

влияния K в общем случае должен определяться экспериментально, однако в случае совместного деформирования целика и кровли, сложенных одной породой,

$$K = \frac{1}{2} (1 - \nu)^{-1}.$$

Реализация изложенных подходов осуществлена при проектировании отработки мощных гипсовых пластов, ведущейся с целевой подготовкой выработанных пространств.

1. Берг О. Я. К вопросу и прочности и пластичности бетона // Докл. АН СССР. — 1950. — 70, № 4. — С. 945—961.
2. Балавадзе В. К. Новое о прочности и деформативности бетона и железобетона. — Тбилиси : Менияреба. — 1986. — 363 с.
3. Гвоздев А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. — М. : Стройиздат, 1949. — 273 с.
4. Мордухович М. М. Расчет предела прочности горных пород на одноосное сжатие // Механика горн. пород. — 1980. — 32. — С. 84—90.
5. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. — М. : Наука, 1974. — 640 с.
6. Hobbs D. W. A study of the behavior of a broken rock under triaxial compression and its application to mine roadways // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. — 1966. — 3, N 1. — P. 11—13.
7. Кузьменко В. А. Новые схемы деформирования твердых тел. — Киев : Наук. думка, 1973. — 200 с.
8. Мороз Л. С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. — Л. : Машиностроение, 1984. — 224 с.
9. Седоков Л. М. Механические теории прочности. — М. : Изд. Тул. политехн. ин-та, 1975. — 140 с.
10. Курничанский Г. Т., Усаченко Б. М., Хаит М. Д. Модель деформирования и разрушения горных пород // Прикл. механика. — 1986. — 22, № 4. — С. 83—88.

Ин-т геотехн. механики АН Украины,
Днепропетровск

Получено 05.02.92

УДК 622.831.325

Г. А. Шевелев

МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ И ЗАТУХАНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЯ, ПОРОДЫ И ГАЗА

Изложены результаты исследований механизма развития и затухания выбросов. Показано, что выбросы представляют собой саморегулируемый процесс, происходящий в узком диапазоне значений динамических параметров. Обоснованы совокупности силовых, энергетических и структурных критериев, при выполнении которых обеспечиваются условия развития выбросов. При нарушении любого из них развитие выброса прекратится и он затухнет.

Как известно, в выбросоопасных пластах существуют локальные выбросоопасные и невыбросоопасные зоны. Причем отличия их по физико-механическим свойствам и напряженно-деформированному состоянию зачастую прослеживаются весьма слабо, а по отдельным параметрам подобные зоны могут вообще не отличаться между собой. Этим, в частности, объясняется тот факт, что наиболее надежными методами прогноза выбросоопасности являются те, которые базируются на комплексных или интегральных показателях.

В то же время выбросам подвержены не только угольные пласты и залежи соли, но и песчаники, т. е. совершенно разные среды, которые существенно отличаются между собой по структуре, вещественному составу и физико-механическим свойствам. Вместе с тем результаты исследований доказывают, что динамические параметры выбросов практически не зависят ни от массы выбросов, ни от типа горных пород, в которых они происходят. Например

© Г. А. Шевелев, 1993

при выбросах угля, соли, песчаников скорость распространения разрушения по массиву составляет метры в секунду, скорость отброса разрушенной горной массы на порядок выше и равна 20—40 м/с, а средневзвешенная плотность трещин, образующихся в зоне разрушения, составляет 4—10 см⁻¹. Изложенное дает основание считать, что выбросы, независимо от того, в какой среде они происходят, имеют общий механизм и представляют собой саморегулируемый процесс, происходящий в достаточно узком диапазоне значений динамических параметров, несмотря на возможные отличия начальных и граничных условий.

Отсюда следует, что проявление выбросоопасности, механизм развития и затухания выбросов нельзя объяснить лишь параметрами среды, в которой они происходят, без учета динамики процессов, происходящих непосредственно в зоне разрушения во время протекания выбросов, т. е. без учета условий реализации потенциальной энергии напряженного газонасыщенного массива в работу его разрушения и отброса горной массы.

Разрушение среды при выбросах характерно формированием и перемещением по массиву локальной зоны послойного разрушения. В пределах этой зоны, примыкающей к свободной поверхности, природные дефекты под действием сил горного и газового давлений прорастают в систему магистральных трещин, ориентируясь вдоль линий равных напряжений. Причем роль и форма участия горного давления и сжатого газа как силовых и энергетических источников, обеспечивающих работу разрушения и отброса горной массы, на разных стадиях процесса разрушения неодинаковы и могут существенно меняться. Действие горного давления представляет собой проявление внешних сил по отношению к разрушающейся среде, а сжатый газ — это внутренние силы, действующие в объеме разрушающейся среды.

На стадии упругого деформирования под действием сил горного давления формируется поле напряжений. На этой стадии влияние газа проявляется в создании дополнительных растягивающих напряжений, рассредоточенных в объеме структурных дефектов. В запредельном состоянии, когда внутренние напряжения, вызванные силами горного давления, снижаются, силовое действие газа существенно возрастает за счет нарушения сплошности среды и заполнения растущих трещин сжатым газом.

В тот момент, когда зона разрушения теряет свою сплошность, в ней возникают фильтрационные потоки вследствие разности давления газа в подрастающих трещинах и в поровом пространстве смежных с ними слоев. При плотности трещин 4—10 см⁻¹ расстояние между ними составляет 1—2 мм. Столь малый путь фильтрации способствует интенсивному наполнению растущих трещин сжатым газом, т. е. создаются условия для перехода потенциальной энергии газа, рассеянного первоначально в поровом пространстве твердой фазы, в работу разрушения и отброса горной массы. Более того, фильтрационные процессы в зоне разрушения не только отслеживают рост трещин, но и обуславливают их развитие и являются, по сути, единственным механизмом, который обеспечивает самоподдерживающееся разрушение среды со столь низкой скоростью распространения по массиву фронта разрушения.

Выполненные расчеты энергетических параметров выбросов доказывают, что потенциальная энергия сжатого газа, насыщающего поровое пространство выбросоопасной среды, в десятки раз превышает энергию упругого деформирования твердой фазы. Причем наиболее энергоемким процессом оказывается не работа разрушения, а отрыва кусков с поверхности обнажения и сообщения им начальной скорости отброса. В этом можно наглядно убедиться, если сопоставить две цифры. Для разрушения 1 т угля, соли или песчаника до фракционного состава, который наблюдается при выбросах, требуется порядка 100 кДж, тогда как для сообщения им начальной скорости отброса 30 м/с необходимо затратить около 500 кДж, т. е. в 5 раз больше.

Протекание выбросов в атмосфере выработок представляет собой неотъемлемую часть общего механизма этого явления, поскольку между параметрами разрушения и отброса горной массы существует не только прямая, но и обратная взаимосвязь.

При вскрытии трещин на обнаженной поверхности полости выброса (в момент отрыва очередного слоя) сжатый газ, находившийся в этих трещинах, передав количество движения и сообщив начальную скорость твердой фазе, расширяется до барометрического давления и формируется в поток. Скорость его оказывается уже меньше начальной скорости отброса твердых частиц, которые начинают двигаться в спутном потоке по законам внешней баллистики. При соударении со стенками выработки и изменении траекторий движения твердые частицы теряют начальную скорость и начинают осаждаться на почве выработки. В результате частичного пережатия сечения осевшей горной массой возрастает местная скорость газового потока. Только тогда создаются условия для формирования двухфазного (газоугольного или газопородного) потока, который устремляется в образующийся под кровлей выработки канал. При выходе из него скорость струи падает в результате расширения площади поперечного сечения, что вновь приводит к осаждению твердых фракций. При выбросах небольшой массы, когда степень перекрытия поперечного сечения выработки в зоне отброса невелика, двухфазный поток может вообще не сформироваться.

За зоной отброса разрушенной горной массы продолжается напорное движение газозадушной струи. Параметры ее по напору и дебиту соизмеримы с соответствующими параметрами вентиляторов главного проветривания, что может привести к опрокидыванию свежих воздушных потоков и загазированию выработок, нормально проветриваемых свежей струей.

Существует определенная совокупность критериев, при соблюдении которых выполняются условия необходимости и достаточности возникновения и развития выбросов. Данная совокупность включает в себя три группы критериев: силовые, энергетические и структурные. К силовым относятся показатели предельного напряженно-деформированного состояния среды и потери ею устойчивости. Но выполнение данных критериев еще не отвечает условию достаточности, поскольку особенности процесса разрушения при выбросах существенно отличаются от других видов разрушения. К таким особенностям относятся послойное разрушение и его самоподдерживающийся характер. Их можно выразить через структурные показатели зоны разрушения: плотность трещин и их газодинамическая замкнутость. Только при выполнении этих условий обеспечивается возможность перехода потенциальной энергии сжатого газа в кинетическую для совершения работы отрыва и перемещения разрушенной горной массы.

Кроме того, должен выполняться еще один силовой критерий: аэродинамический напор выброса должен превосходить силы сопротивления движению двухфазного потока по горным выработкам. Иначе произойдет рассогласование параметров распространения зоны разрушения по массиву и отброса горной массы в выработку. И, наконец, работа выброса не будет совершена, если энергетический потенциал среды окажется ниже определенного уровня с учетом всех видов диссипации энергии, т. е. должен выполняться энергетический критерий.

Отсюда следует, что для развития выброса необходимо соблюдение ряда условий, при выполнении которых будет обеспечен принцип достаточности. А это значит, что выбросы, по своей природе, представляют частный случай общего состояния среды. Причем нарушение или несоблюдение любого из перечисленных критериев приведет к предотвращению развития выброса и к его затуханию.

К одной из основных причин затухания выбросов относят конечный размер выбросоопасных зон, за пределами которых необходимые условия заведомо не выполняются. Однако размеры выбросоопасных зон могут составлять десятки, даже сотни метров по простиранию и падению пластов, что существенно превышает размеры полостей отдельных выбросов. Нередки случаи, когда выбросы следуют один за другим, так что образующиеся полости смыкаются между собой. Это означает, что конечный характер выбросов нельзя объяснить только конечным размером выбросоопасных зон.

Имеются статистические данные, свидетельствующие о том, что масса выбросов в определенной степени зависит от площади поперечного сечения

выработок. Но выбросы различной массы происходят как в выработках, так и в скважинах. Кроме того, полости нередко имеют грушевидную форму и через устье сравнительно небольших размеров выносятся значительные массы раздробленного угля. К причинам затухания выбросов относят также приобретение полостью устойчивой формы, представляющей в неравнокомпонентном поле напряжений эллипсоид. Неопределенность этого признака обусловлена тем, что указанная форма присуща выбросам различной массы — от нескольких десятков до тысяч тонн.

Форма полостей выбросов отражает не только итог завершившегося разрушения, но и определенные закономерности этого процесса в период его протекания. Если представить контур полостей в виде эллипсоида, то их устье необязательно совпадает с главным сечением. В тех случаях, когда размер поперечного сечения устья полости оказывается больше любого другого ее последующего сечения, это означает, что в данных условиях развитие выброса с момента его возникновения имеет тенденцию к затуханию. В подобных случаях закономерна статистическая взаимосвязь между массой выброса и поперечным сечением выработки, поскольку площадь начального сечения полости, как и условия возникновения выбросов, зависит не только от состояния массива, но и от технологических факторов.

Если полость за устьем расширяется, то это свидетельствует, во-первых, о том, что инициирование выброса происходило не в самых благоприятных для этого условиях, а во-вторых, — на стадии протекания активность процессов разрушения возрастала. Таким образом, образующаяся форма полостей наглядно отражает во времени и в пространстве изменение активности развития выбросов. Приобретение полостью устойчивой формы является не столько причиной, сколько следствием затухания процесса.

Очевидно, чем дольше в массиве будут выполняться необходимые и достаточные условия развития выброса, тем больше будет масса выброса. Если же необходимые условия развития выброса выражены слабо или начнет нарушаться хотя бы одно из них, самоподдерживающееся разрушение массива быстро прекратится и выброс затухнет.

Большинство из общей совокупности критериев отражает условия разрушения среды в массиве. Взаимосвязь между процессами разрушения и отброса выражена единственным силовым критерием движения двухфазного потока.

В начальный период развития выбросов или при выбросах небольшой массы данный критерий заведомо выполняется, поскольку выработка свободна и силы сопротивления движению двухфазного потока выброса гораздо меньше усилий, развиваемых в зоне разрушения.

Но по мере протекания выброса и формирования зоны отброса поперечное сечение выработки пережимается разрушенной горной массой. Сопротивление движению двухфазного потока существенно возрастает, давление газа в полости выброса увеличивается и становится соизмеримым с давлением в трещинах, образующихся в зоне разрушения. Именно это в конечном итоге приведет к прекращению выброса даже при самых благоприятных условиях самоподдерживающегося распространения волны разрушения в массиве, т. е. нарушение критерия, выражающего взаимосвязь между условиями распространения волн разрушения и отброса, является ответственным за конечный характер выбросов большой массы.

Обобщая изложенные данные, следует выделить три группы природных факторов, обуславливающих конечный характер процесса выброса и соответственно причины его затухания. Первая из них — изменчивость свойств, структуры, состояния среды в массиве. Вторая группа отражает закономерность выброса как процесса и нарушение условий его протекания в массиве. Третья группа аналогична предыдущей, но относится к условиям протекания выбросов в атмосфере выработок. Непосредственной причиной затухания выброса может быть любая из них в зависимости от конкретных условий.