. – №1. – С. 110-112.
3. Бенерджи П. Методы граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
4. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела / С. Крауч, А. Старфилд. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
5. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
6. Полкунов Ю.Г. Циклическое разрушение крепких пород инструментами горных машин, формирующими трещины нормального разрыва. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Кемерово, 2000. – 30 с.