

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента Марии Юрьевны Лисковой на диссертационную работу Колесова Евгения Викторовича «Разработка способов управления капельной влагой в вентиляционных стволах рудников», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Актуальность темы диссертации

Для безаварийной эксплуатации шахт и рудников необходимо обеспечение их устойчивого и надежного проветривания. Однако на практике известны случаи нарушения рудничной вентиляции, связанные с попаданием в вентиляционные стволы воды вследствие конденсации влаги из исходящей воздушной струи или в результате водопритоков с водоносных горизонтов через негерметичную крепь ствола. Капли во взвешенном состоянии создают препятствие для воздушного потока, увеличивают аэродинамическое сопротивление ствола и негативно влияют на работу главной вентиляторной установки (ГВУ). В лучшем случае наличие капельной влаги приводит к уменьшению количества воздуха, поступающего на проветривание рудника, снижению коэффициента полезного действия главной вентиляторной установки, а в худшем – может перевести ГВУ в зону неустойчивой работы, что представляет большую опасность.

Описанный эффект, известный в научной литературе по рудничной вентиляции как эффект водяной пробки, или бланкет-эффект, исследовался ранее только на уровне описания отдельных аварийных ситуаций, связанных с его проявлением в различных подземных рудниках, при этом отсутствовали математические модели, с помощью которых можно было установить закономерности появления и формирования водяной пробки, спрогнозировать степень воздействия водяной пробки на работу главной вентиляторной установки и вентиляцию рудника.

Таким образом, работа, направленная на установление закономерностей формирования и эволюции водяной пробки, а также разработку способов управления капельной влагой для минимизации влияния водяной пробки в вентиляционных стволах на проветривание рудников, имеет важное прикладное значение и является весьма актуальной.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа Колесова Евгения Викторовича представлена в виде рукописи, подготовленной согласно требованиям ВАК Минобрнауки. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников, состоящего из

190 наименований, в том числе 102 зарубежных. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка и 12 таблиц.

Во введении обосновывается выбор темы диссертации, ее актуальность, формулируются цель, идея и задачи исследований, а также научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлено современное состояние изученности темы диссертации. Приведен обзор основных факторов и процессов, лежащих в основе тепломассопереноса в вентиляционных стволах, таких как аэродинамическое сопротивление стволов, теплофизические параметры воздушного потока, поступающего в ствол, теплообмен между крепью ствола, вмещающим породным массивом и проходящим по стволу воздушным потоком. Далее автором был проведен обзор подходов к моделированию процессов тепломассопереноса в подземных горных выработках, и, в частности, в вентиляционных стволах. Автор подчеркивает, что для разработки адекватной модели нестационарных процессов тепломассопереноса в шахтных стволах с учетом различных осложняющих факторов, требуется проведение натурных исследований для параметризации и валидации модели, а также разработка теоретико-экспериментального метода определения коэффициентов теплоотдачи и температуропроводности системы «воздух–крепь–массив». Также проведен обзор существующих работ, посвященных эффекту водяной пробки. Автор указывает, что в существующей научной литературе приведены только качественные оценки влияния водяной пробки на проветривание рудников в конкретных частных случаях, либо предложены упрощенные модели, описывающие взаимодействие капель и воздушного потока в стволе в некоторых предельных случаях.

Во второй главе, посвященной разработке модели нестационарного тепломассопереноса в вентиляционном стволе, приведена ее математическая постановка на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений сохранения массы, импульса и энергии с соответствующими граничными и начальными условиями, для учета движения капель в стволе обосновано применение подхода Лагранжа, для описания турбулентного движения воздушного потока использовалась модель турбулентности SST k - ω с учетом требований к расчетной сетке, шагу по времени и разрешению пограничного слоя. Построена трехмерная численная модель участка вентиляционного ствола с вентиляционным каналом, при этом было проведено исследование чувствительности получаемых решений от величины шероховатости стенок ствола и канала. Отмечается, что для расчетов на разработанной модели требуется уточнение входящих в нее теплофизических параметров, для чего необходимо проведение соответствующих экспериментальных исследований.

В третьей главе установлено, что процессы тепломассопереноса в вентиляционных стволах существенно зависят от режима проветривания рудника. В частности, в штатном режиме существенным является фактор гидростатического охлаждения воздушного потока за счет снижения барометрического давления по мере его движения вверх по стволу, вследствие чего в стволе возможна конденсация влаги, наличие которой может привести к возникновению бланкет-эффекта; в реверсивном режиме основную роль играет теплообмен между воздушным потоком, крепью ствола и окружающим ствол породным массивом. В главе описаны разработанные методики проведения натурных исследований в вентиляционном стволе в обоих режимах проветривания. В вентиляционном стволе ВС-9 рудника «Скалистый» и примыкающих к нему горных выработках натурные исследования проводились в условиях реверсивного проветривания рудника. Предложен метод расчета эффективного коэффициента теплоотдачи между крепью ствола и воздушным потоком, основанный на минимизации невязки экспериментальных данных и результатов решения системы сопряженного теплообмена в стволе в процессе реверсирования воздушного потока. Приводятся результаты натурных исследований процессов тепломассопереноса в вентиляционном стволе ВС-7 рудника «Таймырский» в нормальном режиме проветривания, и определены участки интенсивной конденсации капельной влаги в стволе, создающей предпосылки для возникновения эффекта водяной пробки.

Четвертая глава диссертации посвящена теоретическому исследованию механизмов и сценариев возникновения эффекта водяной пробки в вентиляционных стволах рудников. Первый сценарий появления капельной влаги в стволе – это ее конденсация из исходящего воздушного потока, второй сценарий – это наличие притоков с водоносных горизонтов вследствие негерметичности крепи ствола. Показано, что в обоих сценариях дополнительное аэродинамическое сопротивление ствола обусловлено наличием достаточно большого количества капельной влаги, поддерживаемой и перемещаемой воздушным потоком. При этом учитывается распределение водяных капель по размерам, а также зависимость конечной скорости капель от их размеров, что в свою очередь позволяет определить влияние водяной пробки в терминах избыточной депрессии в стволе в зависимости от скорости воздушного потока. Рассчитаны наиболее опасные с точки зрения формирования водяной пробки диапазоны скоростей воздушного потока в вентиляционном стволе. Также получены зависимости избыточного перепада давления водяной пробки от времени, при этом установлено, что скорость накопления капельной влаги в стволе зависит от высоты расположения источника водопритокков, интенсивности водопритокков и скорости воздушной струи. Представлены результаты трехмерного численного моделирования на представленной во второй главе CFD-модели и проведено

сравнение результатов одномерного и трехмерного анализа эффекта водяной пробки в вентиляционном стволе и области их применимости.

В пятой главе, посвященной разработке способов управления капельной влагой в вентиляционных стволах рудников, сначала приводится анализ влияния эффекта водяной пробки на режим работы главной вентиляторной установки. Отмечается, что изменение рабочей точки ГВУ вследствие бланкет-эффекта существенно зависит от напорной характеристики ГВУ и ее рабочей точки в начальный момент. Далее автором предложены способы управления капельной влагой в стволах проектируемых и эксплуатируемых рудников как для случая возможного обильного конденсационного влаговыделения из исходящей воздушной струи, так и для случая наличия водопритокков в ствол из закрепного пространства. Подчеркивается, что для исключения или существенной минимизации бланкет-эффекта в первую очередь необходимо предусмотреть мероприятия, направленные на уменьшение общего количества попадающей в ствол влаги, а далее необходимо перераспределять воздушные потоки между вентиляционными стволами или регулировать работу ГВУ таким образом, чтобы скорость движения воздушного потока в стволе лежала вне наиболее опасного диапазона по фактору формирования водяной пробки.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы

Рассматриваемая диссертационная работа обладает несомненной научной новизной. Автором разработана трехмерная численная модель нестационарного теплопереноса в воздухе как в многофазной среде, учитывающая вертикальный градиент температурного поля, теплообмен с влажной крепью ствола, водопритокки в ствол и дисперсный состав водяных капель, позволяющая исследовать условия и закономерности формирования водяной пробки в вентиляционных стволах рудников. Для параметризации предложенной модели разработан метод определения эффективного коэффициента теплоотдачи крепи вентиляционного ствола, основанный на минимизации рассогласования данных моделирования и натурных измерений аэротермодинамических параметров воздушной струи и температуры крепи ствола в ходе планового реверсирования главной вентиляторной установки. На основе разработанной модели, параметризованной по результатам натурных исследований, установлены величины избыточного давления водяной пробки в вентиляционном стволе в зависимости от времени, скорости воздушного потока, геометрических параметров ствола, дисперсного состава капельной влаги и параметров источника капельной влаги в стволе. С учетом установленных закономерностей разработаны способы управления капельной влагой в вентиляционных стволах, позволяющие исключить или минимизировать ее накопление и

уменьшить ее негативное влияние на работу ГВУ путем уменьшения количества попадающей в ствол воды и перераспределения воздушных потоков, обеспечивающего скорость движения воздушной струи в стволе вне опасного диапазона.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Соискателем вынесено на защиту три научных положения, которые раскрываются и обосновываются в 2–5 главах диссертации. Выводы и рекомендации информативны, основаны на полученных в работе результатах натурных экспериментов и теоретических исследований. Результаты исследований, выводы и рекомендации докладывались на многочисленных научных конференциях, а также опубликованы в 6 печатных работах, индексируемых в базах данных Scopus и WoS, в том числе 5 из них – в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России.

Достоверность научных положений и выводов подтверждена достаточно большим объемом натурных исследований в условиях подземных рудников, положительными результатами верификации и валидации предложенных математических моделей, а также сопоставимостью полученных результатов одномерных аналитических и трехмерных численных моделей с результатами других авторов, проводивших исследования в области влияния капельной влаги на вентиляцию рудников.

Замечания и вопросы по содержанию и оформлению диссертации

1. В разделе 3.2.3 диссертации в методе расчета коэффициента теплоотдачи и температуропроводности системы «воздух–крепь–массив» при реверсировании воздушного потока отсутствует учет тепла, запасенного армированием ствола, которое передается холодному воздуху реверсированного воздушного потока. Делалась ли оценка вклада этого источника тепла в общий процесс теплопереноса?

2. В главе 4 при расчете влияния водяной пробки с целью учета дисперсного состава капель вводится распределение капель по диаметрам, при этом предложено на выбор 5 различных распределений, выведенных различными авторами. Какое из этих распределений в наибольшей степени соответствует условиям шахтных стволов?

3. В главе 4 при расчете избыточного перепада давления водяной пробки за счет водопритоков принято, что вся вода из закрепного пространства попадает в воздушное пространство ствола в виде капель, однако вполне возможно, что часть влаги будет стекать по стенкам ствола. Исследовалось ли, какая доля воды стекает по стенкам, не внося вклад в водяную пробку?

4. Из текста диссертации неясно, в какой мере наличие в стволе армирования и подъемных сосудов влияют на формирование водяной пробки.

5. В пятой главе при расчете влияния водяной пробки в вентиляционном стволе на ГВУ принималось, что на руднике применяется всасывающий способ проветривания. Насколько будет справедлив подобный расчет в случае применения нагнетательного способа проветривания?

Стоит отметить, что отмеченные замечания не умаляют научные достижения соискателя и не снижают значимости представленной диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Колесова Евгения Викторовича «Разработка способов управления капельной влагой в вентиляционных стволах рудников», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития рудничной вентиляции.

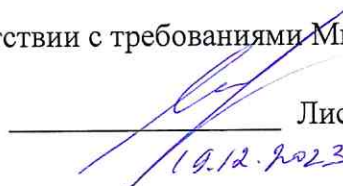
Актуальность темы исследования, а также новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов свидетельствуют о соответствии диссертации требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства России от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Колесов Евгений Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Доцент кафедры
безопасности жизнедеятельности
канд. техн. наук


Лискова Мария Юрьевна
19.12.2023

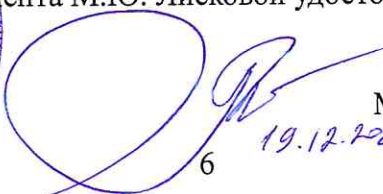
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Комсомольский проспект, 29; +7 (342) 2-198-482; Liskova.rpb@gmail.com.

Я, Лискова Мария Юрьевна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета ПФИЦ УрО РАН, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.


Лискова Мария Юрьевна
19.12.2023

Подпись официального оппонента М.Ю. Лисковой удостоверяю
Ученый секретарь
Ученого совета ПФИЦУ




Макаревич Владимир Иванович
19.12.2023
6