



УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ПФИЦ УрО РАН,  
физ.-мат. наук чл.-корр. РАН

О.А. Плехов

10.07.2024 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Пермский федеральный исследовательский центр  
Уральского отделения Российской академии наук

Диссертация «Расчет и управление нестационарным тепловым режимом рабочих зон длинных очистных забоев (на примере Старобинского месторождения калийных солей)» выполнена в лаборатории развития горного производства Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр («ГИ УрО РАН»).

Соискатель Бородавкин Дмитрий Алексеевич с 2015 года по настоящее время работает в «ГИ УрО РАН». В настоящий момент он является инженером лаборатории горного производства. В 2018-2022 гг. соискатель обучался в очной аспирантуре ПФИЦ УрО РАН по направлению подготовки 21.06.01 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых, окончив ее с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Научный руководитель – заместитель директора, заведующий лабораторией развития горного производства «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д-р техн. наук Зайцев Артем Вячеславович.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

### **I. Оценка выполненной соискателем работы**

Диссертация соискателя посвящена проблеме расчета и управления тепловым режимом рабочих зон в условиях нестационарного микроклимата. Высокая металлоемкость оборудования, расположенного в конвейерном штреке лавы приводит к тому, что после его отключения происходят продолжительные тепловыделения от нагретых тел, уменьшающиеся с течением времени от максимальных значений,

соответствующих штатному режиму работы, вплоть до нуля (при условии достаточно длительной остановки). Данная работа посвящена разработке модели теплообменных процессов в горных выработках, способной учитывать влияние инерционности тепловыделяющего оборудования на микроклимат длинного очистного забоя и примыкающих к нему выработок при разных режимах работы оборудования. Соискателем справедливо отмечается, что исследование процессов и механизмов формирования теплового режима в рабочих зонах очистных забоев, а также возможность его прогнозирования является актуальной научной задачей рудничной вентиляции, решение которой позволит разработать способы управления тепловым режимом, направленные на обеспечение безопасного ведения горных работ при минимальных затратах на реализацию организационных и технических мероприятий. Существующие исследования по управлению тепловым режимом имеют в своей основе существенные упрощения и не позволяют в полной мере оценивать величину тепловой нагрузки, испытываемой горнорабочими в течение смены.

В своей диссертационной работе соискатель представил математическую модель временной и пространственной динамики микроклимата длинного очистного забоя, учитывающую в сопряженной постановке нестационарный характер техногенных источников тепловыделения и теплообмен с породным массивом, с помощью которой удалось предложить подход к определению интегральной тепловой нагрузки среды с учетом нестационарного теплового режима и графика перемещений работников в течение смены. Предложенный подход позволяет прогнозировать тепловую нагрузку в перспективных рабочих зонах .

Основной идеей диссертационной работы является обоснование технических и организационных мероприятий по управлению тепловой нагрузкой среды в условиях высоких температур воздуха на основании математического моделирования распределения микроклиматических параметров рудничной атмосферы в пространстве и времени с учетом нестационарного характера тепловыделений от техногенных источников тепловыделения.

## **II. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

При непосредственном участии автора проведена постановка задач, разработка математических моделей, экспериментальные исследования в шахтных условиях, анализ и обработка полученных данных, выполнение расчетов и проведение численных

экспериментов, разработка научных решений и их практическая реализация, сформулированы основные научные положения и выводы.

### **III. Степень достоверности полученных результатов**

Достоверность результатов работы соискателя подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и натурных измерений, большим объемом экспериментальных исследований в шахтных и лабораторных условиях, положительными результатами реализации предложенных решений на рудниках ОАО «Беларуськалий» и ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».

### **IV. Новизна и практическая значимость исследования**

Результаты диссертационного исследования позволили сформулировать алгоритм выбора мероприятий, направленных на эффективное управление тепловым режимом в подготовительных и очистных забоях рудников при ведении работ в условиях нагревающего микроклимата при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

В настоящее время множество полученных результатов уже нашли свое применение на горнодобывающих предприятиях, часть результатов находится на стадии внедрения.

Принципы учета тепловыделений от нестационарных источников, описанные в исследовании, послужили основой для разработки математической модели, предназначенной для оценки микроклиматических условий и тепловой нагрузки окружающей среды для подземных работников ОАО «Беларуськалий» в зависимости от горнотехнических условий ведения горных работ. Результаты исследования легли в основу программного обеспечения под названием "ТНС", которое обладает функциональными возможностями для проведения прогнозных расчетов микроклиматических параметров воздуха в рабочих зонах подготовительных и очистных забоев с учетом изменения параметров микроклимата в пространстве и времени.

Предложенные решения рекомендованы в качестве исходных данных при оценке необходимости и целесообразности развития систем кондиционирования воздуха в рабочих зонах рудников ОАО «Беларуськалий».

Предложенные в работе подходы к нормированию микроклимата позволили разработать Обоснование промышленной безопасности опасного производственного

объекта для рудника Гремячинского ГОК ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» в части обеспечения безопасных условий труда при работе в условиях нагревающего микроклимата. Документ прошел экспертизу промышленной безопасности и внесен в реестр Ростехнадзора.

#### **V. Ценность научных работ соискателя**

В диссертационной работе представлены аппроксимирующие кривые, учитывающие асимметричность процессов нагрева и охлаждения воздуха при разных режимах работы тепловыделяющего оборудования. Полученные зависимости легли в основу модели сопряженного нестационарного теплообмена между рудничным воздухом и массивом горных пород, учитывающей режимы работы протяженных источников тепловыделений.

На основании математической модели изменения температуры воздуха при его движении по конвейерному штреку в работе обоснован способ распределения воздуха между транспортными и конвейерными штреками, при котором достигается минимальная температура смешанного воздуха и не происходит аварийной остановки электрооборудования в следствие перегрева.

Для оценки меняющегося во времени воздействия неблагоприятных параметров микроклимата на горнорабочих в работе предложена динамическая модель распределения микроклиматических параметров в длинных очистных забоях, учитывающая нестационарную работу источников тепловыделения.

Представленный алгоритм комплексирования технических и организационных мероприятий, позволит эффективно управлять тепловым режимом при минимальных затратах на реализацию мероприятий.

#### **VI. Специальность, которой соответствует диссертация**

Диссертационная работа соответствует п.11 паспорта специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»:

п. 11. Гидро-, аэро-, газо- и термодинамические процессы, методы и средства управления ими в массивах горных пород и грунтов, горных выработках и выработанном пространстве.

## **VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 7 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

Наиболее значимые из работ, опубликованных по представленной теме:

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

## **VII. Апробация диссертационной работы**

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научных сессиях «ГИ УрО РАН» «Стратегия и процессы освоения георесурсов» (Пермь,

«ГИ УрО РАН», 2018 — 2019 гг., 2023 г.), на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, МГУ, 2019 г., 2023 г.), на Всероссийских молодежных форумах «Нефтегазовое и горное дело» (Пермь, ПНИПУ, 2018 г., 2022 г.), на международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятия минерально-сырьевого комплекса в XXI веке (Санкт-Петербург, НМСУ «Горный», 2018 г.), на Всероссийской научной конференции «Промышленная безопасность и охрана труда» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2023 г.), на XVIII Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 2024 г.), на научно-технических советах рудников ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», руднике Гремячинского ГОК и управлении ООО «ЕвроХим», рудниках и управлении ОАО «Беларуськалий» в 2020-2024 годах.

В диссертационной работе отсутствуют заимствованные материалы без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных Бородавкиным Д.А. в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертация Бородавкина Дмитрия Алексеевича «Расчет и управление нестационарным тепловым режимом рабочих зон длинных очистных забоев (на примере Старобинского месторождения калийных солей)» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Заключение принято на заседании Объединенного ученого совета Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 34 из 53 человек. Результаты голосования: «за» — 34 чел., «против» — нет, «воздержалось» — нет, протокол заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН № 1/24 от 26 февраля 2024 г.

Председатель ОУС  
ПФИЦ УрО РАН, академик РАН



В.П. Матвеенко

Ученый секретарь ОУС  
ПФИЦ УрО РАН, к.ф.-м.н.



А.Г. Вотинова