

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям  
Пермского национального исследовательского  
университета,  
доктор технических наук, профессор



Коротаев В.Н.

« 7 » февраля 2019 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Диссертация «Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников» выполнена на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Пермском федеральном исследовательском центре Уральского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Зайцев Артём Вячеславович работал в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, на кафедре «Разработки месторождений полезных ископаемых» в должности доцента.

В 2010 году окончил Пермский государственный технический университет по специальности «Подземная разработка полезных ископаемых». В 2013 году окончил аспирантуру очной формы обучения ГИ УрО РАН, защитив диссертацию на соискание степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Научный консультант диссертационной работы – доктор технических наук, профессор Казаков Борис Петрович, работает профессором кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Пермского национального исследовательского политехнического университета Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### 1. Актуальность темы диссертации

Тепловой режим подземных рудников является одним из важнейших производственных факторов, обеспечивающих безопасность и эффективность ведения горных работ. Особую остроту вопросы обеспечения требуемых параметров теплового режима имеют в настоящий момент времени по причине вовлечения в отработку запасов полезных ископаемых с глубиной залегания более 1 километра. При этом высокая температура массива горных пород и работа в выработках горных машин большой мощности приводят к температурам воздуха в рабочих зонах свыше 35 °С, что не только существенно

превышает допустимый уровень, установленный Федеральными нормами и правилами «Правила безопасности при ведении горных работ ...» (согласно пункту 156 температура воздуха не должна превышать 26 °С), но и приводит к снижению производительности труда и повышению заболеваемости горнорабочих, простоям из-за отключения оборудования по причине перегрева. Существующий мировой опыт регулирования теплового режима подземных рудников не учитывает климатических, географических и горнотехнических условий разработки месторождений нашей страны.

В связи с вышеуказанным, диссертационная работа, направленная на разработку научных основ расчета и управления тепловым режимом подземных рудников с учетом актуальных условий разработки месторождений полезных ископаемых, является актуальной.

## **2. Научная новизна диссертационного исследования:**

- разработаны феноменологические модели техногенных источников тепловыделения с параметрическим обеспечением для современных горных машин, применяемых в глубоких шахтах и рудниках;
- обоснованы технические решения по эффективному использованию поверхностных систем кондиционирования воздуха с учетом глубины стволов, температуры окружающего породного массива и сезонных колебаний атмосферного воздуха;
- исследовано влияние сезонных колебаний атмосферного воздуха на эффективность применения теплоизоляции горных выработок с учетом естественной температуры массива горных пород;
- разработан способ улучшения микроклиматических параметров воздуха в горных выработках на основе организации рециркуляционного проветривания участка и теплового взаимодействия между рудничным воздухом, массивом горных пород и источниками тепловыделения;
- решена задача оптимизации мест установки и параметров воздухоохладителей в сети подготовительных и очистных горных выработок по критерию минимизации потребляемой холодильной мощности;
- разработана математическая модель расчета рекуперативных теплообменных аппаратов, учитывающая пространственное распределение термодинамических параметров сред, участвующих в теплообмене, варианты перекрестного, однонаправленного и противоположно направленного движения хладоносителя и воздуха и фазовые переходы влаги;
- обоснован комплексный критерий нормирования микроклиматических условий, учитывающий совместное влияние температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на охлаждающую способность рудничной атмосферы;
- разработана методика выбора оптимального сочетания горнотехнических и теплотехнических мероприятий регулирования теплового режима в зависимости от температуры окружающего породного массива, типа горных выработок и их удаленности от поверхности земли по тракту движения воздуха.

## **3. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:**

- выполнении экспериментальных исследований процессов формирования микроклиматических параметров воздуха в горных выработках различного типа;
- исследовании типа, мощности и характера тепловыделений от техногенных источников в горных выработках глубоких рудников;



- разработке математической модели расчета тепло-, влаго- и воздухораспределения в сети горных выработках с учетом специфических особенностей формирования теплового режима глубоких рудников;
- разработке ресурсосберегающих технических решений по нормализации микроклиматических условий в главных воздухоподающих выработках и выработках околоствольных дворов;
- исследовании и внедрении способа рециркуляционного проветривания для управления микроклиматическими параметрами воздуха в переходном интервале глубин;
- разработке математической модели расчета теплообменных процессов в теплообменных аппаратах систем кондиционирования рудничного воздуха, учитывающую различные варианты движения хладоносителя и воздуха;
- обосновании системы нормирования микроклиматических условий и режимов работы горнорабочих, обеспечивающей безопасные условия труда по тепловому фактору;
- разработке теоретических и технологических основ построения ресурсосберегающих систем управления тепловым режимом глубоких рудников с учетом их индивидуальных особенностей по критерию минимальных энергозатрат;
- сопровождении промышленной разработке систем управления тепловым режимом шахт и рудников и их испытаний на горнодобывающих предприятиях
- формулировке основных научных положений и выводов.

#### **4. Степень достоверности результатов проведенных исследований**

подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и натуральных 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 глубоких рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», ОАО «Беларуськалий», ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».

#### **5. Практическая значимость исследования**

состоит в том, что 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. В ходе исследований разработаны новые технические и технологические решения для разработки ресурсосберегающих систем нормализации микроклиматических условий в горных выработках при добыче глубокозалегающих запасов твердых полезных ископаемых, отработка которых имеет важное хозяйственное значение для экономики страны.

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

Основное содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 43 научных работах, в том числе 22 в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденных ВАК Минобрнауки РФ, из них 8 в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science.

Получены 3 патента на изобретения и 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Публикации в изданиях, утвержденные Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации:

1. Казаков, Б.П. Оптимизация теплогазодинамических расчетов топологически сложных вентиляционных сетей / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев, Е.Л. Гришин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2011. — № 4. — С. 191-194.

2. Казаков, Б.П. Особенности расчета теплового режима глубоких рудников при применении систем разработок с полной закладкой выработанного пространства / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. — № 2. — С. 195-198

3. Шалимов, А.В. Учет инерционных сил движения воздуха при нестационарных расчетах воздухораспределения в вентиляционной сети / А.В. Шалимов, А.В. Зайцев, Е.Л. Гришин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2011. — № 4. — С. 218-222.

4. Kruglov, Yu.V. Calculation method for the unsteady air supply in mine ventilation networks / Yu.V. Kruglov, L.Yu. Levin, A.V. Zaitsev // Journal of Mining Science. — 2011. — vol.47. — № 5. — P. 651-659.

5. Казаков, Б.П. Нестационарный сопряженный теплообмен между рудничным воздухом и горным массивом в условиях глубоких рудников / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — Екатеринбург, 2013. — № 1. — С. 26-32

6. Казаков, Б.П. Формирование микроклиматических параметров атмосферы в воздухоподающих стволах и главных выработках глубоких рудников / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев, М.А. Семин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2013. — № 8. — С. 167-171

7. Левин, Л.Ю. Численное решение сопряженной задачи теплораспределения в рудничной атмосфере и окружающем породном массиве для сети горных выработок произвольной топологии / Л.Ю. Левин, М.А. Семин, А.В. Зайцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2013. — № 8. — С. 176-180

8. Казаков Б.П. Исследование работы системы оптимального управления проветриванием на испытательном стенде / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2013. — № 12. — С. 169-173

9. Karelin, V.N. Features of forming microclimatic conditions in mining excavations of deep mines / V.N. Karelin, A.V. Kravchenko., L. Yu. Levin, B.P. Kazakov, A.V. Zaitsev // Eurasian Mining. — 2013. — № 2. — P. 35-38

10. Levin, L. Yu. Mathematical methods of forecasting microclimate conditions in an arbitrary layout network of underground excavations / L. Yu. Levin, M. A. Semin, A.V. Zaitsev // Journal of Mining Science. — 2014. — vol. 50. — № 2. — P. 371-378

11. Казаков, Б.П. Современные подходы к разработке способов управления тепловым режимом рудников при высокой температуре породного массива / Б.П. Казаков, Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев // Горный журнал. — Москва, 2014. — № 5. — С. 22-25

12. Зайцев, А.В. Аналитическое решение задачи расчета распределения температуры воздуха в горных выработках при наличии рециркуляционных потоков / А.В. Зайцев, Ю.А.



Клюкин, Н.А. Трушкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2014. — № 9. — С. 190-194

13. Левин, Л.Ю. Комплексные решения обеспечения безопасных условий труда в условиях теплового режима глубоких рудников Севера / Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2015. — № 30. — С. 291-299

14. Казаков, Б.П. Оптимизация компоновки теплообменных модулей в системах кондиционирования рудничного воздуха / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — Екатеринбург, 2015. — № 7. — С. 116-125

15. Зайцев, А.В. Исследование критериев нормирования микроклиматических условий в горных выработках / А.В. Зайцев, М.А. Семин, Ю.А. Клюкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2015. — № 12. — С. 151-156

16. Казаков, Б.П. Влияние процессов испарения и конденсации влаги на тепловой режим глубоких рудников / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Горный журнал. — Москва, 2016. — № 3. — С. 73-76

17. Казаков, Б.П. Разработка энергосберегающих систем вентиляции и кондиционирования современных горнодобывающих предприятий / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — МГГУ, 2015. — Специальный выпуск 60-2 «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование-2». — С. 294-298

18. Казаков, Б.П. Исследование процессов миграции конденсационных рассолов в выработках калийных рудников / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — МГГУ, 2016. — № 1. — С. 216-225

19. Казаков, Б.П. Разработка энергосберегающих технологий обеспечения комфортных микроклиматических условий при ведении горных работ / Б.П. Казаков, Л.Ю. Левин, А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Записки Горного института. — Санкт-Петербург, 2017. — Т. 223. — С. 116-124

20. Левин, Л.Ю. Оценка опасности применения фреоновых холодильных машин в подземных системах кондиционирования воздуха / Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев, Е.В. Колесов, С.В. Бутаков // Безопасность труда в промышленности. — Москва, 2017. — № 8. — С. 28-32.

21. Зайцев, А.В. Теплотехнические системы нормализации микроклиматических параметров воздуха в глубоких рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» / А.В. Зайцев, Л.Ю. Левин, С.В. Бутаков, М.А. Семин // Горный журнал. — Москва, 2018. — № 6. — С. 34-39.

22. Левин, Л.Ю. Нормализация микроклиматических условий горных выработок при отработке глубокозалегающих запасов калийных рудников // Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев, С.В. Бутаков, М.А. Семин // Горный журнал. — Москва, 2018. — № 8. — С. 97-102.

Патенты и свидетельства об официальной регистрации:

23. Патент № 2587192 Российская Федерация. Способ мониторинга расходов воздуха в сети горных выработок и система для его осуществления / Казаков Б.П., Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Мальков П.С., Кормщиков Д.С.; заявитель и патентообладатель ГИ УрО РАН. — № 2014147769/03; заявл. 26.11.14; опублик. 20.06.16, Бюллетень № 17. — 3 с.

24. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Аналитический комплекс «АэроСеть»: № 2015610589 / Зайцев А.В., Казаков Б.П., Кашников А.В., Кормщиков Д.С., Круглов Ю.В., Левин Л.Ю., Мальков П.С., Шалимов А.В.; заявитель и правообладатель ГИ УрО РАН. — № 2015610589; заявл. 24.04.14; дата регистрации 14.01.15. — 1 с.

25. Патент № 2509895 Российская Федерация. Способ кондиционирования воздуха и охлаждения технологических сред оборудования при добыче полезных ископаемых подземным способом / Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Ковалев А.В.; заявитель и патентообладатель ГИ УрО РАН. — № 2015125884/03; заявл. 29.06.15; опубл. 20.12.16, Бюллетень № 35. — 2 с.

26. Патент № 2611770 Российская Федерация. Способ кондиционирования воздуха в горных выработках / Левин Л.Ю., Зайцев А.В.; заявитель и патентообладатель Левин Лев Юрьевич, Зайцев Артем Вячеславович. — № 2015125852; заявл. 29.06.15; опубл. 01.03.17, Бюллетень № 7. — 2 с.

Публикации в других изданиях:

27. Зайцев, А.В. Структурно-классификационный анализ аэрологических методов расчета для условий различных рудников / А.В. Зайцев, Е.Л. Гришин // Научные исследования и инновации. — Пермь, 2011. — Т. 5. — № 2. — С. 133-135

28. Гришин, Е.Л. Классификация тепловых источников по степени влияния на надежность воздухораспределения в рудничных вентиляционных сетях / Е.Л. Гришин, А.В. Зайцев // Научные исследования и инновации. — Пермь, 2011. — Т. 5. — № 1. — С. 156-158

29. Левин, Л.Ю. Использование программного модуля ANSYS CFX при решении научно-производственных задач проветривания шахт и рудников / Л.Ю. Левин, Р.Р. Газизуллин, А.В. Зайцев // САПР и графика. — 2011. — № 10 (180). — С. 64-66

30. Казаков, Б.П. Влияние закладочных работ на формирование теплового режима в горных выработках в условиях рудников ОАО «Норильский никель» / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев, А.В. Шалимов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — Пермь, 2012. — Т. 11. — № 2. — С. 110-114.

31. Казаков, Б.П. Применение частичного повторного использования воздуха для снижения количества выпадающей влаги в калийных рудниках / Б.П. Казаков, Н.А. Трушкова, А.В. Зайцев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — Пермь, 2012. — Т. 11. — № 3. — С. 129-133.

32. Зайцев, А.В. Нормализация микроклимата глубоких рудников в условиях высоких температур горного массива / А.В. Зайцев // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. — Пермь, 2012. — Выпуск 10 — С. 252-254

33. Зайцев, А.В. Нормализация микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников / А.В. Зайцев // Стратегия и процессы освоения георесурсов Сборник научных трудов. — Пермь, 2013. — С. 250-252.

34. Казаков, Б.П. Использование систем автоматического управления проветриванием для нормализации микроклиматических параметров атмосферы рудников / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев // Горное эхо. — Пермь, 2013. — № 4 (53). — С. 43-46.

35. Казаков, Б.П. Исследование процессов формирования теплового режима глубоких рудников / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев // Вестник Пермского национального



исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — Пермь, 2014. — Т. 13. — № 10. — С. 91-97.

36. Зайцев, А.В. Исследование процессов тепломассопереноса в горных выработках при применении систем частичного повторного использования воздуха / А.В. Зайцев, Ю.А. Клюкин, А.С. Киряков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — Пермь, 2014. — Т. 13. — № 11. — С. 121-129.

37. Шалимов, А.В. Разработка способов нормализации микроклиматических условий в глубоких рудниках Норильска / А.В. Шалимов, А.В. Зайцев // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Развитие Арктики и приполярных регионов». — Екатеринбург, 2014. — С. 175-178.

38. Зайцев, А.В. Нормирование микроклиматических параметров воздуха в горных выработках и совершенствование способов регулирования теплового режима / А.В. Зайцев // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. — Пермь, 2014. — С. 261-264.

39. Исаевич, А.Г. Современная вентиляция рудников: экономия без ущерба безопасности / А.Г. Исаевич, А.В. Зайцев, С.В. Мальцев // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромышленного оборудования. — Пермь, Изд-во ПНИПУ, — 2014. — Т. 1. — № 1. — С. 131-137.

40. Казаков, Б.П. Разработка систем нормализации микроклиматических параметров воздуха в горных выработках глубоких рудников Севера / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев, // Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России: труды II Всероссийской научно-практической конференции — Якутск: Изд-во ФГБУН институт мерзлотоведения СО РАН, 2014. — С. 262-266.

41. Клюкин, Ю.А. Определение допустимых и безопасных микроклиматических условий в подземных рабочих зонах / Ю.А. Клюкин, А.В. Зайцев // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Горняцкая смена – 2015». — 2015. — С. 79-83.

42. Казаков, Б.П. Повышение эффективности проветривания рудников при применении частичного повторного использования воздуха / Б.П. Казаков, А.В. Зайцев, Е.Л. Гришин, Н.А. Трушкова // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Горняцкая смена – 2015». — 2015. — С. 229-235.

43. Зайцев, А.В. Комплексные исследования в области обеспечения безопасных микроклиматических условий в длинных очистных забоях калийных рудников ОАО «Беларуськалий» / А.В. Зайцев // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сборник научных трудов. — Пермь, 2015. — С. 260-263.

44. Зайцев, А.В. Ресурсосберегающие решения в системах кондиционирования рудничного воздуха / А.В. Зайцев, Ю.А. Клюкин // Проблемы недропользования. — Изд-во: Институт горного дела УрО РАН, — 2015. — № 2 (5). — С. 26-31.

45. Трушкова, Н.А. Применение рециркуляционных установок для повышения эффективности проветривания рудников с учетом обеспечения безопасных условий труда / Н.А. Трушкова, Б.П., Казаков, А.В. Зайцев, Е.Л. Гришин // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромышленного оборудования. — Пермь, Изд-во ПНИПУ, — 2015. — Т. 1. — С. 283-290.

46. Зайцев, А.В. Обеспечение теплового режима рудника в условиях интенсивного окисления горных пород / А.В. Зайцев // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. — Пермь, 2016. — С. 243-247.

47. Зайцев, А.В. Разработка и внедрение систем кондиционирования воздуха глубоких рудников / А.В. Зайцев // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. — Пермь, 2017. — С. 268-273.

**6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите**

Диссертация соответствует специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» по пунктам согласно паспорту:

- пункту 10 «Гидро-, пыле-, аэро-, газо- и термодинамические процессы в массивах горных пород и грунтов, горных выработках и выработанном пространстве. Разработка методов и средств управления этими процессами»;
- пункту 11 «Процессы теплопереноса, фильтрация и диффузия жидкостей и газов в зонах естественной или искусственно созданной проницаемости при добыче полезных ископаемых, получении геотермальной энергии, строительстве и эксплуатации сооружений»

**7. Заключение**

Диссертационная работа Зайцева Артема Вячеславовича «Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников» отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Заключение принято на заседании кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых».

Присутствовало на заседании 20 человек.

Результаты голосования:

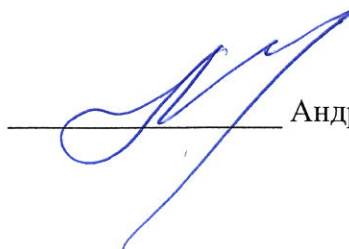
«за» — 20 человек,

«против» — 0 человек,

«воздержалось» — 0 человек,

Протокол № 10 от «7» февраля 2019 г.

Заведующий кафедрой  
«Разработка месторождений  
полезных ископаемых» ПНИПУ  
д-р техн. наук, профессор

  
\_\_\_\_\_  
Андрейко С.С.