

УДК 539.3:622.831

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНОГО МАССИВА НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ПРИ ЗАКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Ревва В. Н.

(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Запропонований новий підхід до оцінки та прогнозу граничного стану гірничого масиву над виробленим простором при закритті вугільних шахт.

A new approach to evaluation and prediction of the limiting state of rock mass above the worked out area in closing coal mines is proposed.

При закрытии угольных шахт, особенно при их мокрой консервации, весьма актуальным становятся оценка и прогноз устойчивости массива горных пород над выработанным пространством.

Указанные проблемы непосредственно связаны с деформированием и разрушением горных пород, которые в отличие от других твердых тел обладают своими специфическими особенностями, связанными, прежде всего, с дефектностью структуры, неоднородностью среды, присутствием в них различных флюидов и действием в горном массиве объемного неравнокомпонентного поля сжимающих напряжений.

В настоящей работе предложен новый подход, основанный на положениях механики разрушения, к оценке прогноза предельного состояния горного массива над выработанным пространством, который может быть использован для прогноза активизации процесса сдвижения земной поверхности при закрытии угольных шахт. Рассмотрим самый критический, в смысле устойчивости, случай, когда горный массив принимается упругим.

Так как в породах обладающих свойствами пластичности со временем напряжения релаксируют. Ограничимся рассмотрением геостатической модели о напряженно-деформированном состоянии горного массива, частным случаем плоской задачи, согласно которой вертикальное напряжение $\sigma_1 = \gamma H$, а горизонтальное $\sigma_2 = \lambda \gamma H$, где γ – объемный вес пород; H – глубина залегания; k – коэффициент концентрации напряжений 1 вне зоны влияния горной выработки и $k > 1$ – в зоне влияния; λ – коэффициент бокового распора, который для случая упругой среды $\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$; где ν – коэффициент Пуассона.

В рамках плоской модели, в массиве горных пород над выработанным пространством рассмотрим эффективную (интегрально учитывающую множество реальных трещин в массиве) прямолинейную трещину длиной $2l$, ориентированную под углом α к направлению действия преобладающего сжимающего напряжения σ_1 . Вдоль берегов трещины распределены нормальные напряжения P (давление флюида (воды, газа) на стенки трещины). Пренебрегаем влиянием фильтрации флюида через стенки трещины на распределение давления вдоль её берегов (в данном случае учитываем влияние флюида как чисто силового фактора).

Напряженно-деформированное состояние вблизи тупиковой части трещины полностью определяют уровни коэффициентов интенсивности напряжений k_I , k_{II} , k_{III} , соответствующие механизмам разрушения нормального отрыва, поперечного и продольного сдвигов. Для случая плоской деформации $k_{III} = 0$, тогда согласно [1], выражения для k_I и k_{II} имеют вид:

$$\begin{aligned} k_I &= \sqrt{\pi l} [P - \sigma_1 (\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha)], \\ k_{II} &= \frac{1}{2} \sqrt{\pi l} \cdot \sigma_1 (1 - \lambda) \cdot \sin 2\alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Воспользуемся критерием локального разрушения (условие начала распространения трещины) [2].

$$\frac{2E}{1-\nu} \cdot \Gamma - (1 - \nu) \cdot (k_I^2 + k_{II}^2) - k_{III}^2 = 0,$$

А для случая плоской деформации

$$\Gamma = \frac{1-\nu^2}{2E} \cdot (k_I^2 + k_{II}^2), \quad (2)$$

где Γ – эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ) – энергия, необходимая для образования нового элемента поверхности и учитывающая все механизмы разрушения, характеристика трещиностойкости материала (породы); E – модуль деформации.

После подстановки (1) в (2) и соответствующих преобразований получим критериальное соотношение, позволяющее оценить и спрогнозировать предельное состояние горного массива над выработанным пространством, а, следовательно, и возобновление процесса сдвижения земной поверхности при закрытии угольных шахт:

$$\frac{\pi l(1-\nu^2)}{2E} \cdot \left\{ [P - k\gamma H(\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha)]^2 + \frac{(k\gamma H)^2}{4} (1 - \lambda)^2 \sin^2 2\alpha \right\} = \Gamma. \quad (3)$$

Так как мы рассматриваем самую критическую (опасную) ситуацию состояния горного массива, попробуем учесть влияние неоднородности среды, которая существенно уменьшает её трещиностойкость. Для этого воспользуемся критерием локального разрушения для случая, когда трещина расположена на границе раздела различных изотропных упругих сред (слоев) в вид [2].

$$8\Gamma = \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) \cdot k_{III}^2 + \frac{(\mu_1 + \mu_2 \kappa_1) \cdot (\mu_2 + \mu_1 \kappa_2)}{\mu_1 \mu_2 [\mu_2 (\kappa_1 + 1) + \mu_1 (\kappa_2 + 1)]} (k_I^2 + k_{II}^2),$$

$$\text{где } \mu_i = \frac{E_i}{2(1-\nu_i)}, \quad \kappa = 3 - 4\nu_i, \quad (i=1, 2).$$

Тогда условие предельного состояния горного массива принимает вид

$$\frac{\pi l \eta}{8} \left\{ [P - k\gamma H(\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha)]^2 + \frac{(k\gamma H)^2}{4} (1 - \lambda)^2 \sin^2 2\alpha \right\} = \Gamma, \quad (4)$$

где:

$$\eta = \frac{(\mu_1 + \mu_2 \kappa_1) \cdot (\mu_2 + \mu_1 \kappa_2)}{\mu_1 \mu_2 [\mu_2 (\kappa_1 + 1) + \mu_1 (\kappa_2 + 1)]};$$

$$\Gamma = \sqrt{\Gamma_1 \cdot \Gamma_2} = \Gamma_2 \left(\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} \right)^{\frac{1}{2}};$$

Γ_1 и Γ_2 – соответственно меньшая и большая трещиноватость слоев, а для самого критического случая принимается значение ЭПЭ меньше трещиностойкого слоя.

Согласно [1] в условиях объемного неравно компонентного сжатия разрушение горных пород происходит за счет прорастания критически ориентированных сдвиговых трещин, расположенных под углом $\alpha = \frac{1}{2} \text{arcctg} \rho$ к направлению действия преобладающего сжимающего напряжения σ_1 [3], где ρ – коэффициент внутреннего трения.

Таким образом, соотношения (3) и (4) могут быть использованы для разработки способов оценки и прогноза достижения предельного состояния горного массива над выработанным пространством при закрытии угольных шахт.

Поскольку при закрытии угольных шахт предусмотрено чаще всего полное затопление горных выработок и выработанного пространства шахтными водами, происходит увлажнение окружающего массива горных пород, при использовании соотношениями (3) и (4) необходимо так же учитывать влияние воды, как физико-механического фактора, на физико-механические свойства горных пород [4].

Выводы

1. С позиции механики разрушения предложены критерии оценки и прогноза предельного состояния горного массива над выработанным пространством закрываемых угольных шахт, которые учитывают изменение физико-механических свойств, присутствие и влияние флюидов, глубину залегания и трещиностойкость горных пород.

2. Предложенные критерии могут быть использованы для разработки способов оценки и прогноза устойчивости горного массива над выработанным пространством при мокрой консервации угольных шахт.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Алексеев А. Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. [Текст] / А. Д. Алексеев, В. Н. Ревва, Н. А. Рязанцев — К : Наукова думка, 1989. — 168 с.
2. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. — Москва : Наука, 1974. — 460 с.
3. Черепанов Г. П. О развитии трещин в сжатых телах. — Прикладная математика и механика. — Москва : Металлургия, 1966, том 30, С. 82—93.
4. Ревва В. Н. Изменение физико-механических свойств горных пород при водонасыщении в условиях объемного нагружения. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. — Донецьк, 2013. — № 12. — С. 179—189.