

УДК 622.831.322

В. И. Николин, доктор техн. наук,

С. В. Подкопаев, доктор техн. наук,

О. Г. Худолей, канд. техн. наук

(ДонНТУ)

Внезапные выбросы угля (породы) и газа: теория, опыт, практика

Рассмотрена проблема опасности внезапных выбросов угля (породы) и газа: прогноз, способы предотвращения, природа разрушения углепородных массивов при разгрузке.

Решение проблемы выбросов угля и газа приходится на начало 60-х годов прошлого века.

В 1952 г академик А. А. Скочинский впервые отметил: «Газ, горное давление и физико – механические свойства – таковы три фактора, совокупно обуславливающие склонность пластов угля к внезапным выбросам» [1].

В монографии о выбросах угля и газа на шахтах Донбасса [2] описаны способы разработки, при которых происходили внезапные выбросы угля и газа в 1948 – 1952 гг.

Еще в 30-е годы прошлого века проф. В. А. Биленко, называвший проблему «Внезапные выделения газа...», предлагал использовать на отечественных шахтах лучшие, подтвержденные практикой решения при разработке опасных по внезапным выбросам угля и газа пластов [3].

В работах [4, 5] описаны как применяемые за рубежом способы прогноза выбросоопасности и предотвращения выбросов угля и газа, так и новые способы, основанные на детальном изучении геомеханических закономерностей природы выбросоопасности, механизма выбросов угля и газа.

В работах [6, 7, 8] уточнено понятие сущности выброса угля (породы) и газа. Было определено, что выброс угля – это быстропроисходящее разрушение призабойной части пласта, возникающее при перераспределении

напряжений во время выемки угля (породы призабойной части пласта), распространяющееся от забоя в глубину массива, сопровождающееся отбросом, иногда на сотни метров, разрушенного до тонких фракций угля (породы), как правило, содержащих «бешенную муку», повышенным по сравнению с обычным газовыделением и образованием в угольном (породном) массиве полостей нередко причудливой формы. Таким образом, выброс – это лавинообразное, самоподдерживающееся разрушение, *которое заключается в последовательном отрыве тонких пластин газоносного угля и выносе их по ранее пройденным выработкам в псевдооживленном газугольном потоке.*

Из ранее разработанных за рубежом и успешно применявшихся способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа могут быть критически заимствованы два: первоочередная отработка защитных пластов и бурение опережающих скважин.

По первому способу специалистами ДонНТУ существенно уточнены параметры: влияние состава пород между пластами, особенно известняка, и опасность обрушений, к которым приводит первоочередная отработка защитных пластов из-за расслоения пород [8, 9]. Следовательно, заимствован может быть только подход к первоочередной отработке защитных, т. е. менее выбросоопасных пластов.

Что касается второго способа, то экспериментально многократно и убедительно доказана вредность его использования из-за опасности применения бурения опережающих скважин, по не менее чем по трем причинам.

Во-первых, нормативный, рекомендованный ранее Правилам безопасности (ПБ) способ измерения радиуса эффективного влияния опережающих скважин $R_{эф}$, основанный на измерении давления газов, оказался нереальным и ошибочным [6,9].

Во-вторых, бурение и даже разбуривание опережающих скважин часто сопровождается внезапными выбросами, что очень опасно. К началу

90-х годов прошлого века их было зарегистрировано на шахтах Донбасса 198, многие из них сопровождались травмами со смертельным исходом [10].

В-третьих, в реально выбросоопасных зонах $R_{эф}$ уменьшается до *сантиметров*.

Почти 30 лет тому назад специалистами ДонНТУ был сделан вывод о том, что «если участок шахтопласта не является потенциально выбросоопасным, то ни створы, ни наложение створов, ни выход из зон повышенного горного давления не создают аварийную ситуацию» [6].

Многих зарубежных и отечественных известных ученых интересовало, существует ли зависимость выбросоопасности от марок углей. Во второй половине прошлого века ученые И. В. Бобров и др. утверждали, что ее нет. Позже исследования, выполненные специалистами ДонНТУ и ИГТМ НАН Украины, доказали ошибочность такого мнения. Была установлена и стала нормативной зависимость выбросоопасности угольных пластов и песчаников от степени метаморфизма органических веществ (рис. 1), эта зависимость оценивается нами как фундаментальная [6,7,10,11].

Одновременно с доказанной зависимостью выбросоопасности от степени метаморфизма органических веществ ДонНТУ была экспериментально определена и зависимость глубины разгруженной зоны l_p призабойной части пласта, измеряемая по динамике газовыделения.

Учитывая первостепенную значимость геомеханических процессов в формировании потенциальной выбросоопасности, следует отдать должное геомеханике горных пород – науке, способной объяснить предстоящие процессы изменения напряженно – деформированного состояния разных участков земной коры: ее твердой, жидкой и газообразной фаз. Необходимо рассматривать и происходящие при этом нанопроцессы, обусловленные в том числе возникновением и развитием, кроме упругих деформаций, еще и деформаций генетического возврата, сопровождающихся изменением структуры порового объема, в том числе увеличением объема пор до размеров более 10^{-7} м.

В конце прошлого начале нынешнего веков на шахтах Донбасса успешно применяли разработанные специалистами ДонНТУ или при их участии разгрузочные пазы, разгрузочные щели по длине лавы, способы прогнозирования степени выбросоопасности песчаников, ограничения развития (локализации) выбросов песчаников и газа, возведения заградительных канатных перемычек, оптимизация параметров буровзрывных работ, проведение по выбросоопасным песчаникам опережающих выработок уменьшенного сечения.

Для стимулирования исследований по проблеме выбросов угля (породы) и газа на горном факультете ДонНТУ была создана специализированная отраслевая лаборатория. За разработку и внедрение способа предотвращения выбросов в особо сложных условиях сотрудники ДПИ совместно с учеными МакНИИ в 1997 г. были удостоены Минуглепромом СССР премии им. академика А. А. Скочинского.

Способ для предотвращения выбросов угля и газа, основанный на измерении динамики газовыделения, имеет очень существенный недостаток, связанный с человеческим фактором. Исполнитель, технический работник, не производящий соответствующий замер, может записать любой результат. Чтобы исключить такие случаи специалисты ДонНТУ и МакНИИ разработали новый способ (полезная модель №48284) [12].

Принципиальная сущность этого способа и шахтных горно-экспериментальных работ, выполненных в 2009 – 2010 гг. в третьей восточной лаве пласта m_3 шахты «Щегловская – Глубокая» на глубине 1220 м состояла в следующем.

Бурили два шпура в нижней нише и один в нижней части лавы на расстоянии не более 5 м от ниши (рис. 2).

Бурили шпуры поинтервально: первый интервал составлял 1,0 м, далее через каждые 0,5 м. После каждого интервала бурения прибором ПГ-2МА измеряли начальную скорость газовыделения. Прекращение ее

увеличения означало окончание безопасной зоны разгрузки l_p . Затем рассчитывали безопасную глубину выемки l_g , по формуле

$$l_g = l_p - 1,3 \text{ м.} \quad (1)$$

В 2009 – 2010 гг для глубины более 1000 м формула (1) была уточнена до значения

$$l_g = l_p - 0,5 \text{ м.} \quad (2)$$

Энергию акустического сигнала (АЭ) измеряли при бурении шпуров только в безопасной зоне разгрузки. Измерения и толкование энергии акустического сигнала выполняли сотрудники МакНИИ.

По динамике газовыделения в нише и нижней части лавы определялась l_p (таблица)

Шпур	Глубина разгрузки l_p , м						Среднее значение, м
1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	–	2,1
2	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	2,5
3	3,0	3,5	3,5	3,0	–	–	3,2

Сравнительно ограниченное число измерений не позволяет даже в среднем оценить полученные результаты, но нами был предложен способ, названный технолого-статистическим. Он основан на известном положении механики горных пород о том, что в нижней нише в окрестности шпура 1 разгруженная (отжатая) часть пласта минимальна. По мере передвижения вверх по лаве она возрастает, но как и насколько в конкретных горно-геологических условиях неизвестно. Эта закономерность ранее рассматривалась в работах [1,5,6,9,10]. В условиях проведения экспериментов измерениями динамики газовыделения она вполне подтверждается: в шпуре 1 четыре раза по 2,0 и один раз 2,5 м (средняя

глубина 2,1); в шпуре 2 – четыре раза по 2,5 м, по одному разу 3 м и 2 м (средняя глубина 2,5 м); в шпуре 3 – два раза по 3 м и один 3,5 м (средняя глубина 3,2 м). В целом от нижней ниши в сторону восстания лавы 2,1 – 2,5 – 3,2 м.

Следовательно, l_6 в шпуре 1 ни в одном случае не была больше измеренной в шпуре 2, а в шпуре 2 в четырех из шести случаев она оказывалась на 0,5 м больше, чем в шпуре 1. Именно это положение (см. таблицу) как прогнозное объясняется развитием наряду с упругими также деформациями генетического возврата, т.е. тем же отжимом, толкование которого может быть неоднозначным.

Безопасная глубина выемки в шпуре 3 (лава) оказалась на 0,5 м больше, чем в шпуре 2 нижней ниши, что доказывает нецелесообразность на глубинах более 1000 м контроля выбросоопасности в лаве выше нижней ниши и, конечно, необходимость продолжения экспериментальных исследований [12, 13].

Многолетние представления практически всех ученых о возможности разрушения твердых тел только при увеличении или при длительном действии нагрузок были нарушены в 40-50-е годы прошлого столетия, когда американский ученый П. Бриджмен экспериментально в лабораторных условиях *случайно* обнаружил разрушение образцов горных пород при разгрузке. Оно проявилось в разделении породных цилиндров, которое испытывали в установках для объемного (трехосного) сжатия, на диски («вафли»), плоскости которых были перпендикулярны направлению максимальных напряжений.

Опыты проводили на установках, позволяющих создавать трехосное неравнокомпонентное сжатие. Компоненты напряженного состояния существенно изменялись, но всегда соответствовали схеме Кармана:

$$\delta_z > \delta_x = \delta_y \quad (3)$$

где δ_z – вертикальная, δ_x и δ_y – горизонтальные компоненты напряжений.

Установки были настолько совершенными, что позволяли автоматически регистрировать как скорости деформаций при росте напряженности до сотых долей в секунду, так и неупругие деформации, развившиеся во времени и достигшие 10 %.

Надежность результатов опытов была безупречной. Однако при их проведении оказалось, что разрушение происходило лишь в тех случаях, когда разгрузке предшествовало трехосное сжатие, сопровождавшееся неупругим деформированием.

Из доклада Г. Д. Бузера на симпозиуме в 1962 г. стало известно о новых исследованиях американских ученых проблемы разрушения образцов пород при разгрузке. В частности, установлено, что при трехосном сжатии, когда компонента напряжений по оси z возрастала, разрушение было хрупким при $\delta_x = \delta_y \leq 210 \text{ кг/см}^2$, а при $\delta_x = \delta_y > 210 \text{ кг/см}^2$ – пластическим. Но только при последнем соотношении напряжений регистрировались случаи образования тонких дисков при разгрузке, т.е. разрушения породных цилиндров. В настоящее время обращено внимание не на соотношение напряжений при трехосном сжатии, а на зависимость разрушения от наличия неупругих деформаций.

Полученные американскими исследователями результаты можно оценивать как новую веху развития науки о прочности, т. е. о склонности к разрушению при разгрузке длительно напряженных твердых тел, сопровождавшееся неупругим деформированием.

О ее сущности, научной новизне, практической полезности, целесообразности использования для больших глубин в течение последних 12 – 15 лет опубликовано несколько монографий [1, 7, 9,12,13] и более 40 статей.

Новое понимание природы разрушения при разгрузке может быть использовано на практике для снижения травматизма, сохранения выработок.

С позиций новых представлений о разновидности теорий прочности, совпадающих с понятием выброса угля (породы) и газа, уместными были бы

технические решения, обеспечивающие изменение направленности деформирования пород, вмещающих подготовительные выработки. Это могут быть компенсационные ниши, компенсационные траншеи, т.е. всевозможные компенсационные выемки.

Необходимо отметить принципиальную новизну такого подхода. Речь не идет об управлении горным давлением. Образование компенсационных выемок неизбежно будет сопровождаться деформированием массива не только в направлении проводимой выработки, но и в направлении компенсационных выемок. Последнее снизит объемы деформирования проектного контура и будет способствовать уменьшению аварийных ситуаций.

Исследование изменения деформаций разгруженных пород, их измерения позволили доказать существование ранее неизвестного свойства горных пород – склонность к деформациям генетического возврата при их разгрузке. Эта склонность увеличивается при росте влажности пород.

Экспериментально подтверждается новая разновидность теории прочности углепородного массива, включающая раскрытие механизма его разрушения при разгрузке, заключающегося в развитии после деформаций упругого восстановления деформаций генетического возврата. Последние обуславливают нанопроцессы: изменения структуры порового пространства, выделение водо- и газонасыщенных растворов из пор размерами более 10^{-7} м, объясняют в том числе не только отсутствие выбросов угля (породы) и газа, но и эндогенных пожаров в зонах газового выветривания.

Вывод. Изложенное позволяет констатировать доказанной учеными горного факультета ДонНТУ в содружестве с производственниками, отраслевой и академической наукой фундаментальную зависимость выбросоопасности углей (песчаников) от степени метаморфизма органических веществ (катагенеза) ниже зоны газового выветривания. Полагаем не менее фундаментальной новую разновидность теории

разрушения углепородных массивов при разгрузке, а также реальность роста зоны разгрузки (отжима) при росте глубины ведения горных работ.

Литература

1. *Николин В. И.* Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений / В. И. Николин, М. П. Васильчук // – Липецк: Роскомпечать, 1977. – 496 с.
2. *И. В. Бобров* Внезапные выбросы угля и газа на шахтах Донбасса /Бобров И. В., Кричевский Р. М., Михайлов В. И. // – Углетехиздат, 1954. – 514 с.
3. *Николин В. И.* Современные представления природы выбросоопасности и механизма выбросов как научная основа безопасности труда / В. И. Николин, А. Г.Заболотный, С. Г. Лунев // – Донецк: Донбасс, 1999. – 96 с.
4. *Николин В. И.* Выбросы породы и газа / В. И. Николин, С. С. Меликсетов, И. М. Беркович // – М.: Недра, 1967. – 81 с.
5. *Николин В. И.* Разработка выбросоопасных пластов на глубоких шахтах. – Донецк: Донбасс, – 1976. – 184 с.
6. *Николин В. И.* Борьба с выбросами угля и газа в шахтах / В. И. Николин, И. И. Балинченко, А. А. Симонов // М.: Недра. – 1980. – 304 с.
7. *Предотвращение* выбросов угля и газа с помощью щелевой разгрузки / [В. И. Николин, С. Н. Александров, В. В. Яйло и др.] – К.: Техника, 1992. – 150 с.
8. *Прогнозирование* выбросоопасности угольного пласта с учетом фактора времени / [В. И. Николин, С. В. Подкопаев, Е. А. Тюрин и др.] // Уголь Украины. – 2009. – № 1 – 2. С. 46 – 49.
9. *Снижение* травматизма от проявлений горного давления / [Николин В. И., Подкопаев С. В., Агафонов А. В., Малеев Н. В.] – Донецк: Норд – Пресс, 2005. – 331 с.

10. *Забигайло В. Е.* Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / Николин В. И. // – К.: Наук. думка, 1990. – 168 с.
11. *Правила* ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011: 2005 – офіц. вид. – Мінвуглепрому України. – Макіївка: МакНДЦ, 2006. – 225 с.
12. *Пат.* 48286 UA, МПК Е 21 F 5/00. Спосіб визначення безпечної глибини виймання викидонебезпечного вугільного пласта / Ніколін В. І., Подкопаєв С. В., Худолей О. Г., и др; заявник Держ. вищ. навч. закл. «Донецький національний технічний університет». – № и 200910008; заявл. 01.10.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.
13. *Деформации* генетического возврата при разгрузке массивов / В. И. Николин, С. В. Подкопаев, А. В. Агафонов [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. – 2004. – № 1. – С. 151 – 157.