

**ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ
ПРИ ПРОХОДКЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
НА ПЛАСТЕ АБ В УСЛОВИЯХ УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО РУДНИКА
БКПРУ-3 ПАО «УРАЛКАЛИЙ»**

С.С. Андрейко

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Выполнен анализ геологических и горнотехнических условий проявления газодинамического явления при ведении подготовительных горных работ на пласте АБ в условиях Усть-Яйвинского рудника БКПРУ-3. Установлены признаки, на основании которых газодинамическое явление, происшедшее на сопряжении вентиляционного штрека № 1 с технологической сбойкой № 4, следует классифицировать по условиям возникновения, протекания и результатам закончившегося процесса разрушения пород кровли как явление комбинированного типа, представляющего собой разрушение пород кровли с последующим развитием выброса соли и газа. Установлены стадии протекания газодинамического явления комбинированного типа под действием приконтактных и очагового скопления свободных газов. На первой стадии под действием приконтактных скоплений свободного газа на контакте пласта В с пластом каменной соли В–Г в породах кровли сопряжения произошло разрушение пород пласта В по механизму разрушения пород кровли, сопровождающегося газовыделением. На второй стадии по такому же механизму произошло разрушение пород пласта каменной соли В–Г. Далее на третьей стадии произошел собственно выброс соли и газа из карналлитового пласта Г по известному механизму послойного отрыва. На четвертой стадии произошло разрушение пласта каменной соли Г–Д под действием давления свободных газов в приконтактном скоплении, приуроченном к контакту пласта каменной соли Г–Д с карналлитовым пластом Д. На основе изучения технической документации, осмотра места, анализа условий возникновения, протекания и результатов закончившегося процесса разрушения пород кровли установлены причины возникновения газодинамического явления комбинированного типа. Выполнены расчеты и дана количественная оценка критической величины давления газа в приконтактных и очаговых скоплениях свободного газа в породах кровли сопряжения, при которых возможно развитие первой, второй, третьей и четвертой стадий явления комбинированного типа. На основании анализа природы, причин, условий проявления и вероятности возникновения газодинамических явлений в виде явлений комбинированного типа для дальнейшего безопасного ведения горных работ на пласте АБ в условиях Усть-Яйвинского рудника БКПРУ-3 разработан комплекс мероприятий, включающий предварительную дегазацию пород кровли горных выработок в местах предполагаемой разделки сопряжений (зарубки и зарубки комбайна) шпурами (скважинами) с помощью буровых установок, расположенных на комбайнах или специального бурового оборудования.

Ключевые слова: калийный рудник, подготовительные выработки, комбайновый комплекс, силвинитовый пласт, карналлитовый пласт, свободные газы, приконтактное скопление, очаговое скопление, газодинамическое явление, обрушение пород кровли, выброс соли и газа, явление комбинированного типа, давление газа, стадии развития, комплекс мероприятий, дегазация пород кровли.

Бригада комбайнового комплекса Урал-20Р № 100 11 октября 2023 года в 3-ю технологическую смену выполняла работы по проходке сбойки между панельными вентиляционными штреками по пласту АБ в пределах 1-го восточного блока 1-й юго-западной панели (рис. 1). В 23 ч.16 мин. диспетчеру рудника поступило сообщение от машиниста самоходного вагона о произошедшем на комбайне обрушении. После сообщения об обрушении пород кровли был задействован план ликвидации аварии и вызвана служба ПАСС(Ф), членами которой по прибытии на место было выявлено обрушение пород кровли на сопряжении блокового вентиляционного штрека № 1 с технологической сбойкой № 4 (рис. 2).

Сотрудниками ПАСС(Ф) был произведен замер горючих газов переносными газоанализаторами и выявлена концентрация метана 1,64% при допустимой концентрации 0,5% (превышение в 3 раза). При попытке покинуть технологическую сбойку № 5 через обрушившиеся породы кровли сопряжения, не включившись в изолирующий самоспасатель, погиб от гипоксии машинист комбайна. Объем обрушившихся пород кровли составил примерно 268,1 м³.

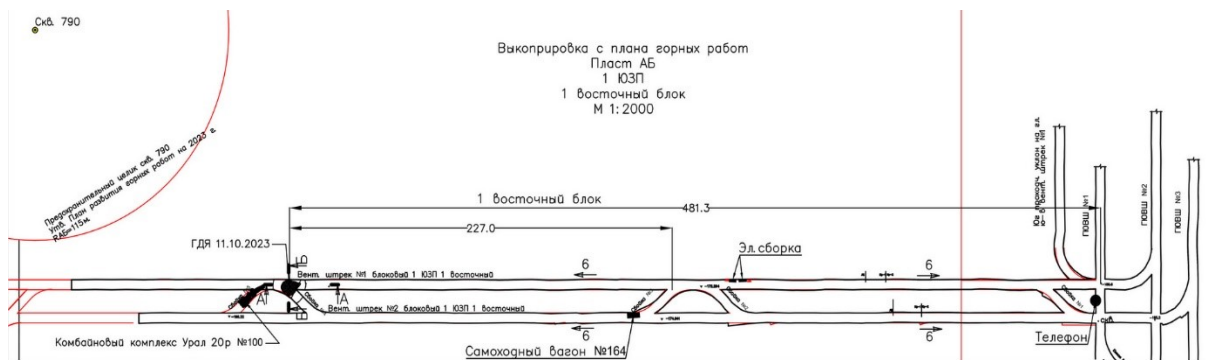


Рис. 1. Выкопировка из плана горных работ места газодинамического явления на пласте АБ (1-я юго-западная панель, 1-й восточный блок, Усть-Яйвинский рудник БКПРУ-3)

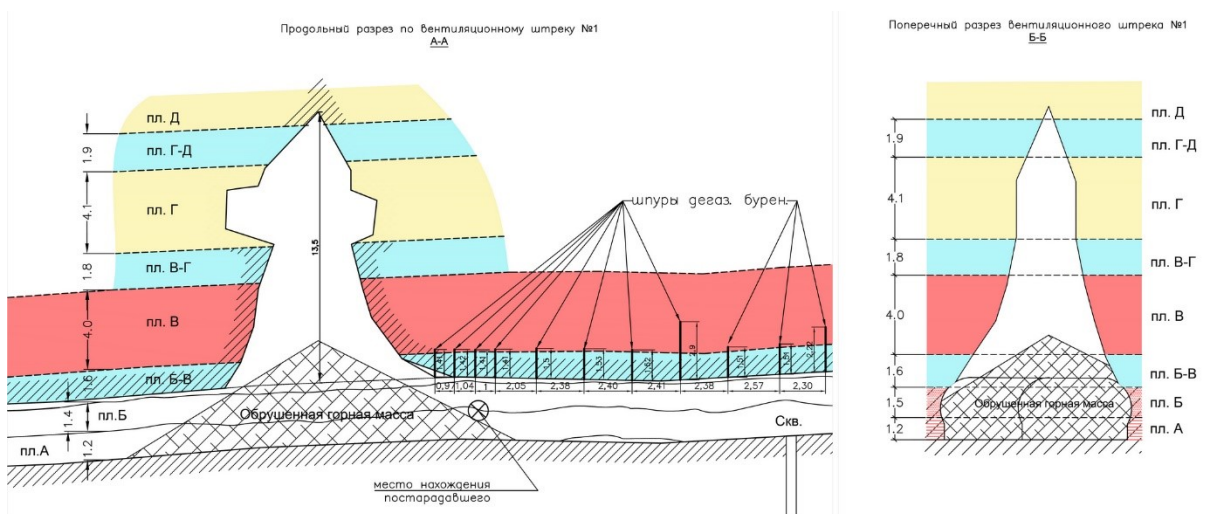


Рис. 2. Газодинамическое явление при проходке сбойки между панельными вентиляционными штреками по пласту АБ (1-я юго-западная панель, 1-й восточный блок, Усть-Яйвинский рудник БКПРУ-3)

На 1-й юго-западной панели обрабатываются промышленные пласты АБ и КрII. Пласт КрII представлен сильвинитом красным, средней мощностью 4,90 м. Пласт АБ состоит из пластов Б и А. Пласт Б представлен сильвинитом пестрым, пласт А – сильвинитом полосчатым. Средняя мощность пласта АБ составляет 3,50 м. Пласт АБ перекрывается каменной солью Б-В мощностью 1,65 м, в подошве слоя залегает глинисто-ангидритовый прослой («корж») мощностью 0,20 м. Породы «коржа» неустойчивы и склонны к обрушению. Для безопасной отработки пласта АБ паспортом проходки предусматривается подрезка «коржа» и каменной соли Б-В общей мощностью 0,4 м. Промышленные пласты газоносны. С целью дегазации массива предусматривается бурение профилактических дренажных шпуров в кровлю выработки. По пласту АБ на вентиляционных штреках дренажные шпуры бурятся, согласно «Паспорта крепления и управления кровлей и дегазационного бурения при проходке подготовительных выработок вентиляционного горизонта юго-западного направления», через 2,5 м глубиной не менее 1,2 м до вскрытия почвы пласта В.

Газодинамическое явление, произошедшее на сопряжении вентиляционного штрека №1 с технологической сбойкой №4, следует классифицировать по условиям возникновения, протекания и результатам закончившегося процесса разрушения пород кровли в соответствии с п. 12.1.1 «Специальных мероприятий...» как явление комбинированного типа, представляющее собой разрушение пород кровли с последующим развитием выброса соли и газа [1-7].

В данном случае присутствуют следующие признаки явления комбинированного типа: полость явления представляет собой сочетание двух полостей разного вида – в нижней части до кровли пласта каменной соли В–Г это усеченный эллиптический конус с плоским верхним основанием по кровле пласта каменной соли В–Г, далее в карналлитовом пласте Г полость принимает произвольную овальную форму с явно выраженными латеральными «карманами» в пласте Г, далее в пласте каменной соли Г–Д форма полости становится снова близкой к усеченному эллиптическому конусу с плоским верхним основанием, приуроченным к контакту пласта каменной соли Г–Д с карналлитовым пластом Д.

Отличительной особенностью газодинамических явлений комбинированного типа является протекание под действием приконтактных скоплений свободных газов процесса разрушения пород кровли в несколько стадий.

На первой стадии под действием приконтактных скоплений свободных газов, сформировавшихся в породах кровли на контактах литологических разностей пород, преимущественно в глинистых слоях и прослойках происходит разрушение пород кровли, сопровождающееся газовыделением.

В данном случае по механизму внезапного разрушения пород кровли, сопровождающегося газовыделением, произошло разрушение пород до пласта каменной соли В–Г. Об этом свидетельствует характерная часть полости, представленная усеченным эллиптическим конусом с ровными стенками полости.

На этой стадии разрушения пород кровли могло развиваться перманентно при наличии нескольких ярусов – приконтактных скоплений свободных газов. Такие приконтактные скопления свободных газов, находящихся под давлением, могли сформироваться в пласте В на расстоянии более 3,0 м от кровли выработки, а также на контактах пласта В с пластом каменной соли В–Г, пласта каменной соли В–Г с пластом Г и на контакте пласта каменной соли Г–Д с пластом Д.

Таким образом в механизме протекания данного явления комбинированного типа можно условно выделить четыре стадии разрушения. На первой стадии под действием приконтактных скоплений свободного газа на контакте пласта В с пластом каменной соли В–Г в породах кровли сопряжения произошло разрушение пород пласта В по механизму разрушения пород кровли, сопровождающегося газовыделением.

На второй стадии по такому же механизму произошло разрушение пород пласта каменной соли В–Г. Далее на третьей стадии произошел собственно выброс соли и газа из карналлитового пласта Г по известному механизму послойного отрыва. Выброс соли и газа из пласта Г был обусловлен наличием в пласте Г свободного газа, залегающего в виде трехмерной локальной области. Такие области относятся к очаговым (гнездовым) скоплениям свободных газов, которые располагаются в массиве отдельными «пятнами». В общем случае они могут быть отнесены к так называемым коллекторам-ловушкам, образовавшимся под действием внутрипластовой микротектоники и вторичных (эпигенетических) процессов в карналлитовом пласте Г [15]. Как уже указывалось, для выброса соли и газа из пласта Г характерна произвольная овальная форма полости. На четвертой стадии произошло разрушение пласта каменной соли Г–Д под действием давления свободных газов в приконтактном скоплении, приуроченном к контакту пласта каменной соли Г–Д с карналлитовым пластом Д.

На основе изучения технической документации, осмотра места несчастного случая и анализа условий возникновения, протекания и результатов закончившегося процесса разрушения пород кровли можно сделать вывод о том, что данное газодинамическое явление вызвано следующими причинами.

1. Наличием приконтактных скоплений свободных газов, сформировавшихся в процессе деформирования пород кровли сопряжения вентиляционного штрека № 1 с тех-

нологической сбойкой № 4 на контактах литологических разностей пород, преимущественно в глинистых слоях и прослойках пластов В, В–Г и Г–Д.

2. Наличием очагового (гнездового) скопления свободных газов под давлением, образовавшимся под действием внутрипластовой микротектоники и вторичных (эпигенетических) процессов в карналлитовом пласте Г.

В настоящее время установлено, что наличие в породах кровли горных выработок большого числа галопелитовых слоев и прослойков, являющихся наиболее слабыми несущими элементами кровли и почвы выработок, позволяет обосновано предполагать формирование интервалов расслоившихся пород, в пределах которых будут формироваться приконтактные скопления свободных газов [9, 10, 12]. Такие сформировавшиеся при подработке пород кровли и их последующего, даже весьма незначительного расслоения по галопелитовым слоям и прослойкам, а также контактам слоев соляных пород различного состава приконтактные скопления свободных газов будут представлять собой очаги таких потенциальных газодинамических явлений, как разрушения пород кровли, сопровождающиеся газовыделением. В определенных геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ при отсутствии профилактической дегазации пород кровли горных выработок формирование приконтактных скоплений свободных газов может сопровождаться газодинамическими явлениями в виде внезапных разрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделением.

Газодинамические явления в виде внезапных разрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделениями, происходят в результате непосредственной подработки горной выработкой скоплений свободных приконтактных газов или миграции таких газов в призабойную зону над (под) выработкой из окружающего массива, которая определяется изменением фильтрационных свойств при подвижке забоя выработки, а также изменением напряженно-деформированного состояния приконтурного массива. Возникновение газодинамических явлений данного типа становится возможным, если активные силы (давление приконтактных газов) превышают силы сопротивления пород кровли или почвы выработки разрушению.

Основание полости газодинамических явлений в виде внезапных разрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделениями, всегда приурочено к месту нахождения приконтактных (межслоевых) газов, как правило, галопелитовым слоям и прослойкам. При многоярусном расположении скоплений приконтактных газов в кровле выработки ГДЯ может иметь многостадийный характер, выражающийся в последовательном разрушении слоев пород давлением газа в приконтактных скоплениях в направлении от кровли выработки вглубь приконтурного массива пород, что, собственно, и наблюдается в случае газодинамического явления комбинированного типа, происшедшего на сопряжении вентиляционного штрека № 1 с технологической сбойкой № 4. Для обеспечения безопасности ведения горных работ в выработке, кровля которой содержит приконтактные газы, требуется производить оценку устойчивого состояния пород кровли по минимальным силам, способным нарушить их равновесие. При этом учитывается, что соляные породы плохо сопротивляются напряжениям растяжения, а динамизм протекания ГДЯ из кровли исключает возможность существенного перераспределения напряжений за счет развития пластических деформаций в разрушаемых породах.

В зависимости от положения подработанной зоны приконтактных газов (в призабойной зоне или вне ее – на расстоянии от забоя более 20 м) меняются и условия равновесия пород кровли. В связи с тем, что явление комбинированного типа произошло на сопряжении, принимаются условия для вне призабойной зоны.

Выражения, определяющие условия протекания газодинамических явлений в виде внезапных разрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделением вне призабойной зоны, для первой, второй и четвертой стадий явления комбинированного типа следующие [2, 8, 13-15]:

$$P_2 > (0,5 \cdot \sigma_p \cdot h_2^2 \cdot a^{-2} - \gamma h_2) + \Delta_{z.n.} \quad (1)$$

где P_2 – давление приконтактного газа; σ_p – предел прочности пород при растяжении; h_2 – высота слоя пород, пригруженного давлением газа; a – полупролет выработки (обнажения); γ – плотность пород кровли; $\Delta_{z.n.}$ – сцепление по галопелитовому прослойку.

Формулы для определения безопасного давления приконтактных газов P_6 в породах кровли и почвы выработки примут соответственно следующий вид:

$$P_6 \leq P_{z(кровля)}, \quad (2)$$

Приведенные неравенство (2) означает, что первая, вторая и четвертая стадии явления комбинированного типа не будут развиваться до тех пор, пока правая часть неравенств не станет больше или равной левой. Следовательно, пока давление очага приконтактного газа, расположенного на высоте (глубине) h_2 от контура кровли выработки, не превысит некоторой безопасной величины, газодинамическое явление данного типа не произойдет. Величина P_2 вне призабойной зоны рассчитывается по формуле (1).

Представленная модель механизма первой, второй и четвертой стадий явления комбинированного типа учитывает изменения давления газа, положение очага относительно контура горной выработки, геометрию выработки, прочностные свойства соляных и глинистых пород. Применение данной модели позволяет оценить возможность развития газодинамических явлений из кровли горных выработок при известных значениях давления свободных газов в массиве.

Оценка критической величины давления газа в приконтактном скоплении, при котором возможно развитие первой, второй и четвертой стадий явления комбинированного типа, проводилась следующим образом. По формуле (1) определялась величина давления в приконтактном скоплении свободного газа, при котором газодинамическое явление в виде разрушения пород кровли, сопровождающееся газовыделением, может произойти вне призабойной зоны. В расчетах принимаем следующие исходные данные: h_2 – расстояние от контура кровли выработки до приконтактного скопления свободного газа (определялось из расчетной схемы, представленной на рисунке 3; σ_p – средневзвешенный предел прочности пород при растяжении пород кровли выработки, который определяется в зависимости от привязки кровли выработки по геологическому разрезу по результатам исследований прочностных свойств, МПа; a – полупролет выработки (сопряжения на первой стадии и полупролет обнажений пород на второй и четвертой стадиях), м; γ – плотность пород кровли выработки, кг/м³; $\Delta_{z.n.}$ – сцепление по галопелитовому прослойку, принимается 0,075 МПа.

По результатам расчетов принималось, что развитие первой, второй и четвертой стадий явления комбинированного типа возможно при величине давления свободного газа в приконтактном скоплении равном или превышающем расчетное значение.

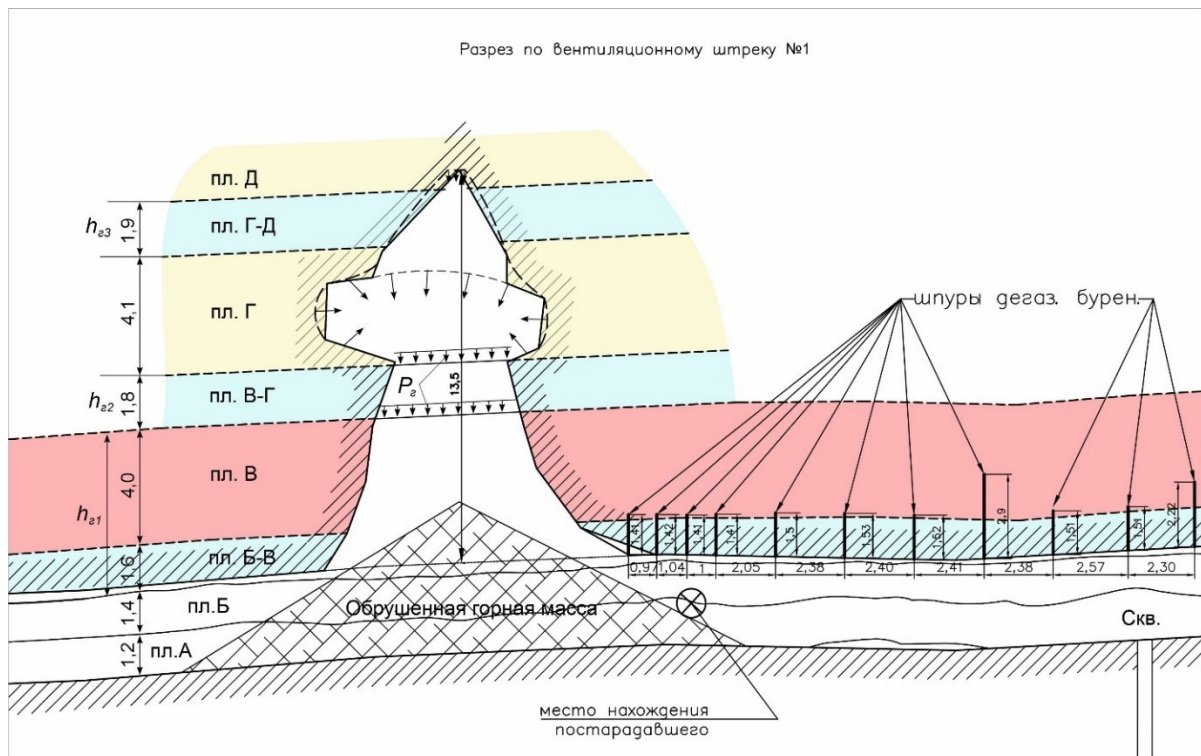


Рис. 3. Расчетная схема к определению величины критического давления в приконтактных скоплениях свободного газа на первой, второй и четвертой стадиях развития явления комбинированного типа

Критическую величину давления свободного газа в очаговом скоплении в пласте Г, достаточную для развития собственно выброса карналлита и газа на третьей стадии, оценим для условий послойного отрыва, определяющим энергетическую сторону процесса и базирующего на выводе основных расчетных формул академика С.А. Христиановича [4, 17]. В модели рассмотрим процесс развития выброса при возникновении волны дробления при мгновенном разрушении защитной пачки, в данном случае пласта каменной соли В–Г. Модель выброса построена следующим образом. При выделении газа из породы у свободной поверхности последней в очень тонком слое образуется и поддерживается большой перепад давления (в случае быстрого перемещения свободной поверхности). Волна дробления возникает при выполнении условия:

$$m_2 (P_m - P_a) \geq \sigma_p \quad (3)$$

где m_2 – эффективная пористость (отношение части пор, заполненных газом, к общей пористости выбросоопасных пород); P_m – давление газа в породе; P_a – атмосферное давление; σ_p – прочность породы при растяжении.

После несложных преобразований выражения (3) определим величину критического давления в очаговом скоплении в пласте Г.

Результаты расчетов величины критического давления в приконтактных и очаговом скоплениях свободного газа на первой, второй, третьей и четвертой стадиях развития явления комбинированного типа представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, поэтапное развитие разрушения пород кровли сопряжения вполне возможно при достижении в приконтактных и очаговом скоплениях свободного газа соответствующих величин критического давления.

Таблица 1

Результаты оценки критической величины давления свободных газов в приконтактных и очаговом скоплениях на первой, второй, третьей и четвертой стадиях развития явления комбинированного типа

№ п/п	Стадия явления комбинированного типа	Расстояние от кровли выработки до приконтактного скопления газа h_2 , м	Полупролет выработки (обнажения пород) a , м	Величина критического давления газа P_c , МПа	Условия развития стадии явления комбинированного типа
1.	Первая (разрушение пластов Б–В и В)	5,6	6,0	0,68	$P_c \geq 0,68 \text{ МПа}$
2.	Вторая (разрушение пласта В–Г)	1,8	2,5	0,42	$P_c \geq 0,45 \text{ Мпа}$
3.	Третья (выброс соли и газа из пласта Г)	–	–	2,0	$P_m \geq 2,0 \text{ Мпа}$
4.	Четвертая (разрушение пласта Г–Д)	3,0	2,3	1,54	$P_c \geq 1,54 \text{ Мпа}$

Критериями для оценки подобных зон могут служить геологические и горнотехнические условия ведения горных работ на пласте АБ. Развитие газодинамических явлений комбинированного типа наиболее вероятно на участках распространения пласта В сильвинитового или смешанного состава (карналлит+сильвинит), а пласт Г на таких участках представлен эпигенетическими (вторичными) карналлитовыми породами с проявлениями внутрипластовой микротектоники, способствующей образованию очаговых скоплений свободного газа.

На основании анализа природы, причин, условий проявления и вероятности возникновения газодинамических явлений в виде явлений комбинированного типа для дальнейшего безопасного ведения горных работ на пласте АБ в условиях Усть-Яйвинского рудника БКПРУ-3 рекомендуется следующий комплекс мероприятий.

1. Для комбайнов типа Урал-20Р и Урал-10 при ведении горно-подготовительных и очистных горных работ применять предварительную дегазацию пород кровли горных выработок в местах предполагаемой разделки сопряжений горных выработок (зарубки и зарубки комбайна) шпурами (скважинами) с помощью буровых установок, расположенных на комбайнах или специального бурового оборудования. Шпур (скважина) для предварительной дегазации должна располагаться примерно по центру предполагаемого сопряжения. Глубина шпура (скважины) должна обеспечивать вскрытие контакта пласта В с пластом каменной соли В–Г не менее чем на 0,2 м. Бурение оставшихся двух шпуров глубиной не менее 3,0 м с шагом не более 3,0 м производить в процессе разделки сопряжения.

2. Для комбайнов типа Урал-61 при ведении горно-подготовительных и очистных горных работ дегазацию пород кровли горных выработок производить согласно требований «Специальных мероприятий по безопасному ведению горных работ на Усть-Яйвинском руднике БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» в условиях «газового режима».

3. Исключить из отработки изолированные участки распространения пласта В сильвинитового состава, имеющие сложные извилистые контуры. При этом скопления свободных газов в пласте В приурочены к зонам перехода сильвинитов в карналлитовую породу, а также к участкам с весьма изменчивым распределением карналлитовой породы и сильвинитов, когда одни и те же слои пород представлены смешанными солями (карналлит + сильвинит). В этой связи такие изолированные участки пласта В будут характеризоваться повышенной газодинамической опасностью соляных пород. Расположение в кровле пласта В мощного карналлитового пласта Г, как показывает практика ведения горных работ на пласте АБ, опасного по выбросам соли и газа, будет создавать дополнительную газодинамическую опасность при ведении горных работ. При этом пласт Г характеризуется наличием выбросоопасных очаговых скоплений свободных газов, имеющих «пятнистое» распределение, предупредительные признаки и предвестники которых на пластах АБ и В отсутствуют.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500030-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проскуряков Н.М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра, 1980. – 264 с.
2. Ковалев О.В., Ливенский В.С., Былино Л.В. Особенности безопасной разработки калийных месторождений. – Минск: Польша, 1982. – 96 с.: ил.
3. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
4. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
5. Щерба В.Я., Башура А.Н., Андрейко С.С. Управление газодинамическими процессами на Старобинском месторождении калийных солей / под ред. В.Я. Прушака. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 194 с.: ил.
6. Андрейко С.С. Механизм образования очагов газодинамических явлений в соляном породном массиве. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 196 с.
7. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ на Усть-Яйвинском руднике БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» в условиях «газового режима»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. С.С. Андрейко. – Пермь; Соликамск, 2021. – 97 с.
8. Определение критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при отработке сильвинитовых пластов на Верхнекамском месторождении / С.С. Андрейко, Т.А. Лялина, О.В. Иванов, Е.А. Нестеров // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2013. – № 4. – С. 200-204.
9. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rockburst from floors // Soils and Rocks. – 2019. – V. 42, № 1. – P. 77-82. DOI: 10.28927/SR.421077.
10. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений калийных солей // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 601-609. – DOI: 10.31897/PMI.2020.6.1.
11. Андрейко С.С., Иванов О.В., Лялина Т.А., Нестеров Е.А. Газоносность по свободным газам пород сильвинитовой и сильвинито-карналлитовой зон Верхнекамского месторождения // Горная промышленность. – 2021. – № 4. – С. 125-133. – DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-125-133.
12. Галкин В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А., Галкин С.В., Лялина Т.А. Исследование содержания галопелитов в пласте каменной соли Б-В Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горная промышленность. – 2022. – № 4. – С. 103-108. – DOI: 10.30686/1609-9192-2022-4-103-108.

13. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А., Лукьянец Е.В. Предотвращение газодинамических явлений при последовательной отработке сильвинитовых пластов КРП и АБ в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 20-26. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.03.
14. Андрейко С.С., Иванов О.В., Подлесный И.А., Сиренко Ю.Г. Предотвращение «запоздалых» обрушений пород кровли подготовительных горных выработок на втором калийном пласте рудника третьего рудоуправления ОАО «Беларуськалий» // Горный журнал. – 2023 – № 8. – С. 57-62. – DOI: 10.17580/gzh.2023.08.08.
15. Andreiko S.S., Litvinovskaya N.A., Bobrov D.A. Gas content and gas-dynamic characteristics potash stratum VI in Belaruskali's mine 2 // Eurasian Mining. – 2023. – V. 39, № 1. – P. 78-82. – DOI: 10/17580/em.2023.01.17.
16. Андрейко С.С., Лукьянец Е.В. Механизм образования очагов газодинамических явлений в складчатых структурах калийных пластов // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2024. – № 1. – С. 562-572.
17. Христианович С.А. Избранные работы. – М.: Изд-во МФТИ, 2000. – С.88-218

УДК 622.814

DOI:10.7242/echo.2024.3.11

НЕСТАЦИОНАРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ВЗРЫВЕ МЕТАНА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Д.Ю. Палеев

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассматривается математическая модель на основе уравнений газовой динамики, позволяющая рассчитывать нестационарные процессы, возникающие в вентиляционной сети шахты при аварийных взрывах метана в горных выработках. С ее помощью можно одновременно рассчитывать как взрыв метана с распространением затухающей ударной волны по разветвленной сети горных выработок, так и переходные процессы, вызванные изменением воздухораспределения во время взрыва.

Ключевые слова: шахта, горные выработки, взрыв, ударная волна, вентиляция, математическая модель, газодинамический метод, нестационарный процесс, общешахтная депрессия.

Введение

Взрывы в угольных шахтах – наиболее опасный вид рудничных аварий из-за трудоемкости, сложности и длительности ликвидации их последствий. Возникают они всегда неожиданно, и в течение короткого времени в зону поражения попадает часть выработок, в которых создаются условия, несовместимые с жизнью находящихся в них людей. В этот момент высокие давление, температура, скорость газа и ядовитые продукты взрыва в этих выработках мгновенно нарушают их нормальное проветривание за счет общешахтной депрессии, создаваемой вентиляторами главного проветривания. При этом проветривание за счет общешахтной депрессии восстанавливается на аварийном участке после взрыва в течение довольно длительного времени. А поскольку взрывы всегда сопровождаются разрушением части вентиляционных и изолирующих сооружений, то параметры восстановившегося воздухораспределения на аварийном участке могут значительно отличаться от тех, что были до взрыва, и содержать предпосылки следующей аварии. В результате горные инженеры сталкиваются с довольно сложной научно-технической задачей – определение параметров проветривания аварийного участка, а, следовательно, и всей шахты после взрыва и их восстановление до нормативного уровня.

Исключительная сложность описанной аварийной ситуации не позволяет провести исследование взрыва и его негативное воздействие на вентиляцию в условиях действующей шахты или экспериментальной штольни. Поэтому все исследования таких сложных нестационарных процессов проводят путем математического моделирования на больших вычислительных машинах и персональных компьютерах. Для этого уже предложен целый ряд математических моделей, учитывающих в той или иной степени основные свойства изучаемых