

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.2022.3.12

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭВАКУАЦИИ ГОРНОРАБОЧИХ ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СТВОЛЫ ВО ВРЕМЯ РЕВЕРСИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СТРУИ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА НА ГЛУБОКОМ РУДНИКЕ

Н.А. Князев, Д.С. Кормщиков
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе описываются результаты исследований и разработки мероприятий, позволяющих обеспечить безопасные условия эвакуации людей при реверсировании воздушной струи в холодное время года на глубоком руднике. Направленность мероприятий заключается в исключении негативного влияния холодного воздуха на здоровье и самочувствие людей за счет применения технических и организационных мероприятий.

Ключевые слова: реверсивный режим проветривания, глубокий рудник, вентиляционный ствол, компенсирующие мероприятия, моделирование, рудничная вентиляция, эвакуация горнорабочих.

Введение

Для горных предприятий подземные пожары являются наиболее характерным типом аварии, приводящим к нарушению производственного процесса, существенным экономическим издержкам и возникновению риска для людей, ввиду чего данный вид аварии занимает ключевое значение при разработке планов ликвидации аварий на рудниках и шахтах, относящихся к опасным производственным объектам.

Так как подземные пожары сопровождаются стремительным распространением продуктов горения по горным выработкам, при разработке ПЛА осуществляется выбор наиболее безопасного (аварийного) режима проветривания. В зависимости от предполагаемого места возникновения пожара предусматриваются следующие аварийные режимы проветривания:

- нормальный – тот режим, который существовал до аварии;
- реверсивный – режим с опрокидыванием воздушной струи.

В случае возникновения пожара в стволах и главных выработках, по которым осуществляется подача свежего воздуха в рудник, предусматривается реверсирование воздушной струи с целью предотвращения задымления значительной части подземного пространства, при этом эвакуация людей осуществляется через вентиляционные стволы. Возникновение подобной аварийной ситуации в холодный период года может привести к подаче в рудник воздуха отрицатель-

ной температуры, так как свежая воздушная струя будет подаваться по вентиляционным (воздуховыдающим) стволам, которые, как правило, не оборудуются средствами подогрева воздуха. Резкая смена температуры воздуха в вентиляционных стволах и примыкающих к ним выработках может оказать негативное влияние на работу крепи, технологическое оборудование, а также создать угрозу здоровью людей во время эвакуации. Влияние подачи холодного воздуха в рудник при реверсировании описывается в работах [1-3]. В данной работе в рамках продолжения исследований зимнего реверса описывается подход к выбору мероприятий, повышающих безопасность эвакуации через вентиляционные стволы, основанный на рассмотрении различных вариантов подготовки входящего в рудник воздуха. Стоит отметить, что для горных предприятий, расположенных в северных районах, данный вопрос имеет особую актуальность.

С целью снижения негативного влияния холодного воздуха во время реверсирования необходима разработка компенсирующих технических и организационных мероприятий. Комплекс мероприятий должен определяться индивидуально для каждого горного предприятия и зависеть от возможности (целесообразности) переустройства объектов капитального строительства (сооружение вспомогательных калориферных установок для вентиляционных стволов). В работе рассмотрен подход к разработке мероприятий по обеспечению безопасности эвакуации во время зимнего реверсирования на примере проектируемого горного предприятия, располагаемого в Норильском промышленном регионе. Подход основан на исследованиях реверсивного режима проветривания на шахтах и рудниках при отсутствии средств подогрева воздуха на вентиляционных стволах с использованием программно-вычислительных комплексов для прогноза распределения температур воздуха при реверсе.

Расчет распределения температуры воздуха в вентиляционном стволе при реверсировании

Основой для разработки мероприятий являлись результаты моделирования распределения температуры воздуха при реверсировании в холодное время, выполненного на основе вентиляционной сети рассматриваемого рудника при помощи модуля теплогазодинамического расчета программы «АэроСеть» [4-6]. При построении тепловой модели учтены следующие факторы согласно литературным источникам [7-9]:

- климатический регион, в котором находится горнодобывающее предприятие;
- процессы тепломассообмена между рудничным воздухом и породным массивом, определяемые геотермией участка и глубиной ведения горных работ;
- количество подаваемого воздуха при реверсе;
- гидростатическое сжатие/расширение воздуха при его движении по вертикальным или наклонным горным выработкам;
- технические параметры вентиляционных стволов, а также их обводненность;
- количество и мощность источников тепловыделений, участвующих в теплообмене с воздухом по ходу его поступления в рудник.

Температура атмосферного воздуха при моделировании принималась для наиболее холодной пятидневки в соответствии с СП 131.13330.2018 «Свод правил. Строительная климатология» и равнялась -47°C . Длительность реверсирования ограничивалась 24 часами. Результаты распределения температуры воздуха в вентиляционном стволе представлены на рис. 1.

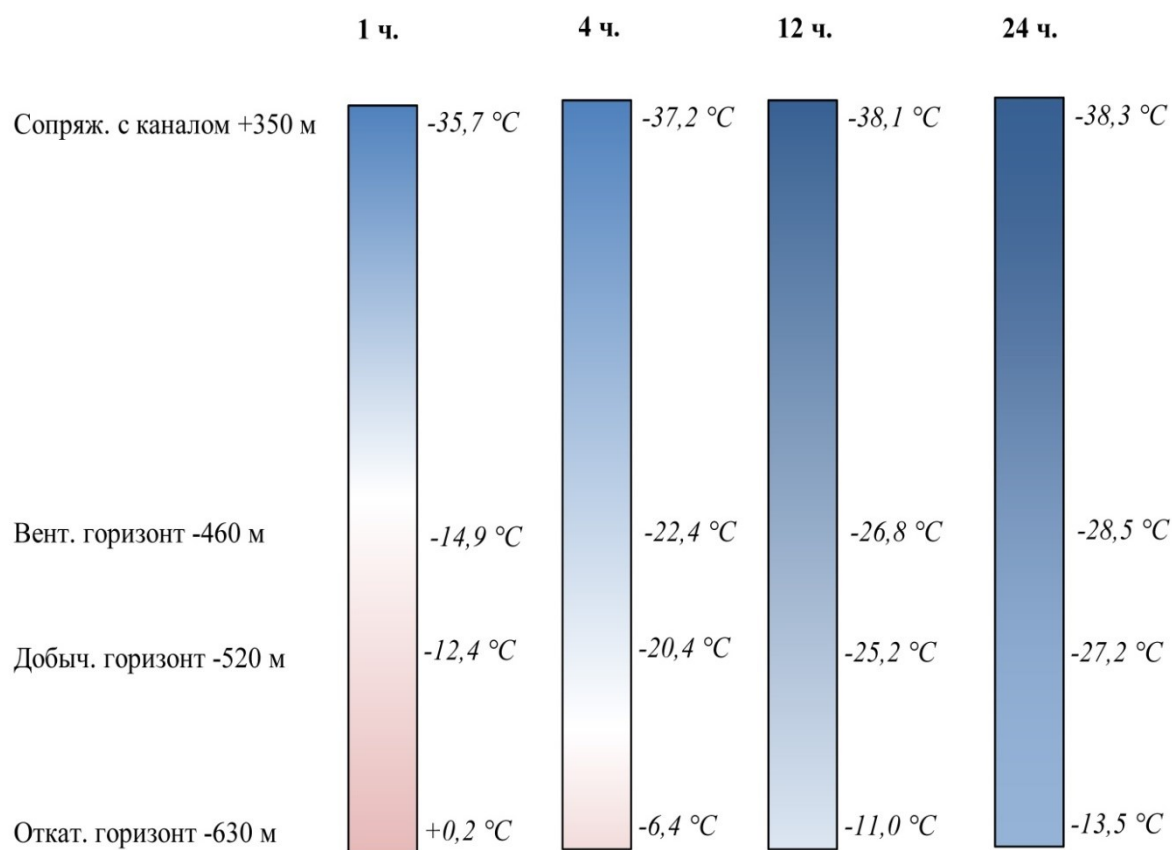


Рис. 1. Распределение температуры воздуха в реверсивном режиме проветривания

Пониженные значения температур воздуха при реверсе даже через 1 час моделирования связаны с его высокой скоростью движения в стволе (11,6 м/с), что определялось необходимым количеством воздуха для проветривания рудника при выходе на проектную мощность. Также спустя 24 часа реверсирования температура воздуха на сопряжении вентиляционного канала и ствола отличается от наружного воздуха на 8,3°C, что может снизить мощность аварийного нагревательного оборудования при его организации на вентиляционных стволах.

Влияние холодного воздуха на людей при эвакуации

Эвакуация людей при задействовании реверсивного режима проветривания осуществляется через запасные выходы, к которым относятся вентиляционные стволы. В свою очередь, результаты моделирования показывают, что в ствол и выработки, прилегающие к нему, при реверсе будет подаваться воздух отрицательной температуры, что может оказать негативное влияние на самочувствие и здоровье людей. На основе методических рекомендаций [10] можно определить риск охлаждения человека и его последствия. Представленная методика для определения риска охлаждения открытых участков тела человека использует интегральный показатель условий охлаждения (обморожения) ИПУОО [10]:

$$\text{ИПУОО} = 34,654 - 0,4664t_b + 0,6337V \quad (1)$$

где t_b – температура воздуха, °C; V – скорость воздуха, м/с.

В зависимости от величины ИПУОО определяется следующая продолжительность безопасного пребывания человека на холодной воздушной струе:

- менее 34 – длительное;
- от 34 до 47 – не более 60 минут;
- от 47 до 57 – не более 1 минуты;
- более 57 – не более 30 секунд.

В табл. 1 показаны результаты расчета допустимой длительности пребывания людей при эвакуации по рассматриваемому стволу.

Таблица 1

Допустимая длительность безопасного нахождения людей
на холодной воздушной струе при эвакуации

Участок	1 часа	4 часа	12 часов	24 часа
Сопряж. с каналом	1 мин	1 мин	1 мин	1 мин
Вент. горизонт	60 мин	1 мин	1 мин	1 мин
Добыч. горизонт	60 мин	1 мин	1 мин	1 мин
Откат. горизонт	60 мин	60 мин	60 мин	60 мин

В результате расчетов было определено, что при наиболее неблагоприятных атмосферных условиях и отсутствии средств подогрева воздуха на вентиляционном стволе люди при эвакуации через запасной выход будут подвержены критическому риску обморожения в течение 1 минуты. Уже через 1 час после смены режима проветривания имеется данный риск при подъеме по стволу, так как его длительность может занимать от 3 до 5 минут.

Рассмотрение вариантов подготовки воздуха при реверсировании

Без использования средств подготовки воздуха обеспечить безопасную эвакуацию не представляется возможным. В работе предлагается подход по выбору мероприятий, исходя из допустимого варианта управления температурой входящей струи. Рассматриваются следующие варианты подготовки воздуха:

- 1) отсутствие подогрева воздуха;
- 2) полный подогрев воздуха;
- 3) частичный подогрев воздуха;

Отсутствие подогрева – исходя из ранее проведенных расчетов, отсутствие средств подогрева воздуха на вентиляционном стволе недопустимо с точки зрения здоровья людей при эвакуации и может приводить к угрозе переохлаждения, поражения кожного покрова и мягких тканей открытых частей тела горнорабочих и спасателей в течение 1 минуты.

Полный подогрев – подразумевает нагрев воздуха, поступающего в устье вентиляционного ствола при реверсе, до $+2^{\circ}\text{C}$, согласно пункту 151 «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». По результатам расчетов необходимая тепловая мощность для полного подогрева воздуха в течение 24 часов реверсирования может достигать 49 МВт с учетом результатов моделирования нестационарных теплообменных процессов при движении воздуха в вентиляционном канале (рис. 1). Данный вариант управления температурой поступающего в рудник воздуха не требует введения дополнительных мер повышения безопасности, однако является экономически нецелесообразным мероприятием в условиях запуска только при возникновении аварийной ситуации в холодное время года, требующей реверсирования воздушной струи.

Частичный подогрев – подразумевает нагрев воздуха до определенной температуры, позволяющей выполнить безопасную эвакуацию через вентиляционный ствол. В качестве критерия по выбору безопасной температуры принята такая температура воздуха в стволе, которая бы позволила, согласно методике [10], находиться человеку на холодной воздушной струе не менее 60 минут. Данного запаса по времени достаточно для эвакуации через вентиляционный ствол с учетом ряда дополнительных мероприятий. В ходе вычислений по формуле (1) для различных участков ствола была определена допустимая температура воздушной струи (величина ИПУОО менее 47 единиц), позволяющая выполнить безопасную эвакуацию через вентиляционный ствол. Данная температура составила -23°C в устье ствола, после чего требуемая тепловая мощность калориферного оборудования снизилась до 21,5 МВт. Данный вариант был выбран в качестве основного, для которого сформированы технические и организационные мероприятия по обеспечению безопасной эвакуации при зимнем реверсе.

Меры по обеспечению безопасной эвакуации и порядок ее проведения

К дополнительным мероприятиям по повышению безопасности при частичном подогреве воздуха можно отнести:

- организация мест безопасного сбора и ожидания вблизи вентиляционного ствола;
- использование спецодежды с защитой от пониженных температур;
- организация эвакуации в несколько этапов.

В качестве основных мест сбора и ожидания могут использоваться выработки околоствольных дворов тех горизонтов, которые не подвержены воздействию холодного воздуха ввиду более глубокого расположения и низкой скорости движения воздуха. В случае, когда у людей нет возможности эвакуироваться через данные горизонты или таковые отсутствуют, вблизи вентиляционных стволов в качестве мест сбора и ожидания необходима организация камер аварийного воздухообеспечения (КАВС). В качестве камер могут использоваться поддерживаемые тупиковые выработки, в которых необходимо поддерживать допустимый температурный режим. Количество камер аварийного воздухообеспечения для одного горизонта определяется, исходя из предельной вместимости, оснащения одной камеры и максимальной численности рабочих.

Также места сбора (в том числе КАВС) необходимо оснащать комплектами спецодежды с защитой от пониженных температур в соответствии с ГОСТ 12.4.303–2016 «Одежда специальная для защиты от пониженных температур». При возникновении аварийной ситуации, требующей реверсирования воздушной струи, эвакуация людей через вентиляционные стволы осуществляется по следующему порядку:

- 1) первоначальная эвакуация осуществляется до организованных мест сбора и ожидания, либо до камер аварийного воздухообеспечения вблизи вентиляционного ствола;
- 2) во время эвакуации люди ожидают подъемные сосуды в безопасных местах сбора с комфортным температурным режимом, спецодежда с защитой от пониженных температур надевается перед выходом из места сбора для исключения повышенного выделения влаги организмом при ожидании;
- 3) эвакуация из мест ожидания до поверхности происходит группами по системе оповещения, исходя из вместительности подъемного сосуда.

Таким образом, использование частичного подогрева воздуха по средствам сооружения аварийной калориферной установки незначительной мощности в совокупности с рядом организационных мероприятий снижает угрозу переохлаждения и получения

обморожения мягких тканей людей при эвакуации, что позволяет выполнить безопасную эвакуацию при реверсировании вентиляционной струи в холодное время года. Наиболее опасными участками получения переохлаждения и обморожения при эвакуации являются околоствольные дворы вентиляционного ствола и сам вентиляционный ствол.

Заключение

Возникновение аварийной ситуации, требующей реверсирования в холодное время года, может привести к подаче воздуха отрицательной температуры в рудник. При этом эвакуация людей будет происходить по запасным выходам через вентиляционные стволы, что может приводить к переохлаждению и обморожению мягких тканей за счет влияния холодного воздуха.

В работе представлены результаты моделирования распределения температуры воздуха в вентиляционном стволе во время зимнего реверса для проектируемого горного предприятия, на основе чего произведен расчет допустимой длительности безопасного нахождения людей на холодной воздушной струе. По результатам расчетов определено, что при отсутствии средств подготовки воздуха на вентиляционном стволе при эвакуации через запасной выход люди будут подвержены критическому риску обморожения в течение 1 минуты. Далее были рассмотрены различные варианты по организации вспомогательного калориферного оборудования на вентиляционном стволе, в качестве основного варианта принят частичный подогрев воздуха до температуры, позволяющей безопасно эвакуироваться по вентиляционному стволу. Кроме того, сформулированы дополнительные организационные мероприятия, включающие порядок проведения эвакуации.

В результате можно прийти к выводу, что использование вспомогательного калориферного оборудования ограниченной мощности на вентиляционных стволах в совокупности с комплексом организационных и технических мероприятий позволяет выполнять безопасную эвакуацию людей при зимнем реверсировании на глубоком руднике. Также стоит учитывать, что условия эвакуации при реверсе на каждом руднике уникальны, поэтому необходимо продолжить настоящие исследования на примере запасных выходов других рудников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 121111800053-1)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левин Л.Ю. Теоретические и технологические основы ресурсосберегающих систем воздухоподготовки рудников: автореф. дис. ... д.т.н. 25.00.20: защищена 29.04.10 / Левин Лев Юрьевич. – Пермь, 2010. – С. 24-32.
2. Кормициков Д.С., Кузьминых Е.Г., Семин М.А. Безопасность реверсирования воздушного потока в вентиляционных стволах шахт в холодное время года при отсутствии подогрева // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 1. – С. 14-19. – DOI: 10.24000/0409-2961-2022-1-14-19.
3. Зайцев А., Кузьминых Е., Ольховский Д. Безопасность реверсирования воздушных потоков в шахтах и рудниках в холодное время года // Вестн. гос. экспертизы. – 2022. – № 1. – С.66-73.
4. 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.
5. Levin L.Y., Semin M.A., Zaitsev A.V. Mathematical methods of forecasting microclimate conditions in an arbitrary layout network of underground excavations // Journal of Mining Science. – 2014. – V. 50, № 2. – P. 371-378. – DOI: 10.1134/S1062739114020203.

6. 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.
7. Щербань А.Н., Кремнёв О.А. Научные основы расчёта и регулирования теплового режима глубоких шахт: в 2-х т. – Киев: Изд-во АН УССР, 1959. – Т. 1. – 430 с
8. Воропаев А.Ф. Управление тепловым режимом в глубоких шахтах: – М.: Госгортехиздат, 1961. – 247 с.
9. Гендлер С.Г. Тепловой режим подземных сооружений: [учеб. пособие]. – Л.: ЛГИ, 1987 – 102 с.: ил.
10. МР 2.2.7.2129-06. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях: утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 19.09.2006. – 20 с.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.3.13

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ РУДНИКА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Е.Г. Кузьминых, С.В. Мальцев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрены способы повышения энергоэффективности системы вентиляции проектируемого рудника по отработке запасов медно-никелевых руд. Произведено математическое моделирование предлагаемых способов в программе Аэросеть. Выполнена оценка снижения энергозатрат на системе вентиляции в случае реализации одного из способов.

Ключевые слова: проектируемый рудник, повышение энергоэффективности, энергозатраты, последовательное проветривание, рециркуляция, вентиляция по требованию.

Введение

В настоящее время увеличивающиеся темпы экономического развития стран и повышенный спрос на сырьевые ресурсы ставят перед горными предприятиями задачи повышения объемов добычи полезных ископаемых и ввода в эксплуатацию новых запасов месторождений полезных ископаемых. В связи с этим отработка новых месторождений должна быть экономически целесообразной. Себестоимость добычи полезного ископаемого складывается из затрат на выполнение технологических процессов. При этом стоимость готовой продукции существенным образом зависит от выбора системы разработки месторождения.

В зависимости от принятой системы разработки проветривание рудника является одним из наиболее энергозатратных процессов в технологии добычи полезного ископаемого. На стадии проектирования горного предприятия система вентиляции должна обеспечивать безопасные условия труда горнорабочих, а также иметь минимально-возможные энергозатраты на проветривание горных выработок в силу большой продолжительности работы горного предприятия [1, 2].

Определить параметры работы системы вентиляции на стадии проектирования горного предприятия невозможно без использования математического моделирования. Кроме того, использование современных программных комплексов по расчету вентиляции на основании топологии модели вентиляционной сети рудника позволяет избежать ошибок на стадии проектирования, а также обеспечить наибольшую энергоэффективность ее работы.