

ОТЗЫВ

официального оппонента

профессора кафедры Безопасность и экология горного производства

Горного института НИТУ МИСИС, д-ра технических наук,

профессора **Калединой Нина Олеговны**

по диссертации **Трушковой Надежды Анатольевны** на тему:

«Обоснование способов рециркуляционного проветривания в системах горных выработок подземных рудников», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация построена по традиционному принципу и состоит из введения, 5-ти глав собственных исследований, заключения, и библиографического указателя, включающего 72 отечественных и 44 зарубежных источника (из 116 источников 39 опубликованы в последние 10 лет). Текст изложен на 158 стр., включая необходимые для иллюстрации текста таблицы и рисунки. Работа выполнена на высоком научном уровне.

Анализ содержания диссертации

В первой главе приведен анализ состояния исследований в области переноса примесей воздушными потоками в шахтах и рудниках, выполненный очень тщательно, на базе обзора представительного круга литературных источников, включающих как современные исследования в этой сфере, так и работы советских и зарубежных основоположников теории тепломассопереноса в горных выработках и моделирования аэрогазодинамических процессов в сложных вентиляционных сетях, - на основе которого сформулированы цель и задачи работы.

Вторая глава посвящена шахтным исследованиям газового состава воздуха и объемов внутренних утечек, которые проводились на протяжении более десяти лет на нескольких рудниках разного типа с целью оценки возможности использования утечек на частичную рециркуляцию. Описана методика проведения шахтных измерений, применяемая аппаратура. Приведен обширный экспериментальный материал по результатам определения указанных параметров для разных месторождений. Здесь приведен также анализ факторов, влияющих на газовый состав в исходящих струях, и результаты исследований резервов внутренних утечек, позволившие сделать вывод о возможности их использования для рециркуляционного проветривания, а также определить коэффициент запаса воздуха, необходимого при рециркуляции, учитывающий утечки воздуха, используемые повторно (результат приведен в виде номограммы). На основе этих результатов разработан раздел методики расчета максимального количества повторно используемого воздуха, включающий коэффициент запаса на подачу воздуха на проветриваемый участок. Дан сравнительный анализ, показывающий преимущество предлагаемого подхода к расчету количества воздуха по сравнению с традиционным.

В третьей главе приводится описание разработки математической модели конвективно-диффузионного переноса вредных примесей в вентиляционных сетях произвольной топологии. Решение задачи газораспределения выполняется на основе уравнения диффузии в одномерной постановке; предполагается, что на распространение газовых примесей не оказывают влияния тепловые депрессии, а газовыделения не влияют на перераспределение воздушных потоков. На практике эти допущения справедливы в большинстве случаев. Для ее решения разработан численный метод, в основе которого 1-е и 2-е правила Кирхгоффа, граничные условия задаются по концентрациям вредных

примесей в атмосфере. Разработанный алгоритм реализован в программно-аналитическом комплексе «АэроСеть». Разработанная модель позволяет рассчитывать конвективно-диффузионный перенос вредных примесей в вентиляционных сетях произвольной топологии с учетом конвективного и диффузионного процессов. Полученные формулы для определения эффективного коэффициента продольной дисперсии позволяют учитывать влияние скоростей потока в соседних горных выработках как с высокими (с преобладанием продольной дисперсии), так и низкими скоростями движения

В четвертой главе описаны результаты разработки методологии организации схем рециркуляционного проветривания подземных рудников. Показано, что эффективность работы рециркуляционных систем зависит от места их размещения относительно ГВУ, а безопасность применения - от количества повторно используемого воздуха. Для обоснования выбора схемы организации рециркуляционного проветривания анализируется структура вентиляционных потоков в выработках с рециркуляцией для основных типов аэродинамических соединений (последовательное, параллельное, сложно-диагональное) при прямоточных и возвратноточных схемах проветривания выемочных блоков. На основе полученных закономерностей и результатов измерений фактических распределений аэродинамических сопротивлений для нескольких рудников с различными схемами вскрытия, выявлена зависимость оптимального места размещения РУ от аэродинамических параметров вентиляционной сети, построена номограмма зависимости коэффициента рециркуляции от величины сопротивления выработок главных направлений, входящих в рециркуляционный контур с учетом величины внутренних утечек воздуха и разработана классификация рециркуляционных систем в зависимости от особенностей организации проветривания и топологии вентиляционной сети рудника.

В пятой главе приведено обоснование условий безопасного применения систем рециркуляционного проветривания подземных рудников, технические требования к ним и разработанная автором методика синтеза эффективных схем проветривания с частичной рециркуляцией. Подтверждена эффективность применения рециркуляции на основании опыта внедрения на рудниках ПАО «Уралкалий» и ОАО «Беларуськалий».

К каждой главе сформулированы выводы.

Актуальность выполненного исследования

Работа посвящена решению задачи создания инструментария построения эффективных и надежных схем рециркуляционного проветривания. Несмотря на значительный объем научных работ в этой области на сегодняшний день отсутствуют научно обоснованные критерии и стандартизированные методики построения схем проветривания с рециркуляцией. Конечная цель работы - повышение эффективности систем вентиляции подземных рудников за счет использования внутренних утечек воздуха, составляющих значительную долю от общего его объема, подаваемого в вентиляционную систему. В условиях высокой конкурентности и необходимости энергосбережения, учитывая, что затраты электроэнергии на вентиляцию, составляющие более 60 % в энергобалансе подземных горных предприятий, пропорциональны кубу расхода воздуха, подаваемого главными вентиляторными установками (ГВУ), данная задача является весьма актуальной. Ее решение наряду с энергосбережением позволяет повысить коэффициент доставки воздуха в труднопроветриваемые участки вентиляционной сети, что имеет важное прикладное значение для повышения безопасности труда в горнодобывающей промышленности России. Об актуальности темы свидетельствует также то, что она выполнялась в рамках проекта «Исследование и разработка систем контроля и управления термодинамическими и аэрологическими процессами в рудничной атмосфере и массивах горных пород при строительстве и эксплуатации горных предприятий в сложных

горнотехнических условиях» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2012-2020 и 2021–2030 гг.

**Новизна исследования и полученных результатов,
степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций,
сформулированных в диссертации**

Новизна идеи, положенной в основу работы, состоит в максимальном полезном использовании внутренних утечек в системах вентиляции рудников с непостоянно действующими источниками газовой выделения. Задача организации схем с частично рециркуляционным проветриванием решена для сетей произвольной топологии на основе сочетания методов моделирования и результатов натурных исследований.

Получены следующие новые научные результаты:

- обоснована целесообразность описания процессов смешивания газовой воздушных потоков в сквозных выработках с помощью модели продольной дисперсии, а в тупиковых выработках - с помощью модели продольной диффузии, где коэффициент продольной диффузии определяется по интенсивности вихревого обмена со смежными сквозными выработками;
- установлены закономерности распределения концентраций газовых примесей по направлениям движения воздушной струи в рудниках с различными схемами проветривания;
- обоснована формула расчета коэффициента запаса требуемого количества воздуха с учетом совместного влияния коэффициентов утечек и рециркуляции;
- обоснован метод определения места размещения рециркуляционной установки (РУ) относительно главных воздухоподающих и воздуховыдающих выработок с учетом установленного влияния на энергоэффективность рециркуляционного проветривания распределения аэродинамических характеристик вентиляционных систем рудника, определяемых на основе данных периодических воздушно-депрессионных съемок;
- разработана классификация и типовые схемы организации рециркуляционного проветривания подземных рудников в зависимости от их аэродинамических параметров.

Для решения поставленных задач были использованы комплексные методы, включающие научные обоснования, компьютерное моделирование с использованием современных программных комплексов, включая 3D-моделирование процессов аэрогазовой динамики, и масштабные натурные исследования, что обуславливает высокую достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Результаты исследований и выводы автора соответствуют фундаментальным физическим законам и не противоречат данным, полученным другими авторами, подтверждаются результатами верификации разработанных моделей в ходе натурных исследований, а также положительными результатами внедрения.

**Значимость для науки и практики результатов диссертации,
возможные пути их использования**

Полученные в работе теоретические результаты имеют важное значение для развития шахтной аэрогазодинамики в части разработки новых методов исследования и расчета проветривания сложных вентиляционных систем подземных рудников с использованием частичной рециркуляции в сетях произвольной топологии при наличии непостоянных источников газовой выделения, перемещающихся в пространстве. Полученные модели могут быть заложены в основу алгоритмов оперативного регулирования проветривания рудника в соответствии с изменением газовой обстановки в выработках.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что результаты диссертационной работы дополняют инструментарий проектирования вентиляции рудников: позволяют выполнять расчеты и обоснование параметров

рециркуляционных систем подземных рудников любого типа при обеспечении требуемых условий безопасного состава рудничной атмосферы.

Результаты исследований внедрены на калийных рудниках ОАО «Беларуськалий» и ПАО «Уралкалий» (более 20 РУ), что обеспечило повышение эффективности проветривания добычных участков за счет более равномерного распределения воздуха по объектам-потребителям и значительную экономию электроэнергии на проветривание и воздухоподготовку.

Материалы диссертационной работы использованы при разработке действующих в настоящее время инструкций по расчету требуемого количества воздуха для рудников ПАО «Уралкалий» и ОАО «Беларуськалий».

Также результаты работы были эффективно использованы при разработке Обоснований безопасности опасного производственного объекта (ОПО) для рудников ПАО «Уралкалий» в части отступлений от требований «Правил безопасности при ведении горных работ ...».

Таким образом, полученные результаты можно использовать при проектировании систем вентиляции рудников, повышающих эффективность и энергосбережение за счет использования РУ; при экспертизе промышленной безопасности ОПО; для обоснования параметров оперативного регулирования вентиляции рудника; а также в учебном процессе для студентов горных специальностей при изучении систем проветривания шахт и рудников.

Опубликование результатов исследований автора диссертации

Основные результаты, полученные в результате проведенных исследований, в достаточной степени представлены в публикациях автора: 21 публикация, в том числе 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, из них 8 – в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science. Материалы неоднократно докладывались на конференциях различного уровня.

Оформление диссертации

Техническое оформление диссертации в целом соответствует действующим требованиям ГОСТ 7.0.11.-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Содержание и тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», содержание автореферата полностью соответствует основным положениям и выводам работы.

Замечания и вопросы по работе

Вместе с тем, при общей положительной оценке рассмотренной диссертационной работы, есть следующие вопросы и замечания.

1. 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.
2. 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).

3. 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».
4. 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.
5. 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.
6. 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).

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Рецензируемая диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи разработки методических положений по синтезу схем рециркуляционного проветривания для рудников, имеющей важное значение для повышения энергосбережения в горнодобывающей промышленности России за счет более полного использования воздуха, подаваемого в шахту, при обеспечении высокого уровня аэрологической безопасности.

Работа включает все необходимые структурные элементы, объединенные внутренней логикой и четкой последовательностью изложения задач, методов и результатов исследований, формулировками научных положений, выводов и рекомендаций.

Приведенные замечания не изменяют общей положительной оценки работы, так как они не затрагивают научно-методической базы решения поставленных задач, сущности полученных научных результатов и уровня их практической значимости.

Таким образом, представленная диссертация на тему «Обоснование способов рециркуляционного проветривания в системах горных выработок подземных рудников» полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор ТРУШКОВА НАДЕЖДА АНАТОЛЬЕВНА заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Я, Каледина Н.О., автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры Безопасности
и экологии горного производства
доктор технических наук, профессор



Каледина Нина Олеговна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС».

Почтовый адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.

Официальный сайт: <https://misis.ru/>

e-mail: kancela@misis.ru

Телефон: +7 (495) 955-00-32

Подпись доктора технических наук, профессора Калединой Н.О. удостоверяю.

«21» мая 2025 г.

М.П.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ «МИСИС»
И.М. Исаев

