

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ольховского Дмитрия Владимировича
«НОРМАЛИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУПИКОВЫХ ГОРНЫХ ВЫ-
РАБОТОК ГЛУБОКИХ РУДНИКОВ» по специальности 2.8.6. "Геомеханика, разрушение горных
пород, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика"

1. Актуальность избранной темы

В современном горном производстве можно выделить несколько ключевых аспектов: значительные объёмы добычи как в целом, так и на отдельных рудниках; высокий уровень механизации и энергообеспечения работ; концентрация производства; высокие темпы добычи полезных ископаемых и проходки горных выработок. Однако истощение традиционных месторождений, которые находились в благоприятных условиях, приводит к необходимости перехода на более глубокие и сверхглубокие горизонты. Увеличение глубины ведения работ в шахтах и рудниках ведет к повышению температуры в рабочих зонах, особенно в тупиковых выработках, где ограничены приток воздуха и наблюдается значительный нагрев породы. Температуры горных пород на разрабатываемых и планируемых к отработке горизонтах превышают +40°C. Это затрудняет регулирование микроклимата и снижает производительность труда, создаёт температурные условия в забоях, которые не обеспечивают нормальную терморегуляцию человеческого организма, а также может привести к перегреву оборудования. В результате растёт заболеваемость, травматизм и ухудшается здоровье рабочих. Подобные проблемы испытывают такие компании, как ООО "Еврохим-ВолгаКалий" и ПАО "ГМК "Норильский никель". Для создания комфортных условий необходимо модернизировать существующие и разработать новые эффективные решения по нормализации микроклимата горных выработок глубоких горизонтов.

В настоящее время в процессе строительства новых тупиковых выработок на глубине более одного км возникают трудности с подачей воздуха в забой на расстоянии нескольких километров и контролем его температуры, которая не должна превышать 26°C. Это связано с нагревом воздуха в вентиляционном трубопроводе из-за теплообмена с исходящей струёй воздуха и горным массивом. По мере увеличения длины трубопровода и установки вентиляторов местного проветривания, температура воздуха может превысить максимально допустимое значение, что может привести к остановке работ.

Таким образом, наряду с необходимостью обеспечения прироста продукции, главным образом за счет повышения производительности труда и повышения его безопасности, проблема обеспечения комфорtnого и технологичного кондиционирования рудничного воздуха при проходке горных выработок глубоких горизонтов является актуальной и сомнений не вызывает.

В связи с этим, диссертация Ольховского Д. В., посвящённая обоснованию методики подбора местных систем управления тепловым режимом тупиковых горных выработках в условиях высокой температуры окружающего породного массива, имеет важное научное и практическое значение для развития горнодобывающего комплекса России и полностью соответствует критерию актуальности кандидатской диссертации.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором получен ряд новых положений, имеющих важное теоретическое и практическое значение для горной промышленности России. Наиболее существенными из них являются:

1. *Математическая модель теплообмена в системе «породный массив – рудничная атмосфера – стенка вентиляционного трубопровода – воздух в вентиляционном трубопроводе», учитывающая лучистый теплообмен, движение забоя выработки и нагрев от вентиляционного оборудования, позволяет рассчитывать микроклиматические параметры в тупиковой выработке.*

Данное положение основано на теоретических исследованиях и компьютерном моделировании. Предложена математическая модель для описания распределения тепла в тупиковой горной выработке, учитывающая лучистый и конвективный теплообмен, движение забоя и нагрев от вентиляционного оборудования. В модели трубопровод, выработка и массив представлены как цилиндры с круговым сечением. Трубопровод центрирован относительно оси выработки и не касается её стенок, а выработка находится в центре массива. Теплофизические параметры массива однородны и изотропны, скорости воздуха в трубопроводе и выработке постоянны. Теплоперенос в трубопроводе и выработке квазистационарный. Рудничная атмосфера считается прозрачной для теплового излучения, между трубопроводом и массивом учитывается лучистый теплообмен, а также тепловыделения от техногенных источников. В процессе моделирования происходит динамическое расширение вычислительной сетки по оси X , охватывающей трубопровод, выработку и массив. Это расширение связано с увеличением длины выработки во время проведения проходческих работ. Исследование показало, что при нагреве воздуха в вентиляционном канале соотношение конвективного и лучистого теплообмена зависит от объёма воздушного потока, а не от его температуры. При расходе воздуха $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ лучистый теплообмен составляет 77 %, а при $20 \text{ м}^3/\text{с}$ – 38 %. Это имеет большое значение для нагрева воздуха в вентиляционном канале в указанных диапазонах объёмов воздуха для тупиковых выработок. На основании представленных в диссертации материалов защищаемое положение следует считать обоснованным.

2. Способ снижения нагрева воздуха в вентиляционном трубопроводе при нагнетательном способе проветривания с помощью увеличения термического сопротивления стенки и снижения излучательной способности внешней поверхности трубопровода позволяет управлять микроклиматом в призабойном пространстве тупиковой горной выработки.

На основе учёта нового механизма теплообмена в тупиковой горной выработке предложен и обоснован новый горнотехнический способ управления её тепловым режимом. Предложен критерий эффективности горнотехнических способов управления тепловым режимом тупиковых выработок, для определения которого была выполнена серия расчетов теплораспределения с параметрами существующей тупиковой горной выработки. Новая методика управления тепловым режимом снижает температуру воздуха внутри трубопровода за счёт уменьшения коэффициента излучения внешней поверхности. Для жёстких труб можно использовать неокрашенную оцинкованную сталь с коэффициентом излучения $\varepsilon = 0,23$, а для гибких труб – фольгу с $\varepsilon = 0,04$. Этот метод сохраняет габариты трубы и уменьшает нагрев воздуха, особенно эффективен при низких расходах. Сочетание метода с теплоизоляцией уменьшает толщину слоя теплоизоляции, что снижает габариты и вес трубы. Например, в тупиковой горной выработке полиметаллического рудника слой минеральной ваты толщиной 15 мм, покрытый фольгой, показал такую же эффективность, как и слой толщиной 25 мм, покрытый резиной. На основании представленных в диссертации материалов защищаемое положение следует считать обоснованным.

3. Методика разработки систем управления тепловым режимом тупиковых горных выработок, включающая алгоритм выбора способов регулирования микроклиматических параметров на основе многовариантного численного моделирования теплораспределения воздуха, позволяет обосновывать технические решения для обеспечения требуемой температуры воздуха в рудничной атмосфере.

Для достижения требуемой температуры воздуха в рабочей зоне тупиковой выработки предложена методика разработки систем управления тепловым режимом, включающей в себя три этапа: 1) построение математической модели тупиковой горной выработки; 2) определение эффективности горнотехнических способов обеспечения допустимых микроклиматических условий и их комбинаций; 3) определение требуемой холодопроизводительности систем кондиционирования воздуха. Предложенная выше методика применена при проходке выработки на строящемся руднике в Норильском промышленном районе на глубине 1940 м, где температура окружающего породного массива достигает 47°C . Разработанные технические решения позволили обеспечить допустимые микроклиматические условия в рабочей зоне и закончить проходку протяженной выработки.

ботки в условиях повышенных температур окружающего породного массива. На основании представленных в диссертации материалов защищаемое положение следует считать обоснованным.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базируется на теоретических и методологических положениях, сформулированных в исследованиях российских и зарубежных учёных, и подтверждается соответствием теоретических исследований практическим результатам, а также использованием разработанных автором научных и технологических решений на горных предприятиях и проектными институтами.

3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается: соответствием фундаментальным физическим законам; корректной постановкой задач исследования; надёжностью и представительным объёмом исходных данных; анализом мирового и отечественного опыта эксплуатации глубоких горизонтов рудников; использованием современных программных продуктов и комплексов при расчётах и компьютерном моделировании; сопоставимостью результатов численных решений и натурных измерений, соответствием приведенных результатов данным других авторов, экспериментальными исследованиями в натурных условиях, положительными результатами реализации предложенных технических решений на рудниках.

4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений и заключается в том, что:

- Разработана сопряженная математическая модель нестационарного теплообмена в системе «породный массив – рудничная атмосфера – стенка вентиляционного трубопровода – воздух в вентиляционном трубопроводе», учитывающая лучистый теплообмен, движение забоя выработки и нагрев воздуха от вентиляторов местного проветривания.
- Предложены способы снижения нагрева воздуха в вентиляционном трубопроводе путем снижения приведенной степени черноты для нормализации микроклимата в тупиковой горной выработке.
- Определен критерий эффективности для оценки эффективности различных способов нормализации микроклиматических параметров в забое по уровню снижению температуры подаваемого воздуха.
- Разработана методика подбора местных систем управления тепловым режимом для глубоких рудников на основе математической модели теплообмена, учитывающей лучистый теплообмен, включающая предложенные способы снижения нагрева воздуха в трубопроводе, позволяющая управлять микроклиматическими условиями в призабойном пространстве протяженных тупиковых выработок при помощи комбинированного применения горно- и теплотехнических способов.

5. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют разрабатывать технические решения, обеспечивающие требуемые параметры микроклимата в тупиковой горной выработке. На сегодня результаты исследований успешно применяются на горнодобывающих предприятиях, часть из них находится в процессе внедрения. Разработанная математическая модель позволила проанализировать существующий проект местной системы кондиционирования, разработать и применить компенсирующие мероприятия, скорректировать проектные решения и обеспечить

требуемые микроклиматические параметры в рабочей зоне на Гремячинском ГОКе ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий». Предложенные горнотехнические способы снижения нагрева воздуха в вентиляционном трубопроводе применены совместно с теплотехническими и позволили существенно улучшить микроклиматические условия при проходке в выработках РВ-1 и РВ-2 шахты «Глубокая» рудника «Скалистый» горного предприятия ОАО «ГМК «Норильский никель». Математическая модель и методика разработки систем управления тепловым режимом тупиковых горных выработок использованы при разработке основных технических решений по вентиляции и тепловому режиму и при подготовке проектной документации шахты «Глубокая».

6. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты исследований можно рекомендовать к использованию при проектировании, реконструкции и эксплуатации местных систем управления тепловым режимом тупиковых горных выработках в условиях высокой температуры окружающего породного массива, а также в учебном процессе вузовской подготовки студентов специальности 21.05.04 – Горное дело специализации «Подземные горные работы» и смежных им.

7. Оценить содержание диссертации, её завершённость

Работа является завершённым научным исследованием, изложена последовательно, грамотно, доступным языком с использованием современной терминологической базой, принятой в горном деле. Обработку результатов исследований соискатель выполнил с использованием современных компьютерных технологий. Диссертация содержит все компоненты научно-исследовательской работы.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков и 18 таблиц. Список использованных источников состоит из 119 наименований, в том числе 36 зарубежных.

Качество оформления работы. Работа выполнена и оформлена на высоком уровне, в соответствии со стандартами, предъявляемыми к оформлению диссертационных работ. Демонстрационный материал выполнен с использованием современных графических компьютерных программ. Таблицы, графики и рисунки легко читаются и воспринимаются. Качество оформления текста, графического материала диссертационной работы, а также ссылок на используемые литературные источники, соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Содержание автореферата полностью соответствует диссертации, раскрывает идею, защищаемые положения, научную новизну и выводы диссертационной работы.

Публикации по работе. По теме диссертационной работы опубликованы 7 печатных работ, в том числе 1 статья, входящая в первый quartile Scopus, опубликована в международном журнале International Journal of Thermal Sciences и 6 в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Апробация работы. Научные положения и основные результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научных сессиях ГИ УрО РАН (Пермь, 2023-2024 гг.), зимних школах по механике сплошных сред ИМСС (Пермь, 2021 и 2023 гг.), 30-ом международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, МГТУ, 2022 г.), всероссийской научной конференции (с международным участием) «Промышленная безопасность и охрана труда» (Санкт-Петербург, Горный университет 2023 г.), на научно-технических советах рудников ЗФ ПАО «ГМК 6 «Норильский никель», руднике Гремячинского ГОК и управлении ООО «ЕвроХим» в 2019-2023 годах.

8. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, высказать мнение о научной работе соискателя в целом

Существенным достоинством диссертации является развитие научно-методических основ по обеспечению требуемых температур воздуха в рабочей зоне тупиковой выработки. В ходе выполнения работы получены важные научные результаты: 1) выполнены экспериментальные исследования, которые показали, что на интенсивность нагрева воздуха в вентиляционном трубопроводе существенное влияние оказывает лучистый теплообмен между поверхностью вентиляционного трубопровода и породным массивом; 2) разработана математическая модель теплораспределения в вентиляционном трубопроводе в тупиковой горной выработке, учитывающая теплообмен в системе «породный массив – рудничная атмосфера – стенка вентиляционного трубопровода – воздух в вентиляционном трубопроводе», движение забоя выработки, тепловыделения от технологических источников и лучистый теплообмен, позволяющая рассчитывать микроклиматические условия в тупиковой выработке; 3) определена эффективность различных способов управления тепловым режимом в тупиковых выработках и их комбинаций; 4) предложен новый способ управления тепловым режимом в тупиковых горных выработках – с помощью изменения приведенной степени черноты. Его особенностью является возможность снижения интенсивности нагрева воздуха в вентиляционном трубопроводе без изменения геометрических размеров вентиляционного трубопровода и выработки, что дает преимущество перед применением теплоизоляций в стесненных условиях; 5) предложен новый способ расчета местных СКВ с учетом применения теплоизолированных вентиляционных труб, который позволяет обеспечить требуемой температурой воздуха рабочие зоны протяженных тупиковых выработок; 6) разработана методика управления тепловым режимом тупиковых горных выработок на основе разработанной математической модели, позволяющая достигать требуемых микроклиматических параметров в тупиковых горных выработках.

Замечания по диссертации:

1. На графиках рис. 2.2 и 2.3 нет обозначений осей абсцисс и ординат. Только из текста становится понятным, что речь идёт о температуре поверхности и длине выработки (рис. 2.3).
2. На наш взгляд, не достаточно раскрыто утверждение стр. 42 «*Учет динамики роста выработки необходим для имитации развития горной выработки во времени и учета фактора предыстории теплофизических процессов*», нет соответствующих поясняющих графиков и таблиц, результатов расчётов.
3. В диссертации, к сожалению, нет натурных данных по относительной и абсолютной влажности воздуха в горных выработках глубоких горизонтов рудников и тупиковых в частности.
4. На стр. 89 п. 5.1.1 отмечается, что «*Горные машины и электрооборудование задаются в тепловой модели как местные источники тепловыделения с мощностью, определяемой выражением ...*», но в постановке математической модели (2.5)-(2.7) не очень понятно, как задаются эти источники внутри выработки и за пределами трубопровода.
5. В табл. 5.1 принято тепловыделение от ВМП в размере 75 кВт. Но в работе нет обзора ВМП, их характеристик, зарубежного опыта и обзора конструкторских решений и путей снижения тепловыделений от ВМП.

Указанные замечания не снижают значимость диссертации. Полученные результаты и выводы изложены последовательно в соответствии с решаемой проблемой и задачами и образуют единство сформулированных рекомендаций и положений, выносимых на защиту.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о при- суждении учёных степеней

Оценивая работу в целом, следует отметить, что она является законченной научно-квалификационной работой, в которой автор на основе выполненных исследований даёт принципиально новое решение актуальной научно-практической задачи управления тепловым режимом

тупиковых горных выработок глубоких рудников с целью нормализации их микроклиматических параметров для повышения полноты и комплексности освоения участка недр, имеющих важное значение для развития горнодобывающего комплекса России.

Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и заслуживает положительной оценки, а её автор Ольховский Дмитрий Владимирович, достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. "Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика".

Официальный оппонент
Старший научный сотрудник лаборатории
горной теплофизики Института горного дела
Севера им. Н.В. Черского СО РАН
кандидат технических наук
(25.00.20 Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика)

 Каймонов Михаил Васильевич

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
677980, Республика Саха (Якутия), город Якутск, пр. Ленина, 43
Тел./Факс: +7(411-2) 33-59-30; E-mail: igds@ysn.ru; www: http://igds.ysn.ru/

Я, Каймонов Михаил Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 Каймонов Михаил Васильевич

Подпись Каймонова Михаила Васильевича заверяю
Учёный секретарь ИГДС СО РАН, к.т.н.
02 октября 2024 г.

 С.И. Саломатова

