

В Диссертационный Совет Д 520.063.03
при АО «Научный центр ВостНИИ по
промышленной и экологической
безопасности в горной отрасли»

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Ботвенко Дениса Вячеславовича «Методологические основы прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность).

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованных источников из 223 наименований, приложения, выполнена на 415 страницах текста, включающего 104 рисунка, 31 таблицу.

Актуальность избранной темы исследований

Тема диссертационного исследования, посвященная решению научно-технической проблемы – разработка методологических основ прогноза предпосылок возникновения взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород, имеет существенное значение для страны. Актуальность полученных результатов исследований подтверждается возможностью их использования при выполнении технических аудитов промышленной безопасности и прогнозе уровня фрикционной опасности горных пород в широком диапазоне горно-геологических условий угольных шахт. Внедрение разработанной соискателем методологической базы для анализа механического поведения углепородного массива и прогноза опасных техногенных явлений в виде вспышек и взрывного горения рудничного газа обеспечит риск возникновения аварий и инцидентов не только ниже приемлемого риска, но и научное сопровождение горных работ посредством оценки околокритических и критических состояний конструктивных элементов геотехнологии и оперативного принятия управляющих решений.

Результаты исследований можно рекомендовать для широкого внедрения на угольных шахтах России, что также подтверждает актуальность диссертационного исследования.

Идея работы, заключающаяся в синтезе трибологических и электрических проявлений свойств разрушающихся горных пород для

выявления причин и признаков воспламенения рудничного газа посредством превентивного мониторинга фрикционной опасности вмещающих пород, является оригинальной, так как синтезирует результаты новых экспериментально-теоретических исследований в области прогноза и профилактики взрывного горения рудничных газов в горных выработках, а реализация идеи позволяет развивать новые направления в горном деле по локализации взрывного горения рудничных газов.

Методы исследования оцениваются как соответствующие теме и научным задачам исследования, выгодно отличаются как полнотой, так и глубиной экспериментов и методами обработки их результатов, в том числе с использованием результатов лабораторных и шахтных экспериментов, математического анализа и алгоритмов численного моделирования взаимодействующих геомеханических, теплофизических и термодинамических процессов в углепородном массиве.

Анализ содержания диссертации

В первой главе соискатель провёл оценку эффективности существующих методов и технических средств оценки негативных видов техногенных проявлений на угольных шахтах. Обобщены отечественный и зарубежный опыт и направления исследований механизмов инициирования вспышек и возгорания рудничного газа в горных выработках угольных шахт. Установлено (стр.23-24 диссертации), что в настоящее время отсутствуют: единая методология оценки фрикционной опасности при взаимодействии горных пород; эффективные методы оценки влияния горного давления на трещинообразование и накопление повреждений в массиве горных пород; единые мнения о природе накопления электрических зарядов на берегах трещин. Основное направление решения указанных научно-практических задач предложено соискателем и состоит в разработке методологических основ прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах. Это направление соискатель обосновал в виде цели и задач исследований.

В целом следует отметить, что, несмотря на использование обширного перечня первоисточников, следовало бы изложить известные методы и способы прогноза и эффективность локализации вспышек и горения рудничного газа реферативно, так как объём первой главы составляет 65 страниц, то есть почти 16% всей диссертации.

Вторая глава посвящена моделированию фрикционного воспламенения рудничных газов в горных выработках. Решены одномерная и

двумерная задачи теплопроводности для предельного деформирования контактных пор. Рассмотрено влияние двух источников тепла: за счёт растрескивания породного слоя и работы сил трения. Применение метода конечных элементов с использованием комплекса программ ANSYS/MECANICEL обеспечивает решение поставленной задачи выявления вида связи нестационарной теплопроводности и упругости. Точность решения задач обеспечивается корректировкой источника тепла на каждом временном шаге итерационного процесса.

Полученные во второй главе результаты аналитических исследований и вычислительных экспериментов подтверждают решение второй и четвёртой задач, поставленных в диссертации.

В третьей главе разработаны методические основы анализа процессов деформирования структурно неоднородного углепородного геомассива. Функциональные связи между напряжениями и деформациями горных пород приняты на основе классических уравнений теории упругости и пластичности, что допустимо для рассматриваемого в диссертации объекта исследований - углепородного массива.

В качестве функциональных связей напряжений и деформаций пород рассмотрены диаграммы линейного и нелинейного деформирования, что допустимо для отдельных локальных областей массива горных пород при применении метода конечных элементов. Использование фундаментальных зависимостей Г. Генки и А.А. Ильюшина интенсивности напряжений и деформаций для преобразования к виду, совпадающему с обобщённым законом Гука, для решения прикладных задач в горном деле возможно. В качестве оригинальности методического подхода учёта формы и параметров диаграммы деформирования горных пород следует отметить оценку соответствия вариантов нелинейных диаграммы деформирования соотношению напряжений и деформаций в конечных элементах на каждом шаге итерации. Для ускорения сходимости результатов расчётов с другими методами линеаризации использован метод переменных параметров И.А. Биргера, эффективность которого подтверждена при решении конкретных задач горной геомеханики.

Уточнение диаграмм деформирования горных пород по паспорту прочности Кулона-Мора позволяет учесть объёмное напряжённо-деформированное состояние массива горных пород, такое сочетание паспорта прочности и диаграмм деформирования обладает элементами новизны и рекомендуется для широкого применения в горной практике.

Учёт скорости обработки угольных пластов посредством функции времени обеспечивает учёт ползучести горных пород, корректировку диаграмм деформирования при итерационном процессе, и прогноз кинетики разрушения горных пород. Для расчёта параметров кинетики разрушения пород соискатель предложил степенную зависимость скорости роста повреждённости массива. Зависимость разработана впервые. Таким образом в целом в третьей главе разработана и рекомендована для реализации на практике численного моделирования методика расчёта эволюции напряжённо—деформированного состояния массива горных пород при разных режимах его нагружения.

В четвёртой главе приведены результаты исследований влияния ударного взаимодействия пород на изменение температуры поверхностей контакта и вероятности воспламенения метановоздушной смеси. В качестве критерия достаточности зажигания метановоздушной смеси принято условие предельной энергии искры для разогрева объёма метана до адиабатической температуры воспламенения, что соответствует принципу воспламенения, обоснованного Я.Б. Зельдовичем. Для определения количества тепла, необходимого для нагрева и воспламенения метана в смеси с воздухом в диссертации предложена зависимость, согласно которой количество тепла при стандартных атмосферных условиях равно 0,287 мДж, что не противоречит экспертным оценкам, представленным в диссертации.

Заслуживают внимания результаты моделирования вероятности воспламенения метановоздушной смеси при совместном влиянии теплофизических и механических характеристик. Выявленные линейные зависимости источника тепла от скорости взаимного смещения породных блоков позволяют определить скорости, при которых происходит воспламенения метановоздушной смеси. Такие зависимости получены впервые.

В пятой главе изучены предельное состояние геомассива для прогноза очагов зарождения вспышек. Для этого разработана модель массива горных пород для конкретных условий действующей шахты «Комсомолец» в Кузбассе. Результаты моделирования в линейно-упругой постановке позволили соискателю установить основные параметры опорного горного давления, форму и размеры зон повреждения пород кровли и пласта при разных режимах движения и пространственного положения очистного забоя.

Соискатель подтвердил установленный на практике факт, что наиболее интенсивно разрушение пород происходит в первое время после обнажения

кровли, а потом процесс затухает, то есть доказана достоверность результатов исследований.

В шестой главе подтверждены результаты теоретических исследований и численного эксперимента методом конечных элементов посредством сравнения выводов, полученных по итогам проведённых соискателем лабораторных опытов. Доказано, что вспышки метана возможны при содержании в породе диоксида кремния более 60 % и крепости пород более 6 по шкале проф. М.М. Протоdjаконова. Установлен средний уровень температуры $T=746^{\circ}\text{C}$ породного блока до воспламенения метановоздушной смеси.

В диссертации выдвинута гипотеза возникновения температурного импульса под влиянием пьезоэлектрического эффекта, вырабатывающего электрический заряд мощности, достаточной для воспламенения метановоздушной смеси. Этот эффект подтверждён в диссертации при статическом и динамическом нагружении образцов горных пород. Полученные результаты позволяют раскрыть природу и объяснить условия возникновения искрового разряда в трещинах при изменении температуры, давления пород и газов, величины раскрытия дефекта.

В седьмой главе разработаны рекомендации по подавлению и локализации фрикционного и электродинамического воспламенения пылевоздушных смесей при разрушении горных пород в окрестности выработок угольных шахт. Рекомендации разработаны по результатам решения поставленных в диссертации задач и подтверждают что все задачи решены в полном объёме.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Первое научное положение, защищаемое в диссертации, связано с разработкой методики экспериментально-теоретического моделирования деформирования и разрушения горных пород. Автор обосновал и реализовал адаптивный для объекта исследований методический подход изучения трибологических и электроразрядных напряжений, обеспечивающий решение связанных задач теплопроводности и упругости горных пород. Результаты решения указанных задач подтверждены в лабораторных условиях. Применение численных методов для решения указанных задач

обеспечивает получение результатов, адекватных заявленным в научном положении.

Второе научное положение, посвящённое выявлению местоположения опасных зон, в которых возможно воспламенение метановоздушной смеси, регламентирует очаги опасных зон и наличие нескольких фронтов развивающихся во времени разрушений краевой части пласта.

В третьем научном положении определены область и условия возникновения вспышек, возгорания и взрывов метановоздушной смеси: техногенный характер разрушения пород, динамическое фрикционное взаимодействие породных блоков, разноименные электрические заряды на берегах трещин, пьезоэлектрический эффект. Указанные условия являются традиционными в зонах влияния горных выработок и могут быть использованы на шахтах для профилактики взрывов метановоздушной смеси.

В четвёртом научном положении вынесена на защиту методика оценки в лабораторных условиях степени фрикционной опасности кварцесодержащих горных пород. Выявленное явление упрочнения пород на контакте соседних блоков позволяет на этапе разработки проектной документации прогнозировать степень фрикционной опасности.

В пятом научном положении доказана возможность локализации и подавления взрывного горения рудничных газов посредством создания противодействия на встречный фронт ударной волны с помощью заряда порошковой смеси. Это научное положение является основой для создания на шахтах автономной взрывозащиты, работающей в автоматическом режиме.

Анализ степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, позволяет утверждать, что научные положения, выводы и рекомендации подтверждены результатами современных лабораторных, теоретических и аналитических методов исследований. Исследования проведены в объеме, достаточном для обоснования научных выводов и рекомендаций. Результаты исследований подтверждаются использованием их в нормах и правилах в области промышленной безопасности, утверждённых в установленном порядке Федеральной службой по экологическому и атомному надзору.

Оценка новизны и достоверности научных результатов

Новизна результатов заключается в развитии научных основ интеграции геомеханических и термомеханических процессов,

предразрушения и разрушения пород, фрикционного взаимодействия породных блоков и метановоздушной смеси. Установленные по результатам исследований предельные значения возникновения взрывов метановоздушной смеси: взрывоопасная концентрация объёма прогретой смеси $9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$, минимальная энергия воспламенения метановоздушной смеси 0,287 мДж, минимальная длительность прогрева 110 мкс получены впервые и могут быть использованы для экспертизы проектной документации и при расследовании причин аварий и инцидентов.

Новыми являются термодинамические свойства взаимодействующих пород в пределах пятна контакта, в том числе средняя температура 746°C , скорость взаимного смещения породных блоков не менее 7,2 м/с, предельные пути трения блоков при разной скорости взаимного смещения.

Выявленное влияние и условия возникновения пьезоэлектрического эффекта на берегах зарождающихся трещин получены впервые.

Новизна результатов исследований подтверждена в трёх патентах, полученных с участием соискателя.

Значимость результатов для науки и производства, полученных соискателем, состоит в алгоритмическом и программном обеспечении для расчёта параметров напряжённо-деформированного состояния массива горных пород, позволяющих прогнозировать околокритические и критические состояния конструктивных элементов подземных выработок; возможности использования разработанных методик для уточнения свойств пород при фрикционном взаимодействии породных блоков; подтверждение практической ценности результатов исследований использованием их в 3 нормативных документах в области промышленной безопасности, утверждённых в установленном порядке Федеральной службой по экологическому и атомному надзору.

Личный вклад автора подтверждается содержанием диссертации, объемом и оригинальностью проведенных теоретических и аналитических исследований, новизной полученных результатов и обоснованными по этим результатам научными положениями, а также содержанием публикаций по теме диссертации. Анализ указанных источников свидетельствует о научной зрелости Ботвенко Дениса Вячеславовича как ученого, обладающего знаниями, соответствующими степени доктора технических наук, способного на высоком уровне решать сложные проблемы создания методологических основ прогноза предпосылок возникновения взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород.

Апробация результатов работы проведена в объеме, достаточном для ознакомления широкой научной общественности с основными научными положениями и результатами, что подтверждается докладами на представительных семинарах и конференциях.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Научная общественность и специалисты горного направления имеют возможность ознакомиться с постановками, методологическими основами и результатами исследований Ботвенко Д. В. посредством изучения 23 опубликованных научных работ в научных изданиях, в том числе 22 рекомендуемых ВАК РФ. В автореферате в достаточной степени изложены основные идеи и выводы диссертации, показаны вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Предмет и объект исследований соответствуют паспорту специальности 05.26.03 Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность), 3, 5, 6 области исследований.

Содержание диссертации полностью раскрыто в публикациях, а автореферат отражает основное содержание диссертации.

Замечания

Положительно оценивая и отмечая несомненную практическую и научную значимость и полезность выполненной диссертации, необходимо сделать следующие замечания:

1. Отсутствует связь между алгоритмом решения нестационарного уравнения теплопроводности (стр.175-179) и решением на стр. 176 уравнения (А.1), представленного в Приложении на стр.407.
2. Не указаны первоисточники о характеристиках пород, указанных в таблице 4.5, на стр. 185 диссертации.
3. Часть выводов в главе 4 обоснована не по результатам исследований а экспертно, тогда не ясно зачем проводились исследования в этой главе?
4. Не указана размерность величин на рисунках 5.10, 5.16.
5. Следовало бы изложить известные методы и способы прогноза и эффективность локализации вспышек и горения рудничного газа реферативно, так как объём первой главы составляет 65 страниц, то есть почти 16% всей диссертации.

6. Используются единицы измерения параметров горных пород, не соответствующие системе СИ (стр. 187, 209).
7. На стр. 202 не указан физический смысл величины «а».
8. В п.5.5 диссертации при моделировании разрушения горных пород не указан критерий дезинтеграции и повреждения массива.
9. Из диссертации (стр. 36 и далее) не ясно, какие критерии приняты при оценке докритического, околокритического, критического и запредельного состояния горных пород?
10. Ссылка [7] на стр. 24, 25 диссертации на нормативный документ не соответствует содержанию, так как это кандидатская диссертация. Ссылка на работы Ж.С. Ержанова [3] не корректная, так как это диссертация В.Г. Казанцева. В номерах [131] и [178] списка литературы указан один и тот же первоисточник. Некорректная ссылка на таблицу 4 на стр. 173 диссертации, так она приведена в виде таблицы 4.4 на стр. 174.
11. Выявлены следующие неточности терминов, определений и несоответствий в тексте диссертации: знаки пунктуации на стр. 42,192,193,388 и др., стилистические и грамматические ошибки на стр.34,202,204.

По автореферату замечаний нет.

Заключение

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой приведена методологическая база для анализа механического поведения углепородного массива и прогноза опасных техногенных явлений в виде вспышек и взрывного горения рудничного газа. Использование результатов исследований обеспечит снижение риска возникновения аварий и инцидентов, научное сопровождение горных работ посредством оценки околокритических и критических состояний конструктивных элементов геотехнологии и оперативного принятия управляющих решений.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Ботвенко Денис Вячеславович, заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность) за разработку методологической основы прогноза

и локализации рудничных газов, внедрение полученных результатов исследований вносит значительный вклад в развитие страны.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой геотехнологии
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования
«Сибирский государственный
индустриальный университет»



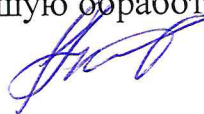
Фрянов В. Н.

Фрянов Виктор Николаевич. 654057, г. Новокузнецк, пр. Бардина, 25,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирский государственный индустриальный
университет», кафедра геотехнологии. Тел. 8-961-705-30-75 E-mail:
fryanov@sibsiu.ru

Шифр и наименование научной специальности 25.00.22 -
«Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Я, Фрянов Виктор Николаевич, автор отзыва, даю согласие на
включение своих персональных данных в документы, связанные с работой
диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 08 » 09 2020 г.



Фрянов В. Н.

Подпись Фрянова В.Н. удостоверяю:

Начальник отдела кадров
ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный индустриальный
университет»



Миронова Т.А.