УДК
622.831.322

С.Ю. Нестерова

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИИ КАРНАЛЛИТОВОГО ПЛАСТА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАЗГРУЗОЧНО-ДЕГАЗАЦИОННОЙ ЩЕЛЬЮ

Для предотвращения газодинамических явлений все очистные работы в пределах наиболее выбросоопасного 6-го слоя пласта В ведутся только после его профилактической обработки методом торпедирования. Его недостатком является сейсмическое воздействие взрывных работ на приконтурную часть массива. Во время торпедирования происходят как незначительные по объему вывалы и осыпания карналлитовых пород из стенок разрезных выработок, так и газодинамические явления различной интенсивности в виде выбросов соли и газа из целиков, в том числе с последующим обрушением кровли пласта В на больших площадях и выделением значительных объемов газов. В результате могут быть нарушены проектные параметры камерной системы разработки и снижена несущая способность междукамерных целиков. Для совершенствования методов профилактики газодинамических явлений на руднике СКРУ-1 ПАО «Уралкалий» проведены экспериментальные исследования способа предотвращения газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита с помощью щелевой разгрузки. По их результатам дана комплексная оценка возможности применения горизонтальных дегазационно-разгрузочных щелей для предотвращения газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита. Предложены два варианта технологических схем профилактической обработки выбросоопасного карналлитового массива.
Ключевые слова: карналлитовый пласт, выбросоопасный массив, газодинамические явления, торпедирование, щелевая разгрузка, горизонтальная дегазационно-разгрузочная щель, остаточная газоносность, дегазация, воздухопоглощение.

Известно, что подземная разработка запасов практически всех калийных месторождений в мире осложняется газодинамическими явлениями (далее сокращенно – ГДЯ), которые в силу своей внезапности и интенсивности представляют угрозу жизни шахтеров и наносят существенный материальный ущерб калийным рудникам.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 129–142.
© 2017. С.Ю. Нестерова.

Вопросами изучения механизма ГДЯ, а также разработкой методов прогноза и способов предотвращения этих явлений в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей занимались на протяжении ряда лет и продолжают заниматься многие ученые [1–9].

Внедрение в практику результатов исследований позволило существенно снизить частоту и интенсивность газодинамических явлений при разработке сильвинитовых пластов [10, 11]. Однако, при добыче карналлита проблема повышения эффективности и безопасности горных работ по-прежнему остается актуальной.

Дело в том, что из всех промышленных пластов Верхнекамского месторождения карналлитовый пласт В является наиболее газоносным и выбросоопасным. При этом следует отметить, что если большинство ГДЯ при отработке сильвинитовых пластов Кр-2 и АБ связано со вмещающими породами, то основную опасность при добыче карналлита представляет сам карналлитовый пласт.

Уже более 20-ти лет добыча карналлита в условиях рудника СКРУ-1 ПАО «Уралкалий» ведется с применением проходческо-очистных комбайновых комплексов Урал-10А и Урал 20-А.

В связи с тем, что ГДЯ при отработке карналлитового пласта В происходят, главным образом, из забоя и стенок при проведении очистных и подготовительных выработок по наиболее выбросоопасному его слою – шестому (далее – слой $В_6$), основной мерой их предотвращения является безопасная технология горных работ. С этой целью все работы (очистные и подготовительные) в пределах 6-го слоя пласта В выполняют только после его профилактической обработки методом торпедирования (рис. 1).

В соответствии с действующим проектом отработка очистных камер ведется, в зависимости от технологии, в 3 или 4 технологических (выемочных) слоя по высоте камеры [12]. Следует отметить, что верхний технологический слой очистной камеры расположен в пределах мощности наиболее выбросоопасного слоя $В_6$, в связи с чем обязательна предварительная дегазация путем торпедирования именно верхнего технологического слоя очистной камеры.

Отработку запасов камеры начинают с проведения тупиковым забоем по ее верхнему технологическому слою разрезной выработки комбайном «Урал-10А». При этом одновременно в забое и в стенках разрезной бурят шпуры для дальнейшего торпедирования слоя $В_6$ [13].

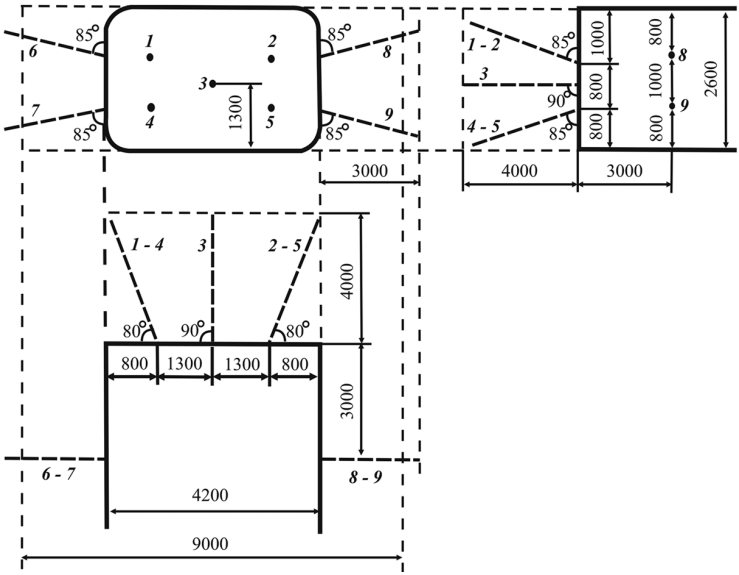


Рис. 1. Паспорт бурения шпуров для торпедирования слоя $B_б$ при проходке разрезной выработки по карналлитовому пласту B

При выполнении данных профилактических мероприятий предусмотрен контроль их результативности, который осуществляется одним из следующих способов:

1) сравнением воздухопоглощения пород до и после торпедирования, полученных как среднее значение по трем шпурам или путем однократного замера в одном и том же шпуре (эффективность считается достигнутой при отношении показателей воздухопоглощения карналлита после и до торпедирования не менее 1,5, а также в случае невозможности после торпедирования достичь заданного давления вследствие повышенного трещинообразования);

2) определением остаточной газоносности пород до и после торпедирования (эффективность считается достигнутой, если остаточная газоносность карналлита по условному метану не превышает 0,4 м^3/м^3). При этом остаточная газоносность после торпедирования не измеряется в массиве, а рассчитывается по специальной методике после измерения концентрации газов в атмосфере выработки за время отбойки комбайном не менее 18 т карналлитовой руды.

На практике же контроль эффективности торпедирования осуществляют не перечисленными выше способами, а визуально –

всего лишь по оценке взрыва и состояния забоя выработок, тем более что согласно нормативному документу «...отсутствие отказов и наличие откольных явлений (воронок) в устье шпуров позволяет считать эффективность торпедирования достигнутой» [13].

Наблюдения за состоянием контура очистных камер после выполнения противовыбросных мер показывают, что во время торпедирования массива происходят, как правило, не только незначительные по объему вывалы и осыпания карналлитовых пород из стенок разрезных выработок, а также газодинамические явления различной интенсивности в виде выбросов соли и газа из целиков [14]. Торпедирование зачастую провоцирует также сложные ГДЯ в виде выбросов соли и газа из целиков (на первой стадии) с последующим обрушением кровли пласта В на больших площадях и выделением значительных объемов газов (на второй стадии). В результате подобных явлений могут быть нарушены проектные параметры камерной системы разработки и, как следствие, снижена несущая способность междукамерных целиков.

Особо следует отметить случаи, когда газодинамические явления происходят не в момент торпедирования забоя, т.е. в отсутствие в забое рабочих и техники, а случаи, происходящие непосредственно в призабойном пространстве, во время отработки комбайном уже торпедированного массива.

Таким образом, очевидно, что способ разгрузки и дегазации карналлитового массива при проходке разрезной выработки методом торпедирования выбросоопасного слоя B_6 не лишен недостатков. Основным из них является сейсмическое воздействие взрывных работ на приконтурную часть массива [5, 15]. В результате того, что действующий «Паспорт производства работ по торпедированию массива на карналлитовом пласте В» составлен для средних условий и не учитывает конкретных особенностей залегания и свойств пласта, режим торпедирования слоя B_6 часто оказывается неустойчивым и переходит в режим сотрясательного взрывания, динамическое воздействие которого лишь усиливает вероятность развития ГДЯ в приконтурном массиве.

С целью совершенствования методов профилактики газодинамических явлений на руднике СКРУ-1 были проведены экспериментальные исследования способа предотвращения ГДЯ при механизированной добыче карналлита с помощью щелевой разгрузки [16, 17].

Следует отметить, что понятие «щелевой разгрузки» в горном деле стало привычным и используется в нескольких вариациях:

компенсационная щель, разгрузочная щель, разгрузочный паз, щелевая разгрузка, взрыво-щелевая разгрузка и т.п. [18–23]. Различие между понятиями «щель» и «паз» не зависит от параметров по глубине и заключается только в отсутствии или наличии ограничений по длине относительно участка массива, в котором они создаются. Например, «паз» – это щель, образованная не по всей длине лавы, а лишь в пределах ограниченного ее участка по длине [22].

Эксперимент включал наблюдения за деформированием пород на контуре разрезной выработки и развитием процессов дегазации массива в зоне влияния горизонтальной дегазационно-разгрузочной щелей (далее – ДРЩ) глубиной 1,2 м и разгрузочного паза глубиной 3,0 м (рис. 2).

Для оценки эффективности влияния щелевой разгрузки на уменьшение газового фактора выбросоопасности при отработке

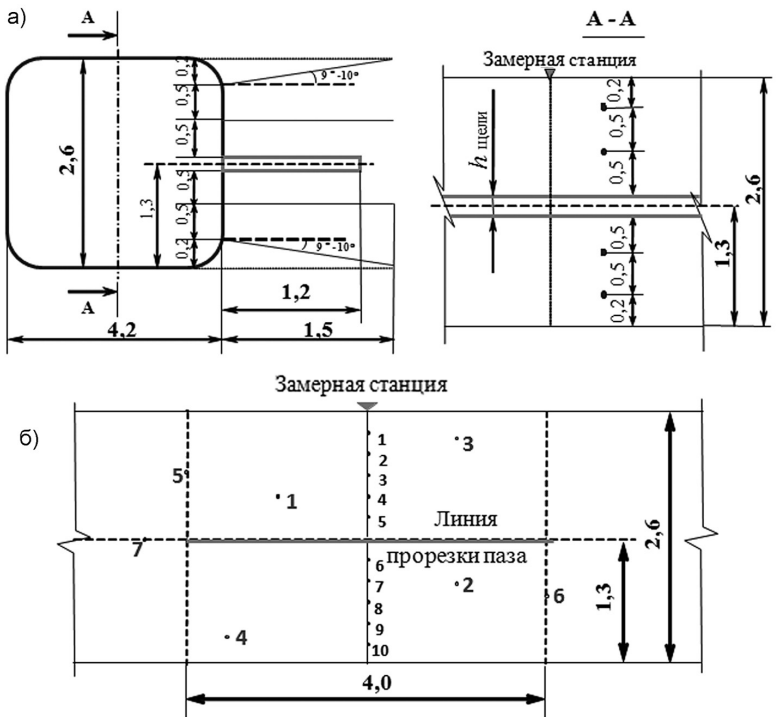


Рис. 2. Схема бурения шпуров для определения газоносности и воздухопоглощения карналлитового пласта на участках исследований в станке: с горизонтальной щелью (а); с разгрузочным пазом (б)

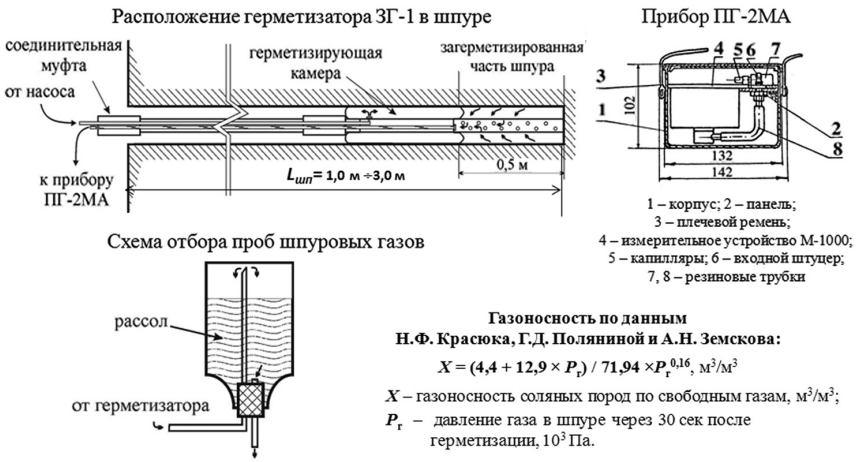


Рис. 3. Исследование газоносности массива по свободным газам

6 слоя карналлитового пласта В, на участках исследований проведены инструментальные наблюдения по известным методикам за изменением исходных значений газоносности (рис. 3) и показателей воздухопоглощения карналлитовых пород (рис. 4). С этой целью на участках исследований после проходки в них РДЩ и паза непосредственно в массиве (а не в атмосфере разрезной выработки) периодически проводились замеры и по

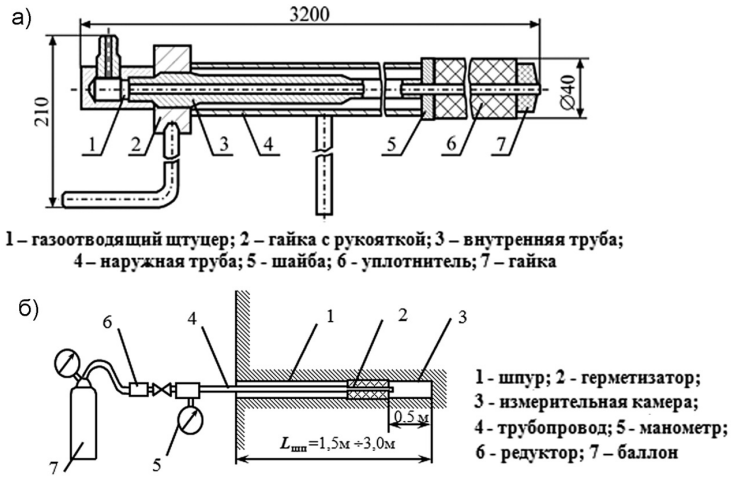


Рис. 4. Исследование показателя воздухопоглощения массива: затвор газовый ЗГ-1 (а); схема подключения установки к шпуру (б)

определению остаточной газоносности и достигнутых показателей воздухопоглощения в слое B_6, которые сравнивались затем с исходными значениями, полученными в исследуемом массиве до проведения РДЩ и паза [24].

По результатам исследований дана комплексная оценка эффективности применения метода щелевой разгрузки для предотвращения газодинамических явлений при добыче карналлита. Исследованиями установлено, что применение щелевой разгрузки в условиях карналлитового пласта В способствует росту трещиноватости карналлитовых пород и постепенному формированию в стенке горной выработки с горизонтальной щелью систем связанных трещин, которые представляют собой системы проводников для фильтрации газа из массива в выработку.

Регулярные замеры на участках исследований и результаты анализа отобранных в массиве газовых проб показали, что применение щелевой разгрузки в условиях карналлитового пласта

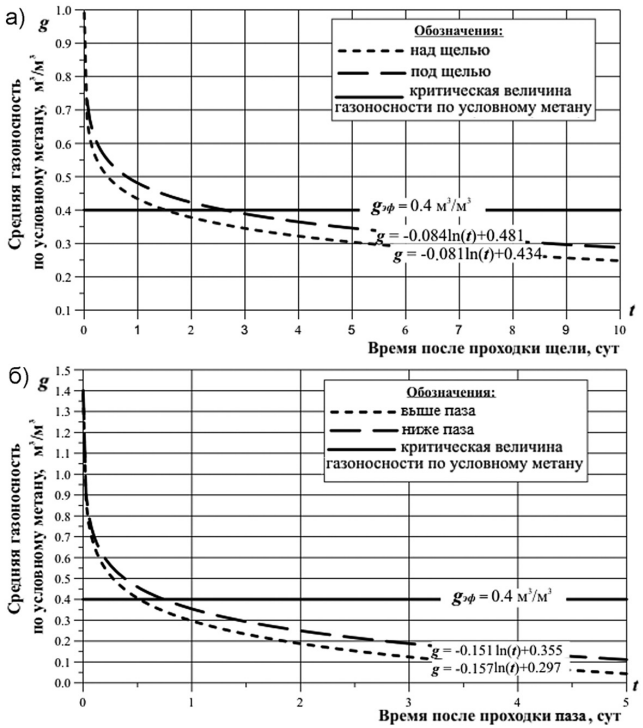


Рис. 5. Изменение остаточной газоносности карналлитовых пород в зоне влияния: РДЩ глубиной 1,2 м (а); паза глубиной 3,0 м (б)

способствует снижению давления газов в пласте и его эффективной дегазации на глубине щели (паза) в пределах высоты хода комбайна.

Так, в стенке выработки с РДЩ глубиной 1,2 м газоносность слоя B_6 снизилась до установленной нормативами безопасной величины через трое суток после проходки щели (рис. 5, *а*). На участке исследований с разгрузочным пазом глубиной 3,0 м необходимый эффект дегазации был достигнут уже в течение первых суток после его прорезки (рис. 5, *б*).

Кроме того, экспериментально установлено, что создание щели в стенке выработки способствует также росту показателей воздухопоглощения карналлитовых пород на глубине щели (паза) в пределах высоты хода комбайна. В частности, эффективность щелевой разгрузки по воздухопоглощению достигается в стенке горной выработки со щелью глубиной 1,2 м в течение того же периода, что и по результатам контроля эффектив-

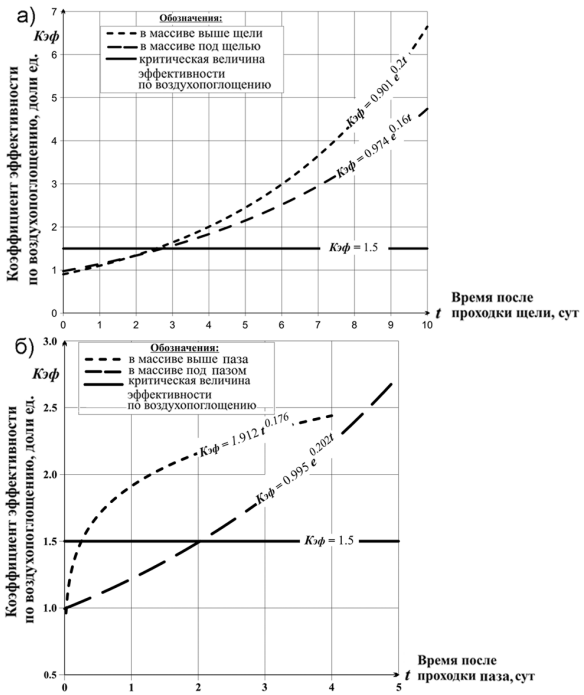


Рис. 6. Изменение коэффициентов эффективности по воздухопоглощению пород: в зоне влияния щели глубиной 1,2 м (а); на участке с пазлом глубиной 3,0 м (б)

ности щелевой разгрузки по остаточной газоносности пород, то есть через трое суток после проходки щели (рис. 6, *а*).

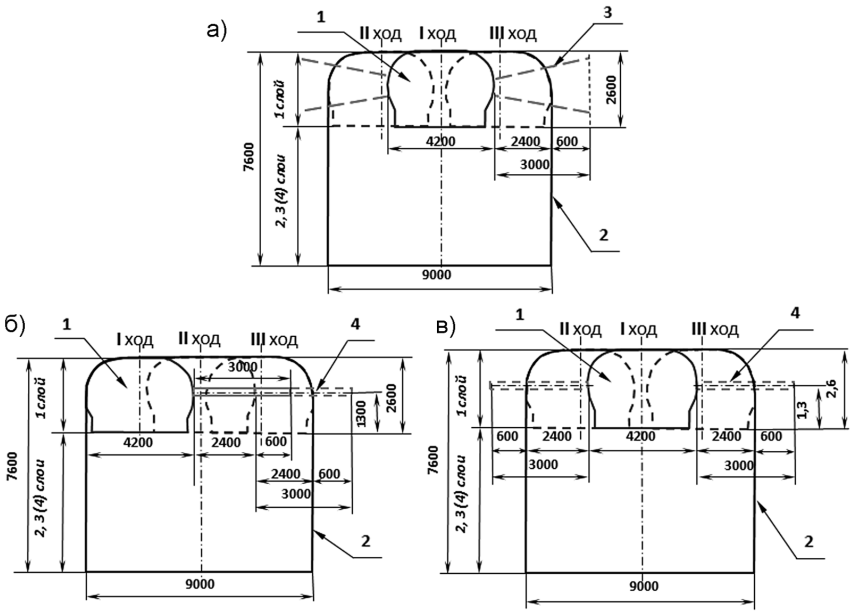
Что касается сроков достижения эффективности по воздухопоглощению в стенке с разгрузочным пазом глубиной 3,0 м, то именно комплексная оценка позволила выявить различные по продолжительности периоды достижения безопасных значений остаточной газоносности и показателя воздухопоглощения пород на этом участке (рис. 6, *б*). В связи с данным обстоятельством, за окончательный период эффективного влияния на карналлитовый пласт разгрузочного паза глубиной 3,0 м был принят больший из периодов, равный двум суткам, а не одним суткам, как по остаточной газоносности.

Следовательно, комплексная оценка эффективности дегазации карналлитового пласта, основанная на измерениях и значений остаточной газоносности и показателя воздухопоглощения пород, более точно позволяет установить период, достаточный для снижения выбросоопасности карналлитового массива до безопасного уровня.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы, имеющие практическую значимость:

- при расположении горизонтальной щели на равном расстоянии между кровлей и почвой выработки обеспечивается возможность равномерной дегазации и роста показателей воздухопоглощения карналлитовых пород на глубине щели в пределах высоты хода комбайна Урал-10А, равной 2,6 м;
- для достоверной оценки эффективности влияния щелевой разгрузки на изменение показателей воздухопоглощения карналлитовых пород в целом для исследуемого массива исходный и достигнутый в зоне влияния щели показатели воздухопоглощения должны определяться только как средние значения, рассчитанные по данным замеров в не менее чем в трех различных точках исследуемого массива до и после проходки щели (т.е. результаты однократных замеров в каком-либо одном шпуре не могут быть признаны достоверными);
- щелевая разгрузка может быть рекомендована в качестве эффективного способа предотвращения газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита.

По результатам исследований для принятых на руднике СКРУ-1 параметров системы разработки (рис. 7, *а*) предложены два варианта технологических схем реализации способа предотвращения ГДЯ с помощью щелевой разгрузки (рис. 7, *б*, *в*) [24].



1 – разрезная выработка; 2 – проектный контур очистной камеры;
3 – шпуры для торпедирования длиной 3,0 м; 4 – дегазационно-разгрузочная щель глубиной 3,0 м

Рис. 7. Технологические схемы профилактической обработки стенок разрезной выработки при механизированной добыче карналлита в условиях рудника СКРУ-1: действующая технология торпедирования слоя B_6 (а); с использованием комбайна, оборудованного устройством для нарезки щели (б); с использованием щеленарезной машины (в)

Предложенный способ предотвращения газодинамических явлений при механизированной отработке карналлитового пласта В с помощью горизонтальной щели имеет по сравнению с применяемой технологией дегазации и разгрузки выбросоопасного массива методом торпедирования следующие достоинства:

• снижение сейсмического воздействия взрыва на приконтурный массив за счет исключения взрывных работ в стенках разрезной выработки и уменьшения общего расхода взрывчатых веществ на проходческий цикл;

• отсутствие ограничения максимального периода времени до начала отработки комбайном участков массива в пределах верхнего технологического слоя пласта В, дегазированных с помощью щелевой разгрузки;

• снижение риска производственного травматизма рабочих, занятых предварительной дегазацией слоя B_6, в связи с исклю-

чением из проходческого цикла процесса бурения шпуров в недегазированные стенки горной выработки ручными электросверлами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пермяков Р.С.*, *Проскуряков Н.М.* Внезапные выбросы соли и газа. – Л.: Недра, 1972. – 115 с.

2. *Проскуряков Н.М.* Газодинамические проявления на Верхнекамских калийных рудниках / Газодинамические явления на калийных рудниках. – Л.: Недра, 1974. – С. 69–95.

3. *Папулов Л.М.*, *Кузнецов Н.В.*, *Триполко А.С.* Особенности разработки Верхнекамского месторождения калийных солей / Повышение эффективности разработки Верхнекамского калийного бассейна. – Пермь: Кн. Изд-во, 1986. – С. 21–37.

4. *Проскуряков Н.М.*, *Ковалев О.В.*, *Мещеряков В.В.* Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. – М.: Недра, 1988. – 240 с.

5. *Полянина Г.Д.*, *Земсков А.Н.*, *Падерин Ю.Н.* Технология и безопасность разработки Верхнекамского калийного месторождения. – Пермь: Кн. изд-во, 1990. – 262 с.

6. *Андрейко С.С. Калугин П.А. Щерба В.Я.* Газодинамические явления в калийных рудниках. Генезис, прогноз и управление. – Мн.: Высшая школа, 2000. – 335 с.

7. *Андрейко С.С.*, *Иванов О.В.*, *Нестеров Е.А.*, *Литвиновская Н.А.* Исследование газоносности продуктивных калийных пластов на новых участках шахтных полей калийных рудников ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 4. – С. 186–190.

8. *Лаптев Б.В.* Историография аварий при разработке соляных месторождений // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 12. – С. 41–46.

9. *Бобров Д.А.* Информационно-справочная система газодинамических явлений и газоносности для условий шахтных полей рудников ПАО «Уралкалий» // Проблемы недропользования. – 2016. – № 2(9). – С. 12–18.

10. *Нестеров Е.А.* Совершенствование технологии дегазационных работ при отработке сильвинитовых пластов в условиях шахтных полей рудников ОАО «Сильвинит» // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – Т. 12. – № 6. – С. 120–127.

11. *Андрейко С.С.*, *Литвиновская Н.А.*, *Лялина Т.А.* Управление газодинамическими процессами в породах почвы выработок при разработке сильвинитового пласта АБ Верхнеккмского месторождения калийных солей // Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 89–92.

12. *Проект* «Механизированная выемка карналлитового пласта В (корректировка) на руднике СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» / Том 1. Пояснительная записка и чертежи. Шифр: 51.108-ПЗ. – Пермь: ОАО «Галургия», 2002.

13. *Указания* по безопасной механизированной отработке карналлитового пласта В и пластов смешанного состава на рудниках ОАО «Сильвинит». – Пермь – Соликамск: 2002.

14. *Нестерова С. Ю.* Оценка состояния стенок горных выработок после торпедирования при механизированной выемке карналлитового пласта В в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2003. – С. 237–239.

15. *Турчанинов И. А.*, *Иофис М. А.*, *Каспарьян Э. В.* Основы механики горных пород – Л.: Недра, 1989. – 488 с.

16. *Алыменко Н. И.*, *Андрейко С. С.*, *Бушуев Ю. П.*, *Минин В. В.*, *Нестерова С. Ю.*, *Чистяков А. Н.* Патент РФ № 2001114467/03, 20.02.2003. . Способ управления газодинамическими процессами в приконтурном массиве горной выработки. 2001. Бюл. № 5.

17. *Андрейко С. С.*, *Нестерова С. Ю.*, *Иванов О. В.* Оценка эффективности щелевой разгрузки для предотвращения газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 3. – С. 5–13.

18. *Столбов В. Ю.*, *Жихарев С. Я.*, *Коротких В. А.*, *Падерин А. Н.* Определение НДС горного массива вокруг выработки с разгрузочной щелью / Разработка соляных месторождений. – Пермь: ПермПИ, 1986. – С. 129–132.

19. *Константинова С. А.*, *Падерин Ю. Н. Комисарова В. К.* Щелевая разгрузка кровли соляных пород как способ повышения ее устойчивости // Проблемы безопасной разработки калийных месторождений. – Мн., 1990. – 47 с.

20. *Журавков М. А.* Влияние компенсационных щелей на устойчивость выработок, пройденных в породах, опасных по ГДЯ / Совершенствование разработки соляных месторождений. – Пермь: ПермПИ, 1990. – С. 30–41.

21. *Балинченко И. И.*, *Рейпольский П. А.*, *Тимофеев Э. И.*, *Серболов Э. Е.* Применение разгрузочной щели для предотвращения внезапных выбросов в очистных забоях // Безопасность труда в промышленности. – 1992. – № 8. – С. 25–27.

22. *Николин В. И.*, *Александров С. Н.*, *Яйло В. В.*, *Фридман Г. М.* Предотвращение выбросов угля и газа с помощью щелевой разгрузки. – К.: Тэхника, 1992. – 150 с.

23. *Пестренин В. М.*, *Пестренина И. В.*, *Костромина П. П.* Влияние разгрузочных щелей на напряженное состояние и ползучесть породного массива в окрестности выработки // Вычислительная механика сплошных сред. – 2011. – Т. 4. – № 2. – С. 110–118.

24. *Нестерова С. Ю.* Предотвращение газодинамических явлений при отработке карналлитовых пластов с помощью щелевой разгрузки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2010. – 22 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Нестерова Светлана Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, e-mail: sveta_ber@inbox.ru, Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 129–142.

UDC
622.831.322

S.Yu. Nesterova

INTEGRATED EVALUATION OF CARNALLITE BED DEGASSING EFFICIENCY UNDER HORIZONTAL DESTRESSING–DEGASSING SLOTTING

Machine mining of carnallite at the Upper Kama deposit of potassium–magnesium salts has been carried out for more than 20 years. To prevent gas-dynamic events, actual stoping within the most rockburst-hazardous layer 6 in seam B is implemented only after its protective treatment by blasting. The essential drawback of this approach to preventing gas-dynamic events during carnallite mining is seismic effect of blasting on the ore and rock interface. Blasting causes small falls and sloughing of carnallite from walls of access drives and induces various strength gas-dynamic events in the form of salt and gas outbursts from pillars with the subsequent collapse of long spans in the roof of seam B and high rate gas releases. These phenomena violate design parameters of the room-and-pillar mining system and, accordingly, reduce load-bearing capacity of rib pillars. Aiming at improvement of prevention of gas-dynamic events, Uralkali Mine-1 performed the experimental research into the method of elimination of gas-dynamic events in the course of machine mining of carnallite using the borehole slotter technique. Based on the research findings, the integrate evaluation of applicability of horizontal destressing–degassing slotting to prevent from gas-dynamic events induced by machine mining of carnallite was undertaken. For the current parameters of the accepted mining systems, two process flow diagrams were proposed for the preventive treatment of rockburst-hazardous carnallite seams.

Key words: carnallite seam, rockburst-hazardous rock mass, gas-dynamic events, blasting, borehole slotter, horizontal destressing–degassing slot, residual gas content, gas drainage, air intake.

AUTHOR

Nesterova S.Yu. Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Head of Chair, e-mail: sveta_ber@inbox.ru,
Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch,
618400, Berezniki, Russia.

REFERENCES

1. Permyakov R.S., Proskuryakov N.M. *Vnezapnye vybrosy soli i gaza* (Salt and gas outbursts), Leningrad, Nedra, 1972, 115 p.

2. Proskuryakov N.M. *Gazodinamicheskie yavleniya na kaliynykh rudnikakh* (Gas-dynamic events in potassium mines), Leningrad, Nedra, 1974, pp. 69–95.

3. Papulov L.M., Kuznetsov N.V., Tripolko A.S. *Povyshenie effektivnosti razrabotki Verkhnekamskogo kaliynogo basseyna* (Enhancing mining efficiency in the Upper Kama Potassium Basin), Perm, Kn. izd-vo, 1986, pp. 21–37.

4. Proskuryakov N.M., Kovalev O.V., Meshcheryakov V.V. *Upravlenie gazodinamicheskimi protsessami v plastakh kaliynykh rud* (Gas-dynamic control in potassium ore strata), Moscow, Nedra, 1988, 240 p.

5. Polyanina G.D., Zemskov A.N., Paderin Yu.N. *Tekhnologiya i bezopasnost' razrabotki Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya* (Technology and safety of mining at the Upper Kama Potassium Deposit), Perm, Kn. izd-vo, 1990, 262 p.

6. Andreyko S. S. Kalugin P. A. Shcherba V. Ya. *Gazodinamicheskie yavleniya v kaliynykh rudnikakh. Genezis, prognoz i upravlenie* (Gas-dynamic events in potassium mines. Genesis, prediction and control), Minsk, Vysshaya shkola, 2000, 335 p.

7. Andreyko S. S., Ivanov O. V., Nesterov E. A., Litvinovskaya N. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 4, pp. 186–190.

8. Laptev B. V. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2011, no 12, pp. 41–46.

9. Bobrov D. A. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2016, no 2(9), pp. 12–18.

10. Nesterov E. A. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*. 2013. T. 12, no 6, pp. 120–127.

11. Andreyko S. S., Litvinovskaya N. A., Lyalina T. A. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 4, pp. 89–92.

12. *Proekt «Mekhanizirovannaya vyemka karnallitovogo plasta V (korrektirovka) na rudnike SKPRU-1 OAO «Sil'vinit»*. T. 1. Poyasnitel'naya zapiska i chertezhi (Project «Machine Mining of Carnallite Seam B (Adjustment) in Silvinit Mine-1.» Vol. 1. Explanatory Note and Drawings), Perm, OAO «Galurgiya», 2002.

13. *Ukazaniya po bezopasnoy mekhanizirovannoy otrabotke karnallitovogo plasta V i plastov smeshannogo sostava na rudnikakh OAO «Sil'vinit»* (Guidelines on safe machine mining of carnallite seam B and mixed composition strata in Silvinit mines), Perm, Solikamsk, 2002.

14. Nesterova S. Yu. *Modelirovanie strategii i protsessov osvoeniya georesursov* (Modeling strategy and processes of georesource development), Perm, Gornyy institut UrO RAN, 2003, pp. 237–239.

15. Turchaninov I. A., Iofis M. A., Kaspar'yan E. V. *Osnovy mekhaniki gornykh porod* (Basics of rock mechanics), Leningrad, Nedra, 1989, 488 p.

16. Alymenko N. I., Andreyko S. S., Bushuev Yu. P., Minin V. V., Nesterova S. Yu., Chistyakov A. N. *Patent RU № 2001114467/03*, 20.02.2003.

17. Andreyko S. S., Nesterova S. Yu., Ivanov O. V. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2012, no 3, pp. 5–13.

18. Stolbov V. Yu., Zhikharev S. Ya., Korotkikh V. A., Paderin A. N. *Razrabotka solyanykh mestorozhdeniy* (Development of salt deposits), Perm, PermPI, 1986, pp. 129–132.

19. Konstantinova S. A., Paderin Yu. N. Komisarova V. K. *Problemy bezopasnoy razrabotki kaliynykh mestorozhdeniy* (Problems of mining safety at potassium deposits), Minsk, 1990, 47 p.

20. Zhuravkov M. A. *Sovershenstvovanie razrabotki solyanykh mestorozhdeniy* (Improvement of mining at potassium deposits), Perm, PermPI, 1990, pp. 30–41.

21. Balinchenko I. I., Reypol'skiy P. A., Timofeev E. I., Serbolov E. E. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 1992, no 8, pp. 25–27.

22. Nikolin V. I., Aleksandrov S. N., Yaylo V. V., Fridman G. M. *Predotvrashchenie vybrosov uglya i gaza s pomoshch'yu shchelevoy razgruzki* (Prevention of coal and gas outbursts using borehole slotter approach), Kiev, Tekhnika, 1992, 150 p.

23. Pestrenin V. M., Pestrenina I. V., Kostromina P. P. *Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred*. 2011, vol. 4, no 2, pp. 110–118.

24. Nesterova S. Yu. *Predotvrashchenie gazodinamicheskikh yavleniy pri otrabotke karnallitovykh plastov s pomoshch'yu shchelevoy razgruzki* (Prevention of gas-dynamic events in carnallite mining using borehole slotter), Candidate's thesis, Perm, GI UrO RAN, 2010, 22 p.