

5. Иванов О.В., Нестерова С.Ю., Лядов В.О., Лукьянец Е.В. Региональное прогнозирование опасных по газодинамическим явлениям зон в условиях шахтного поля рудника Талицкого ГОКа // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 84-88. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.14.
6. Кузнецова Е.А., Галкин В.И. Использование вероятностно-статистических методов для анализа глубоководных отложений Верхнепечорской впадины // Недропользование. – 2023. – Т. 23, №. 1. – С. 11-17. – DOI: 10.15593/2712-8008/2023.1.2.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2024.2.13

## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПОЛНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ДОБЫЧИ РУДЫ ИЗ ПРОТЯЖЕННЫХ ТУПИКОВЫХ КАМЕР БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

Е.В. Накаряков

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В работе представлены результаты натуральных исследований рудничной атмосферы при полном технологическом цикле добычи руды из протяженных тупиковых камер большого сечения. Технологический цикл включает ведение взрывных работ, проветривание после взрывных работ и отгрузку руды погрузочно-доставочной машиной. В процессе ведения взрывных работ формируется застойная зона в камерном пространстве, где происходит скопление газов. Запертый газ постепенно выносится на рабочее место машиниста погрузочно-доставочной машины. Показано, что при ведении работ по добыче руды буровзрывным способом в условиях тупиковых камер большого сечения необходим предварительный расчет объема выделяющихся газов и автоматический контроль выноса газов в рабочую зону горнорабочего, осуществляющего отгрузку руды.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, тупиковая выработка, ядовитые газы, взрывные работы, двигатель внутреннего сгорания.

### Введение

Добыча полезных ископаемых высокой крепости традиционно производится с помощью буровзрывных работ. При ведении взрывных работ образуются ядовитые газы, которые представляют большую опасность для горнорабочих. При детонации взрывчатого вещества образуются следующие газы [1,2]: оксиды азота NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, оксид углерода CO и сернистый ангидрид SO<sub>2</sub>. При отработке краевых запасов рудных тел на рудниках Талнаха (Красноярский край, РФ) применяется камерная система разработки с закладкой отработанного пространства. Добыча руды производится в тупиковых камерах, проветриваемых нагнетательным способом с помощью вентиляторов местного проветривания. Величина поперечного сечения камерного пространства достигает 120 м<sup>2</sup>, длина – до 30 м.

Камерное пространство формируется взрывными работами обратным порядком в кровлю заранее проведенной нарезной выработки. При этом после взрыва формируется навал руды, который отделяет камерное пространство от зоны активного проветривания (рисунок 1).

На рисунке 1 показаны два разнопроветриваемых объема тупиковой камеры: первый – до навала руды, проветриваемый активной струей воздуха, выходящего из вентиляционного трубопровода; второй – за навалом руды, проветриваемый за счет турбулентной диффузии.

Существует вероятность «запирания» облака ядовитых газов в пространстве за навалом руды и впоследствии с постепенной отгрузкой руды его выноса в нарезную выработку. В нарезной выработке расположено рабочее место машиниста погрузочно-доставочной машины. Таким образом, контроль выноса газов в процессе ведения работ является неотъемлемой задачей обеспечения безопасности горнорабочих.

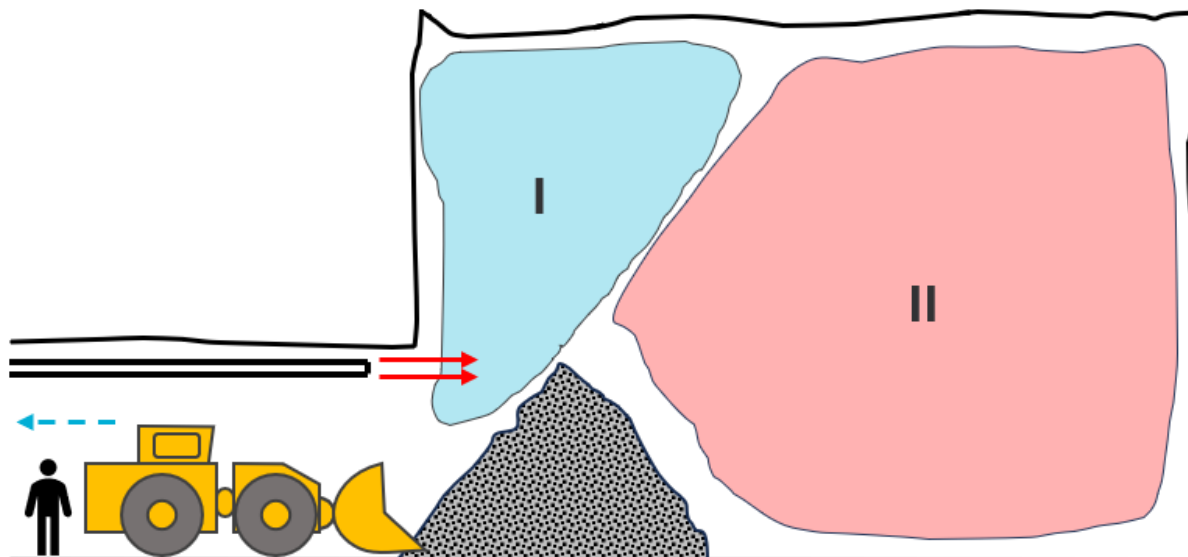


Рис. 1. Зоны проветривания тупиковой камеры большого сечения

### Натурные измерения процесса выноса ядовитых газов в тупиковых камерах

Натурные измерения произведены для условий тупиковой камеры с длиной очистного пространства 30 м. До начала эксперимента произведено взрывание секции длиной 5 м, общий объем взрывчатого вещества составляет 4000 кг, газовость применяемого ВВ – 57 л/кг. Количество воздуха, поступающего на проветривание камеры составляет 13,2 м<sup>3</sup>/с, что соответствует расчетному значению по фактору разжижения ядовитых газов от двигателя внутреннего сгорания для погрузочно-доставочной машины AtlasCorpo Scooptram ST-14, осуществляющей отгрузку руды.

С целью оценки величин концентраций ядовитых газов, поступающих в нарезную выработку после взрывных работ и в процессе отгрузки руды, произведены натурные измерения. Фиксирование концентраций газов произведено с использованием портативных газоанализаторов ПГ Эрис-414. Размещаются два комплекта датчиков по разным бортам нарезной выработки в сечении рабочего места машиниста погрузочно-доставочной машины. Каждый из комплектов производит фиксацию следующих газов: H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.

Ранее проведенные исследования качественного состава рудничной атмосферы в тупиковых камерах большого сечения [3,4,5] указывают на необходимость контроля оксидов азота (NO и NO<sub>2</sub>) и оксида углерода (CO) при ведении работ по добыче руды из тупиковых камер большого сечения.

Ниже на рисунках 2, 3 приведены графики временной динамики величин концентраций оксида углерода (CO) и оксида азота (NO) после ведения взрывных работ в тупиковой камере, дальнейшем проветривании и в процессе отгрузки взорванной руды погрузочно-доставочной машиной. Взрыв произведен в 20:30.

Как видно из рисунков, время начала проветривания после взрывных работ – 21:45. Погрузочно-доставочная машина начала работы по отгрузке руды в 22:00. Концентрация оксида углерода достигает постоянных значений в 00:45.

Дополнительно с целью фиксации времени въезда и выезда техники размещены датчики температуры воздуха Kestrel D3. Фиксация произведена по резким повышением температуры, что означает наличие техники в камере. На рисунке 4 показаны результаты временной динамики изменения температур в пределах нарезной выработки.

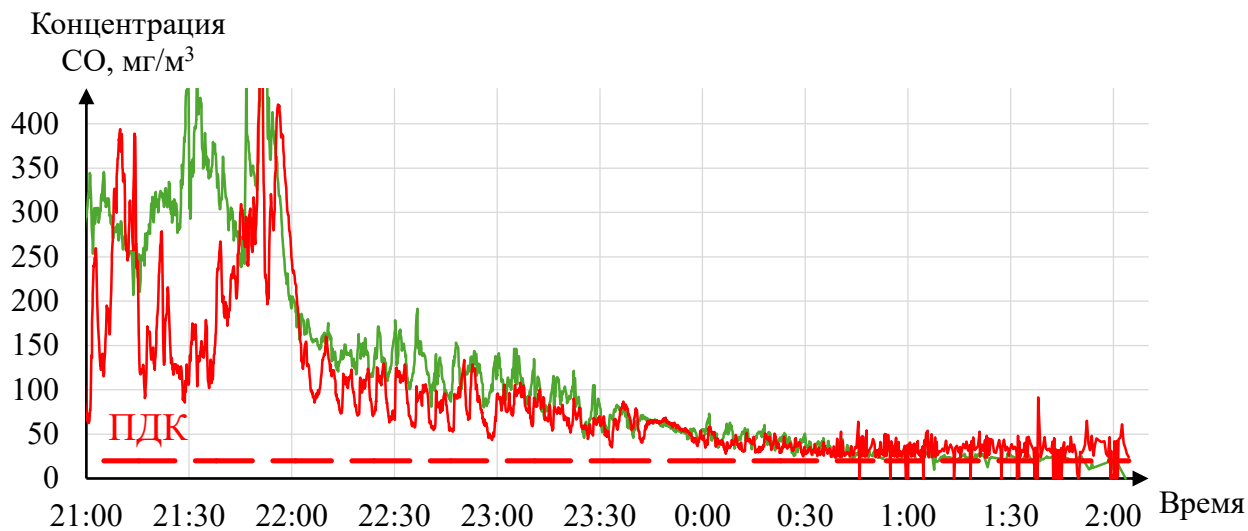


Рис. 2. График временной динамики концентраций окиси углерода (CO)

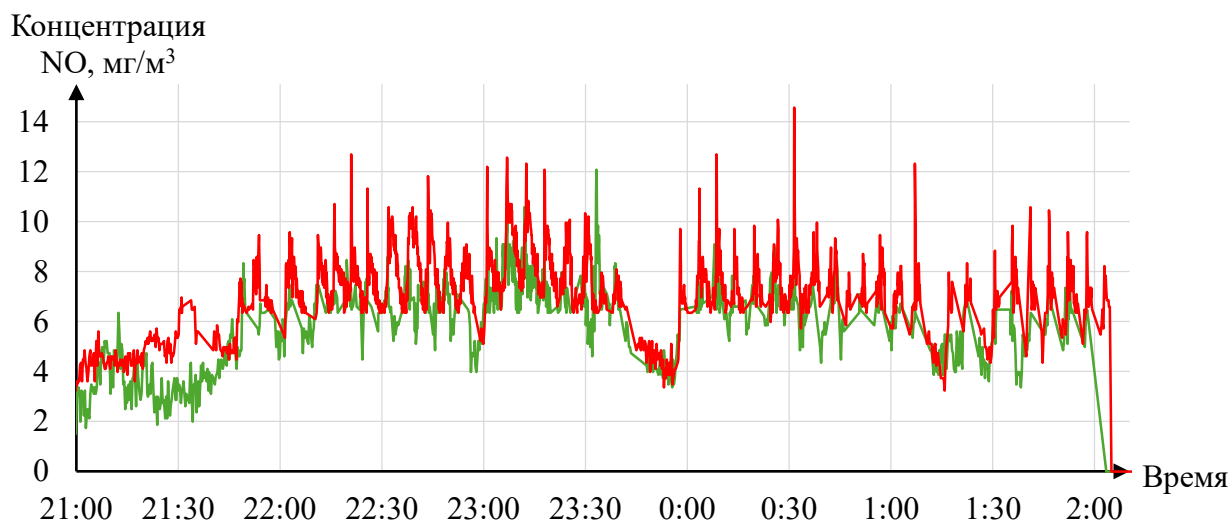


Рис. 3. График временной динамики концентраций оксида азота (NO)

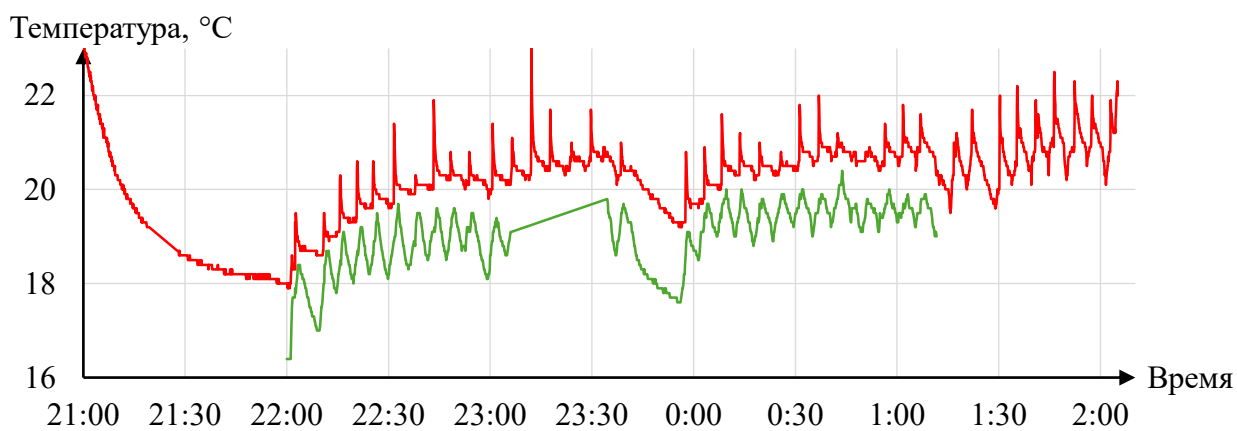


Рис. 4. График изменения температуры воздуха

### Анализ полученных результатов

По результатам анализа полученных в ходе эксперимента данных выявлено, что при ведении взрывных работ в условиях тупиковых очистных камер преобладающим воздействием обладает оксид углерода (СО). В начальный момент измерений величины концентраций оксида углерода (СО) превышают предельно-допустимые значения более чем в 20 раз. Тогда как концентрации окислов азота (NO и NO<sub>2</sub>) повышаются только в момент начала отгрузки руды погрузочно-доставочной машиной.

Сложный немонотонный характер временной зависимости концентрации оксида углерода (СО) в первые 105 минут указывает на то, что газ в камерном пространстве в момент вывала руды оказывается частично «запертым». Затем в процессе отгрузки руды и уменьшения размера навала руды газ неравномерно выносится из камеры в нарезную выработку через аэродинамические связи, появляющиеся между кровлей выработки и навалом руды – это видно по «всплескам» на кривых на рисунке 2. При этом важно понимать, что в момент вывала руды запирается не весь объем взрывных газов, а только его часть.

С целью оценки соотношения вынесенного и запертого газа необходимы натурные эксперименты в нескольких тупиковых выработках большого сечения при различных конфигурациях камерного пространства в комплексе с численным моделированием процесса выноса газов через навал руды, заданный как пористое тело. При этом по результатам численного моделирования видится возможным отделение концентраций газов от взрывных работ, как неизвестные и неизмеримые параметры, от концентраций газов от двигателя внутреннего сгорания, как возможные к измерению параметру.

### Выводы

В результате анализа полученных данных в ходе натурального эксперимента можно сделать следующие выводы:

- 1) при ведении взрывных работ в условиях тупиковых очистных камер преобладающим воздействием обладает оксид углерода (СО). Величины концентраций могут превышать предельно-допустимые значения до 20 раз;
- 2) регламентного времени проветривания в 30 минут недостаточно для разжижения ядовитых газов до предельно-допустимых значений;
- 3) газы «запертые» в камерном пространстве постепенно выносятся в пространство нарезной выработки.

Таким образом, при ведении работ по добыче руды буровзрывным способом в условиях тупиковых камер большого сечения необходим предварительный расчет объема выделяющихся газов и автоматический контроль выноса газов в рабочую зону горнорабочего, осуществляющего отгрузку руды.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения (рег. номер НИОКТР 124020500030-7).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабкин Р.С., Парамонов Г.П. К вопросу снижения выбросов оксидов азота при ведении взрывных работ // Мониторинг. Наука и технологии. – 2018. – № 2 (35) – С. 31-34.
2. Козырев С.А., Власова Е.А. Газовая вредность взрывчатых веществ, применяемых в горнодобывающей промышленности // Горная промышленность. – 2021. – № 5. – С.106–111. – DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-106-111.
3. Накаряков Е.В., Семин М.А., Гришин Е.Л., Колесов Е.В. Анализ закономерностей накопления и выноса выхлопных газов от машин с двигателями внутреннего сгорания в тупиковых камерообразных горных выработках // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 5. – С. 41-47. – DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-41-47.

4. Накаряков Е.В. Натурные исследования рудничной атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 113-118. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.22.
5. Накаряков Е.В. Исследование качественного состава рудничной атмосферы тупиковой горной выработки при отгрузке руды техникой с двигателем внутреннего сгорания // Горное эхо. – 2022. – № 2 (87). – С. 119-122. – DOI: 10.7242/echo.2022.2.19.

УДК 622.814

DOI:10.7242/echo.2024.2.14

## СЛОЖНОСТЬ ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ ПРИ ПОЖАРАХ

Д.Ю. Палеев

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В статье представлен обзор существующих методов расчета аварийных режимов при пожарах в шахтах в стационарной и нестационарной постановках. Описаны их достоинства и недостатки при моделировании сложных физических процессов при пожарах. Показана необходимость упрощения существующей физико-математической модели, в основе которой лежит замкнутая система уравнений газовой динамики в нестационарной постановке, и необходимость в разработке специальных методов ускорения вычислений, учитывающих особенности моделируемых процессов.

**Ключевые слова:** шахта, горные выработки, вентиляционная сеть, подземный пожар, газодинамический метод, математическая модель.

### Введение

Подземные пожары – сложный и опасный вид аварий, тушение которых всегда требует больших материальных затрат, часто носит затяжной характер, может сопровождаться безвозвратной потерей горных выработок, дорогостоящего оборудования и человеческими жертвами. В последние годы, при общем снижении количества пожаров, сложность и время их ликвидации возрастают из-за возможных взрывов метана и угольной пыли. Здесь первостепенную роль имеет выбор и организация правильного аварийного режима проветривания, обеспечивающего [1]:

- безопасный выход людей из аварийного участка или всей шахты на поверхность и уменьшение распространения продуктов горения в другие выработки шахты;
- выполнение первоочередных мер по тушению пожара.

Причем выбор аварийного режима надо делать в условиях, когда часть вентиляционных и изолирующих сооружений разрушены или повреждены, в выработках с высокой температурой возникли дополнительные источники тяги в виде тепловой депрессии, появились новые или интенсифицировались прежние источники газовыделения. В результате горноспасатели сталкиваются с необходимостью рассчитывать распределение вентиляционных потоков в сети горных выработок, плотность и температура которых изменяются во времени.

По мере усложнения условий добычи угля эволюционировали и методы решения задач вентиляции. Так, аналитические методы расчета вентиляции для простых вентиляционных сетей были достаточно хорошо разработаны уже в конце XIX века трудами европейских ученых. Тем не менее, такие вопросы как определение режимов работы вентиляторов и распределение воздуха по горным выработкам приходилось часто решать на глазок. А это нередко приводило к серьёзным ошибкам.

Одной из первых попыток перевести рудничную аэродинамику на научную базу путем использования достижений газовой динамики, явилась диссертация А.А. Скочин-