

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспятов Г.А., Вылегжсанин В.Н., Золотых С.С. Синергетика выбросоопасной горной среды.- Новосибирск: Наука, Сибирское Отделение, 1996.
2. Мурашев В.И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках //основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа.- Москва: Недра, 1978. с. 141-162.
3. Гурин А.А., Малый П.С., Савенко С.К. Ударные воздушные волны в горных выработках.- Москва: Недра, 1983.

Автор статьи:

Беспятов

Геннадий Александрович

- доктор технических наук, профессор  
кафедры высшей математики

**УДК 622.831**

**В.П. Тациенко, А.В. Песиков**

### **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО МАССИВА И ПРОГНОЗ СТЕПЕНИ УДАРООПАСНОСТИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КОРОТКИМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ**

Для объективной оценки степени удароопасности отдельных участков угольных пластов необходимо определить интенсивность нагрузки в зоне максимального опорного давления и расстояния до этого максимума от края пласта. Прогноз степени удароопасности позволяет, с одной стороны, своевременно применить меры борьбы с ударами на опасных участках, с другой - исключить применение ненужных противоударных мероприятий, а также осуществлять контроль за эффективностью профилактических мероприятий по предупреждению горных ударов.

В настоящее время для оценки степени удароопасности в шахте пользуются различными методами относительной оценки напряженного состояния по показателям, характеризующим степень удароопасности краевой части пласта:

- регистрируемым в процессе бурения скважин: выход буровой мелочи, крупность буровой мелочи, сейсмоакустическая активность;

- регистрируемым при вдавливании пуансона: усилие вдавливания в торец скважины приборами ПСГ (прибор скважинный гидравлический), усилие вдавливания в стенки скважины приборами МГД (многоточечный гидравлический датчик);

- характеризующим физическое состояние угля: влажность, электропроводность, естественный электрический потенциал, естественное электромагнитное излучение.

На рис. 1. приведена принципиальная схема к интерпретации результатов, получаемых различными методами по определению расстояния до максимума опорного давления. По экстремальным значениям того или иного показателя определяется расстояние до максимума зоны опорного давления [1].

Для оценки удароопасности пластов при применении разработанных технологических схем разработки угольных пластов короткими забоями, нами использован метод оценки степени удароопасности по выходу буровой мелочи, который получил наибольшее применение на угольных шахтах Кузбасса наряду с методами оценки по сейсмоакустической активности, крупности буровой мелочи и влажности.

Первая попытка установить связь между количеством выбуриываемого штыба и напряженно-

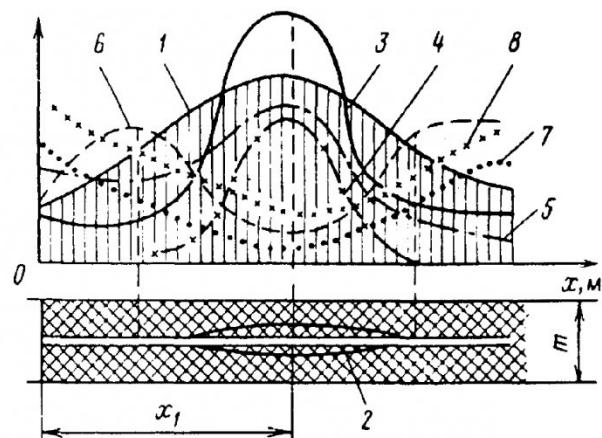


Рис. 1. Схема к определению расстояния до максимума опорного давления: 1 - распределение нагрузок в зоне опорного давления; 2 - область предельного напряженного состояния угля вокруг скважины; 3, 4, 5, 6, 7 и 8 - соответственно выход штыба, сейсмоакустическая активность, крупность штыба, усилие вдавливания пуансона, электропроводность, влажность;  $x_1$  - расстояние до максимума опорного давления

стью участка пласта угля произведена во ВНИМИ под руководством И.М.Петухова.

Задача решалась с учетом того, что скважина бурится в угольный массив, находящийся в гидростатическом напряженном состоянии. Материал вокруг скважины после истечения избыточного штыба пребывает в разрыхленном состоянии. Коэффициент разрыхления достигает максимального значения на контуре скважины и равен единице на границе области неупругих деформаций. Изменение его вдоль радиуса задается по гиперболическому закону. Граница зоны неупругих деформаций находится из условия неизменности массы породы.

Ниже приводится несколько другой подход к оценке напряженного состояния массива по выходу штыба, предложенный П.В. Егоровым и В.А. Покилько [2]. При этом были приняты следующие исходные предпосылки:

1. Напряженное состояние нетронутого массива определяется по гипотезе А.Н.Динника, т.е.

$$\sigma_1 = \gamma H, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_1,$$

здесь  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  - главные напряжения;  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

2. Паспорт прочности аппроксимируется на-  
клонной прямолинейной огибающей кругов Мора.

3. На каждом участке скважины единичной длины размеры области неупругих деформаций не меняются, т.е. плавную границу этой области заменяют ступенчатой. Это не вносит большой по-  
грешности, т.к. известная из практики кривая изменяния объема штыба вдоль скважины довольно пологая. Участок скважины единичной длины на-  
ходится в условиях плоской деформации. Верти-  
кальное давление на каждом участке равно на-  
пряженению на бесконечности, так как мощность пласти много больше диаметра скважины.

4. Выход штыба происходит из области неуп-  
ругих деформаций и из самой скважины.

Соответственно, напряжения в зоне опорного давления определяем следующим образом. Граница области неупругих деформаций имеет форму эллипса. Поэтому объем штыба, вынутого с 1 погонного метра скважины, определяется как

$$V = \pi \cdot a \cdot b \cdot K_p \cdot 100, \quad (1)$$

где  $K_p$  - коэффициент разрыхления  $a, b$  - полуоси эллипса, определяемые из решения К.В. Руппенейта [3]:

$$a = r_c r_o \left[ 1 + \frac{\left| 1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right| \cdot \frac{2 - \sin \rho}{2 \sin \rho} \cdot \frac{\sigma_1}{K}}{2 \left( 1 + \frac{\sigma_2}{2} \cdot \frac{\sigma_1}{K} + \operatorname{ctg} \rho \right)} \right] \quad (2)$$

$$b = r_c r_o \left[ 1 - \frac{\left| 1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right| \cdot \frac{2 - \sin \rho}{2 \sin \rho} \cdot \frac{\sigma_1}{K}}{2 \left( 1 + \frac{\sigma_2}{2} \cdot \frac{\sigma_1}{K} + \operatorname{ctg} \rho \right)} \right] \quad (3)$$

где

$$r_o = \alpha \sqrt{\frac{1 - \sin \rho}{\operatorname{ctg} \rho} \left[ 1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot \frac{\sigma_1}{2} \cdot \frac{1}{K} + \operatorname{ctg} \rho \right]};$$

$$\alpha = \frac{2 \sin \rho}{1 - \sin \rho};$$

$\rho$  - угол внутреннего трения;

$K$  - коэффициент сцепления;

$r_c$  - радиус скважины.

Подставляя значения  $a$  и  $b$  из (2) и (3) в (1), получаем связь между объемом вынутого штыба и напряжениями на бесконечности (4):

$$V = 100 \pi K_p \cdot r_c^2 \left( \frac{1 - \sin \rho}{\operatorname{ctg} \rho} \right)^{\frac{\alpha}{2}} \times$$

$$\times \left( c_1 \frac{\sigma_1}{K} + c_2 \right)^{\frac{2}{\alpha}-2} \cdot \left[ c_3 \left( \frac{\sigma_1}{K} \right)^2 + 2c_1 c_2 \frac{\sigma_1}{K} + c_2^2 \right]$$

$$, \text{ см}^3. \quad (4)$$

Здесь

$$c_1 = 1 + \frac{1 + \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{2}; \quad c_2 = \operatorname{ctg} \rho;$$

$$c_3 = c_1^2 - \left( \frac{1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{2} \cdot \frac{2 - \sin \rho}{2 \sin \rho} \right)^2.$$

На рис. 2 приведена зависимость отношения вертикального напряжения к силе сцепления от объема вынутого штыба при различных углах внутреннего трения и  $\mu=0,25; K_p=1,6; r_c=2,1 \text{ см}$ .

Используемая задача К.В. Руппенейта имеет решение только в случае, когда область неупругих деформаций полностью охватывает контур скважины, т.е.  $b/r \geq 1$ .

Из графиков рис. 2 видно, что вертикальные напряжения в зоне опорного давления можно определить, если выход штыба с 1 погонного метра скважины превышает  $V=2,8 \text{ л}$  для  $\rho=37^\circ$ ;  $V=3,2 \text{ л}$  для  $\rho=30^\circ$  и  $V=3,4 \text{ л}$  для  $\rho=24^\circ$ .

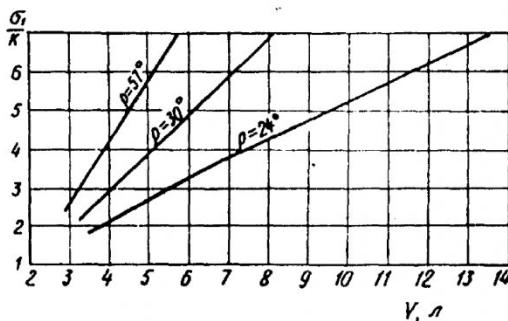


Рис.2. Зависимость отношения  $\sigma_1/K$  от объема вынутого штыба.

Таким образом, предлагаемым методом довольно точно могут быть определены напряжения в зоне максимума опорного давления, что очень важно для решения задач горного дела и, в первую очередь, прогноза степени удароопасности отдельных участков угольных пластов. Для более точной оценки величины максимальных напряжений в зоне опорного давления необходимо, наряду с измерением выхода штыба, определять паспорт прочности угля в условиях проводимых исследований.

Нами разработан способ текущего контроля удароопасности горных выработок. Сущность способа заключается в следующем: после очередной заходки бурят скважину, в которой определяют расстояние до максимума опорного давления через равные промежутки времени и средневзвешенную крепость угольного пласта, после чего рассчитывают напряжение на кромке забоя и в максимуме опорного давления для каждого момента времени. Странят зависимость показателя удароопасности  $D_y$  от расстояния до максимума опорного давления  $X_1$ , по которой определяют критическое расстояние  $X_1^{kp}$ , соответствующее критическому значению показателя удароопасности. Удароопасность участка пласта определяют по соотношению фактического и критического расстояний, при этом выработка считается удароопасной, если фактическое расстояние до максимума опорного давления меньше критического, т.е. выполняется неравенство  $X_1 < X_1^{kp}$ .

Построение зависимости  $D_y=f(X_1)$  требует значительных затрат труда и времени, так как связано с организацией и проведением буровых работ и измерений на различных участках пласта, имеющих различную категорию удароопасности.

Задача упрощается, если для этой цели использовать процесс релаксации напряжений в краевой зоне массива после очередной выемки угля (заходки). С этой целью бурят скважину, в которой определяют расстояние до максимума опорного давления сразу после окончания очередной заходки и через определенные промежутки времени, а также средневзвешенную крепость

пласта. Это связано с тем, что после окончания процесса выемки угля изменяется напряженное состояние массива вследствие релаксации напряжений. Уменьшаются напряжения на кромке пласта и в максимуме опорного давления, увеличивается расстояние до максимума опорного давления. Постоянная релаксации на кромке забоя может составлять  $1,0 \div 1,5$  ч, в максимуме опорного давления -  $3 \div 4$  ч. В результате релаксации максимум напряжений отодвигается вглубь пласта, это позволяет достаточно точно оперативно получить характеристики напряженного состояния пласта. Измерив средневзвешенную крепость пласта и, рассчитав показатель удароопасности, можно получить его зависимость от расстояния до максимума напряжений для данного пласта.

Для расчета показателя удароопасности  $D_y$  предложена расчетная зависимость (5):

$$D_y = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{10X_1}, \text{ МПа/м,} \quad (5)$$

где

$$\sigma_{\max} = \left( \frac{X_1}{I + 1,5f} - \frac{X_1}{I + r_{ob}} \right) \gamma \cdot H, \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{3,6}{1 + f^{-7,28(f-0,75)}}, \text{ МПа;}$$

$X_1$  - расстояние от максимума опорного давления, м;

$f$  - средневзвешенный коэффициент крепости пласта;

$H$  - глубина ведения горных работ, м;

$\gamma$  - удельный вес пород основной кровли;

$r_{ob}$  - шаг обрушения пород основной кровли, м.

Нами экспериментально было установлено, что для условий Кузбасса  $D_y^{kp}=1,0$  МПа. При больших значениях  $D_y$  участок считается удароопасным. Для значения  $D_y^{kp}$  определяется соответствующее  $X_1^{kp}$ .

Прогноз степени удароопасности участка пласта по выходу буровой мелочи осуществляется в следующем порядке. Бурят скважину диаметром  $43 \pm 1$  мм с помощью составных штанг. С каждого метра скважины замеряют выход буровой мелочи и результаты заносят в журнал. Интервал, с которого получен наибольший выход буровой мелочи, определяет максимум опорного давления. Зная расстояние до максимума зоны опорного давления и наибольшее значение выхода буровой мелочи, по nomogramme, представленной в работе [1], определяют категорию удароопасности. При этом глубина бурения скважин для прогноза удароопасности должна быть равна  $n$ , а для оценки эф-

фективности применяемых мер в действующих очистных и подготовительных выработках - не менее  $n+b$  (где  $b$  - подвигание забоя за цикл или за несколько циклов;  $n$  -ширина защитной зоны). В соответствии с нормативными документом [4]

глубина прогнозных шпуров должна составлять не менее ширины защитной зоны, т.е. 5 м или  $1,3n \approx 7$  м на участке, где имеется наложение зон повышенного горного давления от целиков, ЗПГД или другие осложняющие условия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров П.В. Справочное пособие для служб прогноза и предотвращения горных ударов на шахтах и рудниках/ П.В. Егоров, В.В. Иванов, В.В. Дырдин и др. М.: Недра, 1995.-240 с.
2. Похилько В.А. Оценка напряженного состояния угольного массива по выходу штыба при бурении шпуров/ В.А. Похилько, П.В. Егоров// Измерение напряжений в массиве горных пород. Материалы III семинара.- Новосибирск: ИГД СО РАН, 1972.- с. 269-271.
3. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород.- М.: Углетеиздат, 1954.-384 с.
4. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам.- Л.: ВНИМИ, 1988.-119 с.

Авторы статьи:

Тациенко Виктор Прокопьевич - канд. техн. наук, директор по производству ОАО «Компания «Кузбассуголь»	Песиков Андрей Васильевич – аспирант, ведущий инженер по новой технике ОАО «Компания «Кузбассуголь»
---	---