

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС.ТПУ.13, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

решение диссертационного совета ДС.ТПУ.13 от 18.06.2019 г. № 4

О присуждении Беспалько Анатолию Алексеевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Физические основы и реализация метода электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород»

по специальностям 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

принята к защите 11.03.19 г., (протокол заседания № 1) диссертационным советом ДС.ТПУ.13, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30, приказ по ФГАОУ ВО НИ ТПУ № 15895 от 06.12.2018 года.

Соискатель Беспалько Анатолий Алексеевич 1948 года рождения, в 1971 году окончил высшее учебное заведение Томский политехнический институт (ТПИ), ныне Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика твердого тела» на тему «Акустическое излучение твердых тел под действием интенсивных пучков электронов наносекундной длительности» защитил в 1983 году в диссертационном совете, созданном на базе Уральского политехнического института имени С.М. Кирова.

Работает ведущим научным сотрудником в Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена в Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный консультант - доктор физико-математических наук, профессор Суржигов Анатолий Петрович, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение «Контроль и диагностика», Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности, руководитель отделения.

Дополнительно введенный член диссертационного совета ДС.ТПУ.13 **Солдатов Алексей Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ. отделения электронной инженерии Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности.

Официальные оппоненты:

Опарин Виктор Николаевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБУН «Институт горного дела СО РАН», г. Новосибирск, отдел экспериментальной геомеханики, заведующий отделом;

Вострецов Алексей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, проректор по научной работе;

Панин Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН, г. Томск, лаборатория механики композиционных материалов, заведующий лабораторией дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов и дополнительного введенного члена диссертационного совета обосновывается их высокой квалификацией в области создание приборов и систем мониторинга, контроля и диагностики природной среды, горных пород и композиционных материалов, широкой известностью своими достижениями в области технических наук, наличием публикаций по выполненным исследованиям, близким к теме работы соискателя, отсутствием совместных проектов и печатных работ, опытом научно-исследовательской работы и рейтингом ведущих научно-образовательных учреждений. Кроме того, оппоненты соответствуют Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ по ТПУ № 93/од от 06.12.2018), имеют профильные публикаций за последние 5 лет не менее, чем в 5 журналах, индексируемых в базе данных Scopus или Web of Science, а также не менее 5 публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ; обладают наукометрическим показателем индекса Хирша не менее 4.

Соискатель имеет 105 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 105 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 37 статей, 24 из которых индексируются в базе данных Scopus или Web of Science.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Общий объем научных изданий – не менее 99 печатных листов, авторский вклад – 64%. В число публикаций входят 5 монографий и один патент. Кроме того, имеется 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы:

1. **Беспалько А.А.** Возбуждение электромагнитного излучения в слоистых горных породах при акустическом воздействии/Яворович Л.В., Гольд Р.М., Дацко Д.И. ФТПРПИ. – 2003. – №2. – С. 8-14.

2. **Беспалько А.А.** Наблюдения изменений напряженного состояния массива горных пород после массового взрыва по параметрам электромагнитной эмиссии/ Суржигов А.П., Хорсов Н.Н., Яворович Л.В., Климов В.К., Штирц В.А., Шипеев О.В. Физическая фезомеханика. – 2004. –Т.7, Ч.2. – С. 253-256.

3. **Беспалько А.А.** Регистратор электромагнитных и акустических сигналов для контроля прочности и разрушения материалов и массивов горных пород/ Федотов П.И., Яворович Л.В. Известия ТПУ. – 2008. –Т.32, №2. – С. 255-258.

4. **Беспалько А.А.** Регистратор электромагнитных сигналов для контроля изменений напряженного состояния горных пород/ Бомбизов А.А., Лошилов А.Г., Яворович Л.В. Контроль. Диагностика. – 2011. – №11. – С. 14-17.

5. **Беспалько А.А.** Контроль структурных нарушений породных массивов шахтного поля рудников по параметрам механоэлектрических преобразований/ Суржигов А.П., Яворович Л.В., Федотов П.И. Дефектоскопия. – 2012. – № 4. – С. 34-40.

6. **Bespalko A.A.** Control of Rock Mass by Mine Tashtagol Method IR-Radiometer/ Yavorovich L.V., Moiseev S.V. 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Proceedings: in 2 vol., Tomsk, September 18-21, 2012. – Tomsk: TPU Press. – 2012. – V2. – P. 228-231.

7. **Беспалько А.А.** Электромагнитная эмиссия горных пород после массовых взрывов/ Яворович Л.В., Еременко А.А., Штирц В.А. ФТПРПИ. – 2018. – №2. – С. 10-17.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- АО «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела - межотраслевой научный центр ВНИМИ» (г. Санкт-Петербург), доктор технических наук, заведующий лабораторией физико-механических свойств горных пород Лодус Е.В.

- ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН» (г. Томск), доктор технических наук, заместитель директора по научной

работе Корольков В.А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Гордеев В.Ф.

- «ЕвразРуда» - филиал АО «ЕВРАЗ-ЗСМК» (г. Новокузнецк), доктор технических наук, начальник технического управления Матвеев И.Ф.

- ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (г. Томск), доктор технических наук, профессор кафедры конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры, главный научный сотрудник НИИ систем электросвязи Малютин Н.Д.

- ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), доктор технических наук, научный руководитель научно-исследовательского центра «Геомеханика» Лобанова Т.В.

- ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск), доктор технических наук, профессор кафедры «Открытые горные работы», Косолапов А.И.

- ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (г. Барнаул), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника и электроника» Сидалищев В.Н.

- Научно-технический центр «Эталон» (г. Санкт-Петербург), доктор технических наук, профессор, Прохорович В.Е.

- ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), доктор технических наук, заведующий кафедрой геотехнологии, Фрянов В.Н.

- ФГБУН «Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича» УрО РАН, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории скважинной геофизики Астраханцев Ю.Г.

- ФБГОУ ВО «Забайкальский государственный университет», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Открытые горные работы» Овешников Ю.М.

Все отзывы положительные, замечания являются рекомендательными и касаются недостаточного объема информации в автореферате: о преимуществах разработанных регистраторов электромагнитной и акустической эмиссии и о их возможных применениях, кроме описанных; о применяемых в работе методах

измерения деформации; об отсутствии данных сравнения параметров электромагнитной и акустической эмиссий при лабораторных испытаниях; об отсутствии схем используемых экспериментальных установок, что затрудняет определение используемого частотного диапазона и количество статистических данных; о влиянии на характеристики электромагнитной эмиссии деформационных волн, связанных с движением внутреннего ядра Земли; о не полном раскрытии механизма разрушения горных пород и причин последующего воздействия этого процесса на наведенные механические напряжения и электромагнитные сигналы. Кроме того, в автореферате были отмечены наибольшие стилистические неточности.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый тип аналого-цифровых регистраторов РЭМС1 и РЭМАС1, при создании которых использован комплексный подход, позволяющий выявить качественно новые закономерности исследуемого явления и расширяющий возможности при регистрации электромагнитной и акустической эмиссий массива горных пород; на базе программно-аппаратного регистратора РЭМАС1 разработан алгоритм, создан и протестирован макет информационной системы передачи данных от регистратора на удаленный компьютер диспетчера; разработаны физические основы метода электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород;

предложен комплексный подход для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород путем использования электромагнитной и акустической эмиссий, а также инфракрасной радиометрии;

доказана перспективность применения разработанного комплексного метода для выявления образования деструктивных зон и развития процесса разрушения горных пород по параметрам и характеристикам электромагнитной эмиссии;

введены новые понятия о влиянии структуры и текстуры горных пород, вносящие вклад в расширение представлений о возбуждении электромагнитной эмиссии на контактах минералов и включений в них, а также в слоистых структурах; введена

временная градация развития геодинамических событий при развитии разрушения массивов горных пород; приведены новые сведения и понятия о генерации инфракрасного свечения в окрестностях отверстий и скважин.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана связь параметров электромагнитных сигналов и акустических импульсов из зоны развития деструкции горных пород, а также характеристик электромагнитной эмиссии с процессами развития разрушения; теоретически и экспериментально показано влияние зарядового состояния контактов минералов и горных пород, размеров блоков и границ слоистых горных пород на параметры и электромагнитных сигналов; доказано влияние электрических и магнитных полей, а также прочности на параметры импульсных электромагнитных сигналов при акустическом возбуждении горных пород; установлена связь токов поляризации, инфракрасной радиометрии и отслоения микрочастиц с характеристиками электромагнитной эмиссии при развитии разрушения горных пород; установлена связь временных изменений характеристик электромагнитной эмиссии и длительности протекания развития напряженно-деформированного состояния и разрушения горных пород.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использован комплекс существующих базовых методов и созданных специальных комплексных программно-аппаратных регистраторов для оценки параметров и характеристик электромагнитной и акустической эмиссии горных пород, в том числе в электрических и магнитных полях; метода измерения зарядов на поверхности твердых диэлектриков; теоретическое и физическое моделирование слоистости и контактов растворов солей с образцами горных пород; силовое нагружение образцов до разрушения с применением методов контроля величины текущих механических напряжений и деформации; методов инфракрасной радиометрии и измерения субмикронных отслаивающихся частиц при развитии разрушения; метод сейсмических измерений; петрографические методы, данные о геологическом строении шахтного поля рудника, схемы горизонтов шахты; технологические взрывы с массой взрывчатого вещества ($10-10^5$) кг,

изложены доказательства влияния слоистости горных пород на параметры электромагнитной эмиссии; доказательства связей амплитудно-частотных параметров электромагнитных сигналов с этапами развития разрушения и с сейсмическими наблюдениями разной интенсивности;

раскрыты существенные проявления теории: а именно о медленно меняющихся параметрах электромагнитной эмиссии при развитии геодинамических событий после некоторых технологических взрывов, а также инфракрасного свечения отверстий и скважин,

изучено влияние зарядового состояния образцов горных пород; связь параметров электромагнитных сигналов и акустического импульсного возбуждения; влияние постоянных электрических и магнитных полей на параметры электромагнитных сигналов горных пород с разным удельным сопротивлением; влияние слоистости горных пород на параметры электромагнитных сигналов; параметры электромагнитной эмиссии образцов горных пород на этапах развития деструктивных зон и разрушения; связь токов поляризации и характеристик электромагнитной эмиссии горных пород с их электрическими и магнитными свойствами; инфракрасное свечение отверстий и скважин, а также отслоение микрочастиц при развитии разрушения горных пород; характеристики электромагнитной эмиссии до технологических взрывов массой от 70 до 300 тонн, во время их осуществления и в период релаксации возбужденного состояния породного массива; связь сейсмических наблюдений с параметрами и характеристиками акустической и электромагнитной эмиссиями; влияние сезонности на параметры электромагнитной эмиссии в шахтном поле рудника; построение приборов измерения параметров и характеристик электромагнитной и акустической эмиссий,

проведена модернизация математической модели влияния слоистости гетерогенных материалов и горных пород на параметры электромагнитных сигналов, а также обнаружения предвестников разрушения горных пород для временных рядов характеристик электромагнитной эмиссии.

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

разработаны и внедрены: на шахте Таштагольского месторождения (г. Таштагол, Кемеровской обл.) регистраторы электромагнитных и акустических импульсных сигналов РЭМС1, программно-аппаратные устройства для регистрации электромагнитных и акустических импульсных сигналов РЭМАС1, результаты исследований параметров электромагнитных сигналов и характеристик электромагнитной эмиссии, а также исследования инфракрасного свечения отверстий, скважин и их окружения;

определены пределы и перспективы использования теории и результатов исследований параметров и характеристик электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород на практике;

созданы макет комплексной системы мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам и характеристикам электромагнитной и акустической эмиссии, включая инфракрасное свечение скважин; схема проведения мониторинга с использованием внедренных регистраторов РЭМС1 и РЭМАС1;

представлены рекомендации по обнаружению предвестников разрушения горных пород на этапе принятия решений с использованием временных рядов характеристик электромагнитной эмиссии.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на современном сертифицированном оборудовании при комплексном использовании разных методов, с повторением опытов, сходимостью полученных результатов; проведением лабораторных и натурных экспериментов и испытаний разработанных регистраторов; применением калиброванных современных приборов для измерения электрических величин, а также электрических измерений неэлектрических величин; использованием созданных аналогово-цифровых программно-аппаратных регистраторов электромагнитных и акустических сигналов; корректностью постановки задач и их обоснованности; обработкой экспериментальных данных с использованием методов статистики и специальных компьютерных программ; получением результатов, не противоречащих физике исследуемых процессов,

подтвержденным внедрением научно-исследовательских разработок, предлагаемыми решениями по совершенствованию способов оценки наиболее напряженных участков массива горных пород;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении мирового опыта использования электромагнитных методов исследования;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с применением современного оборудования.

Личный вклад соискателя состоит в формулирование целей и задач исследований, планирование всех видов работ по теме диссертации; составление технического задания и алгоритма работы регистраторов, а также алгоритмов ввода-вывода информации, и ее обработки; создание стенда для исследования параметров электромагнитных сигналов гетерогенных диэлектрических материалов при акустическом воздействии, а также комплексного стенда для исследования параметров электромагнитных сигналов и характеристик электромагнитной эмиссии, инфракрасной радиометрии, отслоения микрочастиц, токов поляризации, акустического воздействия, измерения величин усилий и деформации при нагружении исследуемых материалов одноосным сжатием или сдвигом до разрушения; организация и проведение лабораторных исследований электромагнитной эмиссии горных пород при акустическом возбуждении и одноосном нагружении, а также измерений в натурных условиях на разных горизонтах шахты Таштагольского рудника до взрывных воздействий ($10\text{--}10^5$ кг взрывчатого вещества) на массив горных пород, во время их проведения и в период релаксации породного массива; организация и проведение исследований инфракрасной радиометрии отверстий в образцах, контроля токов поляризации и шелушения микрочастиц в образцах горных пород при нагружении до разрушения;

организация и проведения инфракрасной радиометрии скважин до технологических взрывов в руднике и после них; организация и проведение обработки и анализа полученных результатов исследований.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития методов и средств мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород и соответствует п.8 Положения о присуждении ученых степеней в национальном исследовательском Томском политехническом университете (dis.tpu.ru).

На заседании 18 июня 2019 года диссертационный совет ДС.ТПУ.13 принял решение присудить Беспалько Анатолию Алексеевичу ученую степень доктора технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

При проведении тайного голосования диссертационный совет ДС.ТПУ.13 в количестве 6 человек, из них 5 докторов наук по защищаемой специальности, участвующих в голосовании из 3 человек, входящих в состав совета, и 4 человек дополнительно введенных в состав совета, проголосовали: за – 6, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя

диссертационного совета ДС.ТПУ.13

Гынгазов Сергей Анатольевич

Ученый секретарь

диссертационного совета ДС.ТПУ.13

Шевелева Елена Александровна

18.06.2019