

## Заключение

В ходе исследований по оценке газоносности пород по связанным газам в скважинах, пробуренных в пределах шахтного поля Южного рудника СКРУ-2 ПАО «Уралкалий», получены следующие результаты: газоносность калийно-магниевых солей по связанным газам изменяется от 0,034 до 0,079 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при среднем значении 0,049 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что говорит о повышенной газоносности по связанным газам на данном участке. При ведении горных работ по вскрытию и подготовке участка необходима корректировка объемов и параметров профилактических мероприятий для предотвращения газодинамических явлений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов О.В. Научно-учебный измерительный комплекс для изучения газоносности горных пород по связанным газам // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С. 223-225.
2. Инструкция по эксплуатации планетарных шаровых мельниц тип РМ100/РМ200. Retsch GmbH & Co. KG, Naan, Germany, Doc.Nr. D 98.540/640.9999. – 2004. – 32 с.
3. Медведев И.И., Полянина Г.Д. Газовыделения на калийных рудниках. – М.: Недра, 1974. – 163 с.
4. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь: Тип. Купца Тарасова, 2008. – 412 с.: ил., табл.
5. Лаптев Б.В. Предотвращение газодинамических явлений в калийных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 142 с.: ил.
6. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление / под ред. В.Я. Прушака. – Минск: Выш. шк., 2000. – 335 с.: ил.
7. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
8. 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.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2021.1.21

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТВОЛОВ ПРИ РЕВЕРСИРОВАНИИ ВОЗДУХА В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА

Д.С. Кормициков, Е.Г. Кузьминых, Д.В. Ольховский  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация.** В статье рассмотрен процесс изменения параметров температуры воздуха в вентиляционных стволах и примыкающих к ним горных выработках при реверсировании воздушной струи в холодное время года при отсутствии подогрева воздуха. Выполнено математическое моделирование теплораспределения в программе Аэросеть. Выполнен анализ возможных факторов, влияющих на безопасное реверсирование в холодное время года, и предложены возможные мероприятия, позволяющие повысить безопасность реверсирования.

**Ключевые слова:** реверсивный режим, отсутствие подогрева, теплораспределение, моделирование, безопасность.

## Введение

Требования п. 151 Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых гласят, что воздух, поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее +2°С [1]. С этой целью большинство рудников оборудуются калориферными установками. Однако рудники с фланговой

схемой проветривания имеют некоторые особенности организации проветривания и воздухоподготовки.

Основные воздухоподающие стволы располагаются вблизи основных промышленных площадок предприятий и имеют подогрев воздуха, поступающего в подземные горные выработки в нормальном режиме проветривания. Вентиляционные стволы в большинстве случаев располагаются на флангах шахтного поля и служат в основном для выдачи исходящей струи и запасного выхода в аварийных ситуациях. В силу значительной удаленности воздухоподающих и вентиляционных стволов друг от друга, последние в большинстве случаев не имеют подогрева воздуха на случай реверсирования в холодные периоды года.

В случае реверсирования воздуха крепь ствола и технологическое оборудование окажется под действием низких температур воздуха, что может негативно сказаться на их техническом состоянии. Кроме того, обильные водопритоки в ствол могут повлиять на образование значительного ледообразования на поверхности крепи и армировке ствола. Необходимо обратить внимание на тот факт, что вентиляционные стволы также являются запасными выходами, и эвакуация людей будет происходить под действием отрицательных температур, что может сказаться на их здоровье.

### **Цель исследования**

Как отмечалось выше, отсутствие вспомогательных калориферных установок на вентиляционных стволах при реверсировании струи в холодное время года приведет к поступлению в шахту воздуха с отрицательной температурой. Целью исследования является определение параметров изменения температуры холодного воздуха, поступающего по вентиляционным стволам и определение возможного влияния воздуха на технологическое оборудование, размещенное в стволе, околоствольных дворах и воздействия на человека в случае эвакуации. Отрицательные температуры воздуха также будут оказывать негативное воздействие на прочность бетонной крепи ствола, однако в данной статье этот вопрос не рассматривается.

### **Объект исследования**

Исследования проводились на одном из вентиляционных стволов рудника, ведущего отработку сульфидно-никелевых руд. Большая глубина ведения горных работ, более 1500 метров, приводит к температурам воздуха в рабочих зонах, поступающего в вентиляционные стволы, превышающим  $+26\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2-4]. Это, в свою очередь, влияет на начальное распределение поля температуры поверхности крепи ствола.

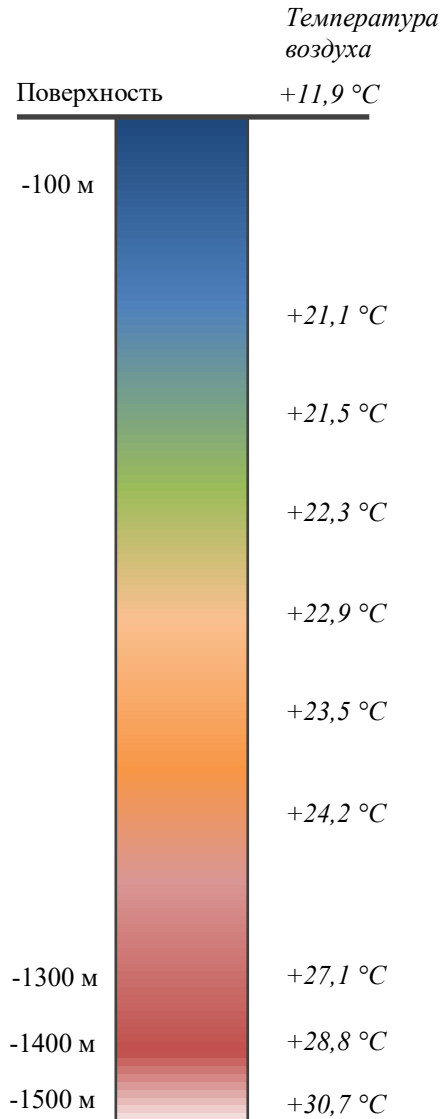
С целью обеспечения допустимой температуры воздуха, регламентируемой правилами безопасности [1], на руднике реализуется система кондиционирования шахтного воздуха. Часть оборудования системы кондиционирования воздуха, отвечающая за контур теплоносителя, располагается в непосредственной близости к вентиляционному стволу и может испытывать действие отрицательных температур в достаточно короткое время от начала реверсирования. Кроме этого, в стволе располагаются противопожарный трубопровод, трубопровод теплоносителя и электрическое оборудование системы шахтного подъема.

### **Исследование реверсивного режима**

На первом этапе было выполнено экспериментальное обследование вентиляционного ствола и околоствольных дворов, с целью определения начального распре-

деления параметров микроклимата, воздухораспределения и поля температур поверхности крепи ствола и околоствольных дворов в нормальном режиме проветривания.

Результаты распределения температуры воздуха по вентиляционному стволу в нормальном режиме проветривания представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Распределение температуры воздуха по вентиляционному стволу в нормальном режиме проветривания

На основе полученных данных распределения расходов воздуха и температуры по стволу и околоствольных дворов была разработана математическая модель на основе топологии вентиляционной сети рудника в программе Аэросеть [5-7]. В нормальном режиме проветривания основное охлаждение воздуха при движении по вентиляционному стволу происходило за счет сил гидростатического расширения и конденсации влаги, выпадающей из воздуха [8].

Оценка динамики изменения параметров реверсивного режима проводилось на основе математического моделирования в программе Аэросеть.

На начальном этапе моделирования реверсивного режима, в силу отсутствия экспериментальных данных в холодное время года, в качестве основного фактора, влияюще-

го на нагрев воздуха при движении по стволу, было принято гидростатическое сжатие воздуха и нагрев от работы главной вентиляторной установки. Теплообмен воздуха со стенками ствола в силу большой скорости движения воздуха принимался минимальным. Температуры атмосферного воздуха для моделирования принимались в соответствии с документом [9].

По результатам моделирования воздух, поступающий по стволу до первого сопряжения с горизонтом на глубине 1500 м, нагревался примерно на 13°C, а холодный воздух поступал на горизонты в течение первых 10 минут от начала реверсирования.

В дальнейшем на другом руднике со схожими параметрами вентиляционного ствола и глубиной были выполнены экспериментальные замеры реверсивного режима проветривания в холодное время года. На основании полученных данных было определено значительное влияние теплообмена воздуха с крепью ствола при движении в реверсивном режиме проветривания. Экспериментальные данные были адаптированы для полученной ранее модели распределения температуры воздуха исследуемого ствола и проведено повторное моделирование.

Результаты моделирования распределения температуры воздуха в реверсивном режиме для наиболее пессимистичных условий представлены на рисунке 2.

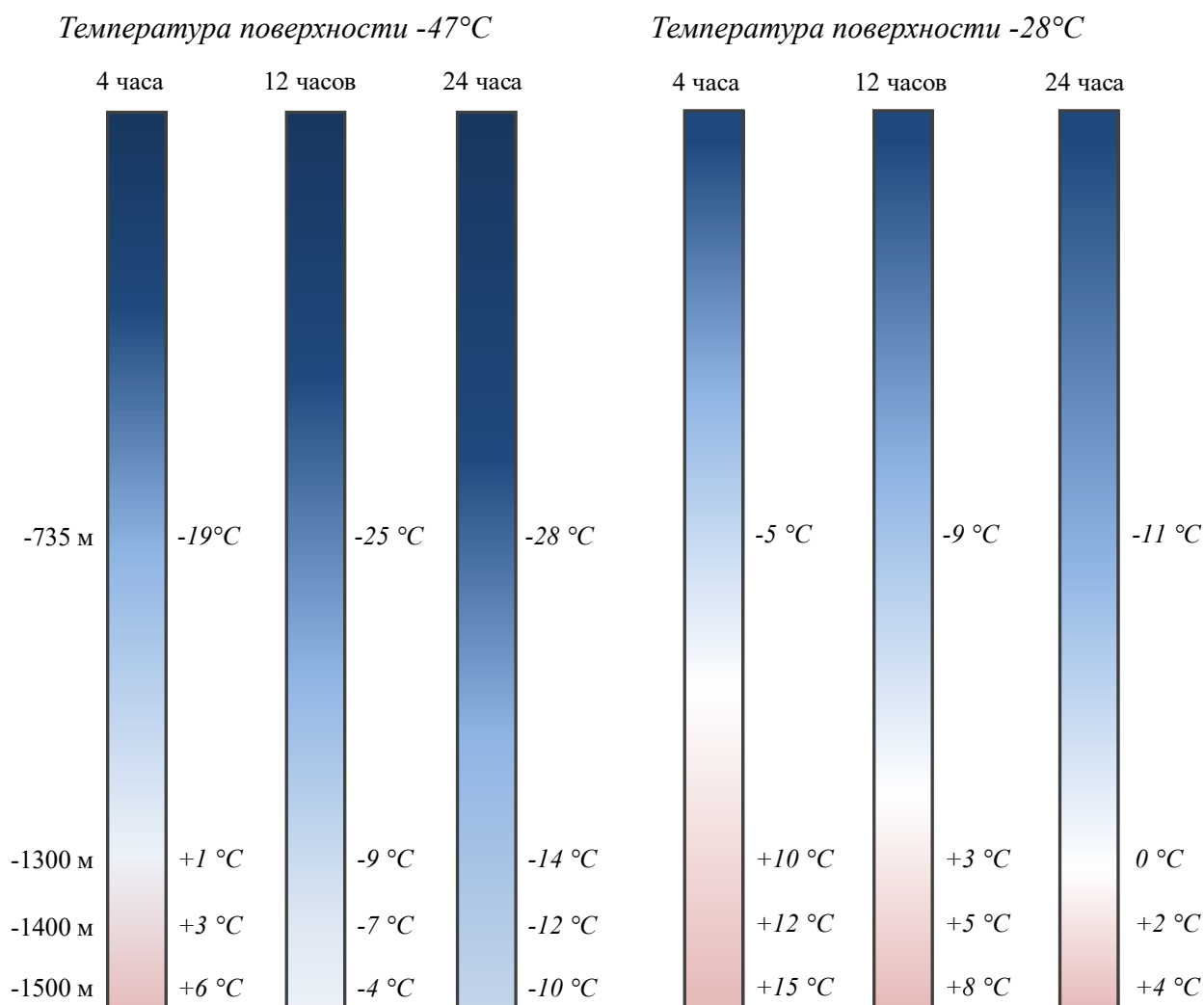


Рис. 2. Изменение температуры воздуха в реверсивном режиме проветривания

Требованиями п. 151 правил безопасности [1] регламентируется температура воздуха, поступающего в подземные горные выработки,  $+2^{\circ}\text{C}$ . Для указанной температуры были составлены графики изменения по длине ствола в зависимости от температуры атмосферного воздуха, представленные на рисунке 3.

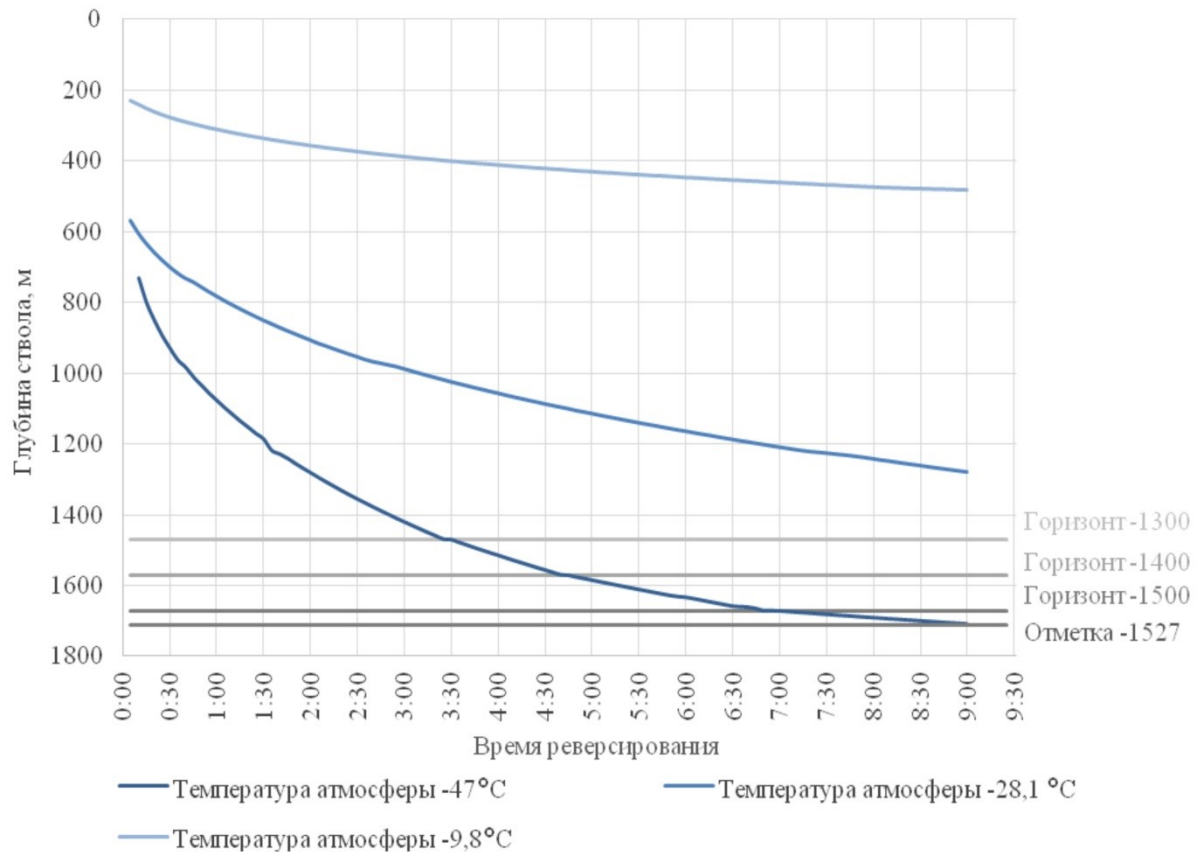


Рис. 3. Изменение границы температуры воздуха  $+2^{\circ}\text{C}$  по длине ствола

На основе полученных данных можно сделать вывод, что теплообмен с породным массивом в стволе значительно влияет на температуры воздуха, поступающего на горизонты рудника, что в свою очередь влияет на зоны распространения холодного воздуха в околоствольных дворах. При этом следует отметить, что наибольшее влияние и распространение холодного воздуха будет наблюдаться при наиболее холодных температурах. При температурах выше  $-14^{\circ}\text{C}$  с учетом теплообмена и гидростатического сжатия воздух, поступающий на горизонты, будет иметь положительные температуры при реверсировании более суток.

На следующем этапе были выделены основные факторы, влияющие на безопасность реверсирования воздушной струи в холодное время года. К таким факторам относятся:

- воздействие холодного воздуха на охлаждение горнорабочих;
- замерзание воды в технологических трубопроводах;
- замерзание воды в теплообменных аппаратах системы кондиционирования;
- обмерзание крепи ствола и элементов армировки ствола;
- воздействие холодного воздуха на электрическое оборудование;
- воздействие холодного воздуха на крепь и закрепное пространство.

В данной статье рассматриваются только факторы замерзания воды в технологических трубопроводах и теплообменных аппаратах, а также воздействие холодного воздуха на организм человека с учетом полученных температур воздуха.

В самые первые моменты реверсирования в зоне действия отрицательных температур окажется противопожарный трубопровод, расположенный по всей длине ствола. Для оценки времени его замерзания сотрудниками отдела аэрологии и теплофизики Горного института Уральского отделения Российской академии наук была разработана математическая модель времени замерзания трубопровода. В соответствии с полученной моделью, время замерзания противопожарного трубопровода при наиболее холодных периодах достигало 8 часов при отсутствии в нем движения воды. В приведенном случае для увеличения времени замерзания трубопровода может быть организовано движение воды в трубопроводе, что позволит увеличить время его замерзания до 20 часов, либо применение теплоизоляции.

Холодный воздух начнет поступать к теплообменным аппаратам градирен через 7,5 часов от начала реверсирования. С учетом высокой температуры воды в контуре теплоносителя и времени распространения холодного воздуха до теплообменных аппаратов, время замерзания воды в первых трубках теплообменников будет составлять около 34 часов. В качестве компенсирующего мероприятия для исключения замерзания воды в трубках теплообменников необходимо сохранять циркуляцию воды в контуре теплоносителя, а также оснастить их автоматическим шиберными заслонками для уменьшения расхода воздуха через теплообменные аппараты. В данном случае основной поток воздуха будет направлен через параллельные выработки без оборудования. Приведенное мероприятие позволит увеличить время замерзания воды в трубках теплообменных аппаратов в 3,5 раза.

Вентиляционные стволы являются запасными выходами при аварийных ситуациях. Воздействие отрицательных температур воздуха на организм человека может негативно сказаться на их здоровье в процессе эвакуации. С целью оценки вероятности получения обморожений открытых частей тела горнорабочими были выполнены расчеты условий охлаждения и обморожения в соответствии с методикой [10].

Описанная методика для определения класса условий труда, риска охлаждения и его последствий использует интегральный показатель условий охлаждения (ИПУО, балл) [10]:

$$\text{ИПУО} = 73,882 - 0,60361 \cdot t_{\text{п}} + 1,3096 \cdot V - 9,1985 \cdot 1_{\text{к}} - 0,15527 \cdot q_{\text{м}}$$

$t_{\text{п}}$  – температура воздуха, °С;

$V$  – скорость ветра, м/с;

$1_{\text{к}}$  – теплоизоляция комплекта одежды, принимается равной 0,45, °С·м<sup>2</sup>/Вт;

$q_{\text{м}}$  – энерготраты, принимаются 200, Вт/м<sup>2</sup>.

Риск охлаждения открытых участков тела человека (обморожение) определяется согласно интегральному показателю условий охлаждения ИПУОО (балл):

$t_{\text{п}}$  – температура воздуха, °С;

$V$  – скорость ветра, м/с.

Результаты расчета для наиболее холодных температур атмосферного воздуха представлены в таблице 1.

Таблица 1

Риск получения обморожения кожного покрова и мягких тканей  
в зависимости от времени реверсирования

Горизонт	Интегральный показатель условий охлаждения (обморожения)				
	1 час	4 часа	8 часов	12 часов	24 часа
Температура атмосферного воздуха -47 °С					
В клетки	56	56	56	56	56
- 1300 м	30	36	38	40	42
- 1400 м	26	33	36	37	39
- 1500 м	29	35	38	40	42
- 1527 м	27	32	35	36	39
Температура атмосферного воздуха -28,1 °С					
В клетки	47	47	47	47	47
- 1300 м	28	31	33	34	36
- 1400 м	25	27	29	29	31
- 1500 м	28	31	33	34	36
- 1527 м	25	28	30	31	33
Отсутствие риска поражения кожного покрова и мягких тканей					
Риск поражения кожного покрова и мягких тканей в течение 1 часа					
Риск поражения кожного покрова и мягких тканей в течение 1 минуты					

По результатам расчета для горнорабочих присутствует риск получения обморожения открытых частей тела и кожного покрова в достаточно короткое время при наиболее холодных температурах воздуха в процессе подъема по стволу. В околоствольных дворах такая вероятность присутствует в течение 1 часа. При температуре атмосферного воздуха выше  $-28^{\circ}\text{C}$  риск получения обморожения открытых частей тела горнорабочих в процессе движения по стволу присутствует в течение 1 часа, что значительно превышает время движения клетки.

Для ограничения воздействия отрицательных температур воздуха на организм человека в процессе движения в клетки она может быть модернизирована в части изоляции открытых частей, чтобы исключить активное попадание холодного воздуха в пространство клетки.

В качестве альтернативного мероприятия могут служить камеры ожидания, в которых горнорабочие будут находиться до ликвидации аварии или до прихода горноспасателей, которые могут спустить комплекты теплой одежды на клетки.

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволил определить основные факторы, влияющие на нагрев воздуха в реверсивном режиме, возможную зону распространения холодного воздуха и основные риски, вызванные температурным фактором. Для каждого фактора необходима разработка организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасное реверсирование.

Разработанные рекомендации необходимо учитывать при составлении Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий к реверсивным позициям и разработку графика допустимого реверсирования в зависимости от температуры атмосферного воздуха в холодное время года.

### **Выводы**

Выполненные исследования изменения параметров микроклимата в реверсивном режиме проветривания позволяют получить возможную зону распространения холодного воздуха на основании математического моделирования в программе Аэросеть. В случае отсутствия подогрева воздуха во вспомогательных калориферных установках должен проводиться анализ возможного негативного влияния на технологическое оборудование, трубопроводы, воздействие отрицательных температур на организм горнорабочих в процессе эвакуации, а также для крепи ствола.

Для каждого негативного последствия следует разрабатывать организационные или технические мероприятия, которые позволят повысить безопасность реверсирования, в зависимости от температуры атмосферного воздуха. Разработанные мероприятия необходимо учитывать при разработке плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий в холодное время года.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта № 0422-2019-0145-С-01.*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505. – Текст электронный // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573156117>. (Дата обращения 30.04.2021).
2. Кормщиков Д.С., Попов М.Д. Нормализация теплового режима глубоких залежей рудника «Таймырский» до момента ввода системы кондиционирования // Горное эхо. – 2019. – № 2 (75). – С. 92-96. – DOI: 10.7242/echo.2019.2.22.
3. Казаков Б.П. Исследование процессов формирования теплового режима глубоких рудников / Казаков Б.П., Зайцев А.В. // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 10. – С.91-97.
4. Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Разработка математических методов прогнозирования микроклиматических условий в сети горных выработок произвольной топологии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 154-161.
5. Аналитический комплекс «АэроСеть»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2015610589 / Зайцев А.В., Казаков Б.П., Кашников А.В., Кормщиков Д.С., Круглов Ю.В., Левин Л.Ю., Мальков П.С., Шалимов А.В.; заявитель и правообладатель ГИ УрО РАН – № 2014613790; заявл. 24.04.2014; зарегистрировано 14.01.2015; опубл. 20.02.2015. – 1 с.
6. Левин Л.Ю., Семин М.А. Оценка влияния местных сопротивлений на воздухораспределение в шахтах и рудниках // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 2. – С. 120-130. – DOI:10.15372/FTPRPI20190214.
7. Левин Л.Ю., Семин М.А., Ключин Ю.А. Экспериментальное исследование изменения воздухораспределения на калийных рудниках при реверсировании главной вентиляторной установки // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – Т. 14, № 17. – С.89-97. – DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.10..
8. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Зайцев А.В. Влияние процессов испарения и конденсации влаги на тепловой режим глубоких рудников // Горн. журн. – 2016. – № 3. – С. 73-76.
9. СП 131.13330.2018. Строительная климатология: утв. 28.11.2018, введены в действие с 29.05.2019 г. – Текст электронный // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/554402860>. (Дата обращения 29.03.2021).



10. Афанасьева Р.Ф., Чеботарёв А.Г., Константинов Е.И. Методические подходы к установлению класса условий труда по параметрам микроклимата на рабочих местах горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. – 2013. – №. 6. – С. 72.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2021.1.22

## ГАЗОНОСНОСТЬ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛИНИСТО-КАРБОНАТНЫХ ПАЧЕК МЕЖДУ II И III КАЛИЙНЫМИ ГОРИЗОНТАМИ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Н.А. Литвиновская<sup>1</sup>, А.П. Ключарев<sup>2</sup>

1. Горный институт УрО РАН, г. Пермь

2. Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, г. Пермь

**Аннотация.** В процессе проведения вскрывающих бремсбергов на шахтном поле Краснослободского рудника ЗРУ впервые проведены исследования газоносности и газодинамических характеристик глинисто-карбонатных пачек, залегающих между II и III калийными горизонтами. Первоначальные предположения о потенциальной опасности пород по газодинамическим явлениям не подтвердились. Полученные в ходе исследования показатели газоносности, начальной скорости газовыделения и давления свободного газа в массиве оказались близкими к фоновым значениям. Это говорит об отсутствии фактора газодинамической опасности из этих пород, а, следовательно, нет необходимости в специальных мероприятиях по предотвращению газодинамических явлений в процессе проведения выработок по этим породам.

**Ключевые слова:** газоносность пород, начальная скорость газовыделения, глинисто-карбонатные породы, Старобинское месторождение калийных солей, Краснослободский рудник.

### Введение

Основными рабочими горизонтами на рудниках Старобинского месторождения являются II и III калийные горизонты. При строительстве Краснослободского рудника ЗРУ ПАО «Беларуськалий» (рис. 1) было принято решение о вскрытии II калийного горизонта бремсбергами с III калийного горизонта [1, 2, 3]. Расстояние между горизонтами 150 м, и вскрывающие выработки проводились по соляным и глинисто-карбонатным пачкам. На момент проектирования и проведения бремсбергов никаких данных о содержании свободных газов в породах между горизонтами не было, так как такие исследования не проводились. Чтобы исключить риск газодинамических явлений при проведении выработок, были разработаны временные рекомендации. Кроме этого, так как никаких данных по газоносности и газодинамических характеристик пород не было, работы сопровождалась обязательными научными исследованиями.

Целью исследования являлись газоносность, начальная скорость газовыделения и давления газа в массиве пород на всем протяжении выработок. Отдельное внимание уделялось глинисто-карбонатным пачкам. Породы этих пачек не устойчивые, трещиноватые, кроме того, в них часто встречаются доломито-известковые глинистые породы, доломитсодержащие слои, песчаники и алевролиты. Встречаются как слоистые, так и не слоистые породы. В каждой глинисто-карбонатной пачке породы пересечены трещинами, часто заполненными соляными породами. Все это при наличии газа в породах создает условия для формирования очагов газодинамических явлений, и глинисто-карбонатные породы, наряду с соляными породами III калийного горизонта, были признаны опасными по газодинамическим явлениям [4-8].