

## **РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗА ВЫБРОСОПАСНОСТИ ПРИ ПРОХОДКЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ПЛАСТУ КрIII В УСЛОВИЯХ РУДНИКОВ ОАО «УРАЛКАЛИЙ»**

**С.С. Андрейко, Т.А. Лялина, О.В. Иванов, Е.А. Нестеров**

Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия

Объектом исследования являются сильвинитовый пласт КрIII и вмещающие породы кровли горных выработок на шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий». Целью выполненных исследований являлось определение критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке подготовительных горных выработок по пласту КрIII. В процессе выполнения исследований проведен анализ параметрического обеспечения текущего прогноза выбросоопасности при проведении подготовительных и очистных выработок в условиях калийных рудников. Разработана методика и выполнены шахтные экспериментальные работы по изучению газодинамических характеристик пород кровли подготовительных горных выработок, проходимых по пласту КрIII. Проведено геомеханическое моделирование и дана оценка устойчивости пород кровли выработок под действием давления приконтактного скопления газа при проходке выработок по пласту КрIII. В горно-технических условиях проведения подготовительных горных выработок по пласту КрIII на шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 на основе шахтных экспериментальных исследований газодинамических характеристик пород кровли и оценки условий разрушения пород под действием давления приконтактных газов для приборов текущего прогноза ПБ-2 установлены критические величины газового давления в скоплении свободного газа на контакте пласта КрIII с пластом каменной соли КрII–КрIII<sup>а</sup>. Выполнено обобщение результатов проведенных работ, разработаны и выданы критерии текущего прогноза выбросоопасности при проходке подготовительных выработок по пласту КрIII для условий рудников ОАО «Уралкалий». Критические значения величины газового давления включены в нормативные документы, регламентирующие безопасное ведение горных работ на пластах, опасных по газодинамическим явлениям.

**Ключевые слова:** калийные рудники, сильвинитовые пласты, газодинамические характеристики, кровля выработки, газодинамические явления (ГДЯ), механизм ГДЯ, оценка устойчивости, газовое давление, критическая величина, текущий прогноз.

## **ELABORATION CRITERIA FOR THE CURRENT FORECAST OUTBURST AT PENETRATION MINING ON LAYER KRIII IN MINE OJSC «URALKALI»**

**S.S. Andrejko, T.A. Ljalina, O.V. Ivanov, E.A. Nesterov**

Mining Institute, Ural Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Perm, Russian Federation

The object of investigation sylvinitеKrIII seam roof and wall rocks mines in mine fields Mine 2 and Mine 4 OJSC "Uralkali". The aim of the research was to determine the critical value of the gas pressure that could cause a gas-dynamic phenomena of the roof when driving preparatory mining the seam KrIII. In carrying out the analysis of parametric studies support the current forecast of outburst during the preparatory and cleaning openings in potash mines. The technique of mine and made experiments to study the gas-dynamic characteristics of roof rock preparatory excavations traversed the seam KrIII. Geomechanical modeling and conducted an assessment of the stability of roof rock excavation under the pressure of the contact gas accumulation at penetration KrIII the seam workings. In mining conditions preparatory mining the seam KrIII on mine fields Mine 2 and Mine 4 based on experimental studies of mine gas-dynamic characteristics of the roof rocks and estimation of rock disintegration under pressure near-contact gas for units of the current projection PB-2 The critical values gas pressure in the pile of free gas at the contact layer with a layer KrIII salt KrII-KrIII<sup>a</sup>. The generalization of the results of this work have been developed and issued criteria for the current forecast of outburst when driving development workings in furrows KrIII for the conditions of the mines "Uralkali". Critical values of the gas pressure are included in the regulations governing the safe mining operations at the seams, unsafe gas-dynamic.

**Key-words:** potash mines sylvinitе layers, gas-dynamic characteristics, roof generation, gas-dynamic phenomena (GDYA) GDYA mechanism, assessment of stability, gas pressure, the critical value, the current forecast.

## Введение

Объектом исследования являются сильвинитовый пласт КрIII и вмещающие породы кровли горных выработок на рудниках БКПРУ-2 и БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий».

Цель работы – определение критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке подготовительных горных выработок по пласту КрIII в условиях калийных рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4.

В настоящее время при ведении подготовительных и очистных горных работ по пластам КрII и АБ для прогнозирования выбросоопасности (опасности возникновения газодинамических явлений) пород кровли выработок в рабочих зонах, отнесенных к опасным по газу и газодинамическим явлениям (ГДЯ), применяется прибор барометрического контроля ПБ-2. Прогнозирование осуществляется машинистами горно-выемочных машин посредством измерения скорости нарастания давления газа в шпуре, загерметизированном прибором ПБ-2.

В процессе проведения исследований по разработке и внедрению данного способа текущего прогноза выбросоопасности экспериментальные наблюдения проводились в условиях отработки пластов КрII и АБ на шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-3. В связи с этим были установлены величины скоростей нарастания давления газа в загерметизированном шпуре, которым соответствуют давления приконтактных газов, способные вызвать газодинамические явления из кровли выработок, соответственно для условий отработки пластов КрII и АБ. В настоящее время на рудниках ОАО «Уралкалий» проводится большой объем подготовительных выработок по пласту КрIII. Рабочие зоны в этих выработках отнесены ко II группе опасности – опасные по газу и ГДЯ. При различной привязке кровли подготовительных вырабо-

ток, проходимых по пласту КрIII – в слое каменной соли КрII–КрIII, в пласте КрIII, в пласте КрII, величины давлений, способные вызвать газодинамические явления из кровли и соответствующие им скорости нарастания давления газа в загерметизированном шпуре, взяты по аналогии с пластом КрII без какого-либо научного обоснования. В связи с этим в данной работе на основе шахтных экспериментальных исследований газодинамических характеристик пород кровли и оценки условий разрушения пород под действием давления приконтактных газов установлены для приборов текущего прогноза ПБ-2 критические величины газового давления в условиях проведения подготовительных горных выработок по пласту КрIII на шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4. Внедрение результатов выполненных работ в практику позволит повысить безопасность ведения горных работ на пласте КрIII.

### Текущее прогнозирование газодинамических явлений в калийных рудниках

В настоящее время установлено, что участки соляного породного массива, опасные по газодинамическим явлениям, обладают особенностями геологического строения, обуславливающими существенное отличие их газодинамических характеристик, физико-механических свойств, а также напряжённо-деформированного состояния от пород неопасных участков. На выявлении этих особенностей и основывается большинство методов прогноза зон, опасных по ГДЯ.

Текущий прогноз газодинамических явлений основан на непрерывных наблюдениях и анализе состояния призабойной части пласта. Текущий прогноз можно рассматривать как постоянное и наименее трудоёмкое защитное мероприятие. Как правило, при использовании методов текущего прогноза улавливаются предупредительные признаки и предвестники газодинамических явле-

ний – различные шумы и потрескивания, связанные с разрушением и трещинообразованием в породах, колебанием газовыделений, деформированием и смещением кровли и почвы [1–14]. В настоящее время в калийных рудниках ОАО «Уралкалий» текущее прогнозирование опасности развития ГДЯ осуществляется путем замеров скорости нарастания давления газа в каждом шпуре профилактического и защитного бурения по мере проходки горной выработки прибором бароконтроля ПБ-2 [15, 16], с помощью которого устанавливается степень опасности возникновения ГДЯ только из кровли выработки. Оценка опасности ГДЯ из кровли осуществляется машинистом комбайна. Этот метод текущего прогнозирования широко применяется во всех калийных рудниках на Верхнекамском месторождении. Метод бароконтроля опасности возникновения ГДЯ из кровли выработок надежен, технологичен, отличается несложным аппаратурным обеспечением и экономичностью. Однако следует отметить, что при реализации данного метода текущего прогноза опасности развития ГДЯ требуется уточнение критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли горных выработок, для отдельных шахтных полей калийных рудников на Верхнекамском месторождении.

**Существующие представления о механизме газодинамических явлений из кровли и почвы горных выработок в калийных рудниках**

Газодинамические явления в виде обрывов пород кровли, сопровождающихся газовыделениями, происходят в результате непосредственной подработки горной выработкой скоплений свободных приконтактных газов или миграции таких газов в призабойную зону над выработкой из окружающего массива, которая определяется изменением фильтрационных свойств при подвигании забоя выработки [5]. Воз-

никновение газодинамических явлений данного типа становится возможным, если активные силы (давление приконтактных газов) превышают силы сопротивления пород кровли разрушению.

Анализ ГДЯ из кровли, происшедших в калийных рудниках, показал, что основание полости приурочено к месту нахождения приконтактных газов (зоны контактов литологических разностей пород, галопелитовые прослойки). При многоярусном расположении скоплений приконтактных газов в кровле или почве выработки ГДЯ может иметь многостадийный характер. Для обеспечения безопасности ведения горных работ в выработке, кровля или почва которой содержит приконтактные газы, требуется производить оценку устойчивого состояния пород кровли по минимальным силам, способным нарушить их равновесие [8, 9].

Данная задача может рассматриваться как упругая, а это позволяет схематизировать условия равновесия пород кровли в виде равновесия плит средней толщины, нагруженных по верхнему контуру равномерно распределенным давлением приконтактных газов (рис. 1).

Для описания механизма таких газодинамических явлений, как обрушение пород кровли, сопровождающихся газовыделениями, разработана модель на базе решения уравнения вида [6]

$$\Delta^2 \eta(x, y) = P/D, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – оператор Лапласа,  $\Delta = (\partial/\partial x^2 + \partial/\partial y^2)$ ;  $\eta(x, y)$  – текущий прогиб плиты, см;  $x, y$  – координаты в упругой (горизонтальной) плоскости плиты;  $P$  – давление газа по контуру плиты, Па;  $D$  – цилиндрическая жесткость плиты, Н·см.

В результате аналитического решения были получены выражения, определяющие условия протекания газодинамических явлений в призабойной зоне и вне ее.

$$P_6 \leq (P_r - \gamma h_r) + \Delta_{r,п}, \quad (2)$$

$$P_6 \leq (P_r + \gamma h_r) + \Delta_{r,п}, \quad (3)$$

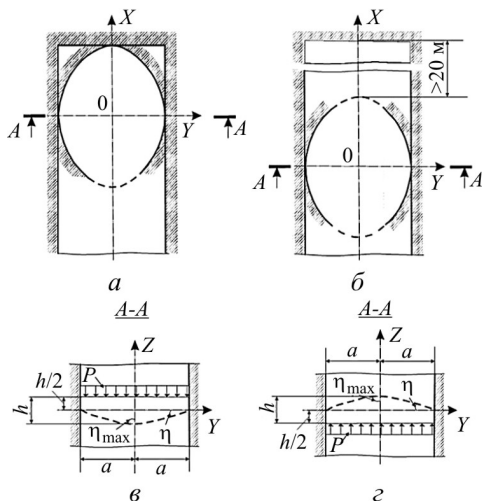


Рис. 1. Схема к определению предельного значения давления свободных приконтактных газов [6]:  $a$  – в призабойном пространстве;  $b$  – на расстоянии от забоя более 20 м;  $\epsilon$  – для пород кровли;  $z$  – для пород почвы;  $P$  – равномерно распределенное давление приконтактных газов;  $h$  – толщина плиты (породного слоя);  $a$  – полупролет выработки;  $\eta$  – текущий прогиб плиты;  $\eta_{\max}$  – максимальный прогиб плиты;  $Z, Y$  – координатные оси

где  $P_6$  – безопасное давление приконтактных газов;  $P_r$  – давление приконтактного газа;  $\gamma$  – плотность пород кровли;  $h_r$  – высота слоя пород, пригруженного давлением газа;  $\Delta_{r,п}$  – сцепление по галопелитовой прослойке.

Приведенные неравенства (2) и (3) означают, что ГДЯ из кровли и почвы 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)  $h_r$  от контура кровли (почвы) выработки не превысит некоторой безопасной величины, газодинамическое явление данного типа не произойдет.

К призабойной зоне относится та часть горной выработки, которая расположена на расстоянии от забоя не более 20 м. При расстоянии более 20 м – внепризабойная часть выработки.

Представленная модель механизма ГДЯ учитывает изменения давления газа, 100

положение очага относительно контура горной выработки, геометрию выработки, прочностные свойства соляных и глинистых пород, однако эта модель имеет ограничения. Данная аналитическая модель нашла подтверждение при ведении горных работ на сильвинитовых пластах Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей. При решении проблемы газодинамических явлений из почвы эта модель может с успехом использоваться при описании ГДЯ из почвы подготовительных выработок.

### Методика определения газоносности и газодинамических характеристик пород

Методика определения газоносности пород по свободным газам и их газодинамических характеристик реализовывалась путем шахтных инструментальных наблюдений за газовыделениями из скважин и шпуров диаметром 42 мм, пробуренных в кровлю и стенки горных выработок, с одновременным отбором проб свободного газа. Газ, выделяющийся со стенок и забоя загерметизированной части скважины или шпура, поступал в газоотводящий штуцер, к которому был подключен прибор ПГ-2МА.

Прибор ПГ-2МА предназначен для измерения начальной скорости газовыделения из шпуров и скважин. Он представляет собой дроссельный расходомер и действует по принципу реометра. Технические характеристики прибора ПГ-2МА соответствуют следующим номинальным данным: диапазон измерений начальной скорости газовыделения – от 0,5 до 25 л/мин; диапазон давлений измеряемого газа – от 0,02 до 0,15 МПа; основная погрешность прибора составляет  $\pm 10\%$ . В течение 30 с после герметизации шпура прибором ПГ-2МА замеряется превышение давления газов в скважине над атмосферным, т.е. начальное газовое давление [11, 12].

По этой величине с помощью заранее построенных графиков зависимо-

сти  $X = f(P_r)$ , где  $X$  – газоносность пород,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $P_r$  – величина начального газового давления, определяются показатели газоносности.

Для подтверждения полученных по данной методике значений газоносности пород параллельно определялась газоносность пород по свободным газам в каждом конкретном случае (отдельной скважине).

Прибором ПГ-2МА замерялась скорость истечения газов из скважин, секундомером фиксировалось время изменения скорости. Полученный объем выделившихся из шпура газов соотносился с объемом зоны дренирования вокруг шпура.

Для определения компонентного состава выделяющегося газа параллельно производился отбор. Затем в лабораторных условиях на газовых хроматографах «Varian 450-GC» выполнялся химический анализ отобранных проб.

Газодинамические характеристики пород кровли горных выработок определялись путем прямых замеров с помощью прибора ПГ-2МА. Проводились измерения начального газового давления в загерметизированной части скважины и начальной скорости газовыделения. Давление газа в массиве пород кровли рассчитывалось по известной формуле Л.С. Лейбензона.

Давление газа в массиве рассчитывается для каждого интервала по длине скважины или шпура.

**Определение критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления при проходке горных выработок по пласту КрIII в условиях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4**

Сегодня не вызывает дискуссий положение о том, что решающая роль в создании ситуации, опасной по ГДЯ в калийных рудниках, принадлежит газовому фактору. Поэтому и основные усилия направлены на создание методов прогнозирования, основанных на учете именно га-

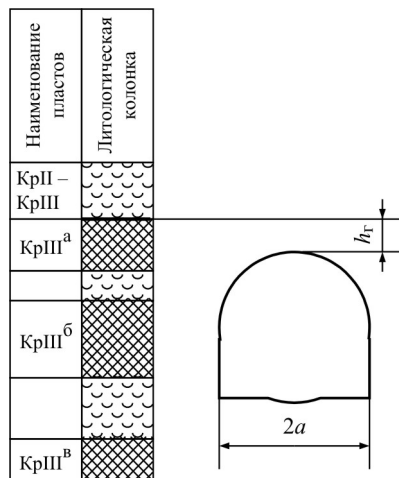


Рис. 2. Схема к расчету критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли в следующих горнотехнических условиях: ширина выработки  $2a$ ; кровля расположена в пласте КрIII<sup>а</sup>; расстояние до приконтактного скопления свободного газа  $h_r$ , м

зового фактора. Эффективная борьба с газодинамическими явлениями и предотвращение воздействия их поражающих факторов на шахтеров возможны только при существовании надежных методов определения давления природных газов.

Для пород кровли в призабойных зонах горных выработок, где и проводится текущее прогнозирование опасности разрушения пород кровли под действием давления приконтактных газов, критическое давление определяется из выражения

$$P_{кр} = 0,7925 \sigma_p h_r^2 / a^2. \quad (4)$$

Прибор ПБ-2 представляет собой быстродействующий герметизатор газа и установленный на нем манометр, шкала которого градуируется в долях  $S$ . На шкале цветной краской обычно наносится критическое ( $S = 1$ ) значение критерия опасности возникновения ГДЯ из кровли, которое определяется выражением (4).

При оценке критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке горных выработок по пласту КрIII, в соответствии с выражением (4)

Таблица 1

Результаты расчетов критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке выработок по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-2

Положение приконтактного скопления свободного газа	Участок шахтного поля	Ширина горной выработки, м	Расстояние от кровли до приконтактного скопления свободного газа, м	Критическое давление, способное вызвать ГДЯ, МПа
КрIII <sub>a</sub> с КрII–КрIII <sub>a</sub>	Западные и восточные панели	3,2	0,7	0,34
КрII с КрII–КрIII <sub>a</sub>	Восточные панели	3,2	2,24	2,87
	Западные панели	3,2	2,52	3,62
КрIII <sub>a</sub> с КрII–КрIII <sub>a</sub>	Западные и восточные панели	4,4	0,7	0,21
КрII с КрII–КрIII <sub>a</sub>	Восточные панели	4,4	2,24	1,53
	Западные панели	4,4	2,52	1,92

учитывались минимальные силы, способные нарушить устойчивое состояние пород кровли. Схема к расчету критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке горных выработок по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-2, представлена на рис. 2.

При расчете критической величины газового давления принимались следующие значения исходных параметров: мощность защитного слоя  $h_r$  (расстояние от контура кровли выработки до газового скопления) определялась как минимальное расстояние от кровли выработки до контакта пласта КрIII<sup>a</sup> с пластом каменной соли КрII–КрIII<sup>a</sup> ( $h_r = 0,7$  м) или контакта пласта каменной соли КрII–КрIII<sup>a</sup> с пластом КрII; значение предела прочности пород кровли при растяжении  $\sigma_p$  принималось минимальным по результатам экспериментальных исследований ( $\sigma_p = 1,83$  МПа); пролет (ширина) подготовительных горных выработок по пласту КрIII принимался соответственно 3,2 и 4,4 м. Отсюда, подставляя численные значения в формулу (4), определим критическую величину газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке горных выработок по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-2. Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, для пласта КрIII в условиях рудника БКПРУ-2 минимальная критическая величина давления в скоплении свободного газа на контакте пласта КрIII<sup>a</sup> с пластом каменной соли КрII–КрIII<sup>a</sup> составляет 0,21 МПа (2,1 кг/см<sup>2</sup>). Следовательно, при измерении скорости нарастания давления газа прибором бароконтроля ПБ-2 в загерметизированном шпуре за 30 с на шкале манометра прибора критическим величинам скорости изменения давления соответствует величина давления, равная 0,21 МПа (2,1 кг/см<sup>2</sup>). При достижении стрелкой манометра за 30 с давления 0,21 МПа (2,1 кг/см<sup>2</sup>) участок кровли в выработке, проходимой по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-2, от загерметизированного шпура до забоя считается опасным по ГДЯ из кровли.

Схема к расчету критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке горных выработок по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-4, представлена на рис. 3.

При расчете критической величины газового давления принимались следующие значения исходных параметров: мощность защитного слоя  $h_r$  (расстояние от контура кровли выработки до газового скопления) определялась как минимальное расстояние от кровли выработки до контакта пласта КрII с пластом каменной соли КрII–КрIII<sup>a</sup> ( $h_r = 1,0$  м); значение

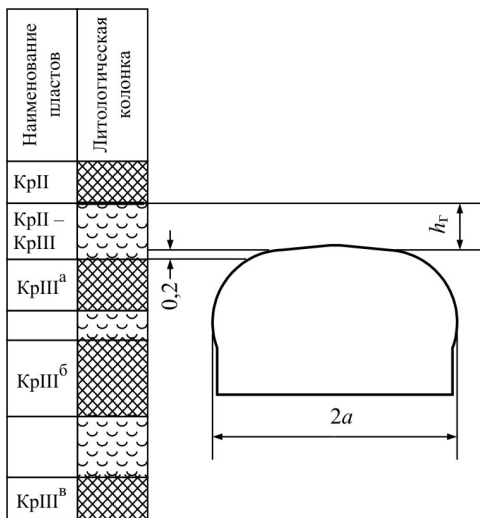


Рис. 3. Схема к расчету критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли в следующих горно-технических условиях: ширина выработки  $2a$ , м; кровля расположена в пласте каменной соли КрII–КрIII<sup>а</sup>; расстояние до приконтактного скопления свободного газа  $h_g$ , м

предела прочности пород кровли (пласта каменной соли КрII–КрIII<sup>а</sup>) при растяжении  $\sigma_p$  принималось минимальным по результатам экспериментальных исследований ( $\sigma_p = 1,31$  МПа); пролет (ширина) подготовительных горных выработок по пласту КрIII принимался соответ-

ственно 4,3, 5,3 и 5,5 м. Отсюда, подставляя численные значения в формулу (4), определим критическую величину газового давления для выработок шириной соответственно 4,3, 5,3 и 5,5 м, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке подготовительных выработок по пласту КрIII. Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, для пласта КрIII в условиях рудника БКПРУ-4 минимальная критическая величина давления в скоплении свободного газа на контакте пласта КрII с пластом каменной соли КрII–КрIII<sup>а</sup> составляет 0,146 МПа  $\approx 0,15$  МПа ( $1,5 \text{ кг/см}^2$ ) для условий проведения выработок по пласту КрIII на юго-восточных панелях. Следовательно, при измерении скорости нарастания давления газа прибором бароконтроля ПБ-2 в загерметизированном шпуре за 30 с на шкале манометра прибора критическим величинам скорости изменения давления соответствует величина давления, равная 0,15 МПа ( $1,5 \text{ кг/см}^2$ ). При достижении стрелкой манометра за 30 с давления 0,15 МПа ( $1,5 \text{ кг/см}^2$ ) участок кровли в выработке, проходимой по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-4, от загерметизированного шпура до забоя считается

Таблица 2

Результаты расчетов критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления из кровли при проходке выработок по пласту КрIII в условиях рудника БКПРУ-4

Положение приконтактного скопления свободного газа	Участок шахтного поля	Ширина горной выработки, м	Расстояние от кровли до приконтактного скопления свободного газа, м	Критическое давление, способное вызвать ГДЯ, МПа
КрII с КрII–КрIII <sup>а</sup>	Юго-западные панели	4,3	0,9	0,238
		5,3	0,9	0,176
		5,5	0,9	0,167
	Юго-восточные панели	4,3	0,8	0,202
		5,3	0,8	0,153
		5,5	0,8	0,146
	Северо-западные панели	4,3	0,9	0,238
		5,3	0,9	0,176
		5,5	0,9	0,167
	Северо-восточные панели	4,3	0,9	0,238
		5,3	0,9	0,176
		5,5	0,9	0,167

опасным по ГДЯ из кровли. Если подходить дифференцированно к участкам шахтного поля рудника БКПРУ-4, то можно рекомендовать для текущего прогноза опасности развития ГДЯ из кровли выработок, проходимых по пласту КрШ, следующие критические значения величин газового давления: юго-западные панели – 0,17 МПа (1,7 кг/см<sup>2</sup>); юго-восточные панели – 0,15 МПа (1,5 кг/см<sup>2</sup>); северо-западные панели – 0,17 МПа (1,7 кг/см<sup>2</sup>); северо-восточные панели – 0,17 МПа (1,7 кг/см<sup>2</sup>).

### Заключение

В процессе выполнения работы по изучению газодинамических характеристик на контакте пласта КрШ и пласта каменной соли КрII–КрIII<sup>a</sup> с целью разработки критериев текущего прогноза выбороопасности при проходке выработок по пласту КрШ в условиях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий» для приборов текущего прогноза ПБ-2 установлены критические величины газового давления в скоплении свободного газа:

1. В условиях рудника БКПРУ-2 критическая величина давления в скоплении свободного газа составляет 0,21 МПа (2,1 кг/см<sup>2</sup>).

2. На юго-восточных панелях рудника БКПРУ-4 минимальная критическая величина давления в скоплении свободного газа составляет 0,15 МПа.

3. На юго-западных, северо-западных и северо-восточных панелях рудника БКПРУ-4 минимальная критическая величина давления в скоплении свободного газа равна 0,17 МПа.

Таким образом, если во время проведения текущего прогнозирования при измерении скорости нарастания давления газа прибором бароконтроля ПБ-2 в загерметизированном шпуре за 30 с стрелка манометра достигает критического давления, участок кровли в выработке от загерметизированного шпура до забоя считается опасным по ГДЯ из кровли.

Критические значения величины газового давления включены в нормативные документы, регламентирующие безопасное ведение горных работ на пластах, опасных по газодинамическим явлениям.

### Список литературы

1. Лаптев Б.В. Предотвращение газодинамических явлений в калийных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 138 с.
2. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управление. – Минск: Высшая школа, 2000. – 335 с.
3. Проскураков Н.М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра, 1980. – 264 с.
4. Долгов П.В., Полянина Г.Д., Земсков А.Н. Методы прогноза и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 176 с.
5. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогноза и способы предотвращения. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 219 с.
6. Ковалев О.В., Ливенский В.С., Былино Л.В. Особенности безопасной разработки калийных месторождений. – Минск: Полымя, 1982. – 96 с.
7. Проскураков Н.М., Ковалев О.В., Мещеряков В.В. Управление газодинамическими процессами в калийных рудниках. – Минск: Недра, 1988. – 239 с.
8. Obert L. In situ determination of stress in rock // Mining Engineer. – 1964. – August. – P. 51–58.
9. Obert L., Duvall W. Rock mechanics and the design of structures in rock. – John Wiley & Sons Inc., 1967. – P. 582–610.
10. Richtlinien des landes oberbergamtes nordrhein-westfalen über die abwehr von gefahren des plötzlichen freiwerdens grosser grubengasmengen mit oder ohne auswurf von kohle oder gesteин (gasausbruch-richtlinien). – 1981. – Vol. 13.
11. Полянина Г.Д., Земсков А.Н., Падерин Ю.Н. Технология и безопасность разработки Верхнекамского калийного месторождения. – Пермь: Кн. изд-во, 1990. – 262 с.



12. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь, 2008. – 414 с.
13. Duchrow G. Methoden zur bekämpfung mechanischer zerstorungen bei schweren gasausbruchen im kalibergbau // Freib. Forsch. H.A. – 1961. – 183. – S. 64–81.
14. Eckart D. Beitrag zur bekämpfung plotzlicher ausbruche von salz und gas // Bergakademie. – 1965. – no. 17. – S. 759–760.
15. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей в условиях газового режима в ОАО «Уралкалий» / Уралкалий. – Пермь–Березники, 2005. – 67 с.
16. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей в условиях газового режима в ОАО «Сильвинит» / Сильвинит. – Пермь–Соликамск, 2009. – 75 с.

#### References

1. Laptjev B.V. Predotvrawenie gazodinamicheskikh javlenij v kalijnyh rudnikah [Prevention of gas dynamic phenomena in potash mines]. Moscow: Nedra, 1994. 138 s.
2. Andrejko S.S., Kalugin P.A., Werba V.Ja. Gazodinamicheskie javlenija v kalijnyh rudnikah: genezis, prognoz i upravlenija [Gasdynamic phenomena in potash mines: genesis, prognosis and management]. Minsk: Vycshaja shkola, 2000. 335 s.
3. Proskurjakov N.M. Vnezapnye vybrosy porodyi gaza v kalijnyh rudnikah [Sudden emissions gas in the rock and potash mines]. Moscow: Nedra, 1980. 264 s.
4. Dolgov P.V., Poljanina G.D., Zemskov A.N. Metody prognoza i predotvrawenija gazodinamicheskikh javlenij v kalijnyh rudnikah [Methods of prediction and prevention of gas-dynamic phenomena in the potash mines]. Alma-Ata: Nauka, 1987. 176 s.
5. Andrejko S.S. Gazodinamicheskie javlenija v kalijnyh rudnikah: metody prognoza i sposoby predotvrawenija [Gasdynamic phenomena in potashmines: forecasting and prevention methods]. Perm: Izd-vo Perm. gos. tehn. un-ta, 2007. 219 s.
6. Kovalev O.V., Livenskij V.S., Bylino L.V. Osobennosti bezopasnoj razrabotki kalijnyh mestorozhdenij [Features of the safe development of potash deposits]. Minsk: Polymja, 1982. 96 s.
7. Proskurjakov N.M., Kovalev O.V., Mewerjakov V.V. Upravlenie gazodinamicheskimi processami v kalijnyh rudnikah [Management of gas-dynamic processes in potash mines]. Minsk: Nedra, 1988. 239 s.
8. Obert L. In situ determination of stress in rock. *Mining Engineer*, 1964, august, pp. 51–58.
9. Obert L., Duvall W. Rock mechanics and the design of structures in rock. John Wiley & Sons Inc., 1967, pp. 582–610.
10. Richtlinien des landes oberbergamtes nordrhein-westfalen über die abwehr von gefahren des plötzlichen freiwerdens grosser grubengasmengen mit oder ohne auswurf von kohle oder gestein (gasausbruch-richtlinien), 1981, vol. 13.
11. Poljanina G.D., Zemskov A.N., Paderin Ju.N. Tehnologija i bezopasnost' razrabotki Verhnekamskogo kalijnogo mestorozhdenija [Technology and security developments Upper Kama potash deposit]. Perm: Kn. izd-vo, 1990. 262 s.
12. Zemskov A.N., Kondrashev P.I., Travnikova L.G. Prirodnye gazy kalijnyh mestorozhdenij i mery bor'by s nimi [Natural gases from potash deposits and measures to combat them]. Perm, 2008. 414 s.
13. Duchrow G. Methoden zur bekämpfung mechanischer zerstorungen bei schweren gasausbruchen im kalibergbau. Freib. Forsch. H.A., 1961, 183, pp. 64–81.
14. Eckart D. Beitrag zur bekämpfung plotzlicher ausbruche von salz und gas. *Bergakademie*, 1965, no. 17, pp. 759–760.
15. Special'nye meroprijatija po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot na Verhnekamskom mestorozhdenii kalijnyh solej v uslovijah gazovogo rezhima v OJSC «Uralkalij» [Special arrangements for the safe conduct of mining on Verkhnekamsky potassium salts in the gas regime in OJSC «Uralkalij»]. Perm–Berezniki: Uralkalij, 2005. 67 s.
16. Special'nye meroprijatija po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot na Verhnekamskom mestorozhdenii kalijnyh solej v uslovijah gazovogo rezhima v OJSC «Sil'vinit» [Special arrangements for the safe conduct of mining on Verkhnekamsky potassium salts in the gas mode OJSC «Silvinit»]. Perm–Solikamsk: Sil'vinit, 2009. 75 s.

#### Об авторах

**Андрейко Сергей Семенович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, Сибирская, 78 а; e-mail: ssa@mi-perm.ru).

**Лялина Тамара Александровна** (Пермь, Россия) – инженер-исследователь лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, Сибирская, 78 а; e-mail: Lyalina@mi-perm.ru).

**Иванов Олег Васильевич** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, Сибирская, 78 а; e-mail: miner@mi-perm.ru).

**Нестеров Егор Анатольевич** (Пермь, Россия) – младший научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, Сибирская, 78 а; e-mail: mine\_egor@mail.ru).

#### About the authors

**Andrejko Sergej Semenovich** (Perm, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, head of the laboratory for geotechnical processes and mine gas-dynamics, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, ul. Sibirskaja, 78 а; e-mail: ssa@mi-perm.ru).

**Ljalina Tamara Aleksandrovna** (Perm, Russian Federation) – research engineer, laboratory for geotechnical processes and mine gas-dynamics, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, ul. Sibirskaja, 78 а; e-mail: Lyalina@mi-perm.ru).

**Ivanov Oleg Vasil'evich** (Perm, Russian Federation) – candidate of technical science, senior researcher, laboratory for geotechnical processes and mine gas-dynamics, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, ul. Sibirskaja, 78 а; e-mail: miner@mi-perm.ru).

**Nesterov Egor Anatol'evich** (Perm, Russian Federation) – research assistant laboratory for geotechnical processes and mine gas-dynamics, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, ul. Sibirskaja, 78 а; e-mail: mine\_egor@mail.ru).

Получено 10.05.2012