

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.201.02**  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК  
аттестационное дело №  
решение диссертационного совета от 12.07.2024, протокол № 22

О присуждении Бородавкину Дмитрию Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Расчет и управление нестационарным тепловым режимом рабочих зон длинных очистных забоев (на примере Старобинского месторождения калийных солей)» по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите 19.04.2024, протокол № 20, диссертационным советом 24.1.201.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а, утвержденным приказом Минобрнауки России № 144/нк от 15 февраля 2022 г.

**Соискатель** Бородавкин Дмитрий Алексеевич «27» сентября 1994 года рождения, в 2018 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», где освоил программу магистратуры по направлению подготовки 08.04.01 Строительство, направленности (профилю) образовательной программы «Технологии управления недвижимостью». Присуждена степень магистра по направлению 08.04.01 Строительство. В период с 2018 по 2022 год обучался в очной аспирантуре ПФИЦ ГИ УрО РАН, по специальности 21.06.01 – Геология, разведка и разработка полезных ископаемых. Присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». В настоящее время работает в лаборатории развития горного производства Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра («ГИ УрО РАН») на должности инженера.

Диссертация выполнена в лаборатории развития горного производства «ГИ УрО РАН».

**Научный руководитель** – доктор технических наук Зайцев Артем Вячеславович, заведующий лабораторией развития горного производства «ГИ УрО РАН» – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (г. Пермь).

**Официальные оппоненты:**

1. Гендлер Семен Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (г. Санкт-Петербург);
  2. Соловьев Дмитрий Егорович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией горной теплофизики Института горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Якутск).
- Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (г. Москва). Ведущая организация дала положительный отзыв, подписанный заведующим кафедрой Безопасности и экологии горного производства Горного института НИТУ МИСИС, д-ром техн. наук Коликовым Константином Сергеевичем и профессором кафедры Безопасности и экологии горного производства Горного института НИТУ МИСИС, д-ром техн. наук Кобылкиным Сергеем Сергеевичем, и утверждённый проректором по науке и инновациям Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», д-ром техн. наук, профессором М.Р. Филоновым.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, широкой известностью публикаций и достижений в области теплового режима рудников.

**Соискатель имеет** 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ.

Основные публикации:

1. Зайцев А.В., Бородавкин Д.А., Поляков И.В., Власова Е.М. Нормирование температурного режима в условиях нагревающего микроклимата горных выработок // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 145-158. – DOI 10.46689/2218-5194-2021-4-1-145-158
2. Пересторонин М.О., Зайцев А.В., Семин М.А., Бородавкин Д.А. Экспериментальное исследование переходных тепловых режимов длинных очистных забоев // Горные науки и технологии. – 2022. – Т. 7, № 1. – С. 37-48. – DOI 10.17073/2500-0632-2022-1-37-48
3. Семин М.А., Головатый И.И., Бородавкин Д.А. Анализ методов расчета теплоотдачи между хладоносителем в замораживающей колонке и окружающими породами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 3. – С. 154-163. – DOI 10.18799/24131830/2022/3/3032
4. Зайцев А.В., Бородавкин Д.А., Бублик С.А., Агеева К.М. Исследование температуры массива горных пород Березовского рудника ОАО "Беларуськалий" // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 7. – С. 76-85. – DOI 10.18799/24131830/2022/7/3421
5. Бородавкин Д.А., Зайцев А.В., Паршаков О.С., Хохряков Д.С. Экспериментальное исследование условий труда подземных рабочих в нагревающем микроклимате глубокого полиметаллического рудника // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 2. – С. 69-75. – DOI 10.24000/0409-2961-2023-2-69-75
6. Гришин Е.Л., Бородавкин Д.А., Петровский А.Б., Долгих А.С. Факторы проветривания рабочих зон рудников ОАО «Беларуськалий» // Горный журнал. – 2023. – № 8. – С. 50-56. – DOI 10.17580/gzh.2023.08.07
7. Zaitsev A., Shalimov A., Borodavkin D. Unsteady Coupled Heat Transfer in the Air and Surrounding Rock Mass for Mine Excavations with Distributed Heat Sources // Fluids. – 2023. – Т. 8. – №. 2. – С. 67. – DOI 10.3390/fluids8020067

Публикации в журналах ВАК в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:** от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента **Гендлера С.Г.** В отзыве отмечается

актуальность темы диссертации, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, новизна выполненных исследований и полученных результатов, достоверность результатов исследований, научных положений выводов и рекомендаций, практическая значимость диссертационного исследования. Оппонент приводит в своем отзыве следующие замечания по диссертации и автореферату:

- Название диссертационной работы 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».
- На стр.13 диссертации автор приводит формулу для расчета изменения температуры воздуха при его адиабатическом сжатии (расширении). В этой формуле фигурирует коэффициент  $\gamma$  (гамма), представляющий собой как пишет автор «соотношение удельных теплот потерь воздуха при постоянных объеме и давлении». По-видимому, автор имеет в виду соотношение не удельных тепловых потерь, 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 температур воздуха 0.0096-0.0098 °С/м. Именно эти значения обычно используются при выполнении тепловых расчетов для вычисления теплового эффекта процессов адиабатического сжатия (расширения).
- 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 здоровье людей, т.е. являются скорее прерогативой специальности «Безопасность труда». Этот материал может быть без ущерба для содержания диссертации исключен из её текста.
- 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.
- 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.
- 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: корреляционном соотношении, доверительном интервале, стандартной ошибки. Это не дает возможности, в полной мере, оценить точность аппроксимации.

2. Положительный отзыв официального оппонента **Соловьева Д.Е.** В отзыве отмечается актуальность, научная новизна диссертации, оценены степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достоверность научных положений и выводов, указана значимость работы для науки и практики, соответствие содержания автореферата основным научным положениям.

Оппонент отмечает следующие замечания:

- В первой главе, к сожалению, довольно сжато приведены сведения о состоянии изученности вопроса по регулированию теплового режима в очистных забоях глубоких шахт за рубежом.
- В разделе 1.2 (стр. 18) диссертации отмечается, что одним из факторов влияющих на формирование высоких температур в рабочих зонах калийного рудника являются тепловыделения от отбитой горной массы. Из диссертации не ясно, учитывался ли данный фактор при математическом моделировании нестационарных процессов теплообмена в подготовительных и очистных горных выработках, а также при проведении натурных исследований?
- Из экспериментальных исследований величины нагрева рудничного воздуха при работающем конвейере (раздел 2.2 диссертации) не ясно, учитывалось ли влияние воздушной струи, поступающей с транспортного штрека.
- В таблице 2.2 (стр. 51) не совсем корректно приведены результаты расчетов для случая, когда доля воздуха, поступающего по конвейерному штреку составляет 100%, поскольку это нарушает требования правил безопасности, т.к. в этом случае транспортный штрек не вентилируется.
- Также необходимо отметить, что в работе не указано распределение относительной влажности воздуха в пространстве длинного очистного забоя ни по результатам проведения натурных исследований, ни по результатам математического моделирования, хотя данный параметр является одним из основных влияющих на терморегуляцию организма горнорабочих и используется при расчете индекса тепловой нагрузки.
- В таблицах 3.3 (стр. 77) и 3.4 (стр. 81) приведены исходные параметры для прогнозных расчетов, где указана плотность воздуха  $1,31 \text{ кг/м}^3$ , что соответствует отрицательным значениям температуры воздуха в выработках.
- В разделе 4.3 диссертации (стр. 102) указано, что перемещения работников в течение смены оказывают влияние на изменение параметров микроклимата в рабочей зоне. Из текста диссертации не ясно каким образом это происходит?

3. Положительный **отзыв ведущей организации.** В отзыве отмечается актуальность темы выполненной работы и ее связь с соответствующими отраслями науки и практической деятельности, научная новизна диссертации, степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, научные результаты и их ценность, теоретическая и практическая значимость результатов. В отзыве перечислены рекомендации по использованию результатов работы.

Ведущая организация отмечает следующие замечания и вопросы:

- В диссертации на высоком уровне рассматриваются не только вопросы термодинамики, но и вопросы касающиеся напрямую прикладного значения работы – безопасности ведения горных работ. Цель работы сформулирована только как повышение уровня безопасности ведения горных работ. По паспорту специальности 2.8.6 диссертация относится к вопросам изучения термодинамических процессов в горных выработках. Цель работы нужно было бы сформулировать с учетом названия темы и паспорта специальности п.11 (Гидро-, аэро-, газо- и термодинамические процессы, методы и средства управления ими в массивах горных пород и грунтов, горных выработках и выработанном пространстве). Возможно, следовало бы рассмотреть вопрос защиты по двум специальностям 2.8.6 и 2.10.3.
- При подробном описании мероприятий, направленных на снижение влияния неблагоприятных параметров микроклимата на работников, не рассмотрено увлажнение воздуха (например, путем орошения).
- На стр. 60 диссертации для оценки скорости остывания оборудования введено характерное время, равное интервалу времени, за которое избыточная температура воздуха снизится в 2,71 раз (величина экспоненты) не понятно, в чем физический смысл данной величины и как этот параметр позволяет оценить скорость снижения температуры горного оборудования. Тот же ли это параметр, что и на стр. 74 (а)?
- При общем высоком уровне высокой грамотности в работе имеются незначительные упущения в части редакции текста (например, на стр. 46, 47 значения степеней указаны как цифры; на рис. 2.7, 3,9 не подписана ось ординат, таблица 1.5 и 1.7 практически полностью повторяют друг друга; на стр. 73 символы параметров напечатаны не курсивом; рис. 3.20, 4.4, 4.5 диссертации требует дополнительного описания для понимания).

**На автореферат поступило 10 отзывов:**

**1. Положительный отзыв от Лугина И.В., д-ра техн. наук, ведущего научного сотрудника лаборатории рудничной аэродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук.** В отзыве имеются следующие замечания:

- В первом положении при использовании термина «зависимости» автор не указывает, от чего именно зависит мощность тепловыделений.
- В том же первом положении, мало того, что не показано, ассиметричным чего относительно является характер нагрева, так еще и слово «ассиметричный» написано с ошибкой.
- Во втором положении использование слов «временной» и «динамики» относительно одного термина является тавтологией.
- По формулировке первой научной новизны: «кривые» не описывают процессы, они могут быть графическим представлением зависимостей или уравнений, описывающих какие-либо процессы.
- Не указано, какой именно новизной обладает разработанная автором модель сопряженного нестационарного теплообмена. Если новизна заключается в описании режима работы оборудования как нестационарного источника тепла, то именно это и должно быть отражено в формулировке новизны.
- Что означает выражение на стр. 8 «вся энергия, потребляемая приводом, диссипируется по длине штрека на преодоление сил трения»?
- Почему автор использует термин «цилиндрическая симметрия» (стр. 9)? В общем случае цилиндрическая симметрия подразумевает неизменность свойств при сдвиге по

продольной координате (которая в тексте обозначена то  $x$ , то  $z$ ), т.е. температура в массиве на радиальном расстоянии  $r$  от оси выработки должна быть одинаковая во всех сечениях по длине выработки. Или все-таки задача решена в плоской осесимметричной постановке в цилиндрической системе координат?

2. **Положительный отзыв от Макарова А.Н., главного инженера АО «Верхнекамская Калийная Компания», г. Березники.** В отзыве имеется следующее замечание:

- Из текста автореферата непонятно с чем связано изменение температур воздуха в ремонтные и добычные смены (рисунок 5)?

3. **Положительный отзыв от Минина В.В., канд. техн. наук, советника при ректорате Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.** В отзыве имеются следующие замечания:

- В названии диссертационной работы фигурирует Старобинское месторождение калийных солей. Однако практическая реализация результатов исследования представлена Обоснованием безопасности опасного производственного объекта по части отступления от требований промышленной безопасности по тепловому фактору, разработанным для рудника Гремячинского ГОК ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», разрабатывающего Гремячинское месторождение калийных солей.
- На рисунках 1, 3, 6 обозначение исходящей струи воздуха не соответствует ГОСТ. Исходящая струя воздуха помимо синего цвета обозначается стрелкой с пунктирной линией.
- В тексте, раскрывающем третье научное положение, упоминается рисунок 11. Однако, в автореферате отсутствует рисунок 11.

4. **Положительный отзыв от Скопинцевой О.В., д-ра техн. наук, профессора кафедры техносферной безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва.** В отзыве имеются следующие замечания:

- Отсутствие подписи осей на рисунке 5, а также единиц измерения цветовой шкалы на рисунках 4 и 5, что создает некоторое неудобство для понимания.
- После формулы (23) далее по тексту отсутствует нумерация остальных формул.
- На стр. 9 приводится постановка задачи теплообмена рудничного воздуха с массивом при распределенном источнике теплоты по длине горизонтальной выработки, задача ставится в условиях цилиндрической симметрии относительно двух пространственных координат,  $x$  - горизонтальной и  $r$  - радиальной; по видимому опечаткой следует считать фразу в строках 17-19 абзаца 2 «т.е. перепады температур по оси  $z$  и в радиальном направлении в массиве будут разного порядка: по  $x$  – десятки метров, по  $r$  - десятки сантиметров», так как координата  $z$  ранее не вводилась и не понятно ее направление в указанной радиально-симметричной постановке, а единицей измерения перепада температур являются не метры и сантиметры, а  $^{\circ}\text{C}/\text{м}$  или  $^{\circ}\text{C}/\text{см}$ .

5. **Положительный отзыв от Кобылкина А.С., канд. техн. наук, старшего научного сотрудника лаборатории №2.2. Геотехнологических рисков при освоении газоносных угольных и рудных месторождений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва.** В отзыве имеются следующие замечания:

- На стр. 3 автореферата приведена цель работы, не до конца понятно каким образом в ней

отражен «учет нестационарной природы техногенных источников». Данное словосочетание используется автором в названии работы – «...нестационарным тепловым режимом...», в актуальности темы диссертации – «способной учитывать нестационарную природу техногенных источников...» и далее по тексту.

- На стр. 5 автореферата в практическом значении работы автор пишет об эффективном управлении тепловым режимом в подготовительных и очистных забоях рудников. В автореферате приведены данные исследований по очистным забоям, необходимо было отметить проводились ли исследования в условиях подготовительных забоев.
- На стр. 17 автореферата автор пишет о теплообмене воздуха с массивом. Следовало бы указать какова температура массива и как она была определена.
- На стр. 20 автореферата автор предлагает оборудовать «ниши для отдыха». Не ясно что подразумевается под данным термином.
- В автореферате диссертационной работы несколько раз упоминалось о том, что одним из важнейших параметров который стоит учитывать при управлении, тепловым режимом является влажность воздуха. В то же время в автореферате не представлены данные указывающие на количественные показатели влажности воздуха в исследуемых длинных очистных забоях.

**6. Положительный отзыв от Петровского А.Б., главного инженера ОАО «Беларуськалий», Республика Беларусь, г. Солигорск.** В отзыве имеются следующие замечания:

- Не ясно, в каком конкретном месте столба лавы проводились замеры температуры воздуха результаты которых представлены на рисунке 2?
- Из автореферата непонятно, учитывается ли при моделировании теплораспределения движение забоя, в результате чего происходит обнажение пород с температурой нетронутого массива и оказывает ли это влияние на результаты расчетов?
- Необходимо дать пояснения, что подразумевается под «Ротацией рабочих мест» в качестве предлагаемых мероприятий и уточнить о каком промежутке времени идет речь?

**7. Положительный отзыв от Майорова А.Е., д-ра техн. наук, заведующего лабораторией геомеханики и геометризации угольных месторождений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», г. Кемерово.** В отзыве имеются следующие замечания:

- Из фразы в абзаце 6 на стр. 9 «Поскольку теплопроводность воздуха в радиальном направлении принята бесконечной...» непонятно на каком основании сделано данное допущение. Необходимо пояснение.
- В тексте третьего научного положения присутствует эмпирический показатель ТНС-индекс, который имеет размерность в градусах. Автор упоминает предельное значение среднесменного ТНС-индекса равное 25,7, но не указывает единицы измерения, что затрудняет восприятие.

**8. Положительный отзыв от Николаева А.В., д-ра техн. наук, профессора кафедры горной электромеханики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), г. Пермь.** В отзыве имеются следующие замечания:

- Автором предлагается метод оценки уровня тепловой нагрузки на горнорабочих за счет сопоставления модельного теплораспределения в группе выработок, формирующих рабочее пространство горнорабочего, и planoграммы работ. Между тем в реальных

условиях очень частым явлением считается отступление от планограммы, вызванное проведением внеплановых операций – рабочих или ремонтных. Учитывалось ли это обстоятельство?

- Автор в качестве одного из решений проблемы воздействия высоких температур воздуха на горнорабочих предлагает управление режимом труда и отдыха на основе среднесменного значения ТНС-индекса, учитывающего влажность и температуру воздуха. Между тем упускается тот факт, что повышение температуры тела организма также зависит от теплоизоляционных свойств одежды и интенсивности работ. Как данные факторы учитываются в предложенном подходе?

9. **Положительный отзыв от Качурина Н.М., д-ра техн. наук, профессора кафедры механики материалов и геотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула.** В отзыве имеются следующие замечания:

- На рисунке 5 отсутствует расшифровка работ на планограмме.
- Отсутствуют технические характеристики горно-выемочного оборудования (мощность источников тепловыделения). При изменении типоразмеров горно-выемочного оборудования будут справедливы расчеты и закономерности, представленные в автореферате?

10. **Положительный отзыв от Манько А.В., канд. техн. наук, доцента кафедры механики грунтов и геотехники института гидротехнического и энергетического строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва (без замечаний).**

Все отзывы положительные в них отмечена актуальность работы, ее научная значимость и практическая важность. Отмечается высокий теоретический уровень работы, привлечение современных методических подходов и обширного фактического материала. Имеющиеся в отзывах замечания связаны с оформлением автореферата работы, недостаточной подробностью описания некоторых деталей проведенных исследований в автореферате, а имеющиеся вопросы носят уточняющий характер.

В отзывах на автореферат отмечено, что диссертация является завершенным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение. Многие замечания выражены в форме пожеланий и рекомендаций.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**установлены** закономерности нестационарного характера теплообмена между нагретыми поверхностями оборудования и воздухом в длинных очистных забоях калийных рудников, учитывающие совместное влияние локальных и рассредоточенных по длине выработок источников теплоты, величину тепловыделений, которые определяются эксплуатационными режимами работы оборудования;

**разработана** динамическая модель распределения микроклиматических параметров в длинных очистных забоях, отражающая нестационарную работу источников тепловыделения и позволяющая оценить меняющееся во времени распределение параметров микроклимата;

**предложен** методический подход к комплексированию организационных и технических мероприятий по управлению тепловым режимом подземных рабочих зон на основе нестационарной пространственно-временной динамики микроклимата.



**Теоретическая значимость исследования** обусловлена тем, что:  
**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):**

- получены зависимости, описывающие процессы нагрева и охлаждения воздуха при разных режимах работы тепловыделяющего оборудования с учетом их взаимодействия с массивом горных пород;
- разработана модель сопряженного нестационарного теплообмена между рудничным воздухом и массивом горных пород учитывающая режимы работы протяженных техногенных источников, позволяющая осуществлять расчет пространственно-временного распределения микроклиматических параметров воздуха в пространстве очистного забоя и примыкающих к нему выработках;
- обосновано использование для управления тепловым режимом рабочих зон длинных очистных забоев показателя, комплексно учитывающего температуру и относительную влажность воздуха – индекса тепловой нагрузки среды, величина которого рассчитывается с учетом изменения термодинамических параметров воздушной среды и продолжительности их воздействия на горнорабочих.

**Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:**

- предложен комплекс мероприятий, обеспечивающий эффективное управление тепловым режимом в подготовительных и очистных забоях рудников при ведении работ в условиях повышенных температур воздуха при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах;
- разработана математическая модель процессов теплопереноса в рудничной атмосфере длинных очистных забоев с учетом теплообмена воздуха с массивом горных пород и горно-шахтным оборудованием и выполнено ее параметрическое обеспечение;
- разработано программное обеспечение для расчета нестационарного распределения микроклиматических параметров воздуха в рабочих зонах подготовительных выработок и очистных забоев рудников Старобинского месторождения калийных солей.

**Достоверность результатов подтверждается тем, что:**

**для экспериментальных работ** – результаты получены на основе анализа большого объема эмпирических данных, полученных поверенными средствами измерений;

**теория построена** на основе фундаментальных законов, согласующихся с известными и полученными экспериментальными данными;

**идея базируется** на применении математической модели временной и пространственной динамики микроклимата длинного очистного забоя и подготовительных выработок, учитывающей в сопряженной постановке нестационарный характер техногенных источников тепловыделения и теплообмен с породным массивом для расчета микроклиматических параметров воздуха и интегральной тепловой нагрузки среды;

**использованы** проверенные и научно обоснованные методы анализа и обработки данных для выявления эмпирических закономерностей нагрева воздушных потоков в горных выработках от мощности тепловыделений конвейерных линий и оборудования энергопоезда лав;

**установлено** качественное и количественное соответствие авторских результатов математического моделирования с экспериментальными результатами, представленными в независимых источниках по тематике горной теплофизики;

**использованы** современные методики обработки и интерпретации экспериментальных

данных.

**Личный вклад соискателя состоит** в постановке задач, разработке математических моделей, экспериментальных исследованиях в шахтных условиях, анализе и обработке полученных данных, выполнении расчетов и проведении численных экспериментов, разработке научных решений и их практической реализации, формулировании основных научных положений и выводов.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается** наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.


На заседании 12 июля 2024 г. диссертационный совет принял решение:  
*за решение научной задачи, направленной на повышение точности прогноза теплового режима горных выработок на всех стадиях работ с учетом нестационарного характера теплообмена между рудничным воздухом, породным массивом и протяженным технологическим оборудованием, имеющей важное значение для развития рудничной аэрогазодинамики и горной теплофизики присудить Бородавкину Д.А. ученую степень кандидата технических наук.*

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.8.6, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, не проголосовало – 0.

Председатель  
диссертационного совета 24.1.201.02  
д-р техн. наук, профессор, академик РАН  
Барях Александр Абрамович

 / Барях А.А.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.1.201.02  
канд. техн. наук  
Лобанов Сергей Юрьевич

 / Лобанов С.Ю.

«15» июля 2024 г.

