

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ВИБРАЦИОННОМУ ВНЕДРЕНИЮ ИНДЕНТОРА ДЛЯ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ПЛАСТА

Розглянуто питання зміни міцнісних характеристик вугілля, яке знаходиться в напруженому стані при його вібраційному навантаженні. Запропоновано підхід активного керування напружено-деформованим станом привибійної частини вугільного пласта шляхом вібраційного впливу на нього пристроєм, вмонтованим на секції механізованого кріплення.

THE DETERMINATION OF PARAMETERS OF WEAR HARDNESS OF A BENCH COAL TO A PERCUSSIVE INTRUSION INDENTOR FOR ACTIVE CONTROL OF STATE A BENCH

The problem of variation of strength properties of coals, taking place in a state of stress is reviewed at vibration load on them. The approach of fissile of active control of the stress-strained state of the coal seam in its bottomhole formation zone is proposed by percussive affecting on him by the device set on a powered support unit.

Сопrotивляемость горных пород деформациям и разрушению, как реакция на внешние воздействия, находится в зависимости от параметров нагружения. Изменение скорости воздействия, при прочих равных условиях, сопровождается изменением технологических показателей процесса разрушения пород. Показатели прочности и устойчивости пород – сцепление и угол внутреннего трения, зависят не только от их физических свойств, но и от режимов нагружения. Существуют предельные значения сцепления и угла внутреннего трения горной породы, соответствующие предельным статическому и динамическому режимам нагружения. Известно, что с возрастанием скорости деформации породы происходит увеличение сцепления при одновременном уменьшении угла внутреннего трения. Установленные обобщенные закономерности изменения характеристик прочности (сцепления и угла внутреннего трения) при сжатии, а также модуля упругости позволяют оценивать их значения при различных скоростях нагружения по величинам пределов прочности и модулей упругости, определяемым при одноосном статическом сжатии исследуемой породы. С возрастанием скорости деформации происходит увеличение прочностных свойств горных пород, обусловленное отставанием необратимых деформаций от действующих нагрузок. При этом повышение прочности определяется микроструктурой материала и зависит от времени выхода магистральной трещины на поверхность [1, 2].

При вибрационных (повторно-переменных) нагрузках сопротивление горных пород разрушению уменьшается (явление усталости). Это обусловлено тем, что при спаде нагрузки происходит дальнейший рост деформации пород. Причем, предел усталости σ_y тем ниже, чем выше амплитуда действующих напряжений и чем меньше значение коэффициента асимметрии цикла:

$$\gamma_a = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}},$$

где σ_{\min} и σ_{\max} – соответственно минимальные и максимальные напряжения цикла нагружения.

Нашими исследованиями, а также других авторов [1-3] установлено, что в условиях всестороннего сжатия сопротивляемость горных пород одноосным переменным нагрузкам как сжатия, так и растяжения уменьшается, т. е. увеличивается их деформируемость не только от действия технологических переменных нагрузок, но и от горного давления. Кроме того, уменьшается количество циклов нагружения, необходимых для разрушения горной породы.

Модули упругости $E_{сж.дин.}$ всех испытанных пород до десятого цикла нагружения возрастают в среднем на 25 %, а затем резко убывают, снижаясь в момент разрушения примерно на 30 % от начального значения. Изменение коэффициента поперечной деформации $\nu_{сж.дин.}$ идет в обратном порядке – с начальным уменьшением его значений на 25-30 % и последующим возрастанием к моменту разрушения до 40 % [1].

В настоящее время существует множество теорий для расчета прочности горных пород, находящихся в напряженном состоянии. В каждой из них применяются различные критерии разрушения [4-6]. Однако, на данный момент не существует теорий, учитывающих все особенности сложного напряженного состояния пород, поэтому расчет предельных напряжений пока оказывается возможным лишь на основании методов сплошных сред. Многие из них с различными уточнениями достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными по определению напряжений, при которых происходит макроскопическое разрушение. Потеря несущей способности пород в результате вибрационных нагрузок приводит к динамической задаче. Однако, решение динамических упругопластических задач очень сложно с математической точки зрения. Поэтому для оценки развития процесса разрушения исходят из уравнений статики. С учетом определенной корреляции результаты решения приемлемы для оценки распределения напряжений, размеров зон разрушения, неупругих деформаций [7].

При вибрационном (циклическом) воздействии на угольный пласт, находящийся в объемно-напряженном состоянии, изменяются показатели прочности и устойчивости угля, характеризующиеся сцеплением, углом внутреннего трения, а также модулем упругости. Для аналитического обоснования этих показателей при выборе рациональных источников и параметров вибровоздействия в процессе образования шпуров путем внедрения индентора в угольный пласт нами использован критерий прочности Кулона, согласно которому условие разрушения записывается в виде [8]:

$$\sigma_1 \geq 2 \cdot C \cdot ctg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right) + \left(\frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}\right) \cdot \sigma_3, \quad (1)$$

где σ_1 и σ_3 - соответственно максимальное и минимальное главные нормальные напряжения; C - предельное напряжение на сдвиг (сцепление); ρ - угол внутреннего трения.

Для нашего случая σ_1 - это минимальное напряжение сжатия, которое необходимо создать на наконечнике индентора для его внедрения в пласт, а σ_3 - горизонтальная составляющая главного нормального напряжения в угольном пласте:

$$\sigma_3 = K_k \cdot \gamma \cdot H \cdot K_{бок.отп.}, \quad (2)$$

где K_k - коэффициент концентрации напряжений; γH - объемный вес вышележащих пород; $K_{бок.отп.}$ - коэффициент бокового отпора.

Для наших условий K_k возрастает в интервале от 1,15 до 1,4 в зависимости от увеличения крепости угля, а $K_{бок.отп.}$ принимается равным 0,5 [9]. Значение γH берется при $H=1000$ м и составляет 26 МПа.

Критерий Кулона предполагает определение предельных напряжений при статическом нагружении, поэтому для перехода к динамической задаче необходимо ввести в него дополнительные выражения, которые определяют показатели прочности и устойчивости угля в зависимости от скорости нагружения.

Значения показателей прочности и устойчивости угля – сцепления, коэффициента внутреннего трения и модуля упругости, в зависимости от скорости нагружения определяли по результатам одноосного статического испытания углей различной крепости.

Для исследуемых пластов, обрабатываемых механизированными комплексами, ℓ_1^n – Мазур, ℓ_3 – Мазурка, k_7 – Александровский, m_3 – Толстый, k_3 – Дерезовка, k_7^1 – Юльевский, h_3 – Ремовский шахт Центрального района Донбасса эти характеристики изменяются в следующих пределах [10-13]:

– модуль упругости при статическом разрушении $E_{см.} = 0,3 \cdot 10^3 - 2,1 \cdot 10^3$ МПа;

– угол внутреннего трения - $\rho_{см.} = 0,42 - 0,66$ рад;

– сцепление – $C_{см.} = 0,13 - 1,52$ МПа.

При вибрационном внедрении индентора в угольный пласт используются искробезопасные пневматические вибровозбудители. В соответствии с техническими характеристиками вибраторов данного типа частота вибровоздействия изменяется в пределах от 0 до 200 Гц. Данный диапазон частот не способствует повышению опасности при воздействии на напряженный угольный массив, так как, согласно выполненным исследованиям [14-16], возникновение внезапных выбросов угля, породы и газа происходит при собственных колебаниях приконтурной части угольного пласта свыше 200-600 Гц. Вместе с тем, при частотах вибрации порядка 200 Гц, по утверждению авторов тех же работ, возникают

импульсы большой мощности и малой длительности, способствующие развитию густой, но менее глубокой, чем на низких частотах, сети трещин, что позволяет более интенсивно и однородно разрушать массив угля вокруг шпура и облегчить проникновение индентора в глубь пласта. Изменение прочностных характеристик угля – сцепления и угла внутреннего трения, в зависимости от скорости деформации $\dot{\epsilon}$, определяется выражениями [1]:

$$C_{дин.} = (0,11 \ln \dot{\epsilon} - 1,7) \cdot C_{ст.}; \quad (3)$$

$$\rho_{дин.} = (1 - 0,05 \ln \dot{\epsilon}) \cdot \rho_{ст.}, \quad (4)$$

где $C_{дин.}$ и $C_{ст.}$ – предельные напряжения на сдвиг при динамическом и статическом воздействии; $\rho_{дин.}$ и $\rho_{ст.}$ – углы внутреннего трения при динамическом и статическом воздействии; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации угля.

Скорость деформации определяется из выражения:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\sigma_a \cdot Z}{E(\dot{\epsilon})}, \quad (5)$$

где Z - циклическая частота вибровоздействия; $E(\dot{\epsilon})$ - модуль упругости при данной скорости деформации; σ_a - амплитуда нагружения:

$$\sigma_a = \sigma_{max} - \sigma_{cp.},$$

$$\sigma_{cp.} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2},$$

где $\sigma_{cp.}$, σ_{max} и σ_{min} - соответственно среднее, максимальное и минимальное напряжения цикла нагружения.

В нашем случае, когда на индентор действует постоянная статическая нагрузка $\sigma_{ст.}$ и дополнительно накладывается переменная (динамическая) нагрузка $\sigma_{дин.}$, справедливы выражения:

$$\sigma_{max} = \sigma_{дин.} + \sigma_{ст.};$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{ст.},$$

тогда

$$\sigma_a = 1,5\sigma_{дин.}.$$

Выше указывалось, что в момент разрушения от воздействия динамических нагрузок модуль упругости $E_{дин.}$ возрастает в среднем на 25 % от его значения

при статическом нагружении $E_{ст.}$, а при циклическом воздействии усталостный модуль упругости $E_{у.}$ всех горных пород снижается в среднем на 30 %, т. е.:

$$\begin{aligned} E_{дин.} &= 1,25E_{ст.}; \\ E_{у.} &= 0,7E_{ст.} \end{aligned}$$

Аналитическое исследование влияния частоты вибровоздействия на прочностные характеристики углей различной крепости будем производить при динамической нагрузке, равной половине предела прочности на статическое сжатие данного угля, находящегося в объемно-напряженном состоянии:

$$\sigma_{сж.дин.} = 0,5\sigma_{сж.ст.}$$

С учетом всего выше перечисленного, при вибрационном воздействии выражение (5) примет вид:

$$\dot{\epsilon} = \frac{1,07\sigma_{сж.ст.} \cdot Z}{E_{ст.}} \quad (6)$$

Кроме того, в результате испытания образцов различных горных пород [1] установлена зависимость предельных напряжений на сжатие от количества циклов их нагружения, которая для всех пород имеет общую тенденцию и аппроксимируется выражением:

$$\sigma_{сж.у.} = \sigma_{сж.дин.} \cdot (1 - 0,105 \cdot \lg N), \quad (7)$$

где $\sigma_{сж.у.}$ – предельное усталостное напряжение на сжатие (при вибрационном нагружении); N – количество циклов нагружения.

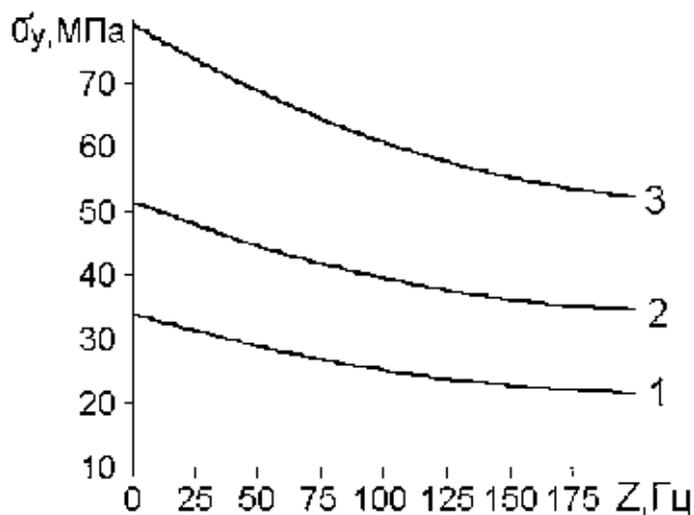
С учетом выражений (2-4, 6 и 7) критерий Кулона (1) преобразуется в критерий для определения предельных усталостных напряжений при вибрационном (циклическом) нагружении:

$$\sigma_{у.} \geq \left[2 \cdot C_{дин.} \cdot ctg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho_{дин.}}{2} \right) + \left(\frac{1 + \sin \rho_{дин.}}{1 - \sin \rho_{дин.}} \right) \cdot K_{к} \cdot \gamma \cdot H \cdot K_{бок.отн.} \right] \cdot (1 - 0,105 \cdot \lg N) \quad (8)$$

При внедрении индентора в угольный пласт можно считать, что в течение короткого промежутка времени $t=1$ с наконечник индентора воздействует на одну и ту же точку пласта, следовательно, количество циклов нагружения на каждую точку будет равно циклической частоте вибровоздействия.

На рисунке 1 показана рассчитанная по формуле (8) зависимость предель-

ных усталостных напряжений углей различной крепости от циклической частоты вибровоздействия (количества циклов нагружения) на пласт. Анализ данной зависимости показывает, что с увеличением частоты вибровоздействия от 0 до 200 Гц предельные напряжения углей снижаются на 30-40%.



1 – мягкие угли; 2 – угли средней крепости; 3 – крепкие угли.

Рис. 1 – Аналитическая зависимость предельных усталостных напряжений углей различной крепости от частоты вибровоздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берон А. И. Свойства горных пород при разных видах и режимах нагружения. – М.: Недра, 1983. – 276 с.
2. Мохначев М. П., Присташ В. В. Динамическая прочность горных пород. – М.: Наука, 1982. – 144 с.
3. Мохначев М. П. Усталость горных пород. – М.: Наука, 1979. – 152 с.
4. Партон В. З., Морозов Е. М. Механика упругопластического разрушения. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
5. Писаренко Г. С., Лебедев А. А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – К.: Наук. думка, 1976. – 415 с.
6. Глушко В. Т., Виноградов В. В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. – М.: Недра, 1982. – 193 с.
7. Виноградов В. В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
8. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
9. Булат А. Ф., Курносов А. Т., Русанцов Ю. А. Управление состоянием предельно напряженного породного массива малоэнергоёмкими воздействиями. – К.: Наук. думка, 1993. – 175 с.
10. Берон А. И., Казанский А. С., Лейбов Б. М., Позин Е. З. Резание угля. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 324 с.
11. Позин Е. З. Сопротивляемость углей разрушению режущими инструментами. – М.: Наука, 1972. – 240 с.
12. Булат А. Ф., Курносов А. Т. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов. – К.: Наук. думка, 1987. – 198 с.
13. Иванов Б. М., Фейт Г. Н., Яновская М. Ф. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов. – М.: Наука, 1979. – 195 с.
14. Потураев В. Н., Минеев С. П. Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов. – К.: Наукова думка, 1992. – 200 с.
15. Зорин А. Н., Колесников В. Г., Минеев С. П. Управление состоянием горного массива. – К.: Наукова думка, 1986. – 212 с.
16. Зорин А. Н., Халимендик Ю. М., Колесников В. Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. – М.: Недра, 2001. – 413 с.