

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию Зайцева Артёма Вячеславовича «Научные основы расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

### **Актуальность темы диссертации**

Современное развитие подземных рудников зачастую приводит к необходимости регулирования теплового режима горных выработок. Это связано с целым рядом факторов – увеличением температуры окружающего породного массива при углублении фронта ведения горных работ, применением всё более мощного горно-шахтного оборудования, усложнением систем вентиляции, интенсификацией процессов окисления горных пород в разветвлённых сетях горных выработок. Последние годы указанные особенности проявили себя на целом ряде действующих горнодобывающих предприятий нашей страны и стран ближнего зарубежья, где при увеличении объемов добычи и углублении ведения горных работ температура воздуха в подземных рабочих зонах стала существенно превышать действующие нормы, достигая значений  $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше, когда микроклимат становится опасным для здоровья горнорабочих.

При этом стоит отметить, что существующие методики расчёта параметров микроклимата разработаны более 25-ти лет назад и не учитывают современных горнотехнических особенностей ведения горных работ и параметров горно-шахтного оборудования, что затрудняет как прогнозирование микроклиматических параметров воздуха, так и разработку технических решений по их нормализации.

Таким образом, диссертация, направленная на разработку научных основ расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников, актуальна в свете решения сложившейся проблемы нормализации микроклиматических условий при подземной добыче твёрдых полезных ископаемых.

## **Новизна исследований и полученных результатов**

Соискателем получены следующие новые научные результаты:

1. Решена задача расчёта микроклиматических параметров воздуха в сетевой постановке на основе синтеза модели конвективного теплопереноса в сети горных выработок и модели нестационарного сопряженного теплообмена между воздушным потоком и окружающим выработки массивом горных пород.

2. Решена задача оптимизации размеров воздухоподающих горных выработок по критерию минимизации функционала, учитывающего аэродинамические потери на поддержание течения потока воздуха и тепловую мощность его нагрева от окружающих горных пород.

3. Обоснован способ снижения температуры воздуха в очистных и подготовительных рабочих зонах на основе организации рециркуляционного проветривания участка и отведения тепловыделений от техногенных источников в массив горных пород, окружающих горные выработки внутри рециркуляционного контура.

4. Разработана математическая модель расчёта шахтных рекуперативных теплообменных аппаратов, учитывающая перекрёстную, однонаправленную и противоположно направленную схемы движения теплоносителя и воздушной среды и фазовые переходы влаги в охлаждаемой воздушной среде.

5. Получен функционал для сравнения технологических схем охлаждения воздуха с учётом систем разработки и параметров ведения горных работ, применение которого позволяет разрабатывать ресурсосберегающие системы регулирования теплового режима, отличающиеся минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

## **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Обоснованность и достоверность всех 5-ти научных положений, выводов и рекомендаций автора подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и натурных экспериментов, соответствием приведённых результатов данным,

полученным другими авторами, значительным объёмом наблюдений, выполненных в натуральных условиях при проведении промышленных испытаний, положительными результатами реализации предложенных технических решений на действующих подземных рудниках.

### **Практическая ценность работы**

Результаты, полученные в работе, позволяют использовать новую методологию при разработке и проектировании систем управления тепловым режимом, применение которой приводит к обеспечению безопасных условий труда по тепловому фактору в горных выработках глубоких рудников при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

Кроме этого, практическая ценность работы заключается в разработке запатентованных способов кондиционирования воздуха в горных выработках для различных горнотехнических условий, высокоэффективного шахтного теплообменного аппарата по критерию удельного коэффициента теплопередачи и реализации полученных методов расчета с параметрическим обеспечением в программный комплекс.

### **Оформление диссертации. Публикации**

Представленная на отзыв диссертация имеет общий объём 247 страниц машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 231 наименования, содержит 51 таблицу и 72 рисунка.

Анализ содержания диссертации показал, что материалы её разделов логично увязаны и посвящены последовательному решению задач исследования для достижения поставленной цели работы.

Диссертация изложена понятным, технически грамотным языком. Основные положения диссертации достаточно полно отражены в 43 статьях, в том числе 22 в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утверждённых Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, из них 8 в

журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science. По результатам работы получены 3 патента на изобретения и 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Положительно характеризуют работу и то, что результаты исследований прошли широкую апробацию на научных форумах различного уровня, успешно внедрены в реальные проекты и в учебный процесс подготовки горных инженеров.

Работа может быть квалифицирована как законченное научное исследование, соответствующее паспорту специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

### **Замечания по работе**

1. В главе 2.3.3 диссертации представлена разработанная модель учёта влагообмена в атмосфере горных выработок. Не ясно, как в разработанной модели учитывается объём влаги в горных выработках, возможность её переноса и накопления в сети горных выработок.

2. На странице 113 приводятся предлагаемые управляющие уравнения для элементов систем автоматического управления проветривания с учётом температурного фактора. Однако далее в работе не приведены результаты моделирования применения предлагаемого алгоритма управления с обоснованием работоспособности.

3. В разделе 4.3 работы при разработке расчётов параметров рециркуляционного проветривания по тепловому фактору используется упрощённая модель расчёта температуры воздуха в пределах рециркуляционного контура, не учитывающая ни сопряженный теплообмен воздуха с массивом горных пород, ни возможную зависимость мощности тепловыделения источника от расхода воздуха. В работе следовало бы привести обоснование возможности и границ применения принятой модели.

4. В разделе 5.1.1 работы при разработке модели теплообмена между воздухом и хладоносителем при их перекрестном движении принимается, что в итоге рассчитываются распределённые температуры как воздуха, так и хладоносителя.

Затем же, на странице 138 (верхний абзац) описывается процедура усреднения параметров воздуха при расчёте многорядного теплообменника с учётом гипотезы о выравнивании температуры воздуха по сечению в результате его перемешивания. Очевидно, в зависимости от геометрических размеров теплообменного аппарата и скорости движения воздуха в нём это допущение может не выполняться. В работе следовало бы либо предложить, как учесть неравномерный характер температурного поля воздуха при выполнении расчетов, либо описать количественный критерий эффективного перемешивания воздуха.

Приведенные выше замечания не являются доминирующими при оценке научной значимости диссертации, носят частный или рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

### **Заключение**

Диссертация Зайцева Артема Вячеславовича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны научные основы расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников. Полученные результаты позволяют разрабатывать системы регулирования теплового режима, отличающиеся эффективностью нормализации микроклиматических параметров воздуха, с учётом горнотехнических особенностей подземных рудников.

Диссертация представляет научный интерес, имеет практическую значимость и соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, действующим Положением ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, а её автор, Зайцев Артем Вячеславович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 –

