

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

д.т.н., профессор

М.Р. Филонов

«23» апреля 2019 год



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической значимости диссертации

Зайцева Артема Вячеславовича

на тему «**Научные основы расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников**», представленной к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

На отзыв представлена диссертация на тему «Научные основы расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников», состоящая из введения, семи глав, заключения и списка использованной литературы.

Актуальность темы выполненной работы и её связь с соответствующими отраслями науки и практической деятельности

Регулирование теплового режима в рудниках и шахтах является сложной термодинамической и горнотехнической задачей, требующей для своего решения разработки теории теплообмена и термодинамики вентиляционных струй в горных выработках, а также способов и средств обеспечения требуемых безопасных атмосферных условий в них. Актуальность работы обусловлена увеличением глубины ведения горных работ, применением высокопроизводительной мощной по энергозатратам и тепловыделениям горной техники.

Отсутствие современных методологий расчетов тепломассопереноса в горных выработках снижает безопасность ведения горных работ, ухудшает экономические показатели горных предприятий. Существующие способы регулирования тепловым режимом глубоких рудников устарели и требуют переработки с учетом новых условий ведения горных работ, применяемой технологии и современного горного оборудования.

Развитие горнодобывающей отрасли в условиях импортозамещения требует развития научных основ конструирования шахтных кондиционеров в РФ, а также научного обоснования применения их в существующих технологических схемах ведения горных работ с учётом всех горно-геологических, технологических факторов и нормативно-правовых требований. Работа имеет важное значение для горнодобывающих предприятий Российской Федерации. Тема работы весьма актуальна и своевременна.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новый методологический подход заключается в многовариантном моделировании термодинамических процессов в системе «рудничный воздух – массив горны пород» и «рудничный воздух – горная техника» с целью выбора оптимальных по критерию энергетических затрат режимов проветривания и работы горного оборудования.

Научная новизна работы заключается в разработке численной математической модели расчета распределения температуры и влажности воздуха в сети горных выработок произвольной топологии. Расчет производится на основе модели идеального вытеснения с учетом воздухораспределения в вентиляционной сети.

Автором разработаны теоретические основы ресурсосберегающих систем управления термодинамическими параметрами рудничной атмосферы с учётом существующих горно-геологических условий, а также с учётом дальнейшего увеличения температуры горного массива при переходе на большие глубины. Предлагаемые решения по проектированию систем управления тепловым режимом основаны на фундаментальных исследованиях теплопереноса.

Значимость для науки и практической деятельности полученных соискателем результатов

Научная значимость полученных результатов исследования заключается в разработке теоретических основ ресурсосберегающих технологий управления тепловым режимом шахт и рудников.

Реализация полученных моделей на практике позволяет учесть нестационарный теплообмен воздуха с породным массивом, фазовые переходы влаги, что также позволит оперативно регулировать тепловой режим шахт и

рудников. В рамках единой модели возможно проводить совместные расчёты систем вентиляции и кондиционирования.

Практическая значимость заключается в повышении качества проектных решений за счёт оперативного моделирования системы вентиляции с учётом различных источников поступления тепла в горные выработки, различных систем кондиционирования воздуха диапазона оцениваемых вариантов и принятия решений на основе визуализации термодинамических процессов.

Получены коэффициенты интенсивности тепловыделений для машин с двигателями внутреннего сгорания и для машин с электрическими приводами. Используя полученные значения коэффициентов можно определять необходимый расход воздуха для снижения температуры рудничной атмосферы.

Разработана математическая модель, учитывающая перенос теплоты и влаги в рудничной атмосфере. Новая модель интегрирована в программный комплекс, что позволяет использовать её в сетевых расчётах при регулировании теплового режима и выбора мест размещения кондиционеров.

Проведена классификация горных выработок глубоких рудников по факторам формирования теплового режима, которая позволяет на стадии проектирования подбирать оптимальные решения по обеспечению безопасности ведения горных работ.

Структура и содержание работы

Первая глава диссертационной работы посвящена оценке текущего состояния проветривания в части обеспечения теплового режима шахт и рудников. В работе проведён всесторонний анализ нормативных документов как отечественных, так и зарубежных в части обеспечения безопасных условий по термовлажностным показателям. Детально разобраны методы прогнозирования и способы регулирования микроклиматических показателей. При этом автором изучено большое количество работ в этой области. В завершении первой главы диссертационного исследования автор ставит цель – разработка ресурсосберегающих технологий регулирования теплового режима. Для достижения цели автор ставит перед собой и решает девять задач.

Вторая глава посвящена натурным исследованиям параметров рудничной атмосферы, анализу источников тепловыделений в горные выработки с оценкой их интенсивности. Исследования проводятся на российских рудниках Талнахского и Октябрьского месторождений Норильска и на белорусском руднике Старобинского месторождения. Автор по личным измерениям строит

термограммы и анализирует закономерности формирования микроклиматических условий в горных выработках. Для условий рудников Норильска и Солигорска и применяемой там горной техники автор определяет величины коэффициентов интенсивности тепловыделений для машин с двигателями внутреннего сгорания и для машин с электрическими приводами. Также в данной главе рассматривается величина поступления тепла, поступающего при твердении массы закладочного материала.

На основе проведенных натуральных экспериментов в работе разработана математическая модель сопряженного тепломассопереноса. В основу модели положена теория графов для расчёта воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети с добавлением уравнений конвективно-диффузионного типа. Отличие от существующих моделей заключается в добавлении в известное уравнение Кирхгофа нового члена, учитывающего тепловую депрессию. Автором произведён учет теплообмена между рудничной атмосферой и породным массивом, а также влагообмена в воздухе. Верификация разработанной математической модели проведена в стволах рудников «Скалистый» и «Октябрьский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», где присутствуют все рассматриваемые факторы. На основании проведенных натуральных исследований автором разработана классификация горных выработок по факторам формирования теплового режима.

Третья глава диссертации посвящена изучению процессов формирования микроклиматических параметров воздуха в главных воздухоподающих выработках. В работе проведены исследования по эффективности работы систем кондиционирования, по способам уменьшения нагрева воздуха в горных выработках, по перспективам развития систем автоматического управления проветриванием с целью регулирования теплового режима. В разделе определены ограничения применяемых поверхностных средств воздухоподготовки (кондиционирования) и разработаны методики по определению их оптимальных параметров.

Четвертая глава диссертационного исследования посвящена разработке научных основ применения рециркуляционного проветривания в системах вентиляции шахт. В главе приводятся обширные теоретические и экспериментальные исследования, проведенные для условий рудников ОАО «Беларуськалий». Исследования позволили определить границы применения рециркуляционного проветривания.

Пятая глава работы посвящена разработке высокоэффективных теплообменных аппаратов для систем кондиционирования. В ней приводятся

результаты математического моделирования различных схем работы кондиционеров с учётом конденсации влаги при охлаждении воздуха, а также экспериментальные исследования по созданным опытным образцам. В данной главе автор применяет полный комплекс исследований с разработкой математической модели, опытного образца, натуральных экспериментов, компьютерного трехмерного моделирования и серийного образца с шахтными испытаниями.

Шестая глава посвящена разработке оптимальных систем подземного кондиционирования в подготовительных и очистных забоях. Глава является основой системного проектирования тепловых режимов глубоких рудников. В главе разработаны схемы ресурсосберегающих технологий локального кондиционирования. И приведены результаты внедрения технологии на руднике «Таймырский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

Седьмая глава диссертации является заключительной, в которой автор, подведя общий итог своей работы, формулирует научные и технологические основы разработки ресурсосберегающих систем управления тепловым режимом глубоких рудников. В последней главе вводятся критерии оценки микроклиматических условий, обосновывается система нормирования параметров теплового режима и необходимые изменения в законодательную базу.

Заключение достаточно полно отображает полученные научные результаты работы и содержит перечень перспективных научных направлений, развитие которых возможно с использованием разработанных автором основ расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников.

Реализация работы

Данная работа прошла полный цикл реализации на ведущих горных предприятиях России и Белоруссии, от теоретических и натуральных исследований, до разработки технологии и технических средств с внедрением на рудниках. Разработанная система управления термодинамическими параметрами была внедрена на шахте «Скалистая» на рудниках «Таймырский» Заполярного филиала ОАО «ГМК «Норильский Никель», ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», на белорусском руднике Старобинского месторождения.

Результаты исследований в виде программного модуля «Теплофизика», были внедрены в программный вычислительный комплекс «АэроСеть». Аналитический комплекс «АэроСеть» используется в проектных институтах

ОАО «Институт «Уралгипроруда», ОАО «Галургия», ООО «Институт «Гипроникель», ООО «ТОМС-Проект», ООО «СПб-Гипрошахт», ООО «Забайкалзолотопроект».

Разработанные теоретические основы теплопереноса и влагопереноса легли в основу создания отечественных кондиционеров КШР-350Н выпускаемых в НПО «АэроСфера» (Россия).

Разработанная технология использования рециркуляции воздуха была внедрена на руднике 4 РУ ОАО «Беларуськалий».

Важность работы подтверждается большим объемом выполненных научных исследований в рамках государственных заданий порученных Российским фондом фундаментальных исследований, Президиумом УрО РАН, Советом по грантам Президента Российской Федерации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты проведенных исследований рекомендуется использовать как основу нового нормативно-методического обеспечения проектирования вентиляции шахт и рудников.

Проведенный анализ нормирования параметров рудничной атмосферы в части теплового режима, должен быть использован для изменения санитарно-гигиенических требований для горных предприятий.

Предложенная математическая модель, должна получить развитие в рамках рудничной аэрологии. Её необходимо использовать для углубленного изучения аэротермодинамических процессов, протекающих в рудничной атмосфере.

Также рекомендуется развивать направление по созданию новых вентиляционных устройств (кондиционеров).

Результаты исследований, разработанный модуль «Теплофизика» в аналитическом комплексе «АэроСеть» должны войти во все учебные программы подготовки горных инженеров по дисциплинам «Аэрология горных предприятий», «Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело». Также необходимо полученные результаты диссертационного исследования использовать для повышения квалификации инженерно-технических работников всех горнодобывающих предприятий.

Замечания к работе

1. На стр. 78 Диссертации приводится система уравнений переноса теплоты и влаги в горных выработках не понятно, каким образом определяется функция источника ($W_{АН}$)?
2. В работе не до конца понятно, каким образом подбирается оптимальный шаг по времени (стр. 79)?
3. Для решения уравнения переноса (стр. 78, ф. 2.20) выбрана модель идеального вытеснения, а в узлах применяет модель идеального смешивания (стр. 81), данное решение по выбору моделей подтверждено ли экспериментально или же выбор моделей является некоторым допущением, принятым для получения решений?
4. Работа весьма многогранна и включает в себя различные аспекты управления тепловым режимом глубоких рудников. В связи с чем, некоторые её части (например, 5 глава) выглядят излишними, по сути, это полноценное отдельное диссертационное исследование высокого уровня.
5. Автореферат работы полностью отражает все научные положения, однако в самой диссертационной работе приведены результаты исследований, также имеющие важное значение для горнодобывающей отрасли (например, по анализу нормирования теплового режима в зарубежных странах, предлагаются изменения в отечественную законодательную базу, что весьма важно и актуально).

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки результатов диссертационной работы, а носят уточняющий характер.

Результаты научных исследований, выносимые на защиту, прошли широкую апробацию на большом количестве конференций и совещаний, как отечественных, так и зарубежных. По научным и практическим результатам опубликовано достаточное количество статей и тезисов в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК РФ и в зарубежных журналах.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация выполнена на весьма актуальную тему, имеет научную и практическую ценность, представляет собой законченное научное исследование высокого уровня.

Язык, стиль диссертации и автореферата соответствуют принятым стандартам научно-исследовательской работы. Текст проиллюстрирован достаточным количеством схем и графиков.

Заключение

Диссертация **Зайцева Артема Вячеславовича** на тему «**Научные основы расчёта и управления тепловым режимом подземных рудников**» представленная к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», – является законченной квалификационной работой.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, представленная работа соответствует требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук и паспорту специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» пунктам 10 и 11, а её автор, Зайцев Артем Вячеславович, достоин присуждения искомой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры Безопасности и экологии горного производства, Горного института, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», протокол № 10, от «08» апреля 2019 года.

Заведующий кафедрой,
профессор, д.т.н.
профессор кафедры БЭГП,
д.т.н., профессор
профессор кафедры БЭГП,
д.т.н., доцент
Ученый секретарь



К.С. Коликов

Н.О. Каледина

С.С. Кобылкин

А.А. Захарова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, сайт misis.ru

Канцелярия 8 (495) 955-00-32, факс: 8 (499) 236-21-05, kancela@misis.ru

Тел.: 8 (499) 230-27-30 E-mail: kobylkin.s@misis.ru