

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.831.001

Г.А.Беспятов

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ГАЗОВОГО ПОТОКА НА ДВИЖЕНИЕ ВЫБРОШЕННОЙ МАССЫ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ВЫБРОСЕ УГЛЯ И ГАЗА

Выбросы, как и многие природные явления, не происходят мгновенно. Они развиваются во времени и в пространстве, представляя собой конечный процесс, для которого характерны следующие стадии: подготовительная, инициированная, протекания и затухания. Все стадии выброса - различные стадии одного сложного явления. Между ними существует не только отличия, но и конкретная причинно-следственная взаимосвязь, обусловленная равенством параметров состояния среды на границах смежных зон и отдельных стадий.

В существующих теориях, объясняющих природу и механизм внезапных выбросов угля и газа в меньшей степени, изучены стадии протекания и затухания выбросов. Нет достаточного описания закономерности процессов, происходящих в этот период в зоне разрушения массива и в атмосфере выработок.

Зачастую разрушение и вынос угля, породы и газа отождествлялись с последствиями выбросов, в связи с чем стадия их протекания рассматривалась как неуправляемый процесс, т.е. явление выбросов в большей мере изучалось как сложное состояние среды, а не как процесс во времени и в пространстве[2,3].

Систему уравнений для стационарного квазиоднородного течения двухфазной среды в каналах переменного сечения можно получить исходя из законов сохранения массы, импульса и энергии:

$$\frac{\partial(C_i \rho_i)}{\partial t} + \nabla(C_i \rho_i U_i) = O \quad (i=1,2) \quad (1)$$

где $i=1$ - параметры для газа; $i=2$ - параметры для твердых частиц

$$\sum_{i=1}^2 C_i \rho_i \frac{dU_i}{dt} = -\nabla \rho + \sum_{i=1}^2 C_i \rho_i F_i \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{U_i^2}{2} + h \right) + \frac{C_2 \rho_2}{C_1 \rho_1} \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{U_1^2}{2} + e_1 + \frac{p_1}{\rho_1} \right) - \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} - (Q_1 + F_1 U_1) - \frac{C_2 \rho_2}{C_1 \rho_1} (Q_2 + F_2 U_2) = O$$

Введем безразмерные переменные:

$$k = \frac{U_2}{U_1}, \gamma = \frac{C_m Q}{C_p T}, \mu = \frac{N_2}{N_1} = const \quad (4)$$

Уравнения (1)-(3) в безразмерных переменных (4) после соответствующих преобразований можно представить в виде:

$$C_i \rho_i U_i S = N_i \quad (5)$$

$$\frac{d}{dx} \left[\left(1 + \mu k \right) U_1 \right] = - \frac{S}{N_1} \frac{dp}{dx} \quad (6)$$

$$(1 + \mu k)^2 \frac{U_1^2}{2} + (1 + \mu \gamma) h = \psi_0 = const \quad (7)$$

$$\frac{dU_2}{dx} = \omega [1 + f(Re)] \frac{1 - k}{k} \quad (8)$$

$$\frac{d\gamma}{dx} = - \frac{\gamma}{h} \frac{dh}{dx} - \frac{\alpha \delta}{C_p U_2 m} \left(\frac{C_p}{C_m} \gamma Q - 1 \right) \quad (9)$$

$$p = \frac{a - 1}{a} \rho \cdot h \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} \left(2 + 0,495 Re^{0,55} \cdot Pr^{0,38} \right) \quad (11)$$

$$Re = \frac{U_1 \delta \rho}{2} (1 - k); \omega = \frac{18 \eta}{\rho_2 S^2} \quad (12)$$

$$C_1 + C_2 = 1, a = \frac{C_p}{C_{\nu_0}}$$

Кроме того, из уравнения (5) следует

$$C = \frac{1}{\left(1 + \frac{\mu \rho_1}{\rho_2 k} \right)} \quad (13)$$

$$\rho = \frac{N_1 \rho_2 k}{S U_1 \rho_2 k - \mu N_1} \quad (14)$$

Исследование приведенной системы уравне-

ний дает возможность определять критические параметры потока гетерогенной среды. Исключая давление p из уравнения движения с помощью (10), (7) и (9), получим [3]:

$$\begin{aligned} & \left[\left(\frac{a}{a-1} C - 1 \right) \frac{2(1+\mu\gamma)U_1^2}{2\psi_0 - (1+\mu k^2)U_1^2} - 1 \right] \frac{C}{U_1} \frac{dU_1}{dx} = \\ & = \frac{1}{S} \frac{dS}{dx} - \frac{\mu C \alpha \delta}{C_p U_2 m} \left(\frac{C_p}{C_m} \gamma Q - 1 \right) - \frac{1}{U_2} \frac{dU_2}{dx} \times \\ & \left\{ \mu k C \left[\left(\frac{aC}{a-1} - k \right) \frac{2U_1^2(1+\mu\gamma)}{2\psi_0 - (1+\mu k^2)U_2} - (1-C) \right] \right\} \end{aligned} \quad (15)$$

Критические параметры, соответствующие особой точке полученного уравнения, будут иметь место, когда коэффициент левой части уравнения (15) обращается в ноль, из этого условия следует:

$$U_1^* = \frac{2\varphi_0}{2 \left(\frac{a^*}{a^*-1} C^* - 1 \right) (1 + \mu\gamma^*) + (1 + \mu k_*^2)} \quad (16)$$

(знаком * помечены значения критических параметров) и с учетом $dU/dx \neq 0$ имеем:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{S^*} \left(\frac{dS}{dx} \right)^* - \frac{C^* \alpha^* \mu}{C_p U_2^* m} \left(\frac{C_p}{C_m} \gamma^* Q^* - 1 \right) + \\ & + \varphi^* \frac{1}{U_2^*} \left(\frac{dU_2}{dx} \right)^* \end{aligned} \quad (17)$$

где

$$\begin{aligned} \varphi^* = \mu k^* C^* & \left(\frac{a^*}{a^*-1} \cdot C - k^* \right) \left(1 + \mu\gamma^* \right) \times \\ & \times \frac{2(U_2^*)^2}{2\psi_0 - (1 + \mu k_*^2)(U_2^*)^2} - (1 - C^*)_0 \end{aligned} \quad (18)$$

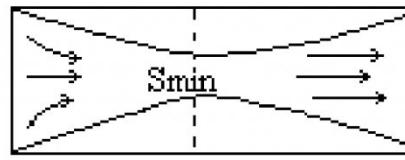
Из соотношения для критической скорости (16) видно, что U^* всегда меньше скорости звука несущей среды (газа). Уравнение (17) может служить для определения места положения критического сечения. Так как $S=S(x)$, то очевидно, что

$\varphi > 0, \frac{dU_2}{dx} > 0$ и $\gamma Q \frac{C_p}{C_m} - 1 > 0$, а следова-

тельно,

$$\left(\frac{dS}{dx} \right)^* > 0,$$

т.е критическое сечение находится в расширяющейся части полости выброса (рисунок) за минимальным сечением по направлению движения потока. Так как скорость звука для газа в критическом сечении еще не достигает, плотность газа будет постоянной. За пределами критического сечения скорость газа достигает скорости звука, что приводит к некоторым аномальным отклоне-



ниям всех параметров потока газа, в том числе и скорости газа, свойственные поведению дозвукового потока в области расширяющейся части полости выброса.

В связи с тем, что поток представляет собой высококонцентрированную гетерогенную смесь, то в соответствии с (17) данная область течения удлиняется за счет перемещения критического сечения дальше по потоку. Поэтому процессы, характеризующие поведение дозвукового потока в расширяющейся части полости, начинают проявляться все более существенно и выражаются в падении скорости газа до некоторого минимума, но в то же время возникает максимум плотности давления и температуры за счет торможения потока.

В результате воздействия кинетической энергии движения газоугольной смеси на рудничный воздух, а также критического давления в переднем фронте волны выброса плотность и давление встречного воздуха скачкообразно возрастают, образуя ударную воздушную волну. Распространяющуюся по горной выработке. Например, при максимально возможной плотности газоугольного потока 1:1, равной 1,4 кг/см³, скорости газовой струи 75 м/с можно создать напор в 1470 кПа. Таким напором можно переместить предмет площадью 1 м², массой 1000 кг, т.е. крупные тяжелые предметы (вагонетки, погрузочные машины и д.р.) могут быть “отброшены” при выбросе на значительное расстояние от забоя.

Вслед за ударной воздушной волной движется поток газовоздушной смеси со скоростью, достигающей десятков метров в секунду.

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-

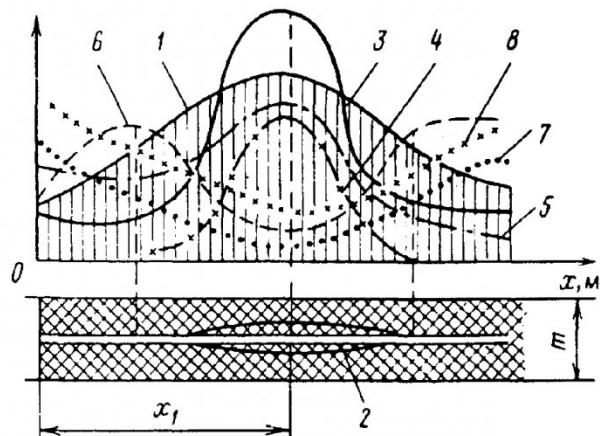


Рис. 1. Схема к определению расстояния до максимума опорного давления: 1 - распределение нагрузок в зоне опорного давления; 2 - область предельного напряженного состояния угля вокруг скважины; 3, 4, 5, 6, 7 и 8 - соответственно выход штыба, сейсмоакустическая активность, крупность штыба, усилие вдавливания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