

К. В. Халкечев, Р. К. Халкечев (Москва, МГГУ). Математическое моделирование техногенных катастроф. I. Фрактальная кластерная модель внезапных выбросов.

Под внезапным выбросом обычно понимают явление, при котором происходит интенсивное разрушение призабойного участка массива и вынос измельченной породы с одновременным выделением значительно большего, по сравнению с обычным количеством газа с образованием характерной полости.

Внезапные выбросы происходят при ведении горных работ в угольных пластах, калийных, каменных и магниевых солях, которые отличаются пониженной прочностью и развитой трещиноватостью. Причем на этих участках наблюдается неравномерная трещиноватость, обусловленная тем, что трещины в солях обладают способностью залечиваться, а в угле они могут схлопываться под действием приложенных сжимающих напряжений.

Эти трещины подразделяются на три группы: радиальные, концентрические и послойные. В группах трещины ориентированы так, что при распространении они обязательно пересекутся.

Имеются различные воззрения на причины возникновения (внезапных выбросов). Одни из них упор делают на газовый фактор — давление газов, заключенных в порах выбросоопасных пород, другие — на горное давление. Все они не могут разрешить следующие противоречия. Не исключение в этом и энергетическая теория [1].

Между давлением газа в пласте или слое породы и его опасностью по внезапным выбросам нет однозначной зависимости. Так, например, в работе [2] указано, что угольные пласты с давлением газа $(25-30) \cdot 10^5$ Н/м² не давали внезапных выбросов, а в пластах с давлением газа $(2-3) \cdot 10^5$ Н/м² выбросы происходили.

Таким образом, неустойчивое состояние, с которым связаны внезапные выбросы пород и газа, необходимо связать с газоносностью, газопроницаемостью и особенностью распространения и соединения трещин одновременно.

Итак, пусть мы имеем заглубленный газоносный пласт угля или слой газоносной соли. В условиях заглубления напряжение состояние пласта постоянной толщины и окружающей породы однородное. Этому состоянию соответствует своя трещиноватость. По мере отработки пласта происходит перераспределение и формирование неоднородного напряженного состояния. При этом у пласта в призабойной части обнаруживают ярко выраженную нелинейность. Это нелинейное поведение связано с процессом схлопывания трещин. Вдали от забоев схлопывание трещин затруднено из-за препятствия со стороны газа, у которого нет свободного выхода выработку. Поэтому закрытие (необязательно полное) одних трещин ведет к образованию или раскрытию других (распространение имеющихся трещин считается равносильным образованию новых). Отсюда для скорости прироста трещин имеем:

$$\frac{dx}{dt} = kx^2, \quad (1)$$

где k — коэффициент пропорциональности. Не нарушая общности, предположим для простоты $k = 1$. Решение уравнения (1) при $k = 1$ имеет вид:

$$x = -\frac{1}{t - c}, \quad \text{при } t > c.$$

Таким образом, количество трещин становится бесконечно большим за конечное время при наличии газа. Но здесь необходимо отметить, что выделившийся газ при этом процессе может не обеспечить достаточного давления для обеспечения неустойчивого разрушения. Для этого необходим еще один механизм преумножения усилий созданных при взрывообразном процессе образования трещин при наличии газа, связанный с газопроницаемостью, внешними проявлениями которой является

газовыделение. В свою очередь, за газопроницаемость ответственен вид конфигураций, образованный в газоносном пласте угля или слое соли соединением пор и трещин друг с другом. Они могут создать условия для просачивания газа из глубины угольного пласта наружу. На языке кластеров мы имеем бесконечный кластер. В противоположном случае газ не имеет возможности просачиваться вдоль всей толщины пласта, что соответствует конечному кластеру. Газовыделение необходимо связывать с соединяющим кластером в горизонтальном направлении или в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Если на момент наблюдения в выработке равномерно по всей плоскости забоя идет газовыделение с произвольной постоянной скоростью, то имеем бесконечный кластер горизонтального или горизонтального и вертикального соединения. По наблюдениям в такой ситуации никаких опасных динамических явлений не происходит.

По мере развития горных работ происходит перераспределение горного давления, ведущее к формированию макроскопического неоднородного поля напряжений, и в при забойной части пласта остаются одна или несколько замкнутых областей, через которые может просачиваться газ в выработку, что соответствует переходу к конечному кластеру. Такой геометрический фазовый переход, как правило, провоцирует внезапный выброс пород или угля. Выброс может произойти практически сразу после геометрического фазового перехода, если область газовыделения соединится с бесконечным кластером вертикального соединения одной магистральной трещиной.

Магистральная газосодержащая трещина начинает смыкаться со стороны забоя в глубь пласта. Создаваемое давление P передается газу в бесконечном кластере вертикального соединения. По закону Паскаля там создается такое же давление. Отсюда

$$F_k = F_t \frac{S_k}{S_t}, \quad (3)$$

где S_t — площадь раскрытия магистральной трещины; S_k — суммарная площадь раскрытия трещин в бесконечном кластере; F_k и F_t — усилия развиваемые в бесконечном кластере и в магистральной трещине соответственно.

Сила F_k во столько раз больше F_t , во сколько раз площадь S_k больше площади S_t . Этот механизм увеличения усилия и обеспечивает внезапный выброс при небольших давлениях газов в пластах. Если на момент наблюдения газовыделение идет через отдельные области в плоскости забоя, то мы имеем конечный кластер. В этом случае по мере распределения горного давления возможен геометрический фазовый переход конечный-бесконечный кластер, который, очевидно, также приводит к внезапному выбросу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ходот В. В.* Внезапные выбросы угля и газа. М.: Гостехиздат, 1961, 359 с.
2. *Комаров В. Б.* Материалы к вопросу о внезапных выделениях гремучего газа и уголекислоты в рудниках и о мерах борьбы с ними. — Горный журнал, 1926, № 3, с. 231–246.