

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Белоусова Федора Сергеевича «Обоснование методики мониторинга нарушенности переходных зон при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Представленная работа содержит введение, три главы, заключение, список литературы. Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка и 44 таблицы. Список литературы представлен 104 наименованиями.

1. Актуальность работы

Диссертационная работа посвящена проблеме обеспечения безопасного и бесперебойного режима разработки запасов кимберлитовых месторождений и нацелена на обоснование и разработку методики мониторинга нарушенности переходной зоны под дном карьера при комбинированном ведении горных работ, а также определения её фактического геомеханического состояния. В настоящее время подземные разработки запасов кимберлитовых месторождений под глубокими карьерами основаны на схеме нисходящей выемки запасов полезных ископаемых горизонтальными слоями с твердеющей закладкой. При формировании закладочного массива зачастую образуется зона недозаклада, которая в последующем становится причиной усадки твердеющей смеси. В свою очередь по мере увеличения толщины искусственного массива под переходной зоной возрастает её интегральная податливость.

С целью выявления и последующего устранения последствий образования таких зон возникает необходимость применения информативных и оперативных инструментальных методов, способных дать оценку фактических физико-механических свойств рудного массива над закладываемыми выработками.

В результате тщательного анализа существующих методов для решения поставленных задач автором были предложены и обоснованы методы сейсмоакустического просвечивания, ультразвукового каротажа и инклинометрии. Физическая основа данных методов вполне оправдана для получения данных о динамике развития геотехнических процессов в массиве горных пород и прогноза её нарушенности в ходе ведения горных работ.

Следует отметить, что предложенная методика открывает новые возможности, которые позволяют оперативно и достоверно оценить геомеханическое состояние переходной зоны под дном карьера, что является особенно актуальным при

комбинированной разработке кимберлитовых месторождений по технологии нисходящей выемки запасов полезных ископаемых горизонтальными слоями с твердеющей закладкой.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор выносит на защиту три научных положения, *раскрывающих*:

- возможности и преимущества метода сейсмической томографии в варианте использования разработанной, в рамках исследований, беспроводной сейсмостанции для получения информации о пространственно-временных изменениях упругих характеристик кимберлитов под дном карьера;

- эффективность выбранного комплекса мониторинговых методов, который включил в себя сейсмическое просвечивание, ультразвуковой каротаж и инклинометрию скважин;

- способы количественной оценки на основе связей критических значений скоростей упругих волн и оседаний реперов и фактического перехода обследуемых зон под дном карьера в разрушенное состояние;

- взаимосвязь изменений скоростных характеристик упругих волн и модуля упругости с увеличением размеров области разрушения в переходной зоне под дном карьера на основе трехлетнего экспериментального периода наблюдений.

Для формирования **первого положения** автором рассмотрены и проанализированы различные геофизические методы исследований, позволяющие проводить регулярный мониторинг геомеханических процессов, протекающих в переходной зоне под дном карьера при комбинированном ведении горных работ на кимберлитовых месторождениях с целью установления характеристик упругих свойств кимберлитов с возможностью построения карт распределения скоростей упругих волн для описания её геомеханического состояния. Проведен анализ основных плюсов и минусов современной сейсмической аппаратуры, на основе которого была создана специализированная шахтная беспроводная сейсмостанция, позволяющая эффективно проводить опытно-промышленные работы и определять геомеханическое состояние массива горных пород.

Второе и третье положения базируются на результатах анализа экспериментально полученных данных измерений методами сейсмического просвечивания массива, ультразвукового каротажа и инклинометрии в переходной зоне. В ходе экспериментальных исследований выполнен анализ различных методов определения свойств и состояния переходной зоны в условиях современного горного предприятия с подземным способом добычи по схеме нисходящей выемки запасов полезных ископаемых горизонтальными слоями с твердеющей закладкой. В работе показана высокая эффективность геофизических наблюдений для выделения областей с повышенной трещиноватостью в переходной зоне. Томографическая обработка данных

сейсмопросвечивания позволила повысить информативность сейсмических исследований, в том числе, путем построения кинематических карт (распределения изолиний скоростей продольных волн) в переходной зоне. Автором было отмечено, что при геотехнической концепции закладки выработанного пространства по традиционной схеме нисходящей выемки запасов полезных ископаемых образуется зона недозаклада, способствующая негативному изменению свойств горных пород переходной зоны.

Ультразвуковой каротаж является методом с высоким разрешением, что позволяет оценивать изменчивость свойств массива горных пород на малых интервалах с достаточно высокой точностью. В связи с незначительной дальностью исследований ультразвуковые измерения целесообразно применять для определения свойств рудного массива в отдельных локальных участках, а также для лабораторных определений физико-механических свойств и установления корреляционных связей для последующей интерпретации данных сейсмического просвечивания в величинах степени трещиноватости, интегральных физико-механических свойств.

В отличие от геофизических методов метод инклинометрии является прямым методом, позволяющим количественно дать оценку смещений массива горных пород. Результаты экспериментальных исследований показали, что метод инклинометрии является эффективным инструментом для подтверждения и уточнения результатов методов сейсмического просвечивания. Для нахождения связи результатов измерений метода сейсмического просвечивания и инклинометрии автором был проведен анализ зависимости скорости продольных волн в массиве горных пород от величины оседания измерительных скважин.

Корреляционный анализ взаимосвязи скорости продольных волн от величины оседания реперов инклинометрических скважин показал её высокую качественную характеристику по шкале Чеддока (коэффициент корреляции $r = 0,85$).

Третье научное положение дает статистическую оценку степени связи скоростных характеристик упругих волн в массиве горных пород и модуль упругости от размеров области разрушения в переходной зоне под дном карьера на основе трехлетнего экспериментального периода наблюдений.

Объем и высокое качество результатов измерений геофизическими методами и методом инклинометрии, проведенных комплексно в один период, корректность обработки этих результатов, позволяют сделать вывод о достаточной степени обоснованности данного научного положения.

В целом можно отметить, что все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, базируются на большом экспериментальном материале, современных методах регистрации и обработки данных и обоснованы автором в достаточной степени.

3. Новизна и достоверность результатов

Новизна результатов заключается в обосновании принципиальной возможности эффективного использования разработанной автором методики количественного прогнозирования свойств горного массива на основе комплексного анализа данных сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и инклинометрии, позволяющей эффективно на длительную перспективу прогнозировать его геомеханические свойства, а также выявлять области неустойчивого состояния.

Установлено, что томографическое распределение скоростей акустических волн и ультразвуковые диаграммы по глубине, а также деформационные процессы имеют высокую корреляционную связь со степенью нарушенности переходной зоны.

Установлены критерии прогнозирования зон разуплотнения переходной зоны под дном карьера с использованием карт распределения информативных параметров акустического просвечивания, ультразвукового каротажа и инклинометрии.

Получены параметры техногенно измененной, блочно-трещиноватой структуры рудного массива в переходной зоне и их взаимосвязь со скоростями сейсмоакустических волн и деформациями.

При этом стоит отметить, что по отдельности методы сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и инклинометрии сами по себе совсем не новые и очень эффективно используются как для решения инженерно-геологических задач, так и в целях геотехнического мониторинга.

В процессе написания работы с учетом требуемых технических характеристик создан опытный образец беспроводной сейсмической аппаратуры для оперативной оценки упругих свойств горных пород переходной зоны под дном карьера.

Достоверность полученных автором результатов сомнения не вызывает. Это подтверждается обоснованной логикой исследования, построением защищаемых научных положений, выводов, рекомендаций на основе многолетних наблюдений и представительного объема данных натурных экспериментов, а также непротиворечивостью полученных результатов физическим законам и результатам других исследователей.

4. Значимость результатов для науки и практики

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в установлении новых закономерностей, зависимостей и связей свойств породных массивов с кинематическими и динамическими параметрами сейсмических волн и данными фактических деформаций массива горных пород, полученных при обработке результатов экспериментальных наблюдений на натурном объекте.

Значимость результатов исследований Блоусова Ф.С. для практики заключается в возможности повышения надежности выбора систем разработки на основе качественной и количественной оценок состояния рудного тела под дном карьера при комплексном анализе геомеханической и геофизической информации. Условия проведения экспериментальных исследований инициировали разработку беспроводной сейсмической аппаратуры с пневмоприжимными зондами, позволяющая повысить эффективность проведения геофизических исследований.

5. Публикации, отражающие основное содержание диссертационной работы, апробация результатов

Основные результаты диссертации изложены в 11 печатных работах, среди которых 4 – в изданиях, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки РФ. Результаты исследований в необходимых объемах докладывались на российских и международных конференциях, симпозиумах, семинарах, школах. Публикации в полной мере раскрывают содержание диссертационной работы.

В автореферате в достаточной степени изложены основные идеи и выводы диссертации, показаны вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований. Он полностью отражает основное содержание диссертации.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты исследований можно рекомендовать к использованию для геомеханического контроля нарушенности переходных зон под дном карьера на месторождениях разрабатываемых комбинированным способом, где отработка запасов полезных ископаемых ведется по технологии нисходящей выемки с закладкой выработанного пространства, а также в учебном процессе для подготовки студентов ВУЗов по специальности 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства».

7. Замечания

1. Не совсем корректная формулировка на стр. 28 – «трещиноватость горных пород смещает частоту максимума спектральной плотности влево». В данном случае необходимо дать пояснение, что чем выше уровень трещиноватости горной породы, тем сильнее происходит затухание высокочастотной составляющей спектра сейсмической волны. При этом к расположенному на удалении сейсмоприемнику приходит более низкочастотная волна.

2. Излишним выглядит упоминание волн Лява и Рэлея, а также фазы Эйри в описании методологии МСП на объемных волнах.

3. На стр. 40 опечатка. «При обработке и интерпретации необходимо учитывать также и физико-механические свойства» в данном предложении видимо отсутствует слово горных пород. Тогда с данным предложением не согласуется по смыслу следующее продолжение абзаца: «На горизонте -210 были организованы маркшейдерские исследования для установления величин деформаций подрабатываемого массива горных пород и характера их развития». Стоит отметить, что маркшейдерские исследования не позволяют получить информацию о физико-механических свойствах горных пород.

4. Не совсем логично в главе 2 отсутствует техническое и методическое описание метода инклинометрии, применявшегося в исследовании.

5. Отсутствует описание технических характеристик изобретенной сейсмической станции, такие как динамический диапазон, частота дискретизации и пр. Эти параметры важны для понимания принципиальных возможностей станции при регистрации сейсмических волн, от которых зависит, в том числе, разрешающая способность метода. Характеристики геофонов GS-20DX известны, потому как широко применяются многими организациями при решении различных геофизических задач.

6. В главе 3.3.1, в которой приводятся результаты МСП, автор упоминает, что в результате обработки исходных данных сейсмического просвечивания были определены значения скоростей упругих волн для каждого луча, т.е. для пары «источник-приемник». Далее производится томографическое построение в программе Tomography 1.0. Такая обработка позволяет выявить неоднородности упругих свойств кимберлитов, в том числе неоднородности, связанные с возможным разуплотнением (разрушением, трещиноватостью) и суффозионными процессами. При этом автор указывает, что разрешающая способность метода при данном наборе измерений составляет ~10м. К сожалению, автор не приводит фактических динамических и кинематических данных, необходимых для расчета разрешающей способности метода при данном наборе наблюдений.

7. Не совсем полно описан механизм сравнения скоростных характеристик от цикла - к циклу. Представляется, что намного эффективнее и нагляднее была бы томография, построенная по разности кинематических характеристик среды от базового цикла к последующим.

Приведенные выше замечания носят частный или рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

8. Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой на актуальную тему, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие её квалифицировать как разработку научно обоснованных технических решений, которые уже нашли свое практическое применение, способствуя эффективному контролю за геодинамическими негативными процессами при горнодобывающем производстве. Работа базируется на достаточном количестве исходных данных, иллюстрирована большим числом примеров. В заключение каждой главы сделаны четкие выводы. Выводы и рекомендации обоснованы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В целом считаю, что диссертация «Обоснование методики мониторинга нарушенности переходных зон при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» соответствует требованию пункта 9-14 постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор Белоусов Федор Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОПОНЕНТ:
Кандидат технических наук,
Заведующий лабораторией геофизических
исследований научно-исследовательского
отдела ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»
Почтовый адрес учреждения:
Россия, 191002, г. Санкт-Петербург, ул.
Большая Московская, д.2
Электронная почта: d.k.a@mail.ru
Телефон: (812) 702-61-95

Дорохин Кирилл Александрович

«31» мая 2021г.

Дорохин К.А. согласен на обработку персональных данных.

Подпись Дорохина Кирилла Александровича заверяю.

Начальник отдела кадров

ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



Золотарева Л.Б.