

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Беспалько Анатолия Алексеевича «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 представленной научной работы Беспалько А.А. не вызывает сомнения, т.к. с увеличением глубины горных работ, ведением горных работ на угольных и рудных месторождениях в тектонически и сейсмически активных районах (например, в Алтай-Саянской складчатой горной области) приводит порой к катастрофическим сейсмическим и динамическим явлениям в форме техногенных землетрясений, ударов горно-тектонического типа, обрушения больших масс горных пород. Такие проявления горного давления в динамической форме периодически или спонтанно происходят на рудниках Горной Шории и Хакасии, в угольных шахтах Кузбасса. Поэтому необходима разработка методов мониторинга изменений НДС горных пород и краткосрочного прогноза развития геодинамических событий. В шахтах и на разрезах производят массовые технологические взрывы с зарядом до 300 т ВВ. Крупные технологические взрывы по обрушению рудных блоков на железорудных месторождениях также сопровождаются мощными динамическими явлениями. Массовые взрывы вызывают техногенную сейсмичность в зонах отработки полезных ископаемых. На шахтах Кузбасса и рудниках Горной Шории за последние годы значительно увеличилось число техногенных сейсмических событий.

В связи с этим в диссертации поставлена задача по разработке методов измерений, основанных на механоэлектрических преобразованиях (МЭП) в горных породах. При МЭП параметры возникающих электромагнитных сигналов (ЭМС) и характеристики электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) несут информацию о процессах образования деструктивных зон и об изменении напряжённо-деформированного состояния (НДС) в горном массиве конкретного участка шахтного поля. Выявление и понимание физических процессов, приводящих к возникновению электромагнитных сигналов, закономерностей вариаций этих параметров и характеристик ЭМЭ при изменениях НДС массива горных пород, с помощью полевой измерительной аппаратуры, которая регистрирует ЭМС, обрабатывает информацию об изменениях ЭМЭ и передает диспетчеру сейсмостанции или участка прогнозирования горных ударов. Это позволит оперативно принимать технологические и организационные меры для предотвращения появления негативных геодинамических событий.

В диссертации проведен анализ исследований ведущими НИИ России по рассматриваемой тематике. Эти работы, а также исследования автора показали, что параметры и характеристики МЭП зависят от физических свойств диэлектрических материалов и горных пород, от их генетического типа и структурно-текстурных особенностей.

Для исследования созданы качественные многофункциональные измерительные комплексы, позволяющие исследовать электромагнитные характеристики пород и руд с фиксацией и обработкой эмиссионных сигналов. Также создан серьезный математический аппарат, предназначенный обрабатывать результаты испытаний образцов различных пород. Проведены модельные исследования слоистых систем, в том числе и природных, а также приведены изменения параметров и характеристик электромагнитной эмиссии на различных этапах развития разрушения в образцах. Получены сведения об изменении амплитудно-частотных и временных изменений параметров и характеристик электромагнитной и акустической эмиссий с прохождением релаксационных процессов в горном массиве после взрывных воздействий, в том числе с геодинамическими проявлениями.

Основные научные положения, рассматриваемые в диссертации:

- амплитудно-частотные параметры ЭМС и характеристики ЭМЭ определяются структурным и текстурным строением горных пород и их зарядовым состоянием, влажностью и амплитудно-частотными параметрами возбуждающего акустического импульса при механическом воздействии. При этом формирование и развитие зон деструкции горных пород определяется по амплитудно-частотным параметрам ЭМС, а также по характеристикам ЭМЭ;

- по характеристикам ЭМЭ, измеряемой в шахтном поле рудника после технологических взрывов, достоверно определяются временные интервалы и выделившаяся энергия при развитии разрушения массива горных пород. При этом развитие разрушений после взрывных воздействий обусловлены наведенными механическими напряжениями и структурой массива в районе их действия;

- созданные аналого-цифровые регистраторы РЭМС1 и РЭМАС1, в которых использован комплексный подход и новая совокупность технических решений, расширяет возможности при регистрации электромагнитной и акустической эмиссий в подземных условиях;

- алгоритм информационной системы и схема передачи данных от РЭМАС1 на удаленный компьютер диспетчера обеспечивает возможность использования параметров ЭМС и характеристик ЭМЭ для мониторинга изменений НДС массива горных пород в реальных условиях шахтного поля рудников.

Все приведенные научные положения обладают признаками новизны. В опубликованных статьях и монографиях с начала исследований явления МЭП в горных породах подобных сведений не приводилось. Работа оригинальна и опирается на теоретические исследования, а также на множественные

экспериментальные лабораторные и натурные исследования.

Рассматриваемая работа несёт не только научную, но и практическую ценность заключающуюся:

- разработан и изготовлен программно-аппаратный регистратор РЭМС1, позволяющий вести без смены и подзарядки аккумулятора в течение не менее 180 часов непрерывный мониторинг электромагнитной и акустической эмиссий в условиях рудников при проведении взрывных воздействий на породный массив и в период релаксации горных пород. Это позволяет развить метод мониторинга и контроля процесса разрушения пород, развития деструктивных зон, а также геодинамических событий в горных массивах по параметрам МЭП;

- регистратор РЭМАС1 позволяет проводить в заданном интервале времени от $8 \cdot 10^{-3}$ до $128 \cdot 10^{-3}$ секунд автоматический анализ записанных данных путем расчета математического ожидания амплитуд ЭМЭ и АЭ, а также дисперсии амплитуд ЭМЭ. В информационной системе РЭМАС1 используется в качестве прибора, предназначенного для сбора, предварительной обработки и передачи данных на удаленный компьютер диспетчера;

- проведенные натурные исследования показали, что выбранный при проектировании регистраторов диапазон частот от 1.0 до 100 кГц для мониторинга образования деструктивных зон и развития геодинамических событий в шахтном поле рудника с прочными и упругими горными породами является наиболее информативным и достаточным;

- экспериментально показано, что при развитии деструктивных зон происходит эмиссия микрочастиц, которые могут участвовать в генерации электромагнитных сигналов на стадиях предшествующих прорастанию трещин и в момент разрушения образцов горных пород, а, следовательно, при таких же процессах и в породном массиве;

- характеристики инфракрасного свечения отверстий или скважин изменяются в соответствии с процессами подготовки разрушения образцов или массива горных пород, находящихся в меняющемся или действующем напряженно- деформированном состоянии. Основываясь на этом, можно эффективно использовать ИК термографию, наряду с электромагнитным профилированием, для определения мест с высоким НДС массива горных пород, а также выявлять места установки регистраторов ЭМС;

- разработана феноменология возникновения и развития геодинамических явлений в массивах горных пород при взрывных воздействиях. Для чего установлены закономерные связи изменений НДС горных пород с амплитудно-частотными параметрами ЭМС и характеристиками ЭМЭ породного массива. На основании полученных закономерностей определены диапазоны наиболее эффективных частот для мониторинга образования и развития геодинамических проявлений различного характер;

- выявлено три основных временных процессов изменения амплитуды ЭМЭ после взрыва, которые проходят в течение секунд, минут и часов. Секундные изменения связаны с взрывным воздействием на массив, прохождением «горного удара», сколов, толчков и другими быстроизменяющимися изменениями НДС массива. Минутные изменения параметров ЭМЭ связаны с релаксационными процессами НДС массива после «горных ударов» или взрывов с малой энергией. Кроме того, релаксация НДС может продолжаться в течение нескольких часов, обусловленная медленным сдвижением массива горных пород с разной скоростью по разломам и трещинам;

- совместный анализ ЭМС и акустической эмиссии (АЭ) горных пород, спектральных параметров ЭМС, данных сейсмических наблюдений до технологических взрывов, в период их проведения и при релаксации породного массива в разные времена года показали связь изменений НДС породного массива, характеристик и параметров ЭМЭ горных пород.

В качестве замечаний и предложений отмечаем следующее:

1. В автореферате не содержится сведений о возможности использования разработанных регистраторов для мобильных измерений электромагнитной эмиссии горного массива.

2. Из реферата следует, что лабораторные исследования проводились на различных горных породах и рудах, но натурные испытания разработанной аппаратуры проводились только на Таштагольском руднике (месторождении), что по нашему мнению недостаточно.

3. Следует продолжить работы по созданию компактных программно-аппаратных регистраторов для установки в горных выработках и приема и расшифровки электромагнитных и акустических сигналов, определения параметров ЭМЭ горного массива, сопоставляя с данными сейсмических наблюдений и дальнейшим выводом информации на обрабатывающий комплекс и на дисплей диспетчера (оператора).

4. Следует выполнить геодинамические модели наиболее опасных в геодинамическом плане месторождений (горных предприятий) с установкой на них разработанной аппаратуры и сейсмических датчиков, с тем, чтобы в дальнейшем разработать программы и методики определения места и времени предстоящих возможных геодинамических событий в горном массиве.

Высказанные замечания не отменяют ценность рассматриваемой работы. Автореферат написан квалифицированно, аккуратно оформлен, проведены достаточно большие объёмы научных исследований, позволяющие использовать разработанную аппаратуру и методики для наблюдений за сложными горными массивами и для дальнейшей разработки методов предсказания геодинамических событий.

Диссертация отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а автор представленной диссертационной работы **Беспалько Анатолий Алексеевич** заслуживает присуждения ему степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

**Заведующий лабораторией
физико-механических свойств
горных пород,
доктор технических наук**

Лодус Е.В.

**Директор по науке,
член корреспондент МАНЭБ**

Мулев С.Н.

Акционерное общество "Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела - межотраслевой научный центр ВНИМИ", ИНН 7801267457, 199106, г. Санкт-Петербург, ул. 21-я линия В.О., д.6, литера А, тел.: 8(812)321-94-21, Email: info@vnimi.ru.

Лодус Е.В., Email: olmapost@mail.ru

тел. 89219144023

Я, Лодус Евгений Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

«24» апрель 2019 г.

Подпись Лодуса Евгения Васильевича

Исполнительный директор АО ВНИ

Н. Науменко