

16. Andreiko S.S., Litvinovskaya N.A., Lyalina T.A. Control of gas-dynamic processes in floor rock mass in sylvinitic bed AB of the Upper Kama Potassium Salt Deposit // *Gornyi Zhurnal*. – 2015. – № 4. – P. 89-92. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.16.
17. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – 2-изд., перераб. – М.: Эpsilon Плюс, 2013. – 368 с.
18. Копнин В.И., Коротчаев М.А. Стратификация соляной толщи Верхнекамского месторождения калийных солей // *Строение и условия формирования месторождений калийных солей*. – Новосибирск, 1981 – С. 79-94.
19. Петроктонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н.М. Джиноридзе. – СПб; Соликамск, 2000. – 400 с.
20. Лукьянец Е.В. Анализ структурно-тектонических условий проявления газодинамических явлений в надвиговых и сдвиговых зонах на шахтном поле рудника БКПРУ-2 // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН*. – Пермь, 2018. – С. 329-332. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.87
21. Чайковский И.И. Разноранговость и природа пликвативных структур в сильвинитах Верхнекамского месторождения // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 9 / ГИ УрО РАН*. – Пермь, 2011. – С. 3-6.
22. Копнин В.И., Пшеничников А.Г. Структурно-тектонические условия газодинамических явлений на Березниковских калийных рудниках и вопросы прогнозирования выбросоопасных зон // *Разработка калийных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр.* – Пермь, 1984. – С.96-99.
23. Нестеров Е.А. Исследование и разработка методов прогнозирования и способов предотвращения внезапных отжимов призабойной части пород при отработке калийных пластов: автореф. дис. ... к.т.н.; 25.00.20 / Нестеров Егор Анатольевич. – Пермь, 2016. – 19 с.

УДК 622.831.322+622.233

DOI:10.7242/echo.2020.2.22

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОХОДКИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В ВЫБРОСООПАСНЫХ ДОЛОМИТОВЫХ ПОРОДАХ

Е.А. Нестеров

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Развитие горных работ на руднике «Интернациональный» предусматривает проходку подготовительных горных выработок на глубинах более 1000 м. Известно, что на таких глубинах вмещающие породы подвержены высокому горному давлению и, как показывает практика ведения горных работ на руднике «Интернациональный», газонасыщены. Высокое горное давление, газонасыщенность, газодинамические характеристики и физико-механические свойства вмещающих пород определяют склонность этих пород к газодинамическим явлениям в процессе проходки подготовительных выработок. В связи с этим фактом при проходке подготовительных выработок на руднике «Интернациональный» на больших глубинах появилась настоятельная необходимость в разработке безопасной технологии проходки горных выработок во вмещающих доломитовых породах, склонных к выбросам породы и газа.

В статье представлен вариант технологии проходки подготовительных выработок во вмещающих доломитовых породах, а также результаты оценки эффективности передового торпедирования пород при проходке горных выработок на стадии опытно-промышленных испытаний.

**Ключевые слова:** газодинамические явления, выбросы породы и газа, передовое торпедирование, опытно-промышленные исследования, дегазация, газоносность.

В настоящее время на руднике «Интернациональный» АК «Алроса» для вскрытия более глубоких горизонтов проходят ряд горных выработок во вмещающих доломитовых породах. Проходка горных выработок осуществляется буровзрывным способом. Как известно, с увеличением глубины разработки увеличивается горное давление на выработки, ухудшаются условия разработки по газовому фактору, увеличивается вероятность появления динамических разрушений горных пород [1-20]. Все это в полной мере проявляется на руднике «Интернациональный».

При ведении подготовительных горных работ во вмещающих породах с увеличением глубины стали происходить газодинамические явления в виде внезапных и инициированных буровзрывными работами выбросов породы и газа. Внезапность и большая интенсивность выбросов представляют серьезную угрозу жизни шахтеров, при этом нарушается ритмичность работы, технология ведения горных работ, параметры проходимых подготовительных выработок, а выход полостей от выбросов породы и газа за контур горных выработок требует существенные материальные затраты на ликвидацию.

В результате анализа случаев газодинамических явлений, зафиксированных на руднике, исследований по изучению газоносности, пористости, проницаемости доломитовых пород, были разработаны параметры технологии проведения подготовительных выработок во вмещающих породах буровзрывным способом с управлением интенсивностью выбросов породы и газа. Предложенная технология проходки подготовительных горных выработок основана на многолетнем опыте применения передового торпедирования при разработке угольных пластов, опасных по внезапным выбросам, а также добыче карналлитовой руды на СКПРУ-1 ПАО «Уралкалий» [9-10].

Проведение выработки предлагается осуществлять в две фазы. Первая фаза – осуществляется передовое торпедирование приконтурной части массива горной выработки. На рисунке 1 представлен вариант торпедирования массива шпурами глубиной 3,4 м (длина шпуров для торпедирования определена применяемым оборудованием).

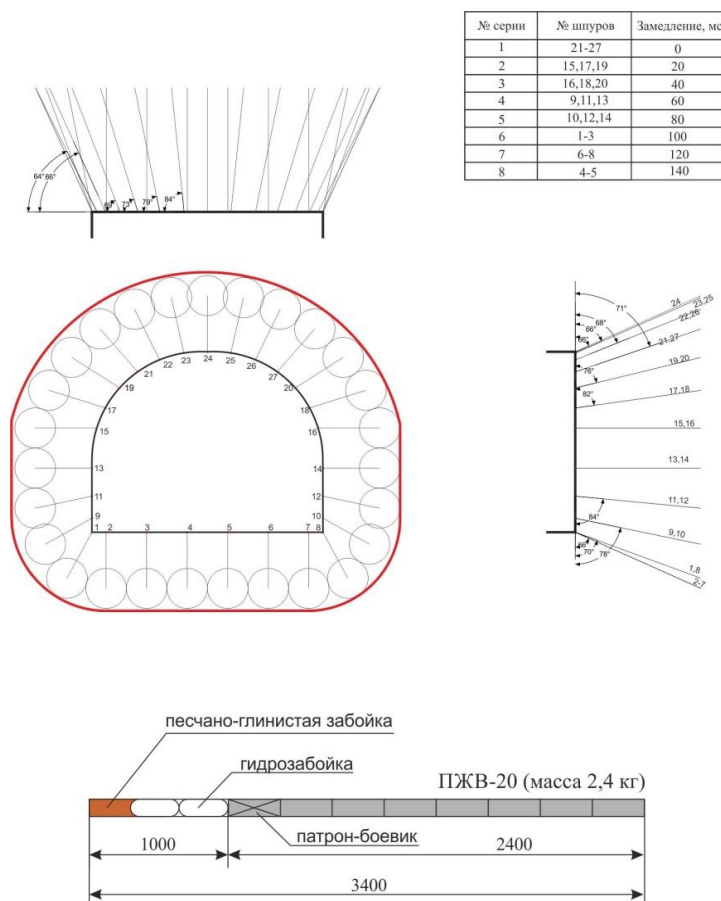


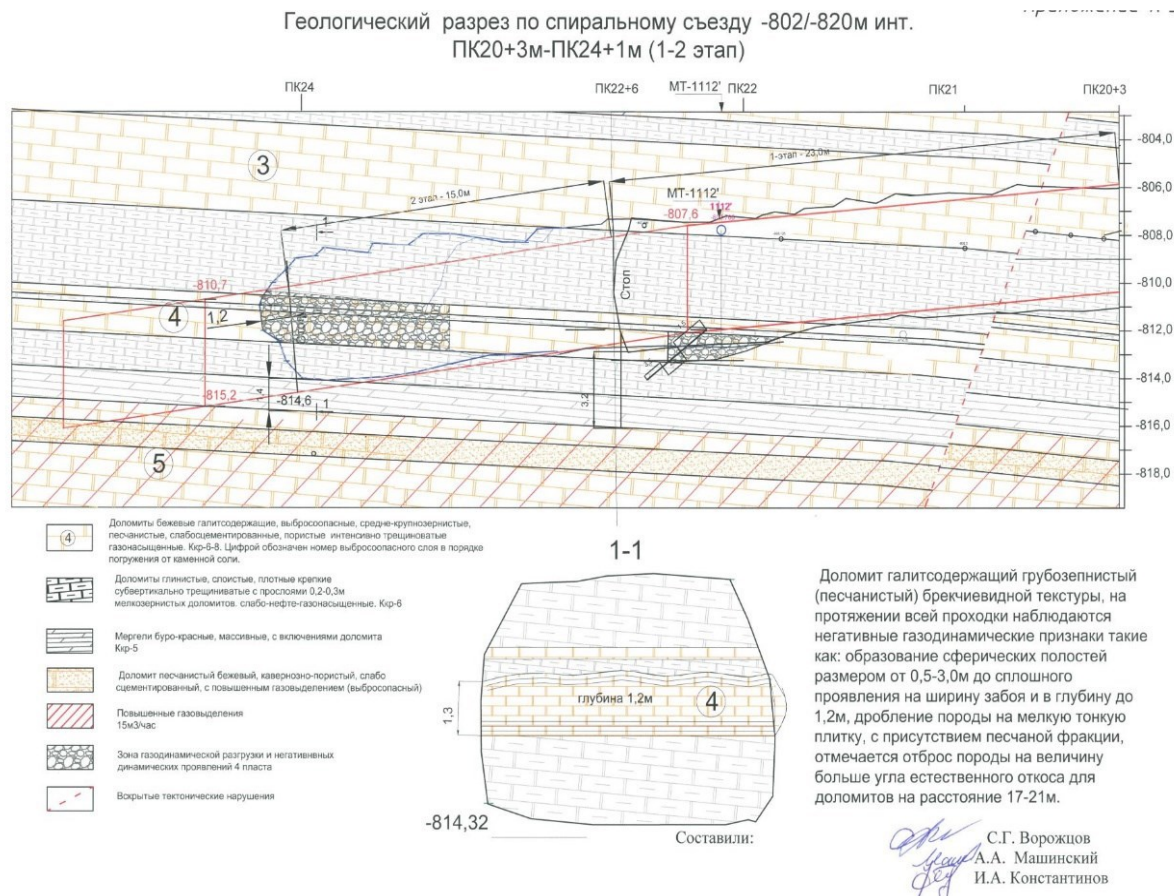
Рис. 1. Схема комплекта шпуров для торпедирования

Второй фазой (приемом) является взрывная отбойка породы в забое выработки по существующему паспорту буровзрывных работ. На второй фазе – взрывной отбойке породы в забое – предусматривается ограничение интенсивности выброса породы и га-

за из забоя выработки за счет снижения интенсивности взрывного импульса путем применения ступеней замедления и порядка отбойки слоев пород.

Также в результате проведенных исследований выделены породы, наиболее опасные по газодинамическим явлениям. Предложенная технология проходки горных выработок с предварительным торпедированием приконтурного массива, а также прогнозное бурение скважин по трассе выработки для выделения выбросоопасных доломитовых слоев прошли опытно-промышленные испытания на предприятии.

В результате проведения опытно-промышленных испытаний было пройдено 27,9 метров спирального съезда. Геологический разрез в интервале проведения опытно-промышленных испытаний представлен на рисунке 2. Отмечается, что в процессе бурения шпуров для передового торпедирования происходили интенсивные выделения свободных газов, что приводило к загазованию выработки. Это связано с тем, что шпурами вскрывался выбросоопасный слой и происходила его частичная дегазация. Последующее торпедирование слоя приводило к созданию сети трещин (каналов фильтрации газа) и дегазации торпедируемой части выбросоопасного слоя. При подходе к выбросоопасному слою пород на почве выработки были заметны пузырьки выделяющихся газов, что свидетельствовало о высокой газоносности по свободным газам пород выбросоопасного слоя.



**Рис. 2.** Геологический разрез в интервале проведения опытно-промышленных испытаний

На отдельных циклах буровзрывных работ при взрывании отбойных шпуров взрывным импульсом были инициированы выбросы породы и газа небольшой интенсивности. В этих циклах в забое выработки наблюдалось дробление породы на мелкую тонкую плитку, величина коэффициента относительного подвигания забоя выработки в отдельных случаях изменялась от 1 до 1,22, увеличенный отброс породы – все эти при-

знаки свидетельствует о развитии из забоя выработки выбросов породы и газа небольшой интенсивности, которая, вероятно, связана с положительным эффектом передового торпедирования. Также анализ данных показывает, что при этом контуры полостей выбросов породы и газа не выходили за проектные контуры проходимой выработки, обеспечивая при этом дополнительное подвигание забоя выработки.

На основании результатов проведения двух этапов опытно-промышленных испытаний локального метода прогнозирования выбросоопасности пород по материалам керновых скважин и способа предотвращения выбросов породы и газа из законтурного пространства можно сделать следующие выводы.

– Результаты локального прогноза выбросоопасности слоев доломитов по данным керна материала скважин подтвердились. В слоях доломитов, отнесенных к выбросоопасным, в процессе проходки спирального съезда отмечались явления, характерные для выбросоопасных пород. Все эти факты свидетельствуют о выбросоопасности слоев доломитов и развитии при взрывной отбойке выбросов породы и газа из забоя выработки небольшой интенсивности из слоев доломитов, отнесенных по результатам локального прогноза к выбросоопасным.

– Установлено, что технология проходки подготовительных выработок во вмещающих доломитовых породах рудника «Интернациональный» с помощью передового торпедирования является в целом эффективной. При этом подтвердилось, что на глубину торпедирования полости выбросов породы и газа из забоя выработки располагаются преимущественно в проектом сечении выработки, не выходя за проектные контуры выработки более чем на 1,0 м, обеспечивая при этом дополнительное подвигание забоя выработки при БВР.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы ФНИ,  
проект № 0422-2019-0145-С-01 (регистрационный номер темы НИОКТР:  
АААА-А18-118040690029-2).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы и газа. – М.: Недра, 1967. – 80 с.
2. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
3. Большинский М.И., Матлак Е.С., Федченко А.Е. Проведение выработок по выбросоопасным песчанникам проходческими комбайнами. – М.: ЦНИЭИуголь.–1977.–15 с.
4. Шевелев Г.А. Динамика выбросов угля, породы и газа. – Киев: Наук. думка. – 1989.–156 с.
5. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. – М.: Наука. – 1987.–310 с.
6. Проскуряков Н.М., Ковалев О.В., Мещеряков В.В. Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. – М.: Недра, 1988. – 239 с.
7. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
8. Технология и безопасность взрывных работ / В.А. Белин [и др.]. – М.: Изд-во "Горное дело" ООО "Киммерийский центр", 2016. – 424 с.: табл., ил. – (Б-ка горного инженера. Т. 10. Взрывное дело. Кн. 2)
9. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Науч. исслед. и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 34-37.
10. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2015. – 159 с.
11. Нестерова С.Ю., Андрейко С.С. Технология дегазации выбросоопасного массива при механизированной добыче карналлита // Естественные и технические науки. – 2017. – № 2. – С. 64-67.
12. Andreiko S., Baryakh A., Lobanov S., Fedoseev A. Geo mechanical Estimation of Danger of Gas-Dynamic Failure During Potash Deposits Mining // ISRM European Rock Mechanics Symposium EUROCK 2017. – 2017. – V. 191. – P. 954-961.

13. Барях А.Б., Андрейко С.С., Федосеев А.К. О механизме локализации очагов газодинамических явлений в почве сильвинитовых пластов // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 247-254. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.5.
14. Андрейко С.С., Лукьянец Е.В., Литвиновская Н.А., Нестеров Е.А., Бобров Д.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А. Параметры профилактической дегазации пород почвы горных выработок при слоевой отработке третьего калийного пласта на рудниках ОАО «Беларуськалий» // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 280-290. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.9.
15. Андрейко С.С., Мальцев В.М., Аникин В.В., Жихарев С.Я. Обоснование безопасных параметров буровзрывной отработки сильвинитовых пластов некондиционной мощности совместно с комбайновой выемкой кондиционных пластов на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 357-369. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.7.
16. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rockburst from floors // Soils and Rocks. – 2019. – V. 42, 1. – P. 77-82. DOI: 10.28927/SR.421077.
17. Андрейко С.С. Современное состояние проблемы газодинамических явлений на действующих и вводимых в эксплуатацию калийных рудниках // Горное эхо. – 2019. – № 2 (75). – С.82-89.
18. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Исследование способов предотвращения внезапных отжимов призабойной части соляных пород // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С.30-34. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.06.
19. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А., Сиренко Ю.Г., Чайнов А.Б. Предотвращение газодинамических явлений из почвы горных выработок при различных вариантах столбовой системы разработки на рудниках ОАО «Беларуськалий» // Горн. журн. – 2018. – № 8. – С. 29-33. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.02.
20. Барбиков Д.В., Андрейко С.С., Иванов О.В., Бобров Д.А. Оценка газодинамических характеристик горных пород Краснослободского разлома // Горн. журн. – 2018. – № 8. – С. 38-42. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.04.

УДК 622.4, 622.253.3

DOI:10.7242/echo.2020.2.23

## УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В ПЕРИОД ИХ СТРОИТЕЛЬСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД

М.А. Семин

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В статье проведено теоретическое исследование конвективных расслоений воздушных потоков при проветривании строящихся вертикальных шахтных стволов в условиях наличия горизонтального градиента температуры. Проведено многопараметрическое численное моделирование нестационарных процессов теплопереноса в атмосфере шахтного ствола в двухмерной постановке. Определены критические параметры турбулентного воздушного потока (числа Рэлея), при которых в стволе начинают появляться обратнаправленные потоки воздуха.

**Ключевые слова:** шахтный ствол, устойчивость, проветривание, ледопородное ограждение, численное моделирование.

### Введение

Согласно действующей на территории России нормативной литературе, строящиеся шахтные стволы необходимо проветривать по всей глубине в течение всего времени их сооружения. Основной схемой проветривания строящихся шахтных стволов, повсеместно применяемой на сегодня, является нагнетательная схема с использованием вентиляционного трубопровода, проложенного от вентиляторной установки на дневной поверхности до тупикового забоя.

В условиях, когда строительство шахтного ствола осуществляется с использованием специального способа искусственного замораживания горных пород [1], температура