

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Зайцева Артема Вячеславовича

«Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

1. Актуальность темы диссертационной работы.

Тенденция к росту глубины горных работ, характерная для мировой горнодобывающей промышленности, становится заметной в Российской Федерации и постсоветском пространстве. На сегодняшний день такие предприятия, как «ГМК «Норильский никель», ОАО «Беларуськалий», АК «МХК «ЕвроХим», ООО «УГМК-Холдинг», АО «СУБР», вовлекают в отработку глубокие залежи полезных ископаемых (до 2 километров) с высокой температурой окружающего массива горных пород, достигающей 50 °С. Повышение температуры горных пород одновременно с увеличением интенсивности добычи полезного ископаемого, достигаемым на основе использования современных погрузочно-доставочных машинам с двигателями внутреннего сгорания, имеющих мощность 400-500 кВт, определяют особенности формирования теплового режима горных выработок на всех стадиях горных работ. Одним из последствий проявления этих особенностей является повышение температуры рудничного воздуха до значений, превышающих регламентируемую правилами безопасности величину 26°С, что негативно сказывается на безопасности и эффективности горных работ.

Возможности нормализации климатических условий за счет увеличения количества воздуха, подаваемого в выработки, ограничены энергетическими и стоимостными затратами на вентиляцию. В этой связи, решение проблемы регулирования теплового режима следует искать на пути рационального комплексирования систем вентиляции горных выработок и охлаждения рудничного воздуха, то есть разработки ресурсосберегающих систем.

Таким образом, тему диссертационной работы, направленной на обоснование и разработку ресурсосберегающих систем управления тепловым режимом глубоких рудников, следует считать **весьма актуальной**.

2. Основные научные результаты.

Автором представлены на защиту пять научных положений, на основе которых представляется возможным выделить основные результаты осуществленных в диссертации исследований. Наиболее значимыми из них являются:

- математическая модель совместного расчета процессов аэродинамики и теплопереноса при движении воздуха по вентиляционной сети, в которой учтены выявленные в натурных условиях закономерности формирования теплового режима глубоких рудников;

- теоретические и технологические основы создания ресурсосберегающих систем управления тепловым режимом глубоких рудников, параметры которых оптимизированы по критерию минимума ресурсных затрат;

- обоснование эффективности использования для управления термодинамическими параметрами воздуха рециркуляционных схем проветривания;

- технологические схемы кондиционирования воздуха при системах разработки с короткими и длинными очистными забоями, обеспечивающие нормализацию климатических параметров в рабочих зонах при минимальных холодильных мощностях;

- процедура разработки технических решений при проектировании ресурсосберегающих систем нормализации параметров микроклимата глубоких рудников.

3. Новизна, выполненных в диссертационной работе исследований заключается:

- в теоретическом и экспериментальном установлении закономерностей формирования температурного режима глубоких рудников, расположенных в районах с суровыми климатическими условиями;

- в разработанном алгоритме решения сетевой задачи, учитывающем аэродинамические и тепловые процессы в горных выработках и позволяющем рассчиты-

вать расходы воздуха, его температуру и влажность по длине вентиляционного пути;

- в определении характера изменения оптимальной толщины теплоизоляционной крепи в зависимости от длины выработок, в которой она установлена;
- в обосновании эффективной области применения рециркуляционных схем проветривания для управления тепловым режимом очистных и проходческих забоев в зависимости от температуры горных пород;
- в экспериментальном доказательстве выбора режима работы системы охлаждения воздуха в очистных и подготовительных забоях, характеризующихся максимальной эффективностью;
- в обосновании наиболее целесообразного варианта размещения холодильного оборудования для нормализации теплового режима шахты «Глубокая» ГМК «Норильский никель».

4. Научное значение работы состоит в разработке концептуальных подходов к выбору параметров систем обеспечения нормативных климатических параметров воздушной среды в глубоких рудниках, основанных на совместном учете аэродинамических и теплофизических процессов, протекающих в горных выработках, и определении оптимальных режимов проветривания и охлаждения воздуха.

5. Практическое значение работы заключается:

- в разработке методики проектирования систем управления тепловым режимом глубоких рудников, обеспечивающей безопасные условия труда по тепловому фактору в горных выработках при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.
- во внедрении в промышленную эксплуатацию на руднике «Таймырский» ГМК «Норильский никель» при отработке запасов на глубинах свыше 1300 метров местной системы кондиционирования воздуха на базе холодильной установки КШР-350Н.
- в применении на рудниках ОАО «Беларуськалий», предложенных способов нормализации микроклиматических условий в капитальных, подготовительных

и очистных выработках на основе рециркуляционного проветривания, а в длинных очистных забоях при отработке наиболее глубокозалегающих запасов Старобинского месторождения системы кондиционирования воздуха СКВ-250;

- в разработке комплексных систем управления тепловым режимом шахт «Глубокая» и рудника «Таймырский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» и глубоких калийных рудников Петриковского ГОК ОАО «Беларуськалий» и Гремячинского ГОК ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».
- в разработке программного модуля «Теплофизика», интегрированного в аналитический комплекс «АэроСеть».

6. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и натурных экспериментов, соответствием приведенных результатов данным, полученным другими авторами, значительным объемом наблюдений, выполненных в натуральных условиях при проведении промышленных испытаний, положительными результатами реализации предложенных технических решений на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» и ОАО «Беларуськалий».

7. Оформление диссертации

Оформление диссертации и автореферата полностью соответствуют ГОСТ 7.0.11 – 2011 – «Диссертация и автореферат диссертации».

Диссертация и автореферат изложены четким языком с использованием современной научно-технической терминологии. Стиль диссертации и автореферата соответствуют уровню научного изложения работ по горной тематике. Текст диссертации проиллюстрирован достаточным количеством схем и графиков. Результаты исследований в полном объеме опубликованы в 47 работах автора, в том числе 22 статьях в изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ.

Автореферат соответствует материалам, представленным в диссертации.

8. Представленная на защиту диссертационная работа имеет ряд недостатков. К основным из них следует отнести:

1. В первом научном положении, выносимом на защиту, говорится о том, что синтезированная теплофизическая модель системы горных выработок и окружающих их горных пород, учитывает нестационарный сопряженный теплообмен воздуха с горным массивом. Для расчета этого процесса в диссертационной работе предложена вычислительная схема, реализующая метод конечных объемов. Следует отметить, что убедительных доказательств того, что разработанная модель позволяет учесть «сопряженный характер теплообмена» в рецензируемой работе отсутствует. Следовало бы, на наш взгляд, протестировать результаты расчетов распределения температур, полученным на основе предложенной автором модели с «точными» аналитическими или численными решениями.

2. Известно, что основная сложность расчета взаимосвязанных процессов тепло и влагопереноса связана с определением интенсивности поступления влаги в воздушный поток от горных пород и других источников. Даже в случае стационарного процесса влагопереноса его расчет затруднен без достоверной информации о распределении источников влаги по сечению и длине выработок, а также без предварительного вычисления коэффициентов массообмена. Процедура вычисления значительно усложняется в случае учета нестационарного характера поступления влаги из горного массива. К сожалению, в рецензируемой работе об этих особенностях вычисления массопереноса не упоминается, а предлагаемые расчетные схемы носят достаточно упрощенный характер.

3. При расчете теплообмена воздуха с горным массивом, окружающим выработку, в случае наличия крепи или крепи с теплоизоляцией, строго говоря, необходимо принимать во внимание температурные поля, формирующиеся в крепи (теплоизоляции), то есть решать двухслойную задачу в системе воздух-крепь (теплоизоляция)- породы. В противном случае, оценка влияния теплоизоляции на распределение температур по длине выработок и установление ее эффективности может характеризоваться определенными неточностями. Между

тем, на стр. 88 (формула 2.44) для вычисления теплообмена вводится эффективный коэффициент теплоотдачи, который рассчитывается через термическое сопротивление теплоизоляции, то есть постановка задачи соответствует однослойной модели.

4. В диссертационной работе отсутствует методика определения тепловыделений при работе машин с двигателями внутреннего сгорания и электрическими приводами в натуральных условиях. В этой связи, не ясно, каким образом при обработке данных инструментальных измерений учитывался возможный теплообмен с горным массивом, окружающим участок выработки, где находится машина, а также возможные влаговыведения при ее работе. По-видимому, при вычислении по экспериментальным данным количества теплоты, выделяемой при работе машины, следовало бы принимать во внимание не разность температур, а разность энтальпий воздуха.

5. Вопросы расчета такого источника теплоты как твердеющая закладка рассмотрены в диссертационной работе крайне упрощенно (см. 2.2.3). Отсутствует анализ влияния на величину тепловыделений от закладочного массива времени его существования, а также теплового взаимодействия закладки с породным (рудным) массивом.

6. При разработке численной схемы теплообмена воздуха с горным массивом автор использует понятие радиуса теплового влияния (см. ф-лу 2.47 на стр.89). Однако, не понятно, почему в этой формуле не учитывается коэффициент теплоотдачи воздуха с горным массивом.

7. В диссертационной работе имеются ряд неточностей в написании размерностей используемых величин. Например, на стр. 88 размерности удельной массовой теплоемкости воздуха и пород указаны в Дж/кг (должны быть в Дж/кг К); на стр. 105 (формула 3.2) размерность аэродинамического сопротивления выработки приведена в технической системе единиц (в кмюргах), тогда как размерности всех остальных единиц указаны в системе Си.

8. Характеризуя изменение температуры воздуха по глубине ствола, автор акцентирует внимание на ее повышении вследствие адиабатического сжатия. На

наш взгляд, на изменение температуры воздуха в стволе должно влиять также увеличение его влажности в связи с высокой обводненностью ствола. Этот термодинамический процесс будет особенно интенсивен в зимний период, когда после подогрева в ствол поступает воздух с низкой относительной влажностью. К сожалению, эти особенности в рецензируемой работе не обсуждаются.

9. Несмотря на возможную важность проблемы выбора высокоэффективных теплообменных аппаратов для систем кондиционирования воздуха и оптимизацию их конструктивных элементов, эти вопросы лишь косвенно связаны с направленностью диссертационной работы, представленной на защиту по специальности 25.0020.

10. Соискатель предлагает свое видение нормирования климатических условий в горных выработках. Между тем, в диссертационной работе не в полной мере проанализированы известные в настоящее время научные исследования и нормативные документы, посвященные этой проблеме. Например, было бы полезно сопоставить результаты нормирования микроклимата, рассчитанные по рекомендациям соискателя, с данными оценки по индексу тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс).

Вместе с тем, следует отметить, что высказанные предложения и замечания не влияют на общую положительную оценку результатов диссертационной работы и не снижают значимости проведенных исследований.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Оценивая в целом диссертационную работу Зайцева Артема Вячеславовича «Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», следует отметить, что, она является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на акту-

альную тему, имеющей научное значение и представляющую практический интерес.

В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по управлению тепловым режимом глубоких подземных рудников, обеспечивающие безопасную и эффективную добычу полезных ископаемых, что следует квалифицировать как решение крупной проблемы, имеющей важное значение для горнодобывающей промышленности нашей страны.

Таким образом, диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Зайцев Артем Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 - – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры безопасности производств
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»,
д.т.н., профессор

С.Г. Гендлер



С.Г. Гендлера

Заведующий отделом
Производства *Е.Р. Яновицкая*

2016" 05 20 19 г.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный университет»
199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2;
Тел. 8 (812) 328-86-23; E-mail: sgendler@mail.ru