

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Беспалько Анатолия Алексеевича на тему: **«Физические основы и реализация метода электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород»**, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Актуальность темы

Диссертация Беспалько Анатолия Алексеевича посвящена вопросам разработки физических основ, методов и средств мониторинга и контроля напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, в том числе подготовки и развития горных ударов, вывалов и других геодинамических проявлений, на основе анализа характеристик сопутствующего электромагнитного излучения.

Решение поднимаемых в диссертации проблем чрезвычайно важно при решении задач обеспечения безопасности работ в горнодобывающей промышленности, прогнозирования горных ударов, землетрясений, предупреждения о возможности возникновения связанных с этими явлениями чрезвычайных ситуаций. Большое число научных публикаций ведущих ученых, растущий объем исследований, проводимых в различных странах мира и посвященных этой тематике, свидетельствуют об актуальности темы диссертационной работы А.А. Беспалько. До сих пор ведутся дискуссии о механизмах, источниках и структуре электромагнитного излучения, сопровождающего геодинамические процессы, формирование и развитие очагов разрушений, и возможности использования этого излучения для целей мониторинга и прогноза разрушений. На многие из этих вопросов дает ответ диссертация А.А. Беспалько.

В диссертации рассмотрен круг задач, связанный с регистрацией и обработкой электромагнитного излучения горных пород при проведении лабораторных экспериментов и в условиях рудников и шахт, разработаны оригинальные лабораторные стенды и методики проведения экспериментов по изучению физических основ электромагнитного излучения, возникающего при нагружении и разрушении горных пород.

Научная новизна и практическая значимость исследований

В диссертации А.А. Беспалько представлены результаты, обладающие научной новизной, имеющие практическую значимость:

– проведенное теоретическое моделирование протекающих в твердотельных диэлектрических материалах и горных породах процессов, комплексный подбор методов и методик экспериментального исследования параметров электромагнитных и акустических сигналов, характеристик

электромагнитной и акустической эмиссий, инфракрасной радиометрии и отслоения субмикронных частиц, зарядового состояния поверхности образцов горных пород и токов поляризации позволили обоснованно сформулировать требования к разрабатываемым лабораторным стендам, методам и методикам, аппаратуре мониторинга и контроля;

– разработаны оригинальные лабораторные установки и методики проведения лабораторных исследований, позволившие автору установить взаимосвязь между спектральными характеристиками электромагнитного излучения и структурным и текстурным строением горных пород, их зарядовым состоянием, влажностью и амплитудно-частотными параметрами возбуждающего акустического импульса при механическом воздействии;

– выявлены закономерности в изменении характера импульсного электромагнитного излучения горных пород в условиях действия внешних постоянных электрических и магнитных полей;

– предложено для характеристики зон формирования и развития деструкции горных пород использовать их взаимосвязь с параметрами спектра сопутствующего электромагнитного излучения;

– исследована структура сигналов электромагнитного излучения горных пород в широком диапазоне частот, определены наиболее информативные диапазоны для использования в приборах электромагнитного мониторинга напряженно-деформированного состояния горных пород;

– на основе проведенных исследований взаимосвязи акустической и электромагнитной эмиссии горных пород, предложен комплексный подход к решению задач мониторинга и контроля напряженно-деформированного состояния горных пород в условиях подземных сооружений, включающий регистрацию инфракрасного, электромагнитного и акустического излучения;

– предложены и обоснованы электромагнитная и ИК радиометрическая схемы выбора места установки регистраторов электромагнитных и акустических сигналов, что обеспечивает эффективный прием электромагнитной эмиссии из зон развития деструктивных и геодинамических процессов.

Новизна исследований подтверждена 1 патентом РФ и 7 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

На основе полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны аналого-цифровые регистраторы РЭМС1 и РЭМАС1, позволяющие проводить в заданном миллисекундном интервале времени в автоматическом режиме анализ записанных данных характеристик электромагнитной и акустической эмиссий. Разработанный метод мониторинга параметров и характеристик электромагнитной эмиссии найдет применение для определения прочностных характеристик сложных гетерогенных материалов и в шахтных условиях рудников для контроля развития деструктивных зон и геодинамических процессов и позволит повысить уровень контроля безопасности проведения горных работ.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Все положения, выносимые на защиту, являются обоснованными и логически увязанными друг с другом. Обоснованность подтверждается большим объемом теоретических, лабораторных и натурных исследований, применением адекватных методов измерений и обработки их результатов, сопоставлении с ранее известными результатами исследований других авторов. Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждены апробацией на всероссийских и международных научных конференциях.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в качестве теоретической и экспериментальной базы для реализации систем мониторинга напряженно-деформированного состояния горных пород и в системах прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций и обеспечения безопасности на предприятиях горнодобывающей промышленности.

Краткая характеристика основного содержания диссертации

Содержание диссертации А.А. Беспалько соответствует поставленным целям и содержит решение всех предварительно сформулированных автором задач.

Диссертационная работа включает введение, 6 глав, заключение, список литературы из 370 источников, 3 приложения на 19 страницах с актами внедрения результатов исследований, разработок и методик при обеспечении безопасного ведения добычи руды в шахтном поле железорудных месторождений. Диссертация изложена на 395 страницах машинописного текста, содержит 174 рисунка и 11 таблиц. В предъявленном автореферате содержится 44 страницы с 24 рисунками.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы: обоснована актуальность темы диссертации; определены цели и задачи; показана новизна и практическая значимость результатов работы; представлены результаты апробации результатов исследований и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор проведенных ранее исследований процессов, порождающих электромагнитное излучение в твердотельных диэлектрических структурах, включая горные породы. Выполнен анализ изученности механизмов и моделей генерации электромагнитных сигналов, их спектрального состава и амплитуды, включая электромагнитные сигналы, возникающие при прорастании трещин в процессе развития разрушения диэлектрических и горных пород. Рассмотрены известные механизмы формирования геодинамических явлений в массивах горных пород. Проанализированы направления применения инфракрасной радиометрии для целей неразрушающего контроля изделий и горных пород. На основании

полученных знаний и представлений об известных механизмах генерации и подходах обработки электромагнитной эмиссии твердотельными диэлектрическими материалами и горными породами определены направления исследований, задачи и пути их решения.

Во второй главе приведена горно-геологическая и гидрологическая характеристика выбранного опорного железорудного месторождения. Эти знания способствовали выбору проведения специальных экспериментальных лабораторных и натуральных исследований. В разделах главы приведены механические, электрические и магнитные свойства горных пород Таштагольского железорудного месторождения.

В третьей главе рассмотрены применяемые ранее методы и приборы для измерения параметров электромагнитных сигналов горных пород. Выбраны диапазон амплитудно-частотных параметров регистрации электромагнитной сигналов и способы частотно-временного анализа для выделения импульсных сигналов в спектральном составе электромагнитного излучения. Описаны разработанные стенды для возбуждения электромагнитных сигналов акустическими импульсами разной длительности и амплитуды. Приведен экспериментальный комплекс на основе пресса ИП 500 для изучения параметров и характеристик электромагнитной эмиссии в процессе развития разрушения образцов горных пород. Главным в этой главе является описание разработанных автором программно-аппаратных регистраторов электромагнитных сигналов типа РЭМС1 и РЭМАС1. Рассмотрены вопросы распределения спектрально-временных характеристик электромагнитной эмиссии во времени, приведены применяемые методы для исследования электромагнитной эмиссии горных пород при изменении напряженно-деформированного состояния породного массива после технологических взрывов.

В четвертой главе диссертации рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований электромагнитной эмиссии модельных образцов и образцов горных пород. Эти результаты в большинстве своем использовались в качестве физического обоснования для разработки метода мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния массивов горных пород по характеристикам электромагнитной эмиссии. В диссертации достаточно подробно описано акустическое возбуждение электромагнитных сигналов: показано распределение зарядов на поверхности образцов в присутствии включений и контактов разных минералов; влияние размеров кристаллов, составляющих породу, на электромагнитный отклик при акустическом возбуждении; влияние электрических и магнитных полей на амплитуду электромагнитных сигналов при акустическом воздействии; влияние слоистости и прочности образцов на параметры электромагнитного отклика. Приводятся результаты изменения амплитудно-частотных параметров электромагнитных сигналов при развитии деструктивных зон и разрушения образцов горных пород при одноосном сжатии. Показаны изменения

инфракрасного свечения отверстий и мелкодисперсных частиц при таком же нагружении образцов.

Пятая глава включает в себя результаты экспериментальных исследований электромагнитной эмиссии массива горных пород. Результаты этих исследований также лежат в основе предложенного автором метода мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Регистрация электромагнитной эмиссии производилась в периоды проведения технологических взрывов и релаксации возбужденного состояния массива. Описаны разработанные электромагнитный и инфракрасный методы выбора мест размещения регистраторов. Приведены результаты сезонных исследований электромагнитной эмиссии горного массива при проведении взрывов. Показана связь характеристик электромагнитной эмиссии с акустическими и сейсмическими данными. Путем моделирования выявлен механизм медленно меняющихся амплитудных параметров электромагнитной эмиссии.

В шестой главе на основании результатов предшествующих глав приведена комплексная система мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам и характеристикам электромагнитной и акустической эмиссий, включая инфракрасное свечение скважин. На основании программно-аппаратного регистратора РЭМАС1 разработан и апробирован макет информационной системы. Приведен алгоритм выявления предвестников геодинамических событий с использованием временных рядов электромагнитных сигналов.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Полнота изложения материалов диссертации в автореферате и работах, опубликованных соискателем ученой степени

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации А.А. Беспалько. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК.

Материалы диссертационной работы опубликованы в 105 печатных работах, в том числе 37 из них опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 24 публикации проиндексированы в международных базах Scopus и Web of Science. На результаты работы получены в 1 патент РФ и 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по работе

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

1. В диссертации не указаны методы калибровки регистраторов электромагнитных сигналов с емкостными и индукционными датчиками.
2. В тексте диссертации чувствительность приемников электромагнитного излучения указаны в вольтах, что характеризует чувствительность только усилительного тракта приемника и не учитывает характеристики датчиков (антенн).
3. Отсутствует информация о том, как влияют металлические элементы конструкции стендов (в том числе пресса) на характеристики регистрируемого электромагнитного излучения и учитывалось ли это при проведении экспериментов.
4. Не приведены данные о методике измерения деформации образца горных пород при их одноосном нагружении в лабораторных условиях. Судя по тексту, деформация измерялась путем измерения перемещения пластин прессы. При таком подходе не учитывается деформация пластин прессы. Более адекватным является использование тензодатчиков, наклеиваемых на образец.
5. Отсутствует рассмотрение одновременного исследования электромагнитной эмиссии в различных точках шахты, хотя, как следует из диссертации, работы в этом направлении проводились.
6. Нет сравнения измерений параметров электромагнитной эмиссии в приповерхностных слоях и на глубинах от 300 м и ниже.
7. На странице 242 (рисунок 5.7с) приведено свечение скважины, отображающее температуру более низкую по сравнению с основной массой окружающих горных пород. В тексте диссертации не содержится никаких объяснений по поводу такого свечения.
8. В тексте диссертации имеются опечатки, использование жаргонных выражений. Например, рис. 4.14 озаглавлен «Амплитудно-частотные характеристики электризованных образцов мрамора», в тексте на с. 129 приводится фраза «Исследование амплитудно-частотных характеристик электромагнитного сигнала», хотя по существу приводится модуль спектра электромагнитного сигнала. Термин «Амплитудно-частотные характеристики» применим к характеристикам электрических цепей, а не сигналов.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования А.А. Беспалько. В работе изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения в области создания приборов и методов контроля и мониторинга природной среды, прогнозирования чрезвычайных ситуаций на предприятиях горнодобывающей отрасли, внедрение которых вносит значительный вклад в ее развитие.

Считаю, что в целом диссертация Беспалько А.А. на тему «Физические основы и реализация метода электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород» является завершенной научно-квалификационной работой, отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.11.13. – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, и соответствует критериям пунктов 8-12 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ 93/од от 06 декабря 2018 года, а автор диссертации Беспалько Анатолий Алексеевич заслуживает присуждения ему степени доктора технических наук.

Официальный оппонент
профессор, доктор технических наук
заслуженный деятель науки РФ,
проректор по научной работе ФГБОУ ВО
«Новосибирский государственный технический
университет»

— А.Г. Вострецов

30.05.2019г.

Адрес: Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20,
р.т. 8(383)346-04-57, e-mail:vostreczov@corp.nstu.ru

Подпись Вострецова Алексея Геннадьевича удостоверяю:

О. К. Пустовалова

