

ОТЗЫВ

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

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Выдающаяся роль горного дела в освоении минерально-сырьевых ресурсов Земли в стратегии развития государств мира общеизвестна, равно как и роль России в «разделении труда» по общему недропользованию для мировой экономики. В современных условиях крупномасштабного горного производства с монотонным ростом средних глубин осваиваемых горизонтов (в последние десятилетия достигает в мире 10-30 м/год), в ряде случаев превысивших 1,6 км (как в Норильске, а в ЮАР – около 4 км), с учетом разнообразия горно-геологических и природно-климатических условий экономически эффективную и безопасную разработку месторождений полезных ископаемых уже невозможно себе представить без экспериментально-теоретических исследований в области геомеханики и, соответственно, опоры на современные достижения в области научного приборостроения для контроля напряженно-деформированного состояния массивов горных пород в мониторинговом режиме.

Технологические воздействия на породные массивы, как правило, сопровождаются их «обратной реакцией» в виде индуцированных сейсмособытий и деформационно-волновыми процессами очень широкого диапазона по амплитудно-периодным характеристикам и скважности – вплоть до катастрофических форм проявления растущего с глубиной горного давления (техногенные землетрясения, горные удары, мощные толчки, обрушения подземных выработок и т.п.).

Без глубокого понимания физики и геомеханики формирования очаговых зон концентрации напряжений и деформаций, а также соответствующего «инструментария» – мониторингового контроля в режиме реального времени – практически невозможно осуществлять необходимые меры профилактики подобного рода деструктивных проявлений «подземной стихии», несущих с собой как большие человеческие жертвы, так и высокий экономический и геоэкологический ущерб.

Такие условия ведения горных работ и повышенные риски динамических форм проявления горного давления обычно характерны для тектонически и сейсмически активных регионов мира. В России к таким относится и юг Западной Сибири с её Алтае-Саянской складчатой областью, где ведутся крупномасштабные горные работы по освоению угольных и рудных месторождений полезных ископаемых, в том числе – кластера железорудных (Таштагольского, Шерегешского, Казского, Тейского, Абазинского и др.). При этом важно учитывать и то, что при ведении открытых (на карьерах) и подземных (шахты, рудники) горных работах здесь нередко используются мощные технологические взрывы (с весом заряда взрывчатого вещества от 150 до 300 и более тонн), что усугубляет возникающие проблемы для горного производства в целом. Их применение, безусловно, требует оперативной оценки по ожидаемым последствиям индуцируемых изменений напряженно-деформированного состояния горных пород и их массивов. Это относится обычно к так называемому «краткосрочному прогнозу», соразмерному по длительности основным технологическим периодам ведения горных работ в их календарном плане.

Инфраструктурные особенности крупномасштабного горного производства в подземных условиях (изменяющиеся размеры и топология подземных выработок, вещественно-петрографические свойства горных пород структурно-тектонические, горно-технические условия, режим ведения горных работ, применяемое оборудование, деформационно-акусто-электромагнитный фон и др.), с учётом жестких требований техники безопасности (ТБ) на горных предприятиях, предъявляют особые требования к разрабатываемой и эксплуатируемой на них контрольно-измерительной аппаратуре. Для геомониторинговых систем – это, в первую очередь, повышенные пыле-влаго-искрозащищенность, портативность, низкое энергопотребление, работа в автоматизированном режиме реального времени на длительных периодах регистрации физической информации, имеющей детерминированную или тесную корреляционную связь с очаговыми зонами концентрации напряжений и деформаций в глубине разрабатываемого породного массива. Эти зоны подлежат при этом спецификации с позиций мест локализации их в пространстве и «степени близости» в достижении ими критического состояния для развития деструктивных процессов определенного уровня упругого энерговыведения.

Следует отметить, что для отмеченных целей создание автоматизированных мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности на горнодобывающих предприятиях в мире ведется традиционно на базе применения физических основ сейсмо-акустических (преимущественно) и электромагнитных (в стадии разработки) эмиссионных полей из очаговых зон концентрации напряжений и деформаций.

В последние десятилетия наметилась тенденция комплексирования в применении акустических и электромагнитных эмиссионных полей для более надежного прогнозирования катастрофических событий с целью соответствующей спецификации их по месту и времени проявления, опираясь на фундаментальные данные по механо-электромагнитным преобразованиям в напряженных массивах горных пород, обладающих неоднородностью по минералогическому составу, физико-механическим свойствам, многофазностью и блочно-иерархическим строением (от субмолекулярного нано до макро-уровня, оцениваемого размерами крупных тектонических блоков для шахтных полей).

Таким образом экспериментально-теоретические исследования в направлении развития физических основ для описания механо-электромагнитных преобразований в напряженных массивах горных пород блочно-иерархического строения и разработки методов инструментального контроля сопутствующих им электромагнитных эмиссионных полей с целью краткосрочного прогнозирования изменения напряженно-деформированного состояния в очаговых зонах деструктивного проявления геоматериалов в мониторинговом режиме обладают очевидной научной и прикладной значимостью, а выбранная А.А. Беспалько тема диссертационной работы – несомненной актуальностью.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ И ЕЁ ЗАВЕРШЕННОСТЬ

Диссертация А.А. Беспалько является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно или под его руководством. Содержание диссертации соответствует поставленным целям и содержит решение всех предварительно сформулированных автором задач. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Диссертационная работа включает введение, 6 глав, заключение, список литературы из 370 источников, 3 приложения на 19 страницах с актами внедрения результатов иссле-

дований, 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 на основании общего состояния исследований и разработок в области обеспечения безопасности ведения крупномасштабных горных работ в нашей стране и за рубежом, с акцентом на построение соответствующих мониторинговых систем геомеханического контроля, обоснована актуальность темы диссертации, логично и корректно определены цели и задачи исследований и разработок, отмечены новизна и практическая ценность достигнутых результатов, приведены сведения о их натурной апробации, а также основные научные положения, выносимые на защиту.

В соответствии со сформулированной А.А. Беспалько тематической направленностью диссертационных исследований, логично и по существу им выделены соответствующие основные задачи, коррелирующие по названию с главами диссертации. Необходимость реализации данных исследований и технических разработок в горнодобывающей промышленности в виде прототипа для перспективных мониторинговых систем геомеханического оперативного контроля и прогнозирования динамических форм проявления горного давления на основе регистрации электромагнитно-эмиссионных процессов делает проделанную работу с необходимостью комплексной.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Так, *в первой главе*, посвящённый состоянию изученности электромагнитной эмиссии (ЭМИ) твердотельными диэлектриками и горными породами с позиций её применимости в геомониторинговых системах диагностики и контроля напряженно-деформированного состояния массивов горных пород на месторождениях полезных ископаемых, а также их разрушения на критических стадиях нагружения рассмотрены: известные ныне представления о механизмах и их моделях генерирования ЭМИ в соответствующих геоматериалах, опирающихся при их верификации, в основном, на соответствующие данные лабораторных испытаний твердотельных образцов, с привлечением для анализа также данных акустических воздействий; опыт применения метода инфракрасной радиометрии и его основы для бесконтактного контроля напряженно-деформированного состояния и процессов разрушения горных пород на забоях скважин. В результате это позволило автору обоснованно сформулировать основные задачи диссертационных исследований по количественному изучению особенностей механо-электрических преобразований в напряженных массивах горных пород и их геоматериалах со структурой, спектрально-временной анализ которых может быть конструктивно использован для построения нового уровня геомониторинговых систем для краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород в процессах отработки твердых полезных ископаемых на примере Таштагольского железорудного месторождения, осуществляемой с применением мощных (до 300 тонн ВВ) технологических взрывов.

Эти основные задачи и их решение по существу отражены в названиях следующих пяти главах диссертации.

• *Во второй главе* приведены в систематизированном виде общие горно-геологические, гидрогеологические, петрофизические, физико-механические и электрофизические свойства рудных образцов и вмещающих продуктивные пласты массивов горных пород,

характерные (типовые) для базового натурального объекта выполняемых исследований – Таштагольского железорудного месторождения юга Западной Сибири. Для построения геомониторинговых систем такая систематизация с необходимостью является базовой как для решения поставленного А.А. Беспалько круга научных задач, так и воплощения их результатов, включая испытания новых измерительных систем, в конкретных условиях крупного действующего горнодобывающего предприятия со стратегически важными для России запасами минерального сырья для черной металлургии. В последнем случае вполне логично и достаточно полно диссертантом описаны также структурно-геологические и горно-технические условия возникновения горных ударов и других динамических форм проявления горного давления, в т.ч. от взрывов, сопутствующих горному производству по действующим горизонтам отработки месторождения. Отобранные с Таштагольского рудника многочисленные образцы руды и литотипов горных пород, с их необходимой паспортизацией и спецификацией, использовались диссертантом в последующих углубленных экспериментально-теоретических исследованиях и технических разработках основных блоков контрольно-измерительных приборов, составляющих проектируемую мониторинговую систему в целом. Эти исследования, разработки и основные результаты описаны подробно, логично и основательно в следующих главах диссертации: начиная с масштабных уровней образцов горных пород и кончая масштабами блоков, составляющих месторождения в целом.

- *Третья глава* посвящена разработке новых методов и измерительной аппаратуры для комплексного достаточно высокочастотного (1 – 100 кГц) контроля электромагнитно-эмиссионных и акустических импульсных процессов для изучения механизмов их взаимодействия на образцах горных пород и в натуральных условиях рудника Таштагольский, что лежит, как правило, в основе технических заданий на проектирование перспективных геомониторинговых систем. В данном случае – основанной на количественных оценках механо-электромагнитных преобразованиях, индуцируемых минералого-структурными неоднородностями электромагнитных эмиссионных полей в разного уровня механической напряженности (до критических) при постоянно присутствующем обычно сейсмическом или акустическом фоне от удалённых землетрясений, технологических взрывов или работы технологического оборудования.

Такие исследования и разработки диссертантом выполнены на основе тщательного анализа применяемых для этих целей методов и измерительной аппаратуры для контроля электромагнитной эмиссии на твердотельных диэлектриках и образцах горных пород, с учетом их структурно-минералогических особенностей и физико-механических свойств. К важным научным результатам, полученным диссертантом, здесь следует отнести создание двух оригинальных стендов для исследования и анализа процессов ЭМИ-изучений при контролируемом по энергии импульсном акустическом возбуждении испытуемых на одноосное и со сдвигом нагружении до разрушения геоматериалов на автоматизированном прессе ИП-500. Автору впервые удалось оценить комплексную количественную связь между параметрами электромагнитных эмиссионных и «фоновых» акустических сигналов по их амплитудно-частотным характеристикам, токам поляризации, интенсивности инфракрасного излучения и размерами эмиссируемых образцами пород субмикронных частиц на критических стадиях деформирования.

Отмеченные научные результаты позволили диссертанту разработать и создать чувствительный автономный програмно-аппаратный регистратор РЭМС1 (для контроля электромагнитной и акустической эмиссии и породных массивов и геоматериалов по 6 каналам в диапазоне до 100 кГц, с набором трех модально выделенных частот), а также регистратор эмиссионных электромагнитных и акустических сигналов из массивов и образцов горных

пород РЭМАС 1, ориентированный по своим базовым параметрам (длительности сеансов, энергопотреблению и т.д.) обеспечивать функционирование разрабатываемой мониторинговой системы в условиях рудника Таштагольский (равно как и РЭМС1) в целом. Качественно новые возможности при этом появляются в связи с тем, что обеспечиваются условия для использования первичных записей регистрируемых физических полей, их предварительной отработки и передачи препарированных данных в информационную сеть рудника для дальнейшего комплексного анализа и принятия производственных решений в критических ситуациях, создающихся при ведении горных работ.

• В четвертой главе описанные в предыдущей главе стенды и приборно-измерительные комплексы использованы диссертантом для экспериментальных исследований в лабораторных условиях и механико-математического моделирования амплитудно-частотных характеристик эмиссионных электромагнитных полей, индуцируемых в гетерогенных диэлектрических структурах и образцах горных пород при внешних импульсных механических и акустических воздействиях, верификации сходимости экспериментальных и теоретических данных.

Большое внимание диссертантом уделено также решению фундаментальных для практических приложений задач – экспериментального изучения особенностей поляризации порообразующих минералов для базового объекта (железорудного месторождения), плотности распределения индуцируемых электрических зарядов и периодам их релаксации на поверхностях основных образцов горных пород и руд в зависимости от уровней их механической напряженности и др. По достигнутым результатам экспериментально-теоретических исследований в качестве наиболее значимых для разработки и практического применения новых методов мониторингового контроля НДС горных пород в режиме реального времени на основе регистрации электромагнитно-эмиссионных данных из породного массива (равно как и из их породных образцов), имеющих научную новизну, следует отметить:

(1) экспериментальное доказательство, что плотности распределения зарядов на поверхностях испытанных образцов горных пород (сиенитовые скарны, известняк, магнетитовые руды, кальцит) имеют наибольшие значения в местах сопряжения с минералами, обладающими максимальными удельными сопротивлениями. По-существу, речь идёт о наличии высокой корреляционной связи между «мозаичной» структурой минералого-петрографических неоднородностей породных образцов и картиной распределения плотности зарядов на их поверхностях. Это открывает перспективные возможности для развития нового направления прикладных исследований по «тонкому» структурному анализу горных пород в решении динамических задач нелинейной геомеханики;

(2) важную роль в осуществлении механо-электрических преобразований (с сопутствующим электромагнитным излучением) играют возникающие при их нагружении двойные электрические слои, связанные с наличием дефектной структуры геоматериалов, их минералогической и соответственно электрофизической неоднородностью. Акустические воздействия способны индуцировать колебательный режим дипольных моментов на трещинах, соразмерных структурным неоднородностям породных образцов; при этом параметры электромагнитных сигналов и характеристики акустических импульсных воздействий по амплитудно-частотным спектрам, зависят существенно от напряженно-деформированного состояния образцов геоматериалов, а также размеров и ориентации излучающих электромагнитное поле диполей;

(3) установлены диапазоны амплитудно-частотных характеристик электромагнитных эмиссионных сигналов при нагружении до разрушения представительной выборки образцов горных пород Таштагольского месторождения, позволившие сформулировать

технические требования к проектированию и созданию соответствующих решаемым задачам комплексы измерительной аппаратуры для геомеханического контроля состояния породных массивов в условиях железорудного месторождения;

(4) экспериментально на породных образцах доказано, что амплитудный спектр диапазона инфракрасного излучения электромагнитных волн весьма чувствителен к их напряженно-деформированному состоянию.

- *Пятая глава* посвящена реализации достигнутых и описанных в предыдущих главах результатов исследований и тестированию технических разработок в научном приборостроении на примере решения конкретных геомеханических задач изучения особенности протекания техногенно наведенной динамической активности при отработке удароопасных горизонтов рудника Таштагольский. При этом было достоверно установлено, что индуцируемые крупными технологическими взрывами сейсмособытия в результате механоэлектрических преобразований в окрестностных массивах горных пород отрабатываемых камер для рудных тел из-за существенного изменения их напряженного состояния всегда сопровождаются электромагнитными эмиссионными процессами, состоящими из последовательности импульсных ЭМИ-сигналов. При этом имеет место корреляция по длительности процесса и амплитудно-частотному спектру последних с напряженно-деформированным состоянием горных пород, энергией и расстоянием до взрывов, временными периодами геомеханических (по НДС) и электромеханическими релаксационными процессами, существенно зависящими от структурно-минералогических и электрофизических свойств геоматериалов для отрабатываемых породных массивов.

Это принципиально важный научный результат для разрабатываемого диссертантом метода мониторинга в натурных условиях действующих рудников. Для его конструктивного применения в таких условиях в качестве важных результатов следует также отметить научное обоснование и конкретную реализацию идеи автора по критерию технологической оптимальности выбора мест установки разработанных приборно-измерительных комплексов в пределах отрабатываемых горизонтов рудника Таштагольский с опорой на инструментальные методы электропрофилирования вдоль выработок, а также инфракрасной радиометрии по буровым скважинам. К существенно значимым результатам представленных в данной главе исследований, несомненно, следует отнести и выводы, касающиеся «фоновое влияния» на регистрируемые ЭМИ-процессы сезонных периодов по временам года для рудника Таштагольский (роль температуры и влажности), а также о незначительности влияния «атмосферного электричества». В последнем случае, к сожалению, диссертант не приводит ссылок на соответствующие количественные оценки. К интересным, но спорным, следует отнести и отраженные в данной главе его попытки дать геомеханические представления о причинно-следственных связях между характеристиками индуцированных взрывами достаточно крупных сейсмособытий и сопутствующими им ЭМИ-процессам, с учетом определенных их отличий по амплитудно-частотным характеристикам и формам аналоговых записей.

- *Шестая глава* является, по-существу, синтезирующей для основных результатов исследований, отраженных и в необходимой мере обоснованных комплексом экспериментов и математическим моделированием в предыдущих главах, и посвящена обоснованию построения *комплексной системы мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам и их характеристикам электромагнитной и акустической эмиссии, включая инфракрасное свечение скважин*.

В данном случае, в качестве «синтезирующих» диссертантом отражены оригинальные разработки, посвященные: построению обобщенной схемы электро-механоэлектрических

преобразований в горных породах на этапах подготовки разрушений (для очаговых зон, рис. 6.1); разработке макета информационной системы для контроля и прогноза геомеханического состояния породных массивов в процессах формирования и проявления динамических событий (горных ударов, толчков, взрывов), включая организацию системы взаимодействия сервера и регистраторов РЭМАС1 (рис. 6.2 – 6.6), схему испытаний беспроводной передачи данных мониторинга в условиях шахты (рис. 6.7), а также алгоритм и схема проведения геомониторинга для краткосрочного прогноза изменения НДС массива горных пород по параметрам и характеристикам электромагнитной, акустической эмиссии, а также инфракрасного свечения «реперных» для контроля скважин (рис. 6.8). Значительный практический интерес представляют здесь также модельные аналитические аппроксимации электромагнитных сигналов из породных массивов и их геоматериалов, регистрируемых измерительными РЭМС1 и РЭМАС1, по временным рядам с использованием новых методов и алгоритмов обнаружения предвестников геодинамических событий (рис. 6.11 – 6.12), предложенных сотрудниками Геофизического Центра РАН (А.Д. Гвишиани, С.М. Агаян и др.) и протестированные диссертантом на примерах аналоговых записей ЭМИ-процессов в лабораторных и натурных условиях (6.13 – 6.18). В данном аспекте, безусловно, предстоит еще большая исследовательская работа в направлении геомеханической интерпретации комплексных акусто-электромагнитных и медленных нелинейных в своей основе, индуцируемых их деформационно-волновых процессов в напряженных многофазных массивах горных пород блочно-иерархического строения от источников квазистатического и динамического воздействий.

Однако, это – отдельная крупная научная проблема, решение которой становится возможным на базе достигнутых в рецензируемой диссертации А.А. Беспалько научных результатов и их успешной апробации в натурных условиях крупномасштабного горного производства, обладающего одновременно своими специфическими особенностями как по инфраструктурным особенностям и требованиям к функционированию контрольно-измерительных систем на рудниках и шахтах, так и динамичностью по длительным временным циклам работы этих очень сложных по структуре горно-технических общего недропользования Сибири.

СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ АВТОРЕФЕРАТА ОСНОВНЫМ ЦЕЛЯМ И ВЫВОДАМ ДИССЕРТАЦИИ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОФОРМЛЕНИЯ АВТОРЕФЕРАТА.

По своему содержанию автореферат диссертации А.А. Беспалько в полной мере соответствует основным идеям и выводом диссертации и оформлен на достаточно качественном уровне.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОФОРМЛЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Сама диссертация «Физические основы и реализация метода электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород» оформлена её автором на достаточно высоком качественном уровне как по содержанию, так и иллюстративному материалу, позволяющим объективно оценить основные идеи, научные и технические разработки, их оригинальность, обоснованность и полезность в практических целях (отражено также в Приложениях А, Б, В на стр. 377 – 395).

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ И АВТОРЕФЕРАТУ

(1) Как показывает практика электрометрических измерений в геофизике, «фоновая составляющая» электромагнитного поля в массивах горных пород существенно зависит от наличия телурических токов, индуцируемых как ионосферным электричеством, так и физико-химическими процессами на границах рудных тел. Этот аспект не нашёл должного отражения, по крайней мере, в первой главе.

(2) Параграф 2.1 следовало бы дополнить и завершить (стр. 49) табличными данными по характерным (в виде гистограмм) распределениям размеров более широкого диапазона (менее 1 см и более 1 м) структурных отдельностей горных пород в руднике Таштагольский как по геологическим данным, так и по результатам дезинтеграции горных пород и руд при взрывной отбойке подземных камер. Это существенно для механико-математического моделирования ЭМИ-процессов на базе моделей с излучающими диполями соответствующих размеров и ориентации при механо-электрических преобразованиях в реальных массивах горных пород.

(3) В современной геомеханике в лабораторных экспериментальных исследованиях нелинейных деформационно-волновых процессов, индуцируемых нагружающими устройствами, стал активно применяться спеклометрический метод дистанционного контроля НДС поверхностей образцов горных пород и геоматериалов. Автору диссертации следовало бы обратить особое внимание на уже достаточно многочисленные публикации как в России, так и за рубежом в данном направлении. Оно имеет прямое отношение не только к спецификации преимущественно проявляющихся механизмов механоэлектрических преобразование, но и геомеханической интерпретации регистрируемых записей акусто-электромагнитно-эмиссионных процессов, а значит, и более надежному обоснованию критериев (в первую очередь – физических!) прогнозирования стадий подготовки, реализации и последствию очагов разрушения горных пород и катастрофических событий.

(4) С учетом замечаний по п. (3), диссертанту в перспективных прикладных научных исследованиях и совершенствовании созданной им мониторинговой системы, особенно в плане геомеханической интерпретации экспериментальных данных с позиций достижения уровней критичности для проявления катастрофических событий, следовало бы обратить также должное внимание к современным достижениям в области теории нелинейных упругих волн маятникового типа, активно разрабатываемой в России, Китае, Израиле и др. странах.

(5) Отмеченные замечания как по диссертации, так и автореферату являются по содержанию общими. Основные выводы, без утраты сути их содержания, можно было бы укрупнить и конкретизировать в количественных оценках влияющих факторов. Их слишком много: в диссертации – 46 позиций; в автореферате – 15. Следовало бы и в том, и другом случае начать раздел **Заключение** с общей «*Формулы результата*», коррелирующей в утвердительном наклонении с темой диссертации (стр. 332 и стр. 41 – соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ О ПОРЯДКЕ ПРИСУЖДЕНИЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Считаю, что в целом диссертация Беспалько Анатолия Алексеевича на тему «Физические основы и реализации методы электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряжения напряженно-деформированного состояния горных пород» отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ и материалов и изделий, и полностью соответствует критериям, установленным в соответствии с порядком присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ 93/од от 06.12.2018 г.

(dis.tpu.ru), а автор диссертации заслуживает присуждения ему степени доктора технических наук.

Официальный оппонент

Член-корреспондент РАН, профессор,
доктор физико-математических наук,
заведующий отделом экспериментальной
геомеханики ИГД СО РАН

В.Н. Опарин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
Сибирского отделения Российской академии наук
Адрес: 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54
раб. тел. 8(383 205-30-30 доб. 113, e-mail: oparin@misd.ru

Подпись Опарина Виктора Николаевича удостоверяю:

Ученый секретарь ИГД СО РАН

Адрес: 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54

Раб. тел. 8(383)205-30-30 доб. 200, e-mail: hmetinin@misd.ru

А.П. Хмелинин

