

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
ГЕНДЛЕРА Семена Григорьевича
на диссертационную работу Бородавкина Дмитрия Алексеевича
«РАСЧЕТ И УПРАВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ
РАБОЧИХ ЗОН ДЛИННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ (НА ПРИМЕРЕ
СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ)»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности: 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Рецензируемая диссертационная работа изложена на 133 страницах машинописного текста, включает 4 главы, введение, заключение, содержит 47 рисунков, 23 таблицы и список использованных литературных источников из 136 наименований, в том числе 32 зарубежных источника.

1. Актуальность диссертационного исследования

Рост глубины горных работ, характерный для мировой горнодобывающей промышленности, становится заметным 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 40°C – 50 °C. Тенденция повышения температуры горных пород одновременно с увеличением интенсивности добычи полезного ископаемого на основе использования современного погрузочно-доставочного оборудования, определяет особенности формирования теплового режима горных выработок. Одним из последствий проявления этой тенденции следует считать повышение температуры рудничного воздуха до значений, превышающих регламентируемую правилами безопасности величину 26°C, что не только оказывает негативное влияние на здоровье горнорабочих, но снижает эксплуатационные характеристики машин и механизмов.

Возможности нормализации климатических условий за счёт увеличения количества воздуха, подаваемого в выработки, ограничены энергетическими и стоимостными затратами на вентиляцию, а применение систем кондиционирования сдерживается отсутствием отечественного холодильного оборудования, способного эффективно работать в подземных условиях. В этих условиях по-

вышаются требования к адекватности и точности осуществления расчётов термодинамических параметров рудничного воздуха, результаты которых должны использоваться для выбора рационального комплекса мероприятий по регулированию теплового режима горных выработок.

В существующих методах тепловых расчётов горных выработок количества теплоты, выделяемой при работе транспортного и погрузочно-доставочного оборудования, вычисляется, как «абсолютный источник теплоты» по максимальной величине их установленной мощности при одновременном использовании корректирующих коэффициентов, полученных на основе интерпретации данных натуральных измерений. При этом, не принимаются во внимание не режимы работы оборудования, которые характеризуются различными значениями мощности, не возможность полного выключения двигателей машин и механизмов. В последнем случае создается иллюзия, что тепловыделения от оборудования вообще отсутствуют, и нет необходимости их учитывать при выборе мероприятий по регулированию теплового режима. На самом деле, как показывают многочисленные натурные измерения, в том числе проведённые сотрудниками Санкт-Петербургского горного университета, использование модели «абсолютный источник» для машин и механизмов, особенно имеющих значительную мощность, является не вполне обоснованным допущением, игнорирующим нестационарный характер теплообмена нагретых поверхностей оборудования с воздухом. Это, в одних случаях приводит к завышению расчётных температур воздуха и ошибкам в выборе мероприятий по их снижению. В других случаях, например, в ремонтную смену при неработающем оборудовании, когда количество теплоты, поступающее в воздух от нагретых поверхностей машин и механизмов, способствует не учитываемому в существующих методиках повышению температуры воздуха и ухудшению условий труда подземного персонала. Нестационарный характер теплообмена воздуха с машинами и механизмами, в свою очередь, усиливает и не стационарность его теплообмена с горным массивом, что требует дополнительной оценки точности существующих методов тепловых расчётов.

Таким образом, тему диссертационной работы, целью которой является повышение точности прогноза теплового режима горных выработок на всех стадиях горных работ с учетом нестационарного характера теплообмена не только с горным массивом, но и с технологическим оборудованием, а также выбор на его основе рациональных способов поддержания нормативных климатических условий, следует считать **весьма актуальной**.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор выносит на защиту три научных положений (стр. 6–7 диссертации), раскрытых во второй – четвертой главах диссертационной работы.

Обоснование первого защищаемого положения представлено во второй главе диссертации, где приведены результаты экспериментальных исследований распределения температур воздуха по длине выработок, в которых установлены конвейерные линии и расположены энергопоезда лав, состоящие из станции управления и насосной установки. Анализ результатов натурных измерений позволил автору сделать вывод о равномерном характере распределения тепловыделений от конвейера по длине выработки. На основе полученных экспериментальных данных в рецензируемой работе уточнена формулировка задачи о теплообмене рудничного воздуха с горным массивом, изложенная ранее в работе (Казакова Б.П., Шалимова А.В., Зайцева А.В.), за счёт учёта в уравнении энергии равномерно распределённого по длине конвейерной линии источника теплоты. Практическим результатом применения разработанной математической модели следует считать оптимизацию распределения расхода воздуха, подаваемого по конвейерному и транспортному штрекам, обеспечивающую минимальное значение температуры воздуха при смешении потоков воздуха в точке их слияния.

Другим результатом натурных температурных измерений в конвейерном штреке является установление закономерностей выделения теплоты от энергопоезда лавного комбайна.. Мониторинг температуры воздуха до и после участка, где расположен энергопоезд, и последующие расчёты, дали возможность соискателю определить средние мощности тепловыделений для добычной и ремонтной смен при различных режимах проветривания лавы (рассмотрено 4 режима, отличающихся подачей разных расходов воздуха). При этом было установлено, что, несмотря на отключение тепловыделяющего оборудования в ремонтную смену, оно продолжает отдавать воздуху теплоту, количество которой может достигать 40% - 50% от её величины при полной загрузке. Кроме того, оказалось, что снижение температуры воздуха в лаве при остановке оборудования происходит в два этапа: резкое, близкое к линейному (за счёт достаточно быстрого уменьшения мощности тепловыделения энергопоезда лавного комбайна, вызванного остановкой комбайна и продолжением работы вентиля-

тора энергопоезда на протяжении 5 – 10 минут), затем — плавное, по экспоненциальному закону.

Зависимости, полученные в результате экспериментальных исследований, использованы автором при выполнении тепловых расчётов, осуществлённых на основе математической модели временной и пространственной динамики микроклимата длинного очистного забоя и подготовительной выработки, что позволило повысить точность оценки интегральной тепловой нагрузки, испытываемой горнорабочими в условиях нестационарного характера работы тепловыделяющего оборудования, сложного закона изменения температуры по длине выработок и постоянного перемещения горнорабочих в течение как добычной, так и ремонтной смен (**второе научное положение, третья глава**).

Информацию об изменении в пространстве и времени интегральной тепловой нагрузки на горнорабочих очистного участка соискателем предложено использовать для комплексирования организационных и технических мероприятий, которые с одной стороны позволят управлять тепловым режимом рудника, а с другой стороны минимизировать негативное воздействие нагревающего микроклимата на подземный персонал. Результатом этого, по мнению автора, будет сохранение здоровья работников и обеспечение безаварийную работу используемого оборудования при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах (**третье научное положение, четвертая глава**).

В целом, следует отметить, что положения, которые автор выносит на защиту, а также выводы и рекомендации, сформулированные на их основе, можно считать вполне обоснованными.

3. Новизна, выполненных в диссертационной работе исследований, заключается:

1. В установлении закономерностей процессов нестационарного теплообмена в длинных очистных забоях калийных рудников при сочетанном влиянии рассредоточенных по длине выработок и локальных источников теплоты, величина которой определяется эксплуатационными режимами технологического оборудования, зависящими от последовательности технологических операций по добыче каменной соли.

2. В получении зависимостей, характеризующих процессы нагрева и охлаждения воздуха при теплообмене с технологическим оборудованием при различных режимах его работы.

3. В обосновании использования для управления тепловым режимом рабочих зон длинных очистных забоев показателя, определяемого сочетанным действием на подземный персонал температуры и влажности воздуха - индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс), величина которого рассчитывается с учетом изменения термодинамических параметров воздушной среды и продолжительности её воздействия на горнорабочих.

4. Достоверность результатов исследований, научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность исследований подтверждается:

- соответствием результатов исследований фундаментальным физическим законам;
- отсутствием противоречий между результатами, полученными в диссертации, и результатами, изложенными по данной тематике в научной литературе другими авторами;
- использованием широко апробированных методов научных исследований, включающих инструментальные измерения в натуральных условиях, аналитические расчёты по полученным математическим зависимостям, математическое моделирование на основе современного программного обеспечения;
- значительным объёмом экспериментальных исследований в шахтных условиях;
- удовлетворительным совпадением результатов численных расчётов и натуральных экспериментов по исследованию теплового режима горных выработок очистных участков рудника;
- положительными результатами реализации предложенных решений на рудниках ОАО «Беларуськалий» и ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»;
- апробированием результатов диссертационной работы на многочисленных научных конференциях, симпозиумах, совещаниях угледобывающих предприятий, учёных советах профильных ВУЗов, их публикаций в открытой печати.

5. Практическая значимость диссертационного исследования

Практическая значимость диссертационной работы **Бородавкина Д.А.** заключается в:

- выборе организационных и технических мероприятий, обеспечивающих эффективное управление тепловым режимом в подготовительных и очистных

забоях рудников при ведении работ в условиях нагревающего микроклимата при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах;

– использовании разработанной математической модели для оценки микроклиматических условий и тепловой нагрузки среды на подземный персонал ОАО «Беларуськалий»;

– в разработке программного обеспечения «ТНС», функциональные возможности которого позволяют вывести на качественно новый уровень расчет микроклиматических параметров воздуха в рабочих зонах подготовительных и очистных забоев с учетом меняющихся в пространстве и времени неблагоприятных параметров микроклимата.

На основании предлагаемых подходов к нормированию микроклимата разработано «Обоснование промышленной безопасности опасного производственного объекта» для рудника Гремячинского ГОК ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» в части обеспечения безопасных условий труда по тепловому фактору. Документ прошел экспертизу промышленной безопасности и внесён в реестр Ростехнадзора РФ.

6. Замечания по диссертационной работе

В рецензируемой диссертационной работе имеется и ряд недостатков. К основным из них следует отнести:

1. Название диссертационной работы, на наш взгляд, сформулировано не вполне удачно. Ведь по сути дела, управление тепловым режимом должно включать предварительный расчетный анализ, на основе которого дается оценка эффективности различных способов и методов. В этой связи, в названии диссертации может быть исключен термин «Расчет».

2. На стр.13 диссертации автор приводит формулу для расчета изменения температуры воздуха при его адиабатическом сжатии (расширении). В этой формуле фигурирует коэффициент γ (гамма), представляющий собой как пишет автор «соотношение удельных теплотерь воздуха при постоянных объеме и давлении». По видимому, автор имеет в виду соотношение не удельных теплотерь, а удельных теплоемкостей. В этом случае, следовало бы привести численное значение этого соотношения, представляющего собой показатель адиабаты, равный 1,4, а также величины градиентов температур, формирующихся по глубине и составляющих в зависимости от температуры воздуха $0.0096-0,0098$ °С/м. Именно эти значения обычно используются при выполнении теп-

ловых расчетов для вычисления теплового эффекта процессов адиабатического сжатия (расширения).

3. Раздел 1.5 (стр.28), описывающий способы борьбы с нагревающим климатом, включает организационные мероприятия, в том числе скрининговые тесты работников, обеспечение работников питьевой водой, ротацию рабочих и организацию работ в забое, акклиматизацию; обучение работников работе в условиях нагревающего микроклимата, медицинские осмотры/диспансеризацию. Все перечисленные мероприятия не связаны с регулированием теплового режима, а характеризуют пути снижения негативного влияния нагревающего микроклимата на здоровья людей, т.е. являются скорее прерогативой специальности «Безопасность труда». Это материал может быть без ущерба для содержания диссертации исключен из её текста.

4. Решение уравнения (2. 3) (стр.28) , представляющего собой математическую формулировку задачи о нестационарном теплообмене воздуха с горным массивом, окружающим выработку, в которой установлен выделяющий теплоту конвейер, не доведена до логического завершения. Конечная зависимость представлена в форме общей формулы обратного преобразования Лапласа без получения аналитического решения в замкнутом виде.

5. Экспериментальные исследования величины нагрева и охлаждения воздуха при разных режимах работы энергопоезда осуществлены в предположении отсутствия источников влаги. Это на стр.57 отмечает сам автор: «водопроявления в калийных и соляных рудниках отсутствуют и влагосодержание воздуха, движущегося в лаве, является приблизительно постоянной величиной». Однако данных по величинам относительной влажности воздуха, подтверждающих это утверждение в работе не представлено, что не дает возможности оценить его достоверность.

6. Как следует из текста диссертации, математическая модель конвективного переноса теплоты в лаве основана на экспериментальных исследованиях динамики охлаждения воздуха в результате его теплообмена с расположенным в ней неработающим технологическим оборудованием, начальная температура поверхностных конструкций которого сформировалась во время добычной смены (рис. 2,7, стр.60, рис 3.9, стр.75). По аппроксимирующим трендам температурных кривых, полученных на основании инструментальных измерений температуры воздуха, в диссертации предложено определять скорость остывания оборудования. Вместе с тем, аппроксимирующие кривые построены в результате статистической обработки экспериментальных данных. Однако, в работе отсутствуют сведения о параметрах статистической обработки: корреля-

ционном соотношении, доверительном интервале, стандартной ошибки. Это не даёт возможности, в полной мере, оценить точность аппроксимации.

Указанные недостатки, в основном, имеют рекомендательный и дискуссионный характер, не снижают научно-практической ценности диссертационного исследования Д.А. Бородавкина и не влияют на общую положительную оценку работы.

7. Соответствие диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Диссертационная работа Бородавкина Дмитрия Алексеевича является законченной научно-квалификационной работой. Установленные в диссертации закономерности формирования теплового режима рабочих зон длинных очистных забоев калийных рудников при высокой температуре пород и использовании мощного тепловыделяющего оборудования позволили обосновать принципы управления микроклиматом, обеспечивающие нормативные термодинамические параметры рудничного воздуха при минимальных энергетических затратах

Представленные в диссертационном исследовании научные положения соответствуют паспорту научной специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Диссертация и автореферат изложены чётким 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.

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

Результаты проведённых исследований достаточно полно представлены в 11 научных работах соискателя, в том числе 5 научных работ в изданиях, входящих базу данных Scopus и Web of Science.

8. Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Бородавкина Дмитрия Алексеевича имеет научную новизну и практическое значение. По совокупности полученных в диссертации научных результатов она соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства

Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 20.03.2021). В диссертации решена задача, имеющая важное значение для обеспечения безопасности работ по тепловому фактору при разработке калийных месторождений в условиях высоких температур.

Автор диссертации Бородавкин Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой безопасности производств
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II»,
д.т.н., профессор

Семён Григорьевич Гендлер

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II»
199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2;
Тел. Рабочий: 8 (812) 328-86-21;
Мобильный: +7 (921) 964064-92
E-mail: Gendler_SG@pers.spmi.ru

Я, Гендлер Семён Григорьевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



С.Г. Гендлер
яю:
Заведующий кафедрой безопасности производств
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II»

Е.Р. Яновицкая
26 ИЮН 2024