

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПФИЦ УрО РАН,
д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН



О.А. Плехов

«16» сентября 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Расчет воздухораспределения в рудничных вентиляционных сетях с учетом тепловой депрессии в наклонных горных выработках» выполнена в отделе аэрологии и теплофизики Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр («ГИ УрО РАН»).

Соискатель Попов Максим Дмитриевич с 2015 года по настоящее время работает в «ГИ УрО РАН». В настоящий момент он является инженером отдела аэрологии и теплофизики. В 2018-2022 гг. соискатель обучался в очной аспирантуре ПФИЦ УрО РАН, по направлению 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» специальности, окончил ее с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Научный руководитель – заместитель директора, заведующий отделом аэрологии и теплофизики «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр, чл.-корр. РАН, д-р. техн. наук Левин Лев Юрьевич.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

I. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа соискателя посвящена исследованию устойчивости проветривания наклонных горных выработок с нисходящим проветриванием с учетом тепловой депрессии пожара. Соискателем разработана методика расчета воздухораспределения вентиляционных сетей произвольной топологии в аварийной ситуации, позволяющей учесть изменение направления распространения продуктов горения из-за опрокидывания вентиляционной струи на этапе составления оперативного

плана по локализации и ликвидации последствий аварий. М.Д. Попов справедливо отмечает, что на сегодняшний день отсутствует единая методика учитывающая характеристики источника тепловыделения и наклонной горной выработки с пожаром, а также теплофизические свойства породного массива.

В рамках диссертационной работы соискатель ввиду невозможности экспериментального исследования процессов тепломассопереноса в наклонной горной выработке при пожаре в шахтных условиях, разработал и реализовал испытательный аэродинамический стенд, имитирующей наклонную горную выработку с интенсивным источником тепловыделения. Результаты экспериментального исследования использованы для валидации и параметризации разработанной трехмерной численной модели. При помощи многопараметрического численного моделирования на разработанной модели соискателю удалось получить зависимости изменения расхода и плотности воздуха в наклонной выработке при пожаре в зависимости от начальных параметров проветривания и мощности источника тепловыделения.

Основной идеей диссертационной работы является использование аппроксимирующих выражений, полученных из экспериментальных исследований на разработанном стенде и многопараметрического численного трехмерного моделирования и учитывающих пространственно-временную динамику неоднородных конвективных потоков воздуха в наклонных горных выработках при пожарах в одномерном сетевом алгоритме расчета воздухораспределения.

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

При непосредственном участии автора проведена постановка задач, разработка математических моделей, экспериментальные исследования на уменьшенной физической модели наклонной горной выработки, анализ и обработка полученных данных, теоретические исследования и создание программных продуктов, 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 подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и большим объемом экспериментальных исследований в лабораторных условиях, положительными результатами верификации и валидации разработанных моделей.

IV. Новизна и практическая значимость исследования

Новизна работы заключается в следующих её аспектах: во-первых, разработана регрессионная зависимость критической тепловой мощности источника тепловыделения от аэродинамических параметров горной выработки и плотности воздуха при опрокидывании вентиляционной струи. Во-вторых, установлена возможность использования среднего коэффициента конвективной дисперсии как критерия устойчивости воздушного потока. В-третьих, подтверждена применимость метода RANS для описания теплопереноса при возгораниях в наклонных выработках с нисходящим проветриванием. В-четвертых, обосновано подобие численных решений при масштабировании горной выработки по методу Фруда в диапазоне от 1:1 до 1:10. Наконец, разработаны метод определения эквивалентной тепловой мощности пожара для различных типов горючих материалов и алгоритм расчета стационарного воздухораспределения в вентиляционных системах произвольной топологии с учетом тепловой депрессии в наклонной выработке.

Результаты диссертационной работы позволяют производить расчеты устойчивости проветривания в наклонных горных выработках по фактору тепловой депрессии от пожара и соответственно прогнозировать распространение продуктов горения в вентиляционных сетях произвольной топологии. Предложенные алгоритмы реализованы в ПК «Аэросеть».

Полученные в работе теоретические результаты полезны при проектировании вентиляции шахтных вентиляционных сетей с точки зрения разработки мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий, связанных с устойчивостью проветривания при подземных пожарах.

V. Ценность научных работ соискателя

В диссертационной работе на основании многопараметрического моделирования получена регрессионная зависимость критической тепловой мощности источника тепловыделения от аэродинамических параметров горной выработки и зависимость изменения плотности воздуха в момент опрокидывания вентиляционной струи. Полученные зависимости использованы для усреднённого задания конвективной циркуляции воздушных потоков в рамках одномерной задачи расчета воздухораспределения в условиях наличия возвратных или частично возвратных течений воздуха.

Результатами экспериментальных измерений на физической модели горной выработки доказана применимость подхода RANS к описанию процессов теплопереноса при возгораниях в наклонных выработках с нисходящим проветриванием.

В работе установлено, что коэффициент конвективной дисперсии, может быть использован как критерий устойчивости движения воздушного потока в наклонной горной выработке при пожаре.

Полученный алгоритм расчета воздухораспределения в вентиляционных сетях произвольной топологии с учетом тепловой депрессии пожара позволяет прогнозировать распространение продуктов горения и корректировать мероприятия плана по локализации и ликвидации последствий аварий с учетом опрокидывания воздушного потока.

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 выработанных пространствах.

VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы подготовлено и опубликовано 16 печатных работ, в том числе 8 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

Наиболее значимые из работ, опубликованных по представленной теме:

1. Попов М. Д., Гришин Е. Л., Жихарев С. Я., Шалимов А. В. Оценка рисков последовательного проветривания при вскрытии месторождения наклонными съездами // Горный журнал. – 2023. – №11. – С.49–56. DOI: 10.17580/gzh.2023.11.08.
2. Пересторонин М. О., Паршаков О. С., Попов М. Д. Параметризация модели вентиляционной сети при анализе аварийных режимов проветривания систем горных выработок // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8. – №2. – С. 150–161. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-10-13.
3. Левин Л. Ю., Попов М. Д., Кормщиков Д. С., Зайцев А. В. Моделирование систем пожаро-оросительных трубопроводов горнодобывающих предприятий в аналитическом комплексе «АэроСеть» // Горный журнал. – 2021. – №7. – С.85–90. DOI: 10.17580/gzh.2021.07.15.

4. Попов М. Д., Кормщиков Д. С., Семин М. А., Левин Л. Ю. Расчёт устойчивости воздушных потоков в горных выработках по фактору тепловой депрессии в аналитическом комплексе «АэроСеть» // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – №10. – С. 24–32. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-10-24-32.
5. Попов М. Д., Семин М. А., Левин Л. Ю. Анализ воздухораспределения в наклонной горной выработке при наличии интенсивного источника тепловыделения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2024. – №4. DOI: 10.15372/FTRPI202404.
6. Левин Л.Ю., Семин М.А., Попов М.Д., Жихарев С.Я. Валидация модели тепломассопереноса в атмосфере горизонтальной горной выработки при наличии интенсивного источника нагрева // Недропользование – 2024. – Т. 24. – № 3. – С.169-176. DOI: 10.15593/2712-8008/2024.3.8.
7. Шалимов А.В., Попов М.Д. Определение показателя конвективной устойчивости воздуха в стволах при нулевом режиме вентиляции рудника // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – (принято в печать).
8. Levin L., Popov M., Semin M., Zhikharev S. Experimental and Numerical Study of Air Flow Reversal Induced by Fire in an Inclined Mine Working // Applied Sciences. – 2024 – Т. 14. – №. 15 P.6840. DOI: 10.3390/app14156840.

VIII. Апробация диссертационной работы

Научные положения и основные результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научных сессиях «ГИ УрО РАН» «Стратегия и процессы освоения георесурсов» (г. Пермь, «ГИ УрО РАН», 2018 — 2019 гг., 2023—2024 г.), на пятой конференции Международной научной школы академика К. Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (2022 г., ИПКОН РАН, г. Москва), на IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей», (г. Пермь, 2023 г.).

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

Диссертационная работа Попова Максима Дмитриевича «Расчет воздухораспределения в рудничных вентиляционных сетях с учетом тепловой депрессии в наклонных горных выработках» 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 37 из 52 человек. Результаты голосования: «за» – 37 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН №6/24 от 11 сентября 2024 г.

Зам. председателя ОУС
ПФИЦ УрО РАН, академик РАН

А.А. Барях

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

А.Г. Вотинова