



Проректор по научной работе
докт. техн. наук, доцент
Боротилин Михаил Сергеевич

15 сентября 2020 г.

ведущей организации на диссертационную работу **Ботвенко Дениса Вячеславовича** «Методологические основы прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность)

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

Исследования, изложенные в диссертационной работе Д.В. Ботвенко, представляют собой решение комплекса важных научно-технических проблем:

- установление причин возникновения взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород;
- разработки методологии прогноза взрывного горения углеводородных смесей в горных выработках;
- разработки способов предупреждения, устройств локализации и подавления распространения горения и воздушных ударных волн по системе горных выработок, когда авария переходит в неуправляемое состояние, без присутствия человека.

Актуальность полученных результатов исследований подтверждается их использованием при выполнении технических аудитов промышленной безопасности горного производства, приобретает особенное значение с увеличением интенсификации ведения горных работ.

Результаты исследований Д.В. Ботвенко, разработанная им методологическая база прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов нашла

применение в соответствующих разделах методик оценки степени фрикционной опасности горных пород, имеющих статус нормативных документов.

Разработанная соискателем методическая база анализа механического поведения углепородного массива рекомендуется в качестве научного сопровождения при ведении горных работ как с точки зрения прогноза устойчивости выработок и целиков, для оценок состояния горного массива, а также для оперативного принятия решений по его управлению с целью минимизации рисков возникновения техногенных катастроф.

Внедрение разработанных соискателем методов и средств борьбы с техногенными негативными проявлениями сопровождающимися вспышками, возгораниями и взрывами метановоздушных смесей, несомненно, имеет важное социально-экономическое значение для угольной промышленности и страны в целом.

2. Новизна научных положений, полученных результатов, выводов и рекомендаций

Научная новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается следующим:

1. В рамках лабораторных экспериментов в сочетании с теоретическим анализом установлены причины, параметры и критерии воспламенения метановоздушной среды при трении породы о породу, включающие ряд не учитываемых ранее признаков:

- причина вспышек и возгораний пылеметановоздушных смесей с изначально достаточно низким содержанием кремния в объеме породы связана со структурно-текстурными преобразованиями приповерхностных слоев разрушаемых частей горных пород, заключающимися в увеличении содержания диоксида кремния, увеличения крепости поверхностных слоев материала за счет «выбивания» с поверхности менее прочного цементирующего материала при фрикционном трении;

- выдвинуто и доказано предположение о возникновении температурного импульса под влиянием пьезоэлектрического эффекта, возникающего при растяжении-сжатии массива пород как результат электрического разряда между берегами разделяющихся при разрушении массива частей горных пород мощностью достаточной для воспламенения метановоздушной смеси; при этом установлена физика процесса накопления электрических зарядов на поверхностях;

- впервые получены зависимости, показывающие влияние теплофизических и механических характеристик массива пород на уровень тепловыделения при фрикционном трении.

2. Методика расчета эволюции напряженно-деформированного состояния неоднородного горного массива отличается оригинальностью в связи с использованием в качестве определяющих соотношений эмпирических диаграмм деформирования совместно с критерием прочности Кулона-Мора, изменяющимися

ся в зависимости от уровня действующих напряжений в элементарных объемах горных пород, как это имеет место в действительности.

3. В интегральной форме впервые получены аналитические решения задач о нелинейно упругом деформировании массива пород у круговых выработок, позволяющие их использование для инженерного экспресс анализа без привлечения ЭВМ, учитывающие физикомеханические свойства массива в виде имперических диаграмм деформирования – от диаграмм Прандтля, диаграмм с линейно-степенными зависимостями напряжений от деформаций, диаграмм с билинейным упрочнением, других видов диаграмм.

4. Предложена и реализована совместно с МКЭ методика прогноза скорости роста и накопления повреждений в горном массиве во времени в зависимости от геометрии и расположения групп выработок, позволяющая давать оценки состоянию массива пород у выработок и вырабатывать обоснованные решения по управлению состоянием углепородного массива при ведении горных работ.

3. Обоснованность защищаемых научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений базируется на их соответствии целям и задачам исследований, сформулированных для решения научно-технической проблемы в части прогноза, и локализация взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах.

Обоснованность научных положений основана на результатах всестороннего, глубокого системного анализа различных аспектов проблем возгораний и взрывов рудничных газов в горных выработках, базирующихся на проведении широкого круга лабораторных экспериментов по фрикционному трению, по установлению физики процесса накопления электрических зарядов и их разрядах между берегами расходящихся трещиноподобных дефектов, на решениях задач при помощи разработанных автором соответствующих математических моделей, прошедших глубокую верификацию, в сопоставлении с результатами аналитических решений и экспериментов, полученных другими авторами и показавшими приемлемую для практики точность.

1. В соответствии с первым научным положением автор обосновал и реализовал методику для изучения трибологических и электроразрядных напряжений на базе решения связанных задач теплопроводности и упруго-пластичности горных пород. При этом результаты теоретических исследований подтверждаются и неразрывно связаны с лабораторными экспериментами, имеют относительную погрешность от 5 до 15 %.

2. В соответствии со вторым научным положением представлена методика районирования потенциально опасных зон массива с точки зрения возможности вспышек и взрывов метановоздушных смесей вследствие разрушения горных пород. Причем опасность взрывного горения связывается с установлением не-

скольких одновременно развивающихся фронтов разрушения в краевых частях пласта и у обнажений.

3. Третье научное положение обосновывается условиями возникновения вспышек и взрывов метановоздушных смесей в результате техногенных проявлений, представляющих собой динамическое фрикционное взаимодействие отдельных и блоков разрушаемого массива, появлению разноименных электрических зарядов. Изученные условия представлены как условия традиционные, которые необходимо учитывать для предотвращения взрывов рудничных газов, как при проектировании, так и при ведении горных работ на угольных шахтах.

4. Формулировка четвертого научного положения обосновывается оценкой степени фрикционной опасности горных пород у обнажений проведением набора экспериментов в лабораторных условиях. При этом впервые выявлен эффект упрочнения динамически контактирующихся частей массива, увеличивающий степень фрикционной опасности кварцесодержащих пород.

5. Обоснованность пятого научного положения имеет экспериментально доказанный факт возможности локализации взрывного горения рудничных газов с использованием разработанных автором устройств динамической автономной взрывозащиты посредством создания флегматизирующего газопорошкового заряда, распыляемого по объему выработок, обладающим эффектом синергетики.

Выводы и рекомендации диссертационной работы следует признать обоснованными в связи с внедрением и использованием большинства из них в соответствующих разделах нормативных документов - «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», других документах.

4. Практическая значимость и рекомендации по использованию полученных результатов и выводов

Практическая значимость представленных в диссертационной работе Д.В. Ботвенко исследований заключается в следующем:

1. Установлена величина минимального критического прогреваемого объема, содержащего углеводородные смеси с воздухом, необходимого для воспламенения - $9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$.

2. Установлена минимальная энергия воспламенения метановоздушной смеси, соответствующая величине 0,287 мДж, при минимальной длительности прогрева 0,11 мс.

3. Величина температуры нагретой поверхности, необходимой для воспламенения метановоздушной смеси, близкой к стехиометрическому составу, находится на уровне своего среднего значения 746 °С и выше.

4. При контактном давлении между образцами на уровне, близком к пределу прочности пород, температура пятна динамического контакта осколков

возрастает до температуры плавления (до 1300 °С) за время от 0,01 мс до 0,1 мс при относительной скорости трения от 1 до 10 м/с, при толщине слоя фазовых превращений в пятне контакта 100–200 мкм.

5. Экспериментально-теоретическими расчетами установлено, что при реализации пьезоэлектрического эффекта горных пород для возгорания метано-воздушной смеси необходимо затратить энергию на возникновение искрового разряда порядка $8,2 \cdot 10^{-2}$ мДж. При этом площадь сечения канала плазмы длиной 3 мм составляет порядка 0,003 мм², при диаметре толщины искры около 57 микрон. Оценочное время существования электрического пробоя (искры) составляет не менее 0,01 наносекунды.

6. Экспериментально установлено, что для полной флегматизации горящих углеводородов огнегасящим порошком количество огнетушащего вещества, необходимого для локализации очага горения по площади, составляет величину не менее 0,82 кг/м²; для полной флегматизации горения взрывчатого газа в объеме количество огнетушащего вещества составляет величину не менее 2,1 кг/м³.

7. Предложения и рекомендации по предотвращению фрикционного искрения при разрушении горных пород, по пыле- и взрывозащите угольных шахт вошли в следующие нормативные документы:

- Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, приказ № 550 от 19 ноября 2013 года;

- Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах», утверждена Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, приказ № 462 от 14 октября 2014 года;

- «Методические рекомендации по проведению экспертных работ при расследовании технических причин аварий в угольных шахтах», утверждены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, приказ № 743 от 20 декабря 2012 года.

5. Замечания по диссертационной работе

Опуская некоторые погрешности по стилю изложения исследований в тексте диссертации, выделим замечания по существу.

1. В диссертации лишь на уровне экспертных заключений высказываются и затем доказываются предположения о возможности взрывов газовоздушных смесей вследствие фрикционного трения блоков пород, а также как результат проявления пьезоэлектрических эффектов при разрушении массива. Реальные данные шахтных наблюдений по этому вопросу отсутствуют.

2. Для понимания физики динамических процессов воспламенения углеводородов необходимо более подробно рассмотреть и изучить время задержки

воспламенения взрывчатой концентрации метановоздушной смеси при нагреве установленного автором прогреваемого объема.

3. При решении задачи районирования потенциально опасных зон массива с точки зрения возможности вспышек и взрывов метановоздушных смесей вследствие разрушения горных пород для полноты изложения необходимо дополнить разработанную автором методику сведениями о газоносности пласта угля, диффузионными и фильтрационными свойствами массива с учетом накопления повреждений.

4. В автореферате диссертации Д.В. Ботвенко, весьма скупо изложены результаты многочисленных исследований, зачастую вызывающие дополнительные вопросы, ответы на которые могут быть получены лишь при чтении оригинала диссертации.

Высказанные замечания не снижают высокой положительной оценки диссертационной работы Д.В. Ботвенко.

6. Оценка диссертационной работы, соответствие работы паспорту специальности

Тема диссертации Д.В. Ботвенко «Методологические основы прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах» соответствует паспорту специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность):

- по части формулы специальности: «причины возникновения, закономерности проявления и развития, методы и средства превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера»;

- по части области исследований: «5. Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов...».

7. Соответствие диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Диссертация Ботвенко Дениса Вячеславовича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения относительно прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение и внедрение которых вносит значительный вклад в развитие угольной отрасли страны в части пожарной и промышленной безопасности горного производства.

Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор **Ботвенко Денис Вячеславо-**

вич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (горная промышленность).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры геотехнологий и строительства подземных сооружений Тульского государственного университета.

Присутствовало на заседании 12 чел.

Результаты голосования: «за» - 12 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Протокол №6 от «31»августа 2020 г.

Заведующий кафедрой геотехнологий
и строительства подземных
сооружений д.т.н., профессор



Н.М. Качурин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования (ФГБОУ ВО) «Тульский государственный университет».

Адрес местонахождения: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Телефон: +7 (4872) 35-34-44

Факс: +7 (4872) 35-81-81

E-mail: info@tsu.tula.ru

Адрес официального сайта - <http://tsu.tula.ru>