

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.201.02
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 11.06.2025, протокол № 38

О присуждении Трушковой Надежде Анатольевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование способов рециркуляционного проветривания в системах горных выработок подземных рудников» по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите 08.04.2025, протокол № 36, диссертационным советом 24.1.201.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а, утвержденным приказом Минобрнауки России № 144/нк от 15 февраля 2022 г.

Соискатель Трушкова Надежда Анатольевна «02» марта 1987 года рождения, в 2010 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет», горно-нефтяной факультет с присвоением квалификации (степени) – магистр техники и технологии по направлению «Горное дело». В период с 2010 по 2014 год обучалась в заочной аспирантуре «ГИ УрО РАН» (на сегодняшний момент являющимся филиалом ПФИЦ УрО РАН), по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» (2.8.6). В настоящее время работает в отделе аэрологии и теплофизики Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра («ГИ УрО РАН») на должности ведущего инженера.

Диссертация выполнена в отделе аэрологии и теплофизики «ГИ УрО РАН».

Научный руководитель – Левин Лев Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, доцент, заведующий отделом аэрологии и теплофизики «ГИ УрО РАН» – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (г. Пермь).

Официальные оппоненты:

1. **Каледина Нина Олеговна** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Безопасности и экологии горного производства Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (г. Москва);
2. **Лугин Иван Владимирович** доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск).

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула). Ведущая организация дала положительный отзыв, подписанный заведующим кафедрой механики материалов и геотехнологий ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», д-ром техн. наук, доцентом Анциферовым Сергеем Владимировичем, и утвержденный проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», д-ром техн. наук, профессором Воротилиным Михаилом Сергеевичем.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, широкой известностью публикаций и достижений в области рудничной аэрогазодинамики.

Соискатель имеет 47 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликована 21 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ.

Основные публикации:

1. Казаков Б. П., Шалимов А. В., Трушкова Н. А. К оценке аварийных ситуаций при проектировании рециркуляционных систем // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2014. — №. 1. — С. 132—137.
2. Зайцев А. В., Клюкин Ю. А., Трушкова Н. А. Аналитическое решение задачи расчета распределения температуры воздуха в горных выработках при наличии рециркуляционных потоков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2014. — №. 9. — С. 190—194.
3. Гришин Е. Л., Накаряков Е.В., Трушкова Н.А., Санникович А.Н. Опыт внедрения систем динамического управления проветриванием рудников // Горный журнал. — 2018. — №. 8. — С. 103—108.
4. Kazakov B., Trushkova N., Shalimov A., Grishin E. On the possibility of using controlled air recirculation in potash and metal mines //International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. — 2020. — vol. 20. — №. 1.2. — pp. 203—210.
5. Казаков Б. П., Гришин Е. Л., Трушкова Н. А. Исследование устойчивости совместной работы подземных вентиляторов в калийном руднике при применении рециркуляции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2021. — №. 2. — С. 108—119.
6. Зайцев А. В., Трушкова Н. А. Исследование рециркуляционного проветривания при наличии источника газовыделения в рабочей зоне и внутренних утечек воздуха // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2022. — №. 3. — С. 34—46.
7. Семин М. А., Исаевич А.Г., Трушкова Н.А., Бублик С.А., Казаков Б.П. К вопросу о расчете распространения вредных примесей в системах горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2022. — №. 2. — С. 82—93.
8. Трушкова Н.А., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Учет аэродинамических характеристик вентиляционной сети при определении параметров рециркуляционного проветривания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2024. — №. 9. — С. 5—16.
9. Файнбург Г.З., Трушкова Н.А., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Основные требования к организации рециркуляционного проветривания в многосвязных системах подземных горных выработок // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. — 2024. — №. 3. — С. 458—480.

Публикации в журналах ВАК в полной мере отражают основные научные результаты работы соискателя. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента **Калединой Н.О.** В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, новизна выполненных исследований и полученных результатов, достоверность результатов исследований, научных положений выводов и рекомендаций, практическая значимость диссертационного исследования, соответствие содержания паспорту заявленной научной специальности. Оппонент приводит в своем отзыве следующие замечания по диссертации и автореферату:

- В научном положении 3 не указано: за счет чего повышается безопасность – это тем более не очевидно, что уровень безопасности не оценивался. Можно утверждать, что обеспечивается требуемый уровень безопасности при повышении энергоэффективности за счет более полного полезного использования подаваемого воздуха, но, если речь идет о повышении безопасности – следовало бы раскрыть факторы, обеспечивающие позитивные изменения.

- Достоверность выводов в ряде случаев наглядно демонстрируется на расчетных примерах, это удачный прием, но в расчетах приняты абстрактные значения, которые тоже вызывают вопросы: у нас нет в рудниках и шахтах газов, для которых $ПДК=2\%$; или депрессия ГВУ = 500 даПа (в отдельных случаях она может и превышать данное значение, но это выходит за пределы рекомендуемого технологическими нормами параметра общешахтной депрессии).
- В главе 4 в предлагаемой автором классификации рециркуляционных систем (таблица 4.2) нарушена системность классификации: схема вскрытия определяет схему проветривания, а они разнесены по разным уровням классификационных признаков; масштаб – в данном случае представляется не слишком удачным термином, скорее, объект рециркуляционного проветривания, но в общем случае, если говорить о системе вентиляции, то она представляет собой сложную иерархическую структуру, и рассматриваемые объекты относятся к разным уровням этой иерархии, по которым более целесообразно масштабировать частичную рециркуляцию для конкретного рудника; управляемость – тоже неоднозначно воспринимаемое понятие, здесь более правильно употребление термина «способ регулирования».
- В заключении следовало бы акцентировать необходимость автоматизации не только контроля состояния атмосферы, но и оперативного управления распределением воздуха (положительными и отрицательными регуляторами), откуда вытекает необходимость внесения соответствующих изменений в нормативную базу, запрещающую посменное регулирование (хоть работа защищается не по безопасности труда, но главная цель исследований – аэрологическая безопасность). Сегодня этот вопрос уже весьма актуален для обеспечения эффективности систем рудничной вентиляции, особенно при внедрении частично рециркуляционного проветривания.
- Общее замечание: не следует вводить новые термины для понятий, давно существующих. Например, тракт движения воздушной струи: есть понятия маршрута, направления или линии тока; о чем идет речь в данном случае? Или «качество выноса вредных примесей» - фактически речь идет о полезном использовании подаваемого воздуха. Также использованы термины: типы конфигураций (вместо схемы аэродинамических соединений), вентилятор-рециркулятор др. Новые термины должны вводиться для новых понятий, которые имеющимися невозможно определить достаточно полно, и тогда им надо дать свое определение.
- Замечания по оформлению: имеются опечатки (незначительное количество - менее 0,2 на страницу текста) и стилистические ошибки, нечитаемые рисунки (очень мелкий формат), нерасшифрованные обозначения параметров в формулах и не раскрытые аббревиатуры; в списке литературы желательно приводить ссылки на собственные труды из источников, рекомендованных ВАК; выводы к разделам по принятому стандарту оформления НИР не нумеруются (так же, как Введение, Заключение и Список литературы).

2. Положительный отзыв официального оппонента **Лугина И.В.** В отзыве отмечается актуальность, научная новизна диссертации, оценены степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достоверность научных положений и выводов, указана значимость работы для науки и практики, соответствие содержания автореферата основным научным положениям.

Оппонент отмечает следующие замечания:

- Нет единообразия в основных терминах диссертационного исследования, а именно бессистемно применяются «схемы» и «способы»: в названии способы, в актуальности схемы, в цели схемы, в задачах схемы, способов нет, в научных положениях способы, схем нет, в научной новизне схемы, способов нет, в заключении схемы. Какие схемы и/или способы в итоге обосновываются в диссертационной работе?
- На рис. 1.3б место выхода исходящей струи из тупиковой выработки и забор свежего воздуха вентилятором местного проветривания (ВМП) объединены в одну точку с образованием рециркуляционной зоны, что противоречит п. 182 Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых о том, что «ВМП должен

устанавливаться на свежей струе воздуха на расстоянии не менее 10 м от выхода исходящей струи» как раз для предотвращения рециркуляции.

- В главе 2 на стр. 44-56 излишне подробно описаны натурные исследования газовой обстановки на рудниках, это все-таки диссертационное исследование, а не отчет по хоздоговору, тем более, что результирующие данные о наличии и концентрации газов сведены в таблицу 2.4.
- В тексте диссертации коэффициент утечек и коэффициент внутренних утечек имеют одинаковое обозначение $K_{ут}$, формулы 2.4 и 2.11 на стр. 59 и 63 соответственно.
- Глава 5 посвящена разработке методики организации рециркуляционного проветривания подземных рудников, однако сама методика в окончательном виде не приведена ни в тексте диссертации, ни, как это обычно делается, в приложении. Есть ли готовый вариант методики, утвержденный в соответствующем порядке?
- В заключении результаты исследований автора сформулированы в требованиях к докторской диссертации п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» в части «решения научной проблемы», тогда как результаты представленного исследования относятся к части требований к кандидатским диссертациям «изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны».

3. **Положительный отзыв ведущей организации.** В отзыве отмечается актуальность темы выполненной работы и ее связь с соответствующими отраслями науки и практической деятельности, научная новизна диссертации, степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, научные результаты и их ценность, теоретическая и практическая значимость результатов. В отзыве перечислены рекомендации по использованию результатов работы.

Ведущая организация отмечает следующие замечания и вопросы:

- Известно, что процессы газопереноса принципиально по-разному протекают в выработках различного типа (камерообразных и штрекообразных по В.Н. Воронину). Не ясно, как этот момент учитывается в диссертационной работе.
- Не ясно, как в разработке систем рециркуляционного проветривания учитывается фактор взрывных работ.
- В работе представлена только аварийная ситуация, связанная с изменением воздухораспределения за счет работы рециркуляционной установки. Не ясно, почему не рассмотрена наиболее опасная авария с точки зрения рудничной атмосферы, а именно возгорание в горных выработках.

На автореферат поступило 12 отзывов:

1. **Положительный отзыв от Прушака В.Я., д-ра техн. наук, профессора, академика НАН Беларуси, технического директора ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», г. Солигорск (без замечаний).**

2. **Положительный отзыв от Дарбиняна Т.П., канд. техн. наук, директора Департамента горного производства ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», г. Норильск. В отзыве имеется следующее замечание:**

- В работе следовало бы уделить более вниманию вопросам распределения воздуха и газов в пределах горизонтов ведения очистных работ, характерных для условий рудников ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Известно, что существенными факторами при этом являются разветвленная сеть выработок и движущиеся горные машины, а также работающие вентиляторы-эжекторы.

3. **Положительный отзыв от Минина В.В., канд. техн. наук, советника при ректорате Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург. В отзыве имеются следующие замечания:**

- На стр.10 автореферата указано, что в процессе проведения натурных исследований зафиксированы превышения концентраций газов выше допустимых значений в ситуациях, связанных с нарушением проветривания, однако не указывается о каких газах идет речь и что за ситуации рассматриваются.
- В автореферате говорится о применении рециркуляции и проветривании с учетом газового фактора, но не освещены вопросы пылевого и теплового факторов при частичном повторном использования воздуха?

4. Положительный отзыв от Майорова А.Е., д-ра техн. наук, заведующего лабораторией геомеханики и геометризации угольных месторождений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», г. Кемерово. В отзыве имеется следующее замечание:

- Стоило раскрыть ограничения и критерии «произвольности топологии» в созданной математической модели и рассмотренных вариантах вентиляционных сетей рудников.

5. Положительный отзыв от Николаева А.В., д-ра техн. наук, профессора кафедры горной электромеханики Федерального государственного автономного бюджетного учреждения высшего образования «Пермский национальный политехнический университет», г.Пермь. В отзыве имеются следующие замечания:

- На стр.7 автореферата говорится: «Предложено описывать процессы смешения в сквозных выработках с помощью модели продольной дисперсии, а в тупиковых выработках с помощью модели продольной диффузии...». Из текста автореферата не ясно чем отличаются модели продольной дисперсии от модели продольной диффузии.
- Из текста автореферата не ясно, учитывается ли при моделировании конвективно-диффузионного массопереноса молекулярная диффузия?

6. Положительный отзыв от Копина С.В., канд. техн. наук, старшего научного сотрудника лаборатории подземных горных работ института «Якутнипроалмаз» АК «Алроса» (ПАО). В отзыве имеется следующее замечание:

- Автору следует прежде всего акцентировать внимание на условиях использования материалов работы. То есть при отсутствии резерва воздуха именно в рабочей зоне (на участке, горизонте ведения работ) рециркуляционное проветривание теряет смысл. Причем чем выше внутрирудничные резервы воздуха в непосредственной близости к участку ведения работ, тем эффективнее рециркуляция с точки зрения возможности снижения подачи избыточного количества свежего воздуха в рудник.

7. Положительный отзыв от Петровского А.Б., главного инженера ОАО «Беларуськалий». В отзыве имеются следующие замечания:

- На рисунке 9 приведены зависимости мощности вентиляторов от коэффициента рециркуляции для различных комбинаций параметров величины внутренних утечек и доли сопротивления выработок главных направлений, входящих в рециркуляционный контур, однако не ясно сопоставляются ли эти условия с каким-либо действующим рудником.
- На рисунке 5 автореферата приведены графики для определения коэффициента запаса к расчету количества воздуха с учетом рециркуляции, однако не приведена сама расчетная формула, которая позволяет определить требуемое количество воздуха с учетом рециркуляции.

8. Положительный отзыв от Киселева В.В., канд. техн. наук, старшего научного сотрудника лаборатории горной теплофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт горного

дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН). В отзыве имеются следующие замечания:

- Не ясно, используется ли рециркуляционные схемы проветривания за рубежом и в чем их отличие от российских?
- Какова точность разработанной математической модели конвективно-диффузионного массопереноса?
- Не понятно, из каких узлов состоит рециркуляционная установка?
- Не совсем понятно выражение «нефизичное поведение вредных примесей»? (стр.15)

9. Положительный отзыв от Павлова С.А., канд. техн. наук, старшего научного сотрудника лаборатории рудничной аэродинамики ИГД СО РАН. В отзыве имеются следующие замечания:

- Стр.10 автореферата. В тексте идет описание натурных замеров выделения вредностей по маршруту... и приведен рис.1 с гистограммами каких-то безликих величин. Было бы намного понятнее, если в автореферате схематично показали этот маршрут на руднике «Октябрьский», с указанием какому участку соответствует та или иная величина концентрации газовыделения. Без привязки к такой схеме гистограмма не несет полезной информации.
- Стр.13 автореферата. На рис.3 приведен график утечек на рудниках и дальше поясняется, что такие величины получены для схем проветривания, рассмотренных на рис.4. Возникает вопрос: что это за выемочный столб, в котором между воздухоподающей и вентиляционной выработкой может «утекать» 63% воздуха, не достигая очистного забоя? Тут либо некорректно проведены натурные замеры, либо, представленная на рис.4 схема воздушораспределения не отражает реально существующей ситуации в рассматриваемом руднике.
- Стр. 14 автореферата. Формула (2), видимо, является частью системы уравнений, а не самостоятельна сама по себе. Поскольку, оценивая возможность рециркуляции воздуха на выемочном участке, необходимо учитывать концентрации вредностей: входящих на рассматриваемый участок, выделяющихся в рабочей зоне, формирующихся на исходящей струе.
- Стр. 14 автореферата. Из текста не понятно происхождение изолиний коэффициента запаса к требуемому расходу воздуха (рис.5). Также неочевиден вывод на основании каких расчетов получается, что на выемочный участок можно снизить подачу воздуха на 45,9 % при утечках 63%? Другими словами, из написанного получается, что, когда на выемочном участке 63% воздуха теряется, уходит мимо и не достигает рабочей хоны, с применением системы рециркуляции можно еще почти вдвое уменьшить подачу свежего воздуха на этот участок.
- В тексте автореферата встречается много «эффективных» терминов, употребление которых сомнительно в контексте представленной работы. Например, «эффективный диаметр» - термин применим к трубопроводам (воздуховодам), в отношении горных выработок общепринятым является эквивалентный диаметр. «Эффективное сопротивление системы», «эффективных расход воздуха», «Эффективных коэффициент продольной дисперсии», и др. Насколько необходимым является введение такого количества новых терминов?
- Стр.18 автореферата. На рис.8 приводится сравнение только между результатами численного моделирования распространения газовых примесей в горных выработках и нет сравнения с натурными замерами. В тексте объясняется преимущество применения в модели «эффективного коэффициента продольной дисперсии» в отличие от «идеального вытеснения». Насколько это повышает точность расчета? Какова достоверность такого вывода?

10. Положительный отзыв от Козырева С.А., д-ра техн. наук, главного научного сотрудника лаборатории Технологических процессов при добыче полезных ископаемых

Горного института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук». В отзыве имеются следующие замечания:

- В автореферате не приведен диапазон измерений и чувствительность оборудования, применяемого для проведения замеров концентрации газов.
- На рисунке 3 приведены результаты измерений монооксида углерода на исходящей струе, однако не ясно действие какого источника газовой выделения рассматривается.

11. Положительный отзыв от Смирнова Э.В., заместителя генерального директора – Технического директора Публичного акционерного общества «Уралкалий». В отзыве имеются следующие замечания:

- Из автореферата не ясно возможно ли применение рециркуляции если определяющим при расчете количества воздуха является не газовый фактор, а фактор пыли или тепловой.
- В автореферате не указано какие типы источников газовой выделения рассматриваются при проведении анализа газовой обстановки.

12. Положительный отзыв от Гендлера С.Г., д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой безопасности производств ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». В отзыве имеются следующие замечания:

- На стр. 10 автореферата указано три причины, снижающие величину концентрации газа в исходящей струе воздуха: наличие коэффициента запаса, влияние диффузионных процессов и внутренних утечек. Однако, очевидно, что эти причины по существу разнородны: первая связана с реализацией проектных решений по повышению надежности проветривания, а две других с особенностями аэродинамических процессов. Поэтому их объединение в единое целое не вполне правомерно.
- Схема рециркуляционного контура, представленная на рисунке 4 (стр.13 автореферата), является весьма упрощенной. В этой связи, не вполне ясно, как будут включаться внутренние утечки в рециркуляцию для случая реальных, более сложных вентиляционных схем.
- Автор оперирует с понятием коэффициента запаса. Однако, из автореферата не ясно, как определяется эта величина, и, в частности, рисунок 5 на стр. 14. Было бы целесообразно провести более подробный анализ этого рисунка.
- В формулировке второго научного положения отмечается, что в модели конвективно-диффузионного массопереноса учитываются непостоянства величины продольной дисперсии из-за переменной по сечению скорости. Однако, в уравнении (5), характеризующем изменение концентрации вредной примеси, фигурирует средняя по сечению скорость воздуха, устанавливаемая из решения системы уравнений, удовлетворяющим первому и второму законам Кирхгофа.
- На стр.17 автореферата автор почему-то отступает от общепринятого написания размерности коэффициента аэродинамического сопротивления $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, а приводит ее сокращенный вариант $\text{кг}/\text{м}^3$. Это затрудняет понимание текста автореферата.

Все отзывы положительные в них отмечено, что диссертация является завершенным исследованием, представляет научный и практический интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована. Отмечаются также актуальность темы, высокий теоретический уровень работы, привлечение современных методических подходов и обширного объема натурных экспериментальных исследований. Имеющиеся в отзывах замечания связаны с оформлением автореферата диссертации, недостаточной подробностью описания некоторых деталей проведенных исследований в автореферате, а имеющиеся вопросы носят уточняющий характер. Многие замечания выражены в форме пожеланий и рекомендаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан способ энергосбережения и обеспечения требуемого уровня аэрологической безопасности за счет частичной рециркуляции подаваемого воздуха и максимального использования внутренних утечек в системах вентиляции рудников с непостоянно действующими источниками газовыделения;

предложен подход к расчету газораспределения в разветвленных сетях горных выработок, учитывающий продольную дисперсию газов в выработках с малыми скоростями движения воздуха, в том числе в условиях частичной рециркуляции;

доказана применимость повторного использования воздуха в подземных рудниках на основе натурных исследований газового состава рудничной атмосферы и компьютерного моделирования с учетом непостоянства действия источников газовыделения, схемы вентиляции и связанных с ней расходов воздуха и утечек внутри рециркуляционного контура;

введены новые подходы к обоснованию способа рециркуляционного проветривания, включающего схему проветривания, параметры работы и места размещения рециркуляционных установок, в зависимости от аэродинамических параметров вентиляционной сети по критерию минимальной суммарной потребляемой мощности источников тяги.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны условия энергоэффективного размещения рециркуляционных установок, с учетом фактора аэродинамического сопротивления выработок по маршруту движения воздуха и внутренних утечек воздуха;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использована модель, включающая в себя осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса и уравнения переноса стандартной $k-\epsilon$ модели турбулентности, позволяющая расчетом трехмерной задачи определить величину коэффициента дисперсии для примыкающих к сквозным тупиковых выработок по среднему в поперечном сечении модулю продольной компоненты скорости;

изложены новые подходы к расчету количества воздуха для проветривания рудника и определения коэффициентов запаса с учетом совместного влияния утечек и рециркуляции;

раскрыты ограничения применимости модели идеального вытеснения для расчета распределения концентраций газов в разветвленной сети горных выработок с низкими скоростями движения воздуха;

изучено влияние аэродинамических параметров горных выработок и напоров, создаваемых вентиляторными установками, на процессы переноса газовых примесей в рециркуляционных контурах;

выполнена модификация модели численного расчета газораспределения в сети горных выработок произвольной топологии на предмет учета диффузионного механизма переноса примесей рудничной атмосферы в выработках с низкими скоростями движения воздуха.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены способы и схемы проветривания с частичной рециркуляцией для условий калийных рудников, обеспечивающие повышение энергоэффективности вентиляции, которое достигается за счет значительного снижения энергозатрат на подачу и подготовку воздуха;

определены условия безопасного применения рециркуляции в горных выработках рудников для штатных и аварийных режимов проветривания;

создана классификация схем рециркуляционного проветривания с учетом особенностей ее организации для повышения эффективности систем вентиляции подземных рудников;

представлены способы организации рециркуляционного проветривания, включающие расчет параметров рециркуляции на основе аэродинамических и газодинамических характеристик вентиляционной сети, позволяющие повысить энергоэффективность вентиляции подземных рудников.

Достоверность результатов подтверждается тем, что:

для экспериментальных работ результаты получены на основе анализа большого объема натурных данных, собранных с использованием поверенных средств измерений, показана воспроизводимость результатов исследований на рудниках с различными условиями;
теория построена на основе фундаментальных законов, согласующихся с известными и полученными экспериментальными данными;
идея базируется на анализе практики проветривания рудников, позволившем сформулировать научный принцип максимального использования внутренних утечек при непостоянстве действия источников газовой выделения в сети горных выработок произвольной топологии для организации рециркуляционного проветривания рудников;
использована апробированная математическая модель конвективно-диффузионного массопереноса, позволяющая учитывать конфигурацию выработок и соотношение скоростей движения воздуха в смежных выработках, для параметризации значений продольной дисперсии которой были внесены новые данные по результатам численного моделирования;
использован комплекс методов, включающих научные обоснования, компьютерное моделирование с применением современных программных комплексов для трехмерного моделирования процессов аэрогазодинамики, верификация разработанных моделей выполнена на основе натурных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач, разработке математических моделей, проведении натурных исследований на подземных рудниках, анализе и обработке полученных данных, выполнении расчетов и проведении численных экспериментов и их интерпретации, разработке научных решений и их практической реализации, апробации результатов исследований и подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.

На заседании 11 июня 2025 г. диссертационный совет принял решение:
за решение научной задачи, направленной на организацию частичного повторного использования воздуха в системах вентиляции подземных рудников на основе схем рециркуляционного проветривания, разработанных с применением математического моделирования и натурных исследований с учетом максимального использования внутренних утечек воздуха и непостоянства действия источников газовой выделения в сети горных выработок произвольной топологии, имеющей важное значение для развития рудничной аэрогазодинамики и горной теплофизики, присудить Трушковой Н.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.8.6, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, не проголосовало – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.1.201.02
д-р техн. наук, профессор, академик РАН
Барях Александр Абрамович

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.201.02
канд. техн. наук
Лобанов Сергей Юрьевич

«11» июня 2025 г.


/ Барях А.А.


/ Лобанов С.Ю.

М.П.