

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТСТАВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО СПОСОБА

А.В. Таций

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В настоящей работе представлены и проанализированы три количественных показателя эффективности проветривания тупиковой горной выработки с использованием нагнетательного способа. Предложенные показатели позволяют комплексно оценить эффективность проветривания, как на качественном, так и количественном уровне. Для построения и валидации расчетной модели использованы исходные данные, полученные в результате замеров на руднике «Купол». В результате выполненной работы получены аппроксимирующие зависимости, позволяющие подобрать параметры величины отставания или скорость в вентиляционном трубопроводе для эффективного проветривания тупиковой выработки. Результаты исследования могут быть применены в качестве обоснования для увеличения отставания вентиляционного трубопровода от груди забоя на различных рудниках.

Ключевые слова: рудник, тупиковая выработка, нагнетательный способ проветривания, воздухообмен, эффективное проветривание, безопасность.

Введение

В процессе ведения горных работ в тупиковых горных выработках необходимо обеспечить эффективный вынос выделяющихся вредных примесей. Эффективность удаления вредных примесей из забоя может быть исследована только при понимании структуры воздушных турбулентных потоков [1,2].

Актуальность данной работы заключается в потребности качественной и количественной оценки эффективности проветривания тупиковых выработок, в зависимости от различных факторов.

Также полученные результаты могут быть использованы для обоснования увеличения отставания вентиляционного трубопровода от груди забоя до величин более 15 метров [3]. Последняя величина согласно правилам безопасности является предельно-допустимой величиной отставания вентиляционного трубопровода для тупиковых выработок сечением 16 м² и более. Обоснование увеличения отставания вентиляционного трубопровода позволит увеличить энергоэффективность проветривания и скорость ведения горных работ [4,5,6].

Так как натурные исследования, позволяющие понять и оценить структуру турбулентного движения воздуха, с практической точки зрения чрезвычайно затратны во времени и в материальных ресурсах, то с целью дальнейшей параметризации модели, в качестве инструмента для изучения турбулентной структуры, используется метод численного моделирования [7,8].

Разработки модели

Для построения и валидации расчетной модели в программном комплексе Ansys Fluent использованы исходные данные, полученные в результате замеров на руднике «Купол» [9]. Некоторые геометрические параметры модели представлены на рис. 1.

Исходя из результатов предварительного моделирования, выбор был сделан в пользу модели RKE (k-epsilon realizable) на основе её способности обеспечивать наилучшую сходимость и стационарность решения [10,11]. С целью учета влияния высоких градиентов скорости вблизи стенок горной выработки и трубопровода на турбулентный поток сетка была уплотнена вблизи стенок выработки и вентиляционного трубопровода.

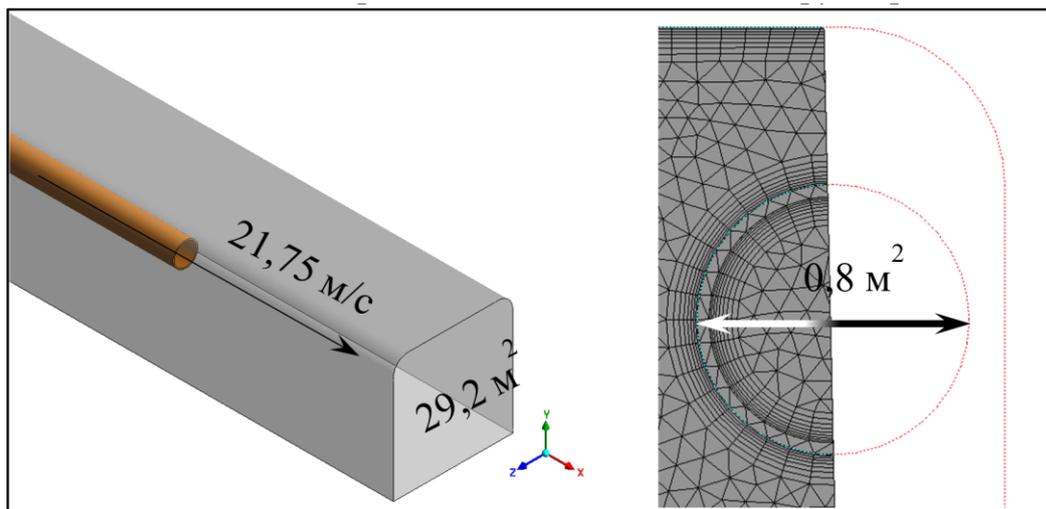


Рис. 1. Геометрические параметры исследуемой выработки

Численное моделирование проводилось при пороговом значении абсолютных невязок в 10^{-5} , количество итерации 12 500. Такая маленькая величина порогового значения абсолютных невязок связана с тем, что в рассматриваемой задаче турбулентные потоки характеризуются высокой сложностью и большими градиентами, что предъявляет более высокую точность к расчетам для корректного воспроизведения физических особенностей потока воздуха.

Показатели эффективности проветривания

На рис. 2 показана упрощенная схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки, показывающая прямые и возвратные потоки воздуха, а также работающую технику, отравляющую атмосферу призабойного пространства. Поэтому основной задачей при проветривании является эффективное удаление вредных примесей, выделяемых в процессе ведения горных работ [12].

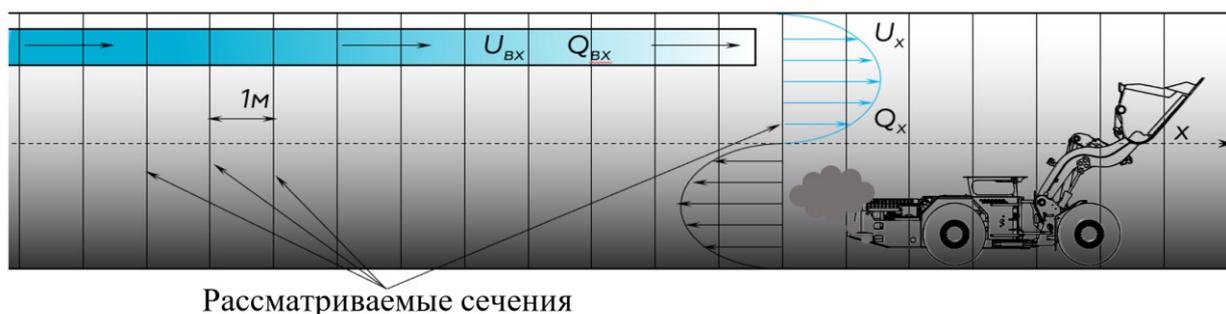


Рис. 2. Упрощенная схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки

Это возможно только в том случае, если обеспечить доставку свежего воздуха, а также вынос отработанного воздуха из призабойного пространства. Оценка интенсивности этого процесса может быть проведена с помощью показателя «относительная величина потока воздуха направленного к груди забоя». Определяется данный показатель отношением расхода воздуха направленного к груди забоя к входящему расходу воздуха, поступающему на проветривание тупика.

Свежий воздух надо не только доставить до забоя, но и обеспечить его перемешивание с выделяющимися вредностями. Для характеристики данного процесса перемешивания

вания введен второй показатель – он выражается параметром максимальной продольной скоростью потока воздуха, отнесенной к средней скорости в трубопроводе.

Самым трудным местом при проветривании является узкая зона вблизи груди забоя, поэтому также важно дополнительно оценить эффективность омывания воздухом забоя – это можно сделать с помощью третьего показателя – максимальной поперечной скорости потока воздуха.

Все описанные показатели собраны в табл. 1, вместе с соответствующим им физическими процессами и параметрами для количественной оценки. Индекс «x» в данном случае соответствует продольной координате выработки, а индексы «y» и «z» - поперечным.

Таблица 1

Показатели эффективности проветривания

№	Процесс	Показатель	Расчетная формула
1	Доставка свежего воздуха, вынос отработанного воздуха	Относительная величина потока воздуха к груди забоя	$\frac{Q}{Q_{\text{вх}}}$
2	Перемешивание масс воздуха	Относительная максимальная скорость потока	$\frac{U_{\text{max}(x)}}{U_{\text{вх}}}$
3	Омывание забоя	Максимальная поперечная скорость потока	$U_{\text{max}(y,z)}$

Расчет всех представленных показателей производился в поперечных сечениях горной выработки с интервалом в 1 метр.

Результаты моделирования

Результаты, полученные в ходе моделирования и представленные на рис. 3, выражены зависимостью величины спутного потока воздуха, направленного к груди забоя, от расстояния между концом вентиляционного трубопровода и грудью забоя.

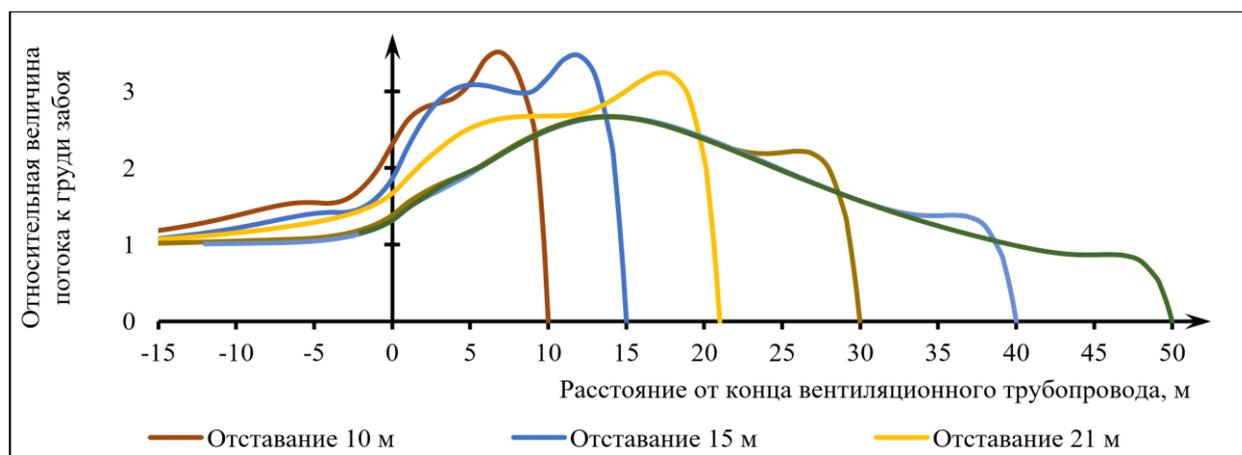


Рис. 3. Относительная величина потока к груди забоя при различном отставании трубопровода от груди забоя

Для случаев отставаний 15-25 м на кривых можно отметить два локальных максимума. Наличие сразу двух максимумов связано со сложной структурой стационарного вихря, формирующегося в призабойной зоне, это говорит о «закрученности» данного вихря в направлении оси горной выработки.

Второй рассматриваемый показатель представлен кривыми, выраженными зависимостью относительной максимальной скорости при различном отставании вентиляционного трубопровода. Результаты наглядно указывают, что при отставании трубопровода до 25 м резкое затухание турбулентного потока воздуха происходит непосредственно у груди тупикового забоя (рис. 4).

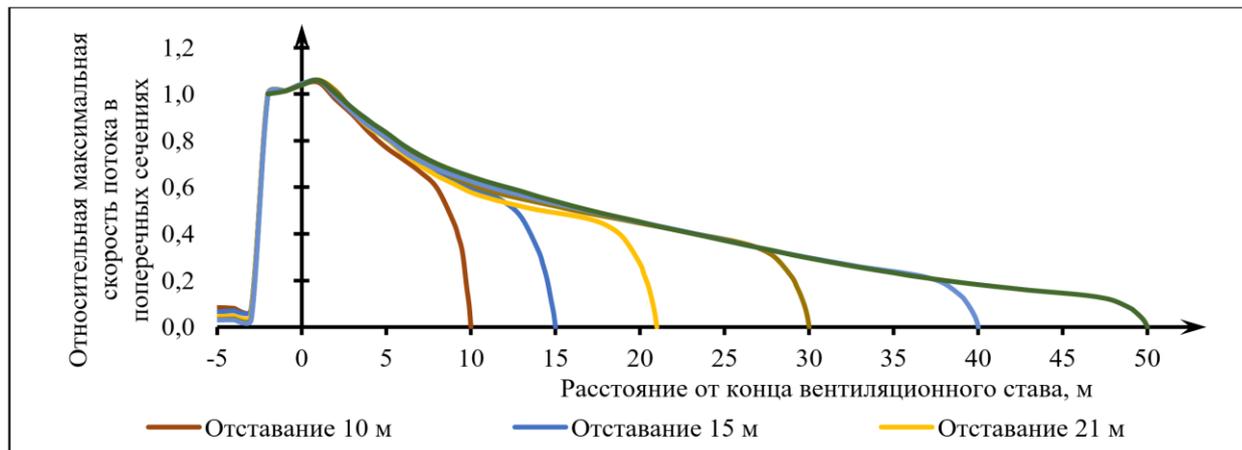


Рис. 4. Относительная максимальная скорость потока в поперечных сечениях при различном отставании трубопровода от груди забоя

При росте удаления трубопровода от забоя относительная максимальная скорость начинает плавно угасать по всей длине тупиковой выработки близко к линейному закону до самого забоя.

Третий показатель (максимальная поперечная скорость потока) представлен на рис. 5. По экстремумам кривых, построенных для различных отставаний, можно оценить длину и величину возникающего стационарного вихря.

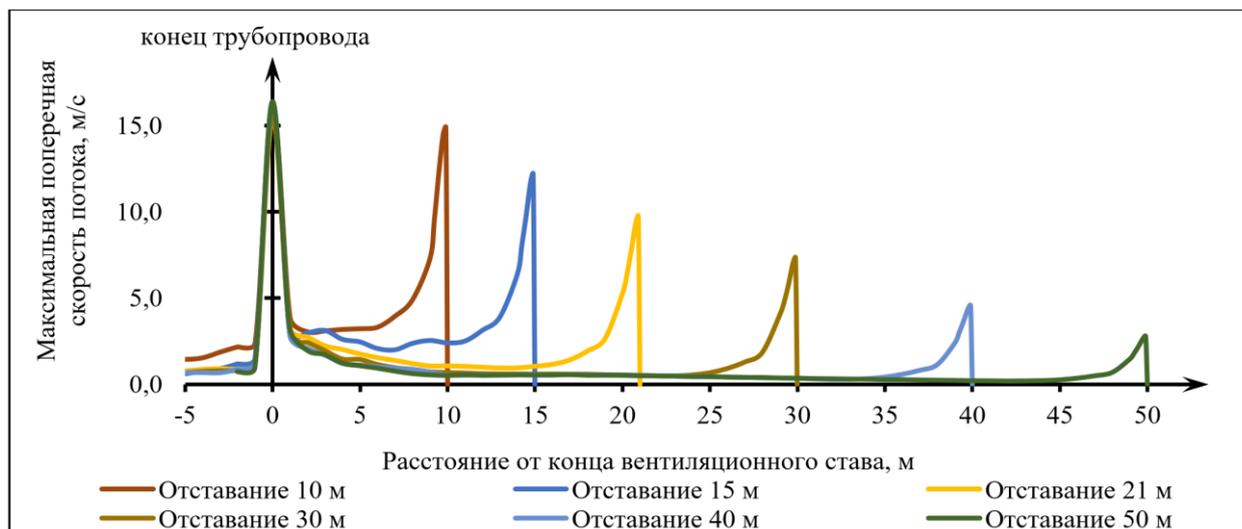


Рис. 5. Максимальная поперечная скорость потока при различном отставании трубопровода от груди забоя

Оценить длину вихря можно по максимумам, которые показывают, что в не зависимости от отставания вихрь возникает у конца вентиляционного трубопровода, а кончается непосредственно у груди тупикового забоя.

На рис. 6 представлены примерно линейные функции трех показателей от отставания на расстоянии 1 метр от груди забоя в определенном диапазоне отставаний. Приведенное расстояние обосновано с точки зрения зоны дыхания человека, находящегося в призабойной части выработки. Комплексный анализ безусловно позволяет оценить снижение воздухообменных процессов с ростом отставания вентиляционного трубопровода.

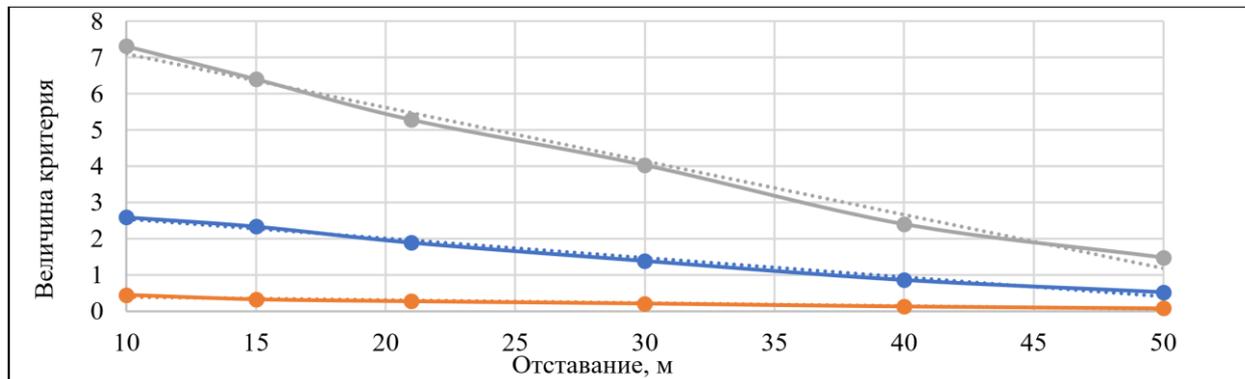


Рис. 6. Комплексный анализ представленных показателей с их линейными аппроксимациями

Построенные зависимости и их линейные аппроксимации указывают на то, что показатели подобны, это в свою очередь говорит об их согласованности. Они предсказывают одинаковое ухудшение или улучшение качества проветривания при изменении отставания.

Аналогичным образом построены графики рис. 7 при изменении скорости входящего потока воздуха. При вариации скорости принималось, что знаменатель выражений из табл. 1 неизменен и соответствует референтной скорости воздуха в вентиляционном трубопроводе (21,75 м/с), а изменяется только числитель. Это сделано для того, чтобы оценить изменение размерных характеристик массопереноса в выработке при изменении количества подаваемого по трубопроводу воздуха. Отмечается, что предложенные показатели примерно пропорциональны скорости.

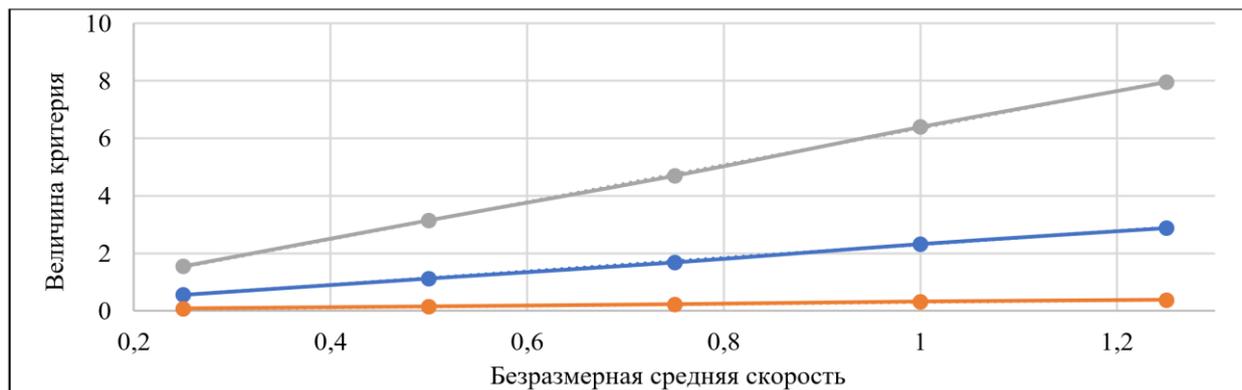


Рис. 7. Комплексный анализ представленных показателей с их линейными аппроксимациями при изменении средней скорости входящего потока воздуха

Данные линии получены при отставании трубопровода 15 м, подобные графики также строились и для других отставаний.

Проведенное моделирование позволило в конечном счете вывести аппроксимирующую зависимость всех показателей от двух параметров: скорости потока воздуха и отставания трубопровода, тем самым мы получили формулы, указанные в табл. 2.

Таблица 2

Количественная оценка показателей эффективности проветривания в 1 м от забоя

Показатели оценки эффективности проветривания	Аппроксимирующая зависимость
Относительная величина потока воздуха к забою на расстоянии 1 метр от забоя	$0,286(10,73 - L') \frac{V}{V_0}$
Относительная максимальная скорость потока в поперечном сечении на расстоянии 1 метр от забоя	$0,044(10,73 - L') \frac{V}{V_0}$
Величина максимальной поперечной скорости потока в поперечном сечении на расстоянии 1 метр от забоя	$0,798(10,73 - L') \frac{V}{V_0}$

Полученные зависимости позволяют сказать о том, что высокая скорость свежего потока воздуха, поступающего на проветривание, компенсирует увеличенное отставание трубопровода от груди забоя и наоборот.

На практике полученные результаты могут позволить обеспечить эффективное проветривание тупиковых горных выработок после производства взрывных работ, обеспечив сохранность трубопровода, увеличив отставание трубопровода от груди забоя.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Паршаков О.С. О возможности проветривания тупиковых выработок беструбным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 9. – С. 195-199.
2. Казаков Б.П., Колесов Е.В., Накаряков Е.В., Исаевич А.Г. Обзор моделей и методов расчета аэродинамических процессов в вентиляционных сетях шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 6. – С. 5-33. – DOI 10.25018/0236_1493_2021_6_0_5.
3. 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 «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
4. Козырев С.А., Амосов П.В. Обоснование минимального расстояния от забоя проводимой выработки до конца вентиляционных труб // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – №. 10. – С. 79-84.
5. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Паршаков О.С., Богомятков А.В. Улучшение проветривания тупиковой выработки путем увеличения начальной скорости воздуха в вентиляционной струе // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 1. – С. 112-118. – DOI: 10.15372/FTPPI20220112.
6. Мостепанов Ю.Б. Исследование дальнобойности стесненной струи, действующей в забое тупиковой выработки // Изв. вузов. Горн. журн. – 1978. – № 11. – С. 47-50.
7. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Гришин Е.Л. Эжектирование возвратного потока воздуха для увеличения дальнобойности направленной в тупик воздушной струи // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2022. – Т. 333. – № 9. – С. 27-36. – DOI: 10.18799/24131830/2022/9/3624.
8. Колесов Е.В., Казаков Б.П. Эффективность проветривания тупиковых подготовительных выработок после взрывных работ // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2020. – Т. 331. – № 7. – С. 15-23. – DOI: 10.18799/24131830/2020/7/2715.

-
9. Каменских А.А., Файнбург Г.З., Семин М.А., Таций А.В. Экспериментальные исследования проветривания тупиковой выработки нагнетательным способом при различном отставании вентиляционного трубопровода от груди забоя // Горные науки и технологии. – 2024. – Т. 9, № 1. – С. 41-52. – DOI: 10.17073/2500-0632-2023-08-147.
 10. Левин Л.Ю., Газизуллин Р.Р., Зайцев А.В. Использование программного модуля Ansys CFX при решении научно-производственных задач проветривания шахт и рудников // САПР и графика. – 2011. – № 10. – С. 64-66.
 11. Колесов Е.В., Казаков Б.П., Кузьминых Е.Г. Моделирование процесса изменения состава рудничного воздуха в наклонной тупиковой горной выработке // Горное эхо. – 2020. – № 1 (78). – С. 79-84. DOI: 10.7242/echo.2020.1.17.
 12. Левин Л.Ю., Кормщиков Д.С., Семин М.А. Решение задачи оперативного расчета распределения продуктов горения в сети горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 12. – С. 179-184.

**Журнал
ГОРНОЕ ЭХО**

Научно-техническое издание

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук – ПФИЦ УрО РАН

614990, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а, тел. (342) 212-60-08

Издатель

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН

614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78-А; тел. (342) 216-75-02

Техническое редактирование В.В. Трескова
Верстка А.Б. Баталин

Подписано в печать 10.08.2024. Формат 60*84/8. Бумага ВХИ. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 11,39. Тираж 100 экз. Заказ №_____. Бесплатно. Дата выхода в свет 20.08.2024

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР)
(Свидетельство ПИ № ФС77-75332 от 25.03.2019 г.)

Адрес редакции:

614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78-А; тел. (342) 216-75-02;
e-mail: arc@mi-perm.ru; www.mi-perm.ru

Отпечатано в типографии IQ.PRESS

614046, г. Пермь, ул. Барамзиной 42/3, тел.: +7 (342) 240-36-70
e-mail: zakaz@iqpress.ru, www.qpress.ru