

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.02

В. С. Зыков, С. И. Денисенко, С. Е Трусов, В. В. Славолюбов

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЗОЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗА ВЫБРОСООПАСНОСТЬЮ

В настоящее время большинство исследователей, работающих по проблеме борьбы с внезапными выбросами угля и газа, придерживаются энергетической теории внезапных выбросов. В то же время многими начало выброса рассматривается как быстрый отжим угля из массива в выработку, происходящий при превышении равнодействующей активных сил над равнодействующей пассивных сил в призабойной части массива. При строгом подходе нужно сопоставлять не равнодействующие сил, а энергию призабойного массива и необходимую работу по перемещению угля.

Если забой находится в спокойном состоянии, т. е. никакого физического воздействия на него не оказывается, быстрый отжим практически невозможен, так как для перемещения значительной массы прилежащего к забою угля необходима значительная энергия. В то же время, если активная сила несколько превысит пассивную и появится некоторая небольшая потенциальная энергия, то она тут же перейдет в кинетическую энергию за счет мизерного смещения массы угля. Активная сила в результате тут же снизится на небольшую величину ее превышения над пассивной силой из-за увеличения зияния трещин и снижения в них давления свободного газа. Но при этом увеличится десорбция газа в эти трещины, давление газа восстановится, и активная сила вновь превысит пассивную, однако снова произойдет смещение, и она снизится.

На практике такой процесс на значительных глубинах при достаточно большом давлении свободного газа в трещинах присутствует в массиве почти всегда. Однако к внезапному выбросу он не приводит. Это подтверждается практикой. Если при внедрении в массив (отбойке угля в забое, бурении скважин, гидроотжиме и т. д.) выброса не происходит, то его, как правило, не происходит и после окончания выемки, за исключением единичных зафиксированных на практике так называемых «запоздалых» выбросов, когда явление начинается несколько позже процесса отбойки угля. Анализ прошедших выбросов показывает, что почти во всех случаях выброс начинается именно в момент внедрения в массив и создания новой обнаженной поверхности.

Классическое сложение сил в их равнодействующую происходит в случае, если эти силы воздействуют на абсолютно твердое тело. Часть массива, которую мы рассматриваем, таковой не является. Это трещиновато-пористое тело, которое обладает упругими и пластическими свойствами и в котором постоянно происходят деформации. Поэтому здесь говорить о сложении сил в равнодействующую можно лишь с определенным допущением. При этом надо учитывать, что в физическом теле с такой структурой происходят локальные смещения там, где активная сила превышает пассивную. Очевидно, этот процесс (прорастание трещин) идет постоян-

но во всей зоне влияния выработки. В наибольшей степени он происходит там, где массив уже существенно разгружен от горного и газового давления, но при этом сохраняется высоким давление газа. В то же время в результате прорастания трещины и падения в ней давления газа она вновь может сжаться на какую-то величину под воздействием более высокой активной силы в соседней трещине, хотя в целом по мере разгрузки массива трещины будут расти за счет смещения плоскости забоя в выработку. В непосредственной близости от забоя массив сильно дегазирован и разгружен от горного и газового давления. Трещины имеют максимальное зияние, соответственно активная сила в этих трещинах близка к нулю. Поэтому прилежащая к забою зона инертна. Она демптирует действие активных сил, которые приложены к рассматриваемой части массива на большей глубине. Это является еще одной причиной, по которой внезапный выброс не может начаться при отсутствии работ по выемке угля в забое.

Выполненные в КузГТУ под руководством В. Н. Пузрева исследованиями установлен возникающий в массиве впереди очистной выработки вследствие низкочастотных колебаний консоли кровли при ее обрушении эффект «гистерезиса сорбции» метана углем, приводящий к увеличению давления свободного газа в призабойной части пласта. Заполненные свободным газом трещины также подвержены колебательному процессу в результате пооче-

редного расширения (при увеличении активной силы до величины выше пассивной) и сжатия (при падении давления газа в трещине после ее расширения). Причем эти колебания для трещин со значительным зиянием должны быть низкочастотными, поскольку процесс их расширения и сжатия, по-видимому, обладает значительной инертностью. А значит, в окрестности забоя любой, в том числе подготовительной, выработки также может происходить процесс «гистерезиса сорбции» метана углем. Существенное значение он может приобретать только в тектонически нарушенных высокогазоносных углях, характеризующихся активными сорбционными процессами.

Таким образом, в призабойной части массива постоянно происходят фильтрация газа в выработку, рост трещин в колебательном режиме и, очевидно, «гистерезис сорбции» метана углем. Поэтому присутствуют одновременно процессы падения давления свободного газа за счет его перетекания в выработку и его повышения в результате «гистерезиса сорбции» метана. Конечно, вблизи забоя снижение давления свободного газа превалирует над его ростом вследствие высокой проницаемости граничащей с забоем зоны. Но по мере удаления в массив относительная величина снижения давления газа становится все меньше за счет затухания процесса фильтрации в сторону выработки, а относительное его увеличение, наоборот, становится все больше в связи с активизацией процесса «гистерезиса сорбции» с ростом метаноносности в глубь массива. Благодаря частичному восстановлению давления свободного газа за счет «гистерезиса сорбции» сохраняется высокий градиент газового давления в призабойной части массива в нарушенном угле.

В результате постоянного преимущественного развития

квазипараллельных плоскости забоя трещин в призабойной части массива в тектонически нарушенных пачках угольного пласта образуется супермного-слойная система с находящимся между слоями свободным газом под давлением. Градиент давления газа резко повышается в глубь массива.

Благодаря описанным процессам призабойная часть массива постоянно находится в «живом», динамичном состоянии. Кинетическая энергия смещений массива и энергия сорбции метана переходят в потенциальную энергию нарушенной пачки или совокупности пачек массива. К ней как нельзя лучше подходит применяемый при текущем прогнозе выбросоопасности термин «потенциально выбросоопасная пачка угля».

Происходящие процессы можно обозначить термином «энергонасыщение» призабойной части массива «энергией внезапного выброса». Чем в большей степени произойдет подзарядка, то есть чем большее число трещин раскроется и «насытится» газом под высоким давлением, тем более выражены будут все стадии внезапного выброса угля и газа, если он произойдет.

Изложенные представления, если принять к учету некоторые практические наблюдения, сталкиваются с новым взглядом на процесс возникновения выбросоопасной ситуации. Из опыта разработки выбросоопасных угольных пластов в Донбассе известны случаи, когда внезапный выброс возникал при бурении опережающих забой шпуров диаметром 42 мм (в том числе и контрольных шпуров для текущего прогноза выбросоопасности). Эти случаи вызывали удивление исследователей, поскольку влияние такого шпурра на призабойную часть массива минимальное, сравнимое с уколом иглой. Но если применить для объяснения данных случаев изложенные выше представления, то можно прий-

ти к следующему. При «энергонасыщении» тектонически нарушенных структур угля в призабойной части массива в результате постоянных деформаций, образования квазипараллельных забоя трещин и проявления эффекта «гистерезиса сорбции» метана в определенный момент происходит качественное изменение (можно назвать качественным «скачком»), в результате которого массив переходит в новое состояние – состояние готовности к внезапному выбросу. В результате пресыщения энергией он как бы «перевозбужден», и малейшее воздействие на него, в данном случае, бурение шпура даже самого малого диаметра, способно привести к обратной реакции в виде внезапного выброса угля и газа. Последнее можно уподобить уколу воздушного шарика иглой. Шарик уже надут и, если ткнуть в него иглой, то он обязательно лопнет.

Если принять такое объяснение, то возникает ощущение невозможности предотвращения внезапного выброса угля и газа, а в некоторых исключительных случаях даже и невозможности прогнозирования выбросоопасной ситуации, поскольку создание любой опережающей забой полости для профилактических мероприятий, в том числе шпура малого диаметра для прогноза может вызвать выброс.

Но неразрешимой ситуации здесь нет. Нужно предвидеть возможность качественного перехода массива в выбросоопасное состояние и воздействовать заранее на его свойства так, чтобы не допустить этого процесса.

С изложенными выше перекликаются результаты исследований, описанные в [1,2]. Так, в [2] говорится об «... особых свойствах выбросоопасных участков (зон) угольного пласта и прилежащего к нему породного массива: они напряжены, причем энергию деформации несут все макро- и микросоставляющие угольно-породного массива».

ва. Энергия этих деформаций аккумулируется на всех этапах геологического развития угленосной толщи и сохраняется (не релаксируя) на молекулярном и надмолекулярном уровнях в органической части системы «уголь-газ», а также в окрестностях различного рода дефектов... В результате энергетически насыщенная система при нарушении термодинамического равновесия, обусловленного техногенным воздействием, разрушается, выделяя не только свободный газ, но и газ растворенный и вновь образованный. ...».

Следует обратить внимание, что в указанных работах говорится о том, что как геотектонические, так и техногенные воздействия на угольный пласт влияют не только на газонапряженно-деформированное состояние пласта, но и стимулируют процессы деструкции межатомных и межмолекулярных связей, что обуславливает появление источников газообразования механохимической природы дополнительно к сорбционным. Это вполне возможно, учитывая очень высокий уровень энергонасыщения массива в окрестности забоя в потенциально выбросоопасных зонах угольных пластов.

Изложенные представления нуждаются в экспериментальной проверке. Если они верны, то могут оказаться большое влияние на развитие методов прогноза и способов предотвращения внезапных выбросов.

Возможность проведения такой проверки обусловливается тем, что насыщенный «энергией внезапного выброса» массив должен излучать ее в значительно большем количестве, чем невыбросоопасный. В таком случае имеет смысл разработка метода оценки этого энергетического уровня. Создание такого метода может опровергнуть сформировавшееся мнение, которого придерживался и автор, о том, что прогноз выбросоопасности должен учи-

тывать как можно большее число параметров, характеризующих свойства массива, влияющие на его выбросоопасность. В методе может использоваться кардинально новый подход к выявлению выбросоопасных зон, заключающийся в оценке выбросоопасности массива по критерию его энергетического состояния. Тактика применения этого метода должна заключаться в своевременной регистрации перехода призабойной части угольного массива на новый энергетический уровень, при котором появляется угроза развязывания внезапного выброса угля и газа. При превышении критического уровня должен подаваться сигнал об опасности и приниматься необходимые меры по предотвращению ее проявления.

Метод может быть, например, основан на измерении определенных электромагнитных или акустических характеристик призабойной части массива как при воздействии на массив, так и при его отсутствии.

В НЦ ВостНИИ для создания такого метода проведены первые исследования зависимости параметров ЭМИ от газодинамической опасности зон пласта на шахтах ОАО «Беловоуголь». Для определения параметров активности ЭМИ использовалась аппаратура ВОЛНА. Выходные параметры аппаратуры - среднее число импульсов за время регистрации N_{cp} и показатель B соотношения сильных и слабых импульсов в потоке излучения, которые автоматически определялись прибором из следующих формул:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n-1} \text{ имп./мин; } (1)$$

$$B = \frac{\sum_{i=0}^n \beta_i}{n-2} \text{ рад, } (2)$$

где N_i – количество импульсов на i -том канале регистрации; n – общее количество каналов регистрации; β_i – показатель

снижения числа импульсов при переходе от i -того канала регистрации к каналу ($i+1$) с более высоким коэффициентом усиления, определяемый выражением:

$$\beta_i = \operatorname{arctg} \frac{N_{i+1} - N_i}{\Delta G} \text{ рад. } (3)$$

По значениям N_{cp} и B при проведении экспериментальных исследований в шахтных условиях рассчитывался показатель активности электромагнитного излучения (ЭМИ):

$$A_{cp} = N_{cp}(B+1) \text{ имп/мин. } (4)$$

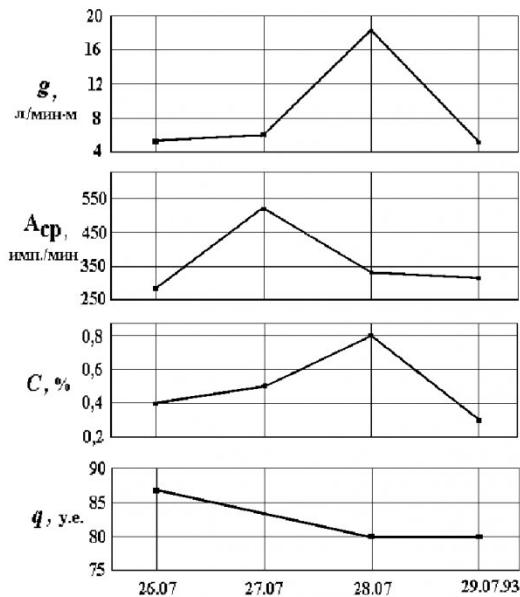
В экспериментальных исследованиях при оценке опасности по газодинамическим явлениям зон, в которых проводились выработки, учитывались следующие их характеристики: начальная скорость газовыделения из контрольных шпуров g (максимальное для выполненного цикла замеров значение); показатель активности электромагнитного излучения A_{cp} ; максимальная концентрация метана при отбойке угля C ; прочность угля q , измеренная прочностномером П-1. Измерения производились в выработках ниже критической выбросоопасной глубины, проводимых проходческими комбайнами избирательного действия ГПК. Сопоставительные результаты приведены на рисунке. Согласно нормативам, зона считается выбросоопасной, если $g_{Hmax} \geq 4$ л/мин. Из рисунка видно, что параметр A_{cp} реагирует на приближение к выбросоопасной зоне раньше других рассматриваемых параметров.

Исходя из результатов экспериментальных исследований, для установления приближения забоя к участку пласта с потенциально выбросоопасной структурой угля или к выбросоопасной зоне следует определять показатель

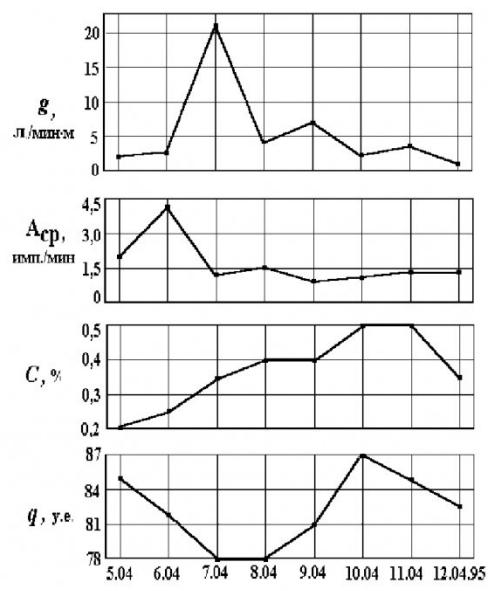
$$n_A = \frac{A}{A'}, \quad (5)$$

где A – значение активности ЭМИ, полученное в настоящем

Конвейерный штрек 416, шахта «Новая»



Вентиляционный штрек 414, шахта «Чертинская»



Сопоставительные графики изменения характеристик выбросоопасности в исследуемых зонах пластов

цикле прогноза, имп/мин; A' – тот же параметр в предыдущем цикле прогноза.

Если забой на момент резкого роста n_A находится в ненарушенной зоне пласта, то, скорее всего, впереди забоя имеется тектоническое нарушение. Если в сечении забоя уже имеется нарушенный уголь, то вероятен вход его в выбросоопасную зону.

Экспериментальными исследованиями установлено:

- по критерию n_A приближение к выбросоопасной зоне обнаруживается даже раньше, чем с помощью опережающих контрольных шпуров;

- контроль за состоянием массива по показателю n_A по-

зывает своевременно установить приближение забоя к границе между ненарушенным участком пласта и участком, на котором имеется тектонически нарушенная (потенциально выбросоопасная) структура.

Эти результаты имеют большое значение и, по-видимому, подтверждают изложенные выше представления о формировании выбросоопасной ситуации. Начало энергонасыщения призабойной части массива сопровождается повышением активности ЭМИ. И только когда сформируется выраженная многослойная система трещин с достаточно большими запасами газа под высоким давлением, то при пересечении ее контрольными шпурами проис-

ходит интенсивное газовыделение и микровыбросы в шпур, что и регистрируется при измерении начальной скорости газовыделения из интервалов шпуров.

Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о перспективе использования измерений активности ЭМИ для надежной и оперативной оценки выбросоопасности в забое выработки.

Очевидно, для получения более точных результатов оценки выбросоопасности измерение параметров ЭМИ должно дополняться определением дополнительных характеристик выбросоопасности призабойного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролков Г.Д., Малова Г.В., Фролков А.Г. О влиянии напряженно-деформированного состояния угольного пласта на структуру органической массы и газовыделения при внезапных выбросах угля и газа // Научно-техническая программа «Уголь-выброс»: Препринт Северо-Кавказского научного центра высшей школы. – 1992. – 16 с.
2. Лосев Н.Ф., Труфанов В.Н., Смирнов Б.В., Фролков Г.Д. Процессы и явления, формирующие и сопровождающие выбросы угля и газа // Научно-техническая программа «Уголь-выброс»: Препринт Северо-Кавказского научного центра высшей школы. – 1994. – вып. 13. – 24 с.

□ Авторы статьи:

Зыков

Виктор Семенович

- докт. техн. наук, проф.,
зав. каф. маркшейдерско-
го дела и геодезии

Денисенко

Сергей Иванович

- канд. техн. наук, ген.
директор ОАО «Угольная
компания «Кузбассуголь»

Трусов

Сергей Ефимович

- главный инженер ОАО
«Шахта «Первомайская».

Славолюбов

Виктор Владимирович

- канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
НЦ ВостНИИ