

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 520.063.03 НА БАЗЕ
АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВОСТНИИ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ГОРНОЙ ОТРАСЛИ» ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.10.2020 г. Протокол № 17

О присуждении Ботвенко Денису Вячеславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методологические основы прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах» по специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность)», принята к защите 26.06.2020 (протокол заседания № 7) диссертационным советом Д 520.063.03 на базе акционерного общества «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» (АО «НЦ ВостНИИ») (650002, Российская Федерация, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Институтская, 3, Приказ Минобрнауки № 933/нк от 28.09.2017 г.).

Соискатель Ботвенко Денис Вячеславович, 1981 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка методики оценки и классификации фрикционной опасности горных пород» защитил в 2004 году в диссертационном совете, созданном на базе ОАО «Научный центр по безопасности работ в угольной промышленности ВостНИИ» (диплом КТ № 154161 от 10.06.2005).

Работает начальником отдела проектирования горных производств в акционерном обществе «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли».

Диссертация выполнена в акционерном обществе «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли».

Научный консультант – доктор технических наук Казанцев Владимир Георгиевич, директор общества с ограниченной ответственностью «Промышленная безопасность».

Официальные оппоненты: Фрянов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехнологии Института горного дела и геосистем ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»; Громов Александр Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Инжинирингового центра быстрого промышленного прототипирования высокой сложности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет

«МИСиС»; Стрижак Павел Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, в своем положительном заключении, подписанном Воротилиным Михаилом Сергеевичем, доктором технических наук, доцентом, проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», указала, что работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Ботвенко Денис Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность).

Соискатель имеет 23 опубликованные работы по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, – 22 работы, и 3 патента на изобретения.

Опубликованные работы полностью соответствуют теме диссертационного исследования. В работах выявлены проблемы, поставлены цели, сформулированы задачи, приведены результаты по совершенствованию промышленной безопасности на угольных шахтах.

Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составляет около 18,6 печатных листов, авторский вклад достигает 60 %.

Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Ботвенко Д.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния горных пород на базе деформационной теории пластичности / Д.В. Ботвенко, В.Г. Казанцев // Уголь. – 2019. – № 4 (1117). – С. 86–91.

2. Ботвенко Д.В. Управление состоянием массива у круговых выработок с учетом нелинейно-упругого поведения горных пород / Д.В. Ботвенко, В.Г. Казанцев, Ли Хи Ун // Уголь. – 2019. – № 2 (1115). – С. 31–36.

3. Ботвенко Д.В. Особенности применения порошковых устройств автономной взрывозащиты горных выработок / Д.В. Ботвенко, В.Г. Казанцев, С.И. Голоскоков // Уголь. – 2019. – № 6 (1119). – С. 52–58.

4. Ботвенко Д.В. Исследование возможности и причин искрообразования при деформировании и разрушении горных пород / Д.В. Ботвенко, В.Б. Попов, А.М. Ермолаев, В.Г. Казанцев // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 10. – С. 60–64.

5. Ботвенко Д.В. Исследование пьезоэлектрического эффекта горных пород / Д.В. Ботвенко, М.С. Сазонов, В.Г. Казанцев, В.В. Высоцкий // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 49–55.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: выпускающей организации АО «НЦ ВостНИИ» (заключение), ведущей организации, официальных оппонентов, научного консультанта, ООО «Геотехнология-Взрывозащита (г. Люберцы), НИТУ «МИСиС» (г. Москва), АО «СУЭК-Кузбасс» (г. Ленинск-Кузнецкий), ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (г. Москва), НАЦОТ (г. Москва), ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь), ФГБУН «ИГиЛ СО РАН» (г. Новосибирск), ПАО «Южный Кузбасс» (г. Междуреченск), ФГБОУ ВО БТИ АлтГТУ (г. Бийск), ООО «Управляющая компания «Талдинская» (г. Москва), ООО «Распадская угольная компания» (г. Новокузнецк), ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» (г. Кемерово), ФГБУН «ИГД СО РАН» (г. Новосибирск).

Все отзывы положительные, раскрывают актуальность, научную новизну, значимость для науки и производства, важное прикладное значение; авторы указывают достоинства работы и высказывают ряд критических замечаний, таких как:

- использование готовых программных решений для моделирования нестационарных физических процессов вместо самостоятельной разработки программного кода;

- очевидно, что размер пылевой завесы зависит от размера метановоздушной смеси, а тонкая пленка с предлагаемым количеством гасящего порошка ($0,82 \text{ кг/м}^2$), нанесенного на ее поверхность, никогда не подавит фронт распространяющегося по штреку пламени;

- недостаточно описаны результаты внедрения устройства динамической автономной взрывозащиты. В автореферате не приведена текущая стадия внедрения разработанного устройства импульсного действия, предназначенного для защиты пространства атмосферы горных выработок от взрывного горения рудничных газов путем флегматизации пространства;

- на с. 13 автореферата в уравнении нестационарной теплопроводности участвуют координаты x и y , при этом координата x изменяется от 0 до бесконечности, а координата $y = 0$, выражая этим бесконечно тонкий слой пород. Такая постановка задачи носит искусственный и абстрактный характер, не имеющий прямого отношения к сложным теплофизическим процессам, происходящим в недрах углепородного массива при ведении очистных работ;

- не представлена, в полной мере, методика оценки пьезоэлектрической опасности горного массива по классификации вмещающих пород и угля;

- при разрушении пород образуются трещины, на берегах трещин появляются новые поверхности горного массива. Следовательно, для образования трещин нужна дополнительная энергия на новых поверхностях. Однако в уравнениях, приведенных в автореферате, эта дополнительная энергия не учитывается.

В отзывах отмечены ошибки и неудачные формулировки, допущенные автором.

На замечания соискатель в процессе защиты дал аргументированные ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тематикой выполняемых исследований, соответствующей специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность)», их широкой известностью достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана научная концепция и научно обоснованы принципы районирования техногенно опасных зон углепородного массива у выработок, базирующиеся на численных процедурах оценки общего геомеханического состояния массива пород, на процедурах образования одного или нескольких фронтов разрушений массива у выработок, развивающихся во времени, на моделировании термомеханического фрикционного отклика динамически взаимодействующих разрушаемых и разрушенных частей пород, а также на экспериментальном установлении потенциальной фрикционной пожаро- и взрывоопасности вмещающих пород в лабораторных условиях, по специально разработанным методикам, позволившим выявить и установить качественно новые закономерности трения, касающиеся фазовых превращений в пятнах контакта и структуры поверхности пятен;

- предложен, обоснован и апробирован нетрадиционный подход к описанию сложных реологических свойств горных пород, заключающийся в замене определяющих соотношений связи напряжений с деформациями экспериментальными диаграммами деформирования, приближающий модель деформирования массива к эмпирической модели;

- доказана возможность вспышек и взрывов рудничных газов вследствие разрушения горных пород из-за локальных искусственных тектонических сдвижений массива вблизи горных выработок, вызванных действием гравитационного давления, в том числе при ведении горных работ, показана перспективность предложенных автором научных подходов, определяющих совокупность необходимых внешних условий, инициирующих вспышки и взрывы рудничных газов;

- введены в рассмотрение и обоснованы значения критических величин воспламенения метановоздушных смесей – минимальный температурно-временной и энергетический порог воспламенения смесей взрывоопасной концентрации, а также введено понятие для минимального критического объема смеси газов способного к возгоранию;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказаны научные положения, формирующие новое научное знание в части обеспечения пожарной и промышленной безопасности угольных шахт, основу которых составляют теоретические и лабораторные эксперименты, устанавливающие влияние трибологических и электродинамических эффектов на воспламенение взрывчатой концентрации смеси углеводородов с воздухом при разрушении горных пород;

- применительно к проблематике диссертации результативно использован обладающий научной новизной комплекс программ ANSYS/MECANICAL, дополненный процедурами

(макросами), командные файлы написаны автором на языке параметрического программирования ANSYS APDL и включают в себя макросы формирования физико-механической модели массива FMP (Formation of the Mechanical Properties), восстановления диаграмм деформирования SDR (Strain Diagram Recovery); макросы кинетики накопления повреждений KAD (Kinetics of Accumulation of Damages); макросы линейаризации функционалов энергии при решении задач теории малых упругопластических деформаций и теории старения SBM (Solution Birger Method), другие макросы;

- изложены доказательства влияния физико-механических и теплофизических свойств разрушенных динамических взаимодействующих частей горных пород на их способность к зажиганию рудничных газов;

- раскрыты проблемы несоответствия гипотезы малых упругопластических деформаций о единой кривой деформирования материала с действительно реализующимися физико-механическими свойствами угля и вмещающих пород, в которых вид диаграмм зависит от уровня действующих главных напряжений в каждом из рассматриваемых элементарных объемов массива. Выход из тупика найден с использованием специально разработанных конечно элементных численных процедур, позволивших восстановить диаграммы деформирования в каждом из элементарных объемов массива, на базе испытаний образцов пород по схеме Кармана с учетом критерия прочности Кулона-Мора.

- изучены причинно-следственные связи между гравитационной составляющей горного давления, физико-механическими свойствами горных пород с трибологическими и пьезоэлектрическими эффектами с точки зрения возможности воспламенения метановоздушных смесей при разрушении массива;

- изучены и установлены признаки и характер воспламенения рудничных газов путем превентивного контроля фрикционной опасности вмещающих пород в лабораторных условиях;

- проведена модернизация комплекса программ ANSYS/MECHANICAL в соответствии со спецификой проблем геомеханики;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны и внедрены методика испытаний и лабораторная установка роторного типа по определению фрикционной опасности горных пород и режущего инструмента; предложено устройство импульсного действия для флегматизации пространства атмосферы горных выработок газопорошковой смесью (устройство динамической автономной взрывозащиты);

- определена возможность воспламенения метановоздушной смеси взрывчатой концентрации в результате фрикционного динамического контакта горных пород при выполнении следующих условий: минимальный объем прогреваемой смеси, необходимый для зажигания метановоздушной смеси взрывоопасной концентрации должен составлять не менее $9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$; минимальная величина энергии воспламенения метановоздушной смеси

взрывчатой концентрации соответствует значению 0,287 мДж при минимальной длительности температурного воздействия, равной 0,11 мс; минимальная средняя температура пятна контакта, необходимая для вспышки метановоздушной смеси составляет не менее 746°C;

– для средних значений теплофизических и механических характеристик кварцитов и давлении между образцами не менее 18 % от величины предела прочности породы при пути трения образцов, равном 0,03 м, средняя скорость взаимного смещения образцов, необходимая для воспламенения МВС, составляет не менее 7,2 м/с, при пути трения 0,06 м скорость смещения образцов составляет не менее 6,2 м/с, при пути трения 0,09 м скорость взаимного смещения составляет не менее 4,7 м/с;

– созданные в диссертации численные алгоритмы для ЭВМ могут быть использованы при сопровождении горных работ, для районирования опасных в фрикционном отношении зон массива у обнажений, выработок и очистных забоев;

– аналитические решения задач о нелинейно-упругом деформировании горных пород у круговых выработок могут быть использованы при выборе крепи, для верификации вновь разрабатываемых численных алгоритмов и программ, а также в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов;

– представлены предложения для производственного контроля степени фрикционной опасности горных пород в следующие нормативные документы: «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах»; «Методические рекомендации по проведению экспертных работ при расследовании технических причин аварий в угольных шахтах»; Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах».

Результаты работы рекомендованы к использованию на предприятиях угольной отрасли (в том числе на шахтах угольных компаний СУЭК, Распадская, Южный Кузбасс и др.), а также для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях горного профиля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– для экспериментальных работ рассогласование длины первичных обрушений нависающей кровли углепородного массива у очистного забоя пласта Бреевского № 1735 шахты «Комсомолец» АО «СУЭК-Кузбасс» с соответствующими результатами теоретического прогноза достигает 20 % относительной ошибки; рассогласование лабораторных испытаний воспламенения метановоздушных смесей по времени фрикционного трения между образцами горных пород и размерам пятен контактов между образцами с соответствующими результатами теоретического прогноза достигает 15 % относительной ошибки;

– полученные автором теоретические положения в виде пошагового решения соответствующих задач накопления повреждений в углепородном массиве позволяют

рассмотреть процедуру дискретного процесса разрушения горных пород, основаны на работах С.А. Аррениуса, С.Н. Журкова, Л.М. Качанова;

- идея базируется на установлении и устранении техногенных опасностей выявленных по результатам аварий, возникающих в массиве горных пород у выработок, способных вызвать вспышки и взрывное горение метановоздушных смесей;

- используемые разработанные численные методы расчетов горного давления у обнажений в результате верификации с аналитическими решениями показывают расхождение не более 1 % относительной погрешности для случая линейно-упругого поведения массива пород и не более 3 % для случая нелинейно-упругого деформирования массива;

- результаты верификации разработанных процедур расчета накопления хаотических повреждений в массиве пород с экспериментальными данными о разрушении пластины из гипса показали относительную погрешность глубины зоны разрушения пластины не превышающую 16 %;

- при сопровождении горных работ по выемке угля из лавы № 1735 шахты «Комсомолец» прогнозируемый первичный шаг обрушения составил 25–30 метров нависающего свода, в то время как шахтные наблюдения свидетельствовали о величине первичного шага обрушения, составившего 35 метров;

- установлены в ходе проведения теоретических и экспериментальных исследований объем прогретой смеси для зажигания метановоздушной смеси взрывоопасной концентрации, минимальная энергия воспламенения метановоздушной смеси взрывчатой концентрации, минимальная длительности действия прогрева, количество огнетушащего вещества, необходимого для локализации очага горения по площади и в объеме; полученные результаты согласуются с исследованиями других авторов;

Личный вклад соискателя состоит

- в проведении статистического анализа фрикционной опасности горных пород угольных шахт при ведении горных работ, причин вспышек метановоздушных смесей, анализе существующей нормативной правовой базы и методик по контролю за обеспечением фрикционной безопасности;

- в разработке математических моделей и программного обеспечения для решения задач нелинейной теории упругости и вязкоупругости о проявлениях горного давления на ЭВМ в двумерной и трехмерной постановках, определяющих адресность возникновения и развития фронтов разрушения (трещинообразования);

- в разработке математических моделей и программного обеспечения для решений задач нестационарной теплопроводности о проявлениях трибологических эффектов в горных породах на ЭВМ в одномерной и двумерной постановках;

- в разработке методики и экспериментально-теоретическом обосновании пьезоэлектрического эффекта кварцесодержащих горных пород как источника возникновения разноименных электрических зарядов на берегах зарождающихся и

развивающихся трещин, являющихся одной из причин вспышек метановоздушной смеси в результате реализации разрядного напряжения;

- в разработке методики контроля фрикционных свойств материалов горных пород по параметрам пожарной и фрикционной опасности в лабораторных условиях и установки для осуществления такого контроля;

- в разработке предложений в нормативные документы Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах», «Методические рекомендации по проведению экспертных работ при расследовании технических причин аварий в угольных шахтах»;

- в разработке устройства динамической автономной взрывозащиты и рекомендаций по подавлению и локализации взрывного горения рудничных газов в горных выработках;

- в подготовке 23 публикаций по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, – 22 работы, и 3 патента на изобретения.

На заседании 16 октября 2020 года диссертационный совет принял решение:

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований в области трибологических и электродинамических процессов и особенностей их проявлений при разрушении массива горных пород решена крупная научно-техническая проблема, имеющая важное социально-экономическое значение, – повышение промышленной безопасности предприятий угольной отрасли путем разработки методологических основ контроля и прогноза фрикционных и электроразрядных воспламенений рудничных газов, а также разработки способов предупреждения и локализации взрывного горения метановоздушных смесей в горных выработках.

2. Диссертация отвечает пунктам 3, 5, 6, 15 паспорта специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность)» в части обоснования трибологических и электрических проявлений, возникающих при разрушении горного массива, разработки методологии прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов на угольных шахтах на основе изучения техногенных опасностей, возникающих у выработок в зонах обнажений вследствие изменения геомеханического состояния в углепородном массиве, и соответствует требованиям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней».

3. Присудить Ботвенко Денису Вячеславовичу ученую степень доктора технических наук по специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность)».

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 09 докторов наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой

диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, проголосовали: за – 17, против – 0, воздержались – 0.

Зам. председателя

диссертационного совета Д 520.063.03,

доктор технических наук, профессор



Иванов Вадим Васильевич

И.о. ученого секретаря

диссертационного совета Д 520.063.03,

доктор технических наук, профессор



Прокопенко Сергей Артурович

16 октября 2020 г.