

- среднее время восстановления

$$T_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{ei},$$

где t_{ei} - время восстановления i -ого отказа.

Комплексные показатели надежности при том же, экспоненциальном распределении определяют по формулам:

- коэффициент готовности

$$k_r(t) = \frac{T_1}{T_1 + T_e} + \frac{T_e}{T_1 + T_e} e^{-t \left(\bar{\lambda} + \frac{1}{T_e} \right)},$$

- коэффициент оперативной готовности

$$k_{op}(t) = k_r(t) e^{-\bar{\lambda} t}.$$

Предложенный метод получения исходных данных и перечисленные показатели позволяют исследовать технический уровень экспериментальных образцов новой техники и уникальных горных машин с использованием математического аппарата теории случайных процессов. Перечисленные количественные характеристики определяются путем относительно несложных расчетов, вполне пригодных для практического использования техническим персоналом как проектно-конструкторских, так и эксплуатационных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука.-М.: Мир, 1978.-418с.
2. Пугачев В.С. Теория случайных чисел.-М.: Физматгиз, 1962.-382с.
3. Гришин В.К., Живописцев Р.А., Иванов В.А. Математическая обработка и интерпретация физического эксперимента.-М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988.-318с.
4. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. впервые; Введ. С 1.07.90.-М.:Изд-во стандартов, 1990.-36с.

УДК 622.236.232:620.192.7

Д.Л. Васильев

КРИТЕРИЙ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА ВЫРАБОТОК.

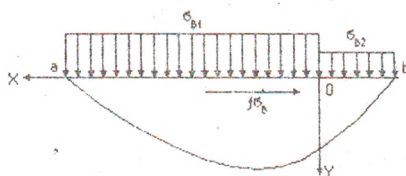
Запропоновано критерій руйнації гірських порід приконтурного масиву виробіток із метою оцінки міцності несучих елементів, що заснований на порівнянні максимальних ефективних дотичних напруг з опірністю матеріалу на зсув.

Конечной целью исследований по анализу напряженного состояния горных массивов является оценка прочности их грузонесущих элементов и, в конечном итоге, оценка безопасности проведения горных работ. Суждение о прочности породных массивов, как правило, производится методами сопротивления материалов по максимальным сжимающим действующим напряжениям в массиве и по пределу прочности на сжатие образцов горных пород. Судя по многочисленным

экспериментальным данным приходим к выводу, что предел прочности образцов на одноосное сжатие сам по себе не является однозначной характеристикой хотя бы потому, что значение этого предела многократно зависит от размера образцов в виду наличия масштабного фактора и ряда других особенностей (наличия четырех форм разрушения, нелинейности связи между сжимающими напряжениями и деформацией и т. д.). По этому вопросу сошлемся на мнение известного специалиста проф. Л. И. Барона [1], который считает, что: «вследствие сильной изменчивости и подверженности влиянию многих факторов, в том числе таких, которые не поддаются достоверному прогнозированию и надежной количественной оценке, результаты прочностных свойств горных пород путем испытаний образцов не обладают свойствами технических констант. В этом заключается важнейшая специфическая особенность горных пород как объектов определения прочностных свойств путем испытаний образцов обычными методами, принятыми в науке о сопротивлении материалов».

Следует отметить, что Л.И. Барон имел в виду пределы прочности на сжатие и растяжение. Особняком стоит в механике горных пород и в науке о сопротивлении других материалов сопротивляемость их чистому сдвигу. В справочной литературе она иногда приводится и то, как вспомогательная константа. В то же время этот параметр может быть определен при отсутствии влияния других факторов, а, на наш взгляд, он является главным при формировании нагрузок в процессе деформирования материалов. Он используется в механике грунтов и иногда в механике горных пород из предположения, что последние находятся в предельном состоянии и сдвигание их происходит по линиям скольжения.

Мы же в своих рассуждениях будем исходить, применительно к деформированию горных пород, из положения, что горный массив может находиться и не в предельном состоянии, если максимальные эффективные касательные напряжения τ_e , по Кулону, не достигнут значения сопротивляемости сдвигу материала. При возникновении условия $\tau_e \geq k$ (сопротивляемость сдвигу) траектории максимальных эффективных касательных напряжений превращаются в линии скольжения. Не видим мы и препятствий расчета параметра текущего значения τ_e , даже для случая зажатого массива. Рассмотрим случай, когда имеет место приложение двух нагрузок в массиве в виде (рис. 1).



1 — траектория максимальных эффективных касательных напряжений.

Рис. 1 — Схема нагружения полуплоскости двумя неравными равномерно распределенными нагрузками при наличии контактного трения.

Учтем внешнее трение. Считаем, что нагрузка (горное давление) известна. Деформирование происходит по траекториям максимальных эффективных касательных напряжений, на которых соблюдается закон Кулона

$$\tau_o = \tau_a - \mu \sigma_a, \quad (1)$$

где τ_a – активные касательные напряжения; μ – коэффициент внутреннего трения; σ_a – сжимающие напряжения, действующие нормально к траекториям τ_o .

Используя методологию расчета [3], находим

$$\ln \frac{\tau_o + \mu [\sigma_{o1}(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_1^2})]}{\tau_o - \mu [\sigma_{o2}(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_1^2})]} = \pm 2\mu \alpha_{ab}, \quad (2)$$

где σ_{o1} и σ_{o2} – величины горного давления на площадках 1 и 2 соответственно; ρ – угол внутреннего трения; $b = \frac{f\sigma_e}{\tau_o + \mu\sigma_e}$; f – коэффициент контактного (внешнего трения) на линии слоев ab ; α_{ab} – угол поворота траектории максимальных эффективных касательных напряжений.

Угол поворота β упомянутой траектории от действия контактного трения, согласно [3], равен

$$\beta = \frac{1}{2} \arctg \frac{b_1 \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1 - b_1^2}}, \quad (3)$$

Тогда угол поворота α_{ab} траектории максимальных эффективных касательных напряжений для полуплоскости равен (при указанном направлении сил трения).

$$\alpha_{ab} = \frac{3}{4}\pi - \frac{\rho}{2} + \beta - \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} - \beta = \frac{\pi}{2},$$

а при наличии обнажения (выработки)

$$\alpha_{ab} = \beta.$$

Таким образом, угол α_{ab} при действии нагрузок на полуплоскости равен $\frac{\pi}{2}$, а при наличии выработки – равен углу $\pm\beta$, в зависимости от направления сил трения.

Решая уравнение (2), для массива имеем

$$\tau_z = - \frac{\mu \sigma_{e1} (1 - \operatorname{Sin} \rho \sqrt{1 - b_1^2}) - \mu \sigma_{e2} (1 + \operatorname{Sin} \rho \sqrt{1 - b_2^2}) e^{2\mu \frac{\pi}{2}}}{1 - \operatorname{Sin} \rho \sqrt{1 - b_1^2} - (1 - \operatorname{Sin} \rho \sqrt{1 - b_2^2}) e^{2\mu \frac{\pi}{2}}}, \quad (4)$$

Максимальное эффективное касательное напряжение в приконтурном массиве выработки определяется по выражению

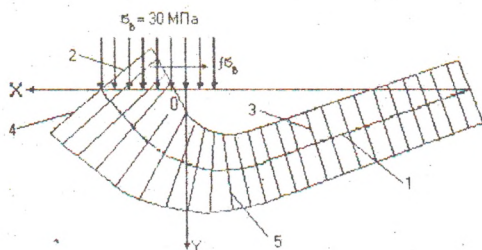
$$\tau_z = - \frac{\mu \sigma_{e1} (1 - \operatorname{Sin} \rho \sqrt{1 - b_1^2})}{1 - \operatorname{Sin} \rho \sqrt{1 - b_1^2} - (1 + \operatorname{Sin} \rho) e^{2\mu \beta}}, \quad (5)$$

Горизонтальные напряжения определяются по выражению [4]

$$\sigma_z = 2 \left(\mu^2 \sigma_{e1} + k \mu - \frac{k + \mu \sigma_{e1}}{\operatorname{Cos} \rho} \sqrt{1 - b_1^2} \right) + \sigma_{e1}, \quad (6)$$

На рис.2 показаны эпюры напряжений τ_z и σ_z для полуплоскости при наличии нагруженной площадки напряжения σ_a (30 МПа) – горного давления на глубине 1000 м и ненагруженной. Это облегченный случай для возникновения трещины в горном массиве. Коэффициент контактного трения на границе принимаем равным коэффициенту внутреннего трения. В данном случае $\mu = 0,47$ ($\rho = 26^\circ$).

Сопоставление полученных значений τ_z (рис. 2) с экспериментальными характеристиками горных пород [5] (например, известняка шахты им. Бажанова для угленосного Донецко–Макеевского района $\sigma_{сж} = 65$ МПа, $\sigma_p = 6,0$ МПа, $k = 10$ МПа, $\rho = 26^\circ$) показывает, что в зажатом горном массиве на глубине 1000 м



1 – траектория МЭКН; 2 и 3 – максимальное и минимальное значения МЭКН (3,8 и 1,4 МПа); 4 и 5 – максимальное и минимальное значения СНН (22,0 и 10,3 МПа)

Рис.2 – Эпюры максимальных эффективных касательных (МЭКН) и горизонтальных сжимающих нормальных (СНН) напряжений

даже при наличии ненагруженного участка не произойдет возникновения трещины. Расчеты показывают, что известняк с указанными свойствами при наличии ненагруженного участка в массиве (что маловероятно) потеряет в зажатом массиве несущую способность на глубине порядка 3500 м. В связи с этим, мы разделяем точку зрения авторов, которые считают, что переход в пластическое состояние изверженных пород на достигнутых глубинах в зажатом сплошном горном массиве вряд ли возможен [7].

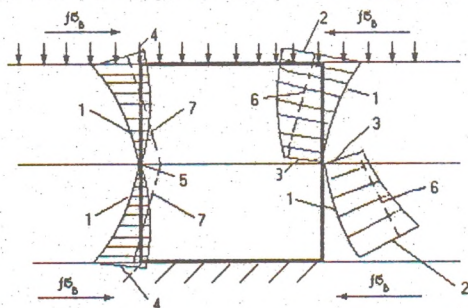
Теперь рассмотрим напряжения в горном массиве вблизи выработанного пространства, например, подготовительной выработки. Принимаем, что текущее значение внешнего трения изменяется по линейному закону по высоте выработки и определяется по формуле

$$f_i = \frac{f_{\max}(h_0 - y_i)}{h_0}, \quad (7)$$

где y_i – текущее значение координаты высоты выработки; h_0 – половина высоты выработки.

При наличии выработки (рис.3) имеют место значения минимальных эффективных касательных напряжений, превышающих прочностные характеристики известняка практически и в зонах, где влияние контактного трения несущественно, а в зонах, примыкающих к потолочине и почве выработки активные растягивающие напряжения превышают прочность известняка на растяжение.

В противоположность этому, если использовать критерий по пределу проч-



1 – траектории МЭКН; 2 и 3 – максимальное и минимальное значения МЭКН (22 МПа и 10 МПа); 4 и 5 – максимальное и минимальное значения НРН (7,2 МПа и 0 МПа); 6 – предел прочности известняка на сдвиг (10 МПа); 7 – предел прочности известняка на растяжение (6,0 МПа)

Рис. 3. Эпюры максимальных эффективных касательных (МЭКН) и нормальных растягивающих (НРН) напряжений:

ности породы на сжатие ($\sigma_{сж} = 65$ Мпа), то можно прийти к выводу, что породы

вблизи выработки будут сохранять на глубине 1000 м ($\sigma_n = 30$ МПа) свою несущую способность. По нашему же критерию $\tau, \geq k$ порода, наоборот, перейдет в состояние разрушения в области потолочины и почвы уже на глубине около 500 м. Разумеется, если выработка проходит в слабых породах (аргиллит, алевролит), потеря несущей способности пород произойдет на малых глубинах, что и наблюдается на практике.

Таким образом, критерий прочности по максимальным эффективным касательным напряжениям является более достоверным средством оценки несущей способности пород вблизи выработок, чем по пределу прочности на сжатие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Барон Л.И. Горно – технологическое породоведение. – М.: Наука, 1977. – 324 с.
2. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1977. – 272 с.
3. Васильев Л.М., Бычков О.Н. Метод расчета напряжений при внедрении плоского штампа в упругий материал, обладающий внешним и внутренним трением // Новые методы разрушения и механика горных пород. – Киев: Наукова думка, 1981. – Сс. 3 – 9.
4. Васильев Л.М., Васильев Д.Л. Концепция расчета горизонтальных напряжений в горном массиве // Геотехническая механика, 5. – Днепрпетровск, ИГТМ НАНУ, 1998. – С. 102 – 108.
5. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975. – 278 с.
6. Широко Г.И. Напряженное состояние горных пород в земной коре. // Бурение глубоких геолого-поисковых скважин на суше и на море. – Л.: Недра, 1965. – С.27 – 32.

УДК 622.648:621.67-5

В.В.Саенко

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНОГО БУСТЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ

Наводиться аналіз можливих діапазонів зміни параметрів відцентрового насоса при керуванні його режимом роботи за допомогою регулюючого струмінного бустера, напор якого забезпечується із напорного трубопровода насоса.

Стабильность и надежность технологии обогащения во многом зависят от насосных агрегатов, подающих гидросмесь в обогатительные аппараты [1,2].

Сегодня в условиях обогатительных предприятий режим работы насосов в зависимости от технологических параметров в процессе эксплуатации ничем не регулируется. Зачастую это приводит к эксплуатации насосов в нерасчетных режимах, что приводит к снижению ресурса оборудования и эффективности технологии.

Для предотвращения кавитации в центробежных насосах и регулирования их работы при частых колебаниях параметров гидросмеси практически единственным способом управления является струйный бустер [3,4].

Струйный бустер позволяет повысить давление потока перед насосом за счет перепуска части расхода из напорного трубопровода. Бустер состоит из задвижки, направляющего насадка и трубопровода. Задвижка предназначена для регулирования режима работы бустера и для отключения его от напорного трубопровода. Задвижку монтируют на отводе от напорного трубопровода. Направляющий насадок помещают во всасывающий трубопровод соосно с ним и направляют в сторону всаса насоса. Срез насадка размещают на расстоянии от