

6. Андрейко С.С., Иванов О.В. Метод прогноза газодинамических явлений при разработке сильвинитовых пластов Верхнекамского месторождения калийных солей // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2009. – № 7. – С. 368-373.
7. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений солей // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 601-609. – DOI: 10.31897/PMI.2020.6.1.
8. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rockburst from floors // Soils and Rocks. – 2019. – V. 42, 1. – P. 77-82. – DOI: 10.28927/SR.421077.
9. Андрейко С.С. Современное состояние проблемы газодинамических явлений на Верхнекамском месторождении калийных солей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2009 г. – Пермь, 2010. – С. 211-213.
10. Андрейко С.С. Мониторинг газодинамической опасности при ведении подземных горных работ на рудниках ОАО «Уралкалий»: современное состояние и направления совершенствования // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 9. / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2011. – С. 254-256.
11. Андрейко С.С. Анализ структурно-тектонических условий проявления газодинамических явлений в надвиговых и сдвиговых зонах на шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 225-228.
12. Андрейко С.С. Геологический механизм дегазации карналлитового пласта Б на участках распространения смешанных солей // Горное эхо. – 2022. – № 3 (88). – С. 55-60. – DOI: 10.7242/echo.2022.3.9.
13. Лукьянец Е.В., Бобров Д.А. Механизм образования очагов газодинамических явлений в складчатых структурах калийных пластов // Горное эхо. – 2020. – № 2 (79). – С. 106-114. – DOI: 10.7242/echo.2020.2.21.
14. Дэвис Дж. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. в 2 кн./ Пер. В.А. Голубевой; Под ред Д.А. Родионова. – М.: Недра. 1990. – Кн.1. – 319 с.
15. Дэвис Д.С. Статистический анализ данных в геологии. В 2 кн. / Пер. с англ. В.А. Голубевой; Под ред Д.А. Родионова. – М.: Недра. 1990. – Кн.2. – 427 с.
16. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей – Л.: Недра, 1971. – 174 с.
17. Андрейко С.С., Лукьянец Е.В. Пространственные модели пласта АБ на шахтном поле БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2023. – №. 1. – С. 523-531.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.2.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЙ ТЕХНИКИ С ДВС НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ТУПИКОВЫХ КАМЕРООБРАЗНЫХ ВЫРАБОТОК

Е.В. Накаряков

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе представлены результаты многопараметрического численного моделирования процесса проветривания тупиковых очистных камер с учетом тепловыделений техники, работающей в очистном пространстве. Произведена оценка влияния тепловой конвекции на распределение скоростей воздуха и концентраций. Показано, что при расчетном количестве воздуха, подаваемом на проветривание тупиковой выработки, концентрация вредных компонентов выхлопных газов в устье выработки имеет одинаковый характер возрастания и асимптоту как с учетом тепловыделений, так и без их учета. При учете теплового расширения выхлопных газов тепловыделениями в пределах очистного пространства для решения задачи эффективности проветривания тупиковых очистных камер можно пренебречь.

Ключевые слова: рудничная вентиляция, двигатель внутреннего сгорания, выхлопные газы, ядовитые газы, расход воздуха, расчет количества воздуха.

Введение

В российской нормативной документации [1] отсутствуют требования по проветриванию тупиковых камерообразных выработок, образующихся за счет расширения нарезной выработки до камерообразной при обратном порядке отработки. В связи с недостаточностью требований нормативной документации возникает необходимость исследования эффективности выноса ядовитых примесей выхлопных газов погрузочно-доставочных машин (далее по тексту – ПДМ) с двигателем внутреннего сгорания (далее по тексту – ДВС) из камерного пространства.

Исследованиями состава рудничной атмосферы при работе техники с ДВС занимались многие исследователи, в том числе имеются диссертационные работы [2, 3]. Исследования [2] показали, что реверсирование вентиляционной струи позволяет нормализовать санитарно-гигиенические условия труда в основном участке тупиковой выработки при работе техники с ДВС без увеличения расхода воздуха на проветривание. В продолжение выше описанных исследований в работе [3] на основании математического моделирования доказано, что увеличение объема призабойной зоны за счет использования вентилятора-турбулизатора и проветривания ее двумя последовательными свободными струями обеспечивает нормализацию санитарно-гигиенических условий труда в тупиковой выработке при работе погрузочно-доставочной машины с ДВС без увеличения расхода воздуха на проветривание.

В работах [4-8] рассматривались вопросы проветривания подобного типа горных выработок. Для исследований применялось численное моделирование процесса выноса газов. При численном моделировании немаловажным фактором является параметризация модели.

Настоящая работа является продолжением работ [4-8] и направлена на параметризацию численной модели с точки зрения термодинамической составляющей процесса смешивания горячих выхлопных газов от техники с ДВС с более холодным шахтным воздухом.

Численная модель

Для моделирования процесса накопления и выноса вредных компонентов, образующихся при работе машин с двигателем внутреннего сгорания (CO и NO_x) из камерного пространства вследствие работы в тупиковых горных выработках ПДМ с ДВС использован модуль CFX программного комплекса ANSYS. Задача решается методом RANS, используются осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, в частности, уравнение неразрывности, уравнение сохранения импульса и уравнение сохранения энергии. При учете турбулентности потока используется standard k-epsilon модель. Интенсивность турбулентности на входе в расчетную область составляет 2%, масштаб вихрей – 20 см.

В модуле SpaceClaim программного комплекса ANSYS построена модель обобщенной очистной камеры. Геометрические параметры, использованные в модели, соответствуют геометрическим параметрам очистных тупиковых горных выработок подземных рудников Талнахского рудного узла. Для учета теплового потока с поверхности ПДМ построена реальная геометрия машины (см. рис. 1).

На входе в расчетную область задаются массовые расходы воздуха и концентрации газа. На выходе задается нулевое статическое давление. На стенках задается прилипание потока с учетом шероховатости стенки. Расчет пограничного слоя осуществляется с учетом повышенной шероховатости стенок горных выработок, равной 0.03 м.

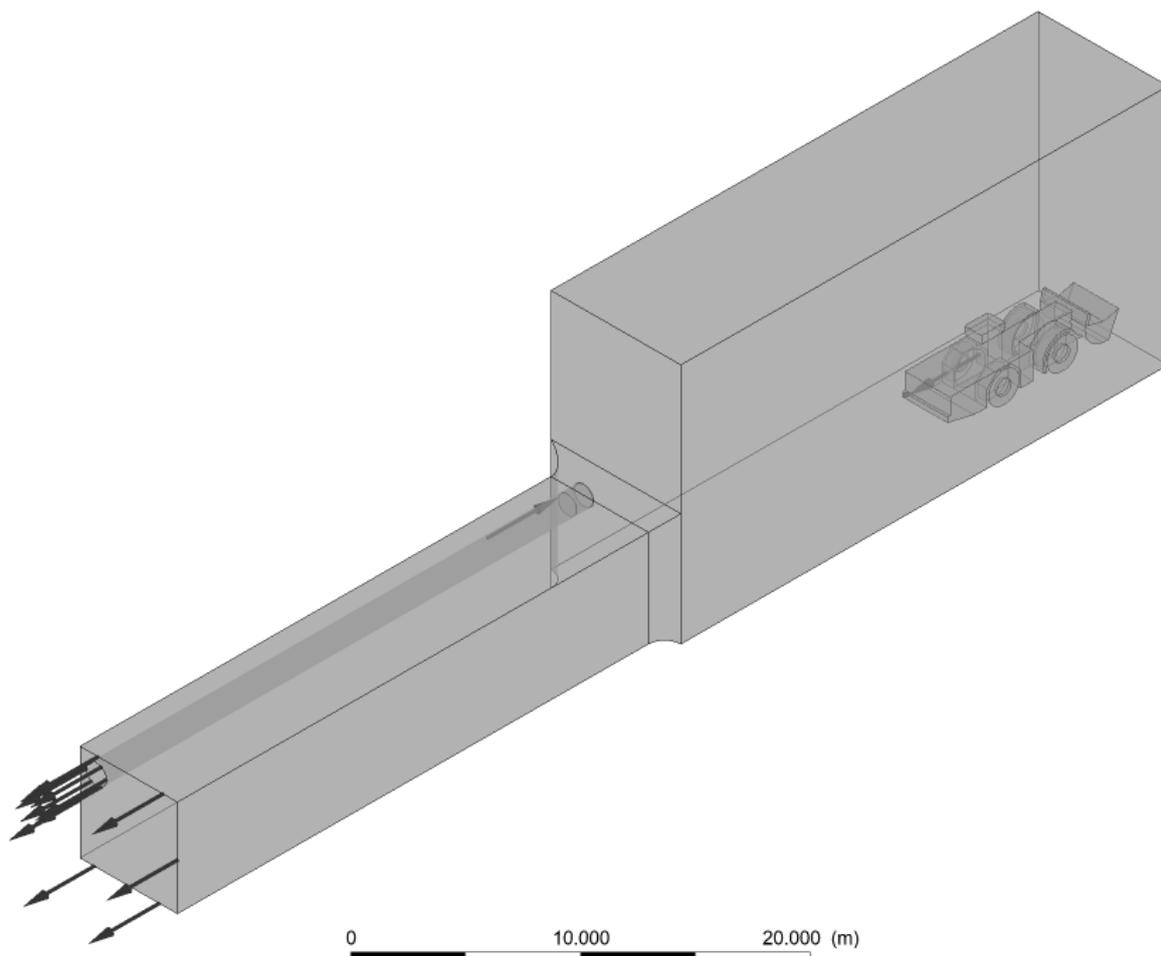


Рис. 1. Расчетная область

Исходные данные о газовыделениях и тепловыделениях

Источниками тепловыделений в камерном пространстве являются выхлопные газы и поверхность ПДМ. ГОСТом «Оборудование горно-шахтное. Машины погрузочно-доставочные шахтные. Требования безопасности и методы испытаний» регламентируется максимальная температура выхлопных газов, она составляет 70 градусов. Количество выхлопных газов определяется из технической характеристики двигателя с учетом его четырехтактной работы по формуле [9]:

$$g_{\text{вых}} = k \frac{V \cdot n}{2}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где k – коэффициент, учитывающий давление избытка; V – суммарный рабочий объем цилиндров, м^3 ; n – скорость вращения коленчатого вала, $\text{об}/\text{с}$.

Для задания равномерного по площади тепловыделения поверхности ПДМ использованы результаты тепловизионной и температурной съемок в шахтных условиях, описанных в работе [10]. В работе приращение температуры воздуха составило 6,5 градусов при работе ПДМ AtlasCorpo ST-1030, что соответствует выделению 177 кВт теплоты.

Эти параметры использованы при моделировании в качестве граничных условий входа в расчетную область выхлопных газов и теплового потока с поверхности ПДМ при моделировании.

Результаты моделирования

По результатам моделирования построены поля распределения температуры в поперечном сечении исследуемой области. Как видно из рисунка (см. рис. 2), температура в очистном пространстве составляет от 30 до 35 градусов. Также на рисунке видно, что в очистном пространстве отсутствует вертикальное расслоение. Таким образом, вынужденная конвекция, создаваемая потоком воздуха, выходящего из трубопровода, преобладает над естественной тепловой конвекцией.

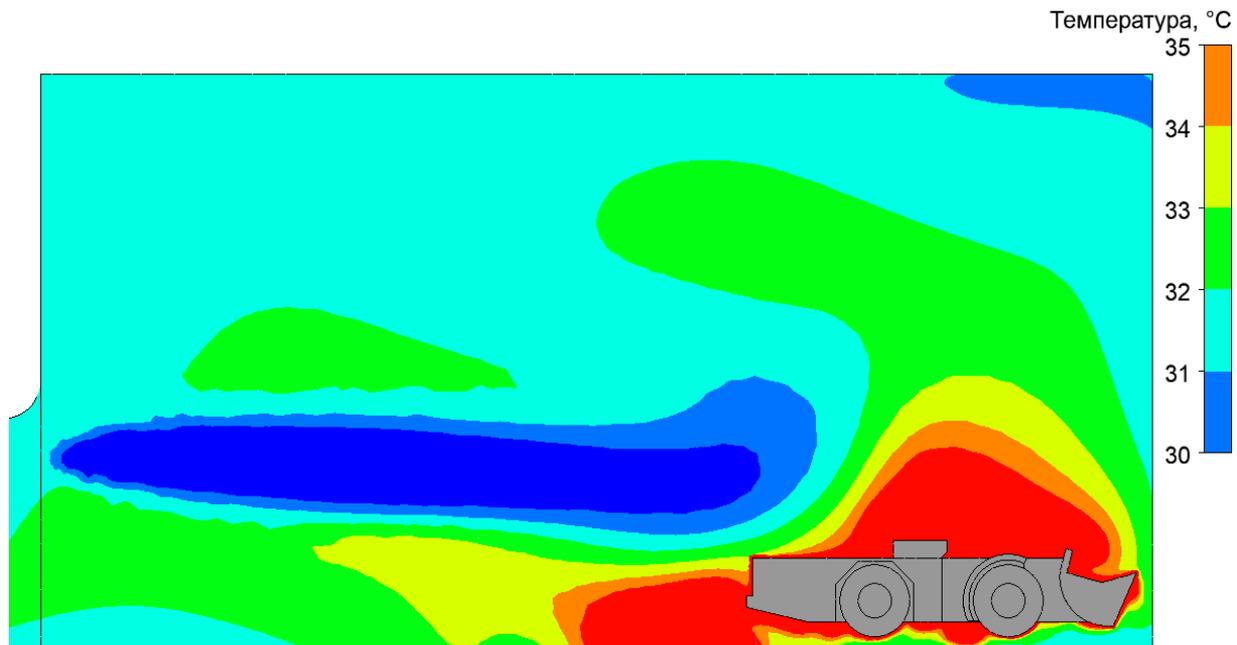


Рис. 2. Распределения температур в срединном вертикальном срезе

Произведена оценка влияния тепловыделений в очистном пространстве на поля распределения скоростей воздуха в нарезной выработке, в которой расположено рабочее место машиниста ПДМ. На рисунках представлены результаты моделирования четырех случаев: 1) без учета тепловыделений; 2) с учетом температуры выхлопных газов; 3) с учетом выхлопных газов и поверхности ПДМ, заданной тепловым потоком; 4) с учетом выхлопных газов и поверхности ПДМ, заданной статической температурой.

Как видно из рис. 3, способ задания тепловыделений в пределах очистного пространства существенно влияет на распределение скоростей воздуха в нарезной выработке. Различия в количестве приносимой в атмосферу выработки теплоты и в местах ее образования обуславливают формирование различных конвективных вихревых структур в очистной и нарезной выработках. С учетом полученного результата интересно исследовать, как меняется концентрация вредных примесей в нарезной выработке в зависимости от способа задания тепловыделений.

Для задачи проветривания очистного пространства и нарезной выработки при отгрузке руды наиболее важным является параметр концентрации газа на рабочем месте машиниста ПДМ. На графике (см. рис. 4) представлены результаты непрерывной работы ПДМ в очистном пространстве в течение 5 минут. Как видно из графика, при всех рассмотренных вариантах моделирования асимптота графиков одинакова, присутствует незначительная разница во временных колебаниях концентрации, однако она исчезает после усреднения по времени.

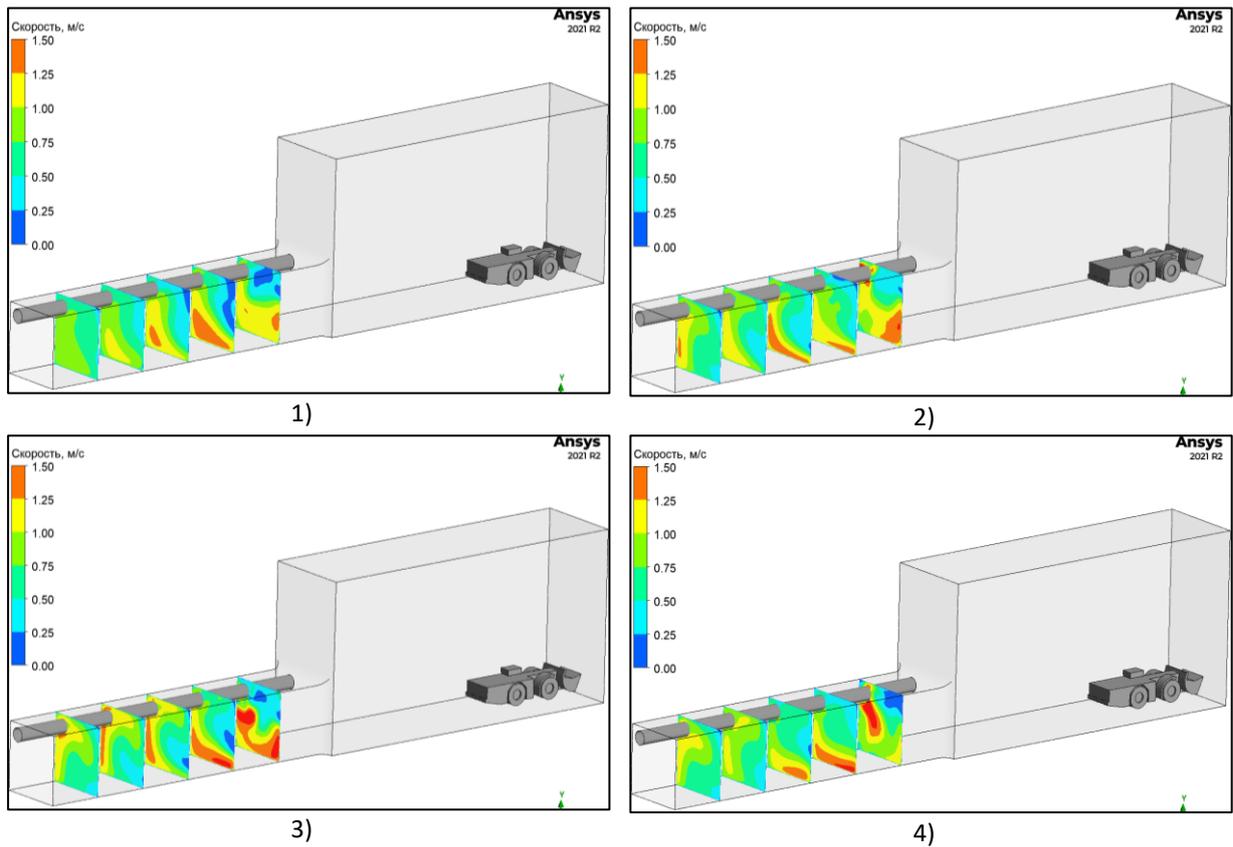


Рис. 3. Поля скоростей движения воздуха

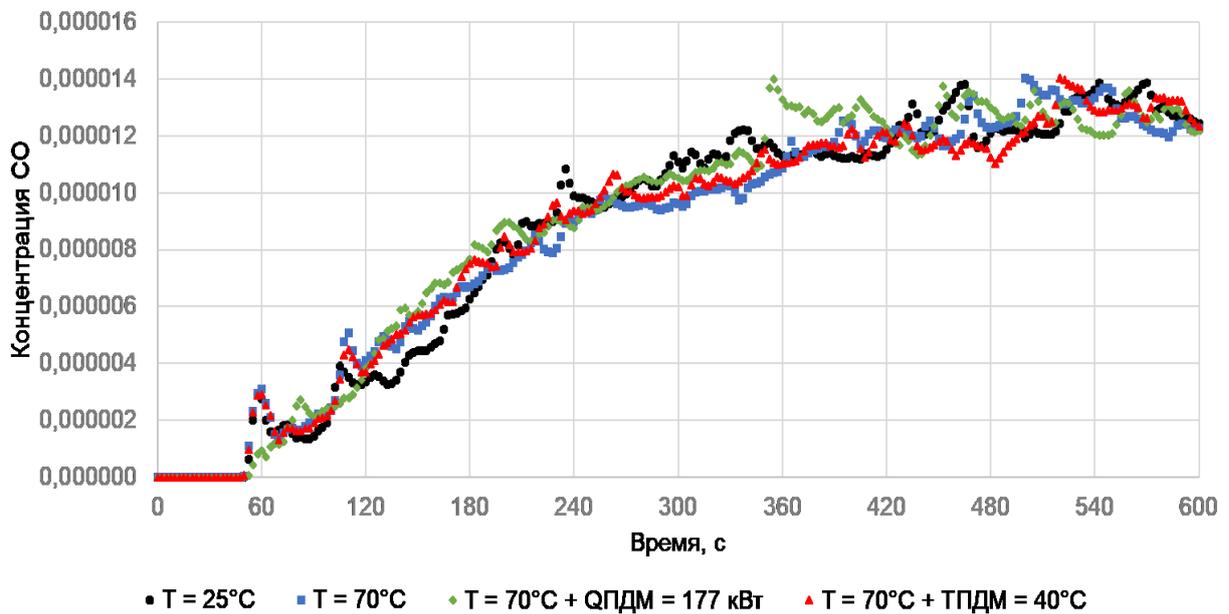


Рис. 4. График возрастания концентрации угарного газа на рабочем месте машиниста ПДМ

Характер возрастания кривых также аналогичен, что свидетельствует о том, что при учете теплового расширения выхлопных газов тепловыделениями в пределах очистного пространства для решения задачи эффективности проветривания тупиковых очистных камер можно пренебречь.

Выводы

По результатам моделирования сделаны следующие выводы (все результаты справедливы при подаче расчетного количества воздуха).

1. При проветривании очистных тупиковых камер большого сечения отсутствует существенное вертикальное расслоение температур, а вынужденная конвекция, создаваемая потоком воздуха, выходящего из трубопровода, преобладает над естественной тепловой конвекцией.

2. Тепловыделения погрузочно-доставочной машины в пределах очистного пространства ощутимо влияют на поле распределения скорости в поперечном сечении нарезной выработки, при этом количественно средняя величина скорости неизменна.

3. Тепловыделения погрузочно-доставочной машины в пределах очистного пространства не влияют на величину концентрации вредных компонентов выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания на рабочем месте машиниста погрузочно-доставочной машины.

Таким образом, при учете теплового расширения выхлопных газов (задание массового расхода выхлопных газов при моделировании) тепловыделениями в пределах очистного пространства для решения задачи эффективности проветривания тупиковых очистных камер можно пренебречь.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Министерства науки и образования РФ (рег. номер НИОКТР 122012000396-6).*

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, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТИЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
2. Пьянников В.П. Повышение эффективности проветривания тупиковых горных выработок при работе погрузочно-доставочных (транспортных) машин с двигателями внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук. 25.00.20 / Пьянников Валерий Павлович. – Екатеринбург, 2005. – 198 с.
3. Росляков А.С. Оптимизация проветривания тупиковой выработки при работе в ней машин с двигателями внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук. 25.00.20 / Росляков Александр Станиславович. – Екатеринбург, 2012. – 172 с.: ил.
4. Накаряков Е.В., Гришин Е.Л. Исследование условий проветривания протяженных тупиковых очистных камер при работе в них погрузочно-доставочных машин с двигателем внутреннего сгорания // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 105-111.
5. Накаряков Е.В. Анализ влияния геометрических параметров поперечного сечения очистной тупиковой камеры на эффективность ее проветривания // Горное эхо. – 2019. – Т. 76, № 3. – С. 76-79. – DOI: 10.7242/echo.2019.3.21.
6. Накаряков Е.В., Гришин Е.Л. Анализ влияния производственного цикла работы погрузочно-доставочной машины в очистной тупиковой камере на эффективность проветривания // Горное эхо. – 2020. – № 3 (80). – С. 120-123. – DOI: 10.7242/echo.2020.3.23.
7. 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.
8. Гришин Е.Л., Зайцев А.В., Кузьминых Е.Г. Обеспечение безопасных условий деятельности сотрудников по фактору вентиляция в подземных рудниках при работе техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания // Недропользование. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 280-290. – DOI:10.15593/2712-8008/2020.3.8.
9. Рудничная вентиляция: справ. / под ред. К.З. Ушакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 440 с.: ил.
10. Зайцев А.В. Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников: дис. ... д.т.н.; 25.00.20: защищена 23.05.19 / Зайцев Артем Вячеславович. – Пермь, 2019. – 247 с.