

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора РАН Еременко В.А. на диссертационную работу Выходцева Ярослава Николаевича «Разработка математической модели воздействия сейсмозрывной волны на массив горных пород, включающий горизонтальную выработку», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 38 таблиц и список использованной научной литературы из 150 наименований.

1. Актуальность темы диссертационной работы

В условиях разработки апатит-нефелиновых руд Кировского рудника, где горные работы ведутся открытым и подземным способами, вопросы сохранности горных выработок при проведении массовых взрывов являются актуальными, так как при проведении взрывов в массиве горных пород возникают значительные деформации и напряжения.

Оценка безопасности горных выработок связана с необходимостью расчёта значений скоростей смещения горных пород, напряжений и деформаций в окрестности горной выработки при динамических нагрузках, вызванных массовыми взрывами. В диссертационной работе для решения поставленной задачи разработаны математическая и геомеханическая модели, описывающие воздействие сейсмозрывной волны на неоднородный массив горных пород, вмещающий горизонтальную выработку, созданы численные алгоритмы и реализован вычислительный программный комплекс.

Цель и идея диссертационной работы являются достаточно обоснованными, а поставленные задачи исследований позволяют в полной мере решить обозначенные проблемы. Положительным в работе является комплексный метод исследований.

Таким образом, на основании вышесказанного считаю, что диссертация Выходцева В.Н., посвященная моделированию воздействия сейсмозрывной волны на массив горных пород, включающий горизонтальную выработку, а также описанный подход к решению проблем обеспечения безопасности горных выработок при динамических нагрузках являются актуальными, а результаты численной реализации разработанных математической и геомеханической моделей представляют собой научное и практическое значение.

*№170-10
от 11.09.2018*

2. Научная значимость и новизна диссертационной работ

Полученные в диссертационной работе результаты исследований обладают научной новизной и практической значимостью. Численное моделирование с использованием разработанной автором модели воздействия сейсмозрывной волны на слоистый неоднородный массив горных пород, вмещающий горизонтальную горную выработку, позволяет определить необходимые значения напряжений, деформаций, скоростей смещения пород в окрестности горной выработки. Полученные значения основных параметров напряженно-деформированного состояния позволяют провести достоверную оценку безопасности действующей горной выработки.

Наиболее существенными представляются следующие результаты исследований полученные диссертантом:

1. Выявлены закономерности воздействия сейсмозрывной волны на слоистый неоднородный массив горных пород при проведении массовых взрывов на карьерах Объединенного Кировского рудника АО «Апатит». Полученные значения напряжений, деформаций и скоростей смещения горных пород были использованы для формирования оценки безопасности проведения буровзрывных работ.

2. На основе разработанной математической модели, описывающей воздействие сейсмозрывной волны на слоистый массив горных пород, были построены численные схемы и алгоритмы расчёта основных параметров напряженно-деформированного состояния, реализованные в виде эффективного программного комплекса.

3. С помощью разработанного вычислительного программного комплекса были решены важные модельные и прикладные задачи геомеханики.

3. Обоснованность научных результатов и выводов диссертационной работы

Основные научные результаты работы отражены в трех положениях, выносимых на защиту.

Защищаемые положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, в целом обоснованы ссылками на апробированные источники, а также подтверждены результатами проведенных экспериментов на карьерах Объединённого Кировского рудника.

Первое защищаемое положение – отражает аспекты формирования оценки воздействия сейсмозрывной волны на неоднородный массив горных пород, включающий горную выработку, обосновано проработанные теоретическими исследованиями: оценка безопасности подземных сооружений осуществлялась на основе разработанной

геомеханической модели, базирующейся на уравнениях динамической теории упругости Мизеса.

Второе защищаемое положение - раскрывает алгоритм создания эффективных численных схем и вычислительный программный комплекс для численного моделирования модельных и прикладных задач геомеханики.

Третье защищаемое положение - связано с проблемой обеспечения сохранности горных выработок Объединенного Кировского рудника при проведении массовых взрывов. Результаты численного моделирования сопоставимы с результатами натурных замеров при проведении массовых взрывов на Объединенном Кировском руднике.

Таким образом, достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций в целом обеспечивается большим объемом теоретических исследований, включающих анализ работ отечественных и зарубежных ученых в области динамических задач геомеханики, удовлетворительной сходимостью численных результатов расчетов с натурными данными, а также с результатами, полученными другими авторами и с помощью других вычислительных методов.

4. Практическая ценность результатов диссертационной работы

Полученные в диссертационной работе результаты исследований обладают практической ценностью. Разработана геомеханическая и математическая модели, численные алгоритмы и вычислительный программный комплекс для моделирования воздействия сейсмозрывной волны на слоистый массив горных пород, вмещающий горизонтальную выработку. Определены основные параметры напряженно-деформированного состояния массива горных пород для необходимой оценки прочности крепи горизонтальной выработки при ведении буровзрывных работ.

5. Замечания по диссертационной работе

1. В работе рассматриваются месторождения с гравитационно-тектоническим исходным напряженным состоянием массива горных пород. Разработка такого типа месторождений при проведении взрывов характеризуется формированием в районе выработок как зон высоких концентраций напряжений (приводят к горным ударам), так и зон разгрузки (приводят к горным ударам в виде сброса), а также формируются на контуре выработок зоны трещиноватости как правило до 1 м и более от обнажения (зоны нарушенности пород). В диссертационной работе при построении геомеханической модели слоистого массива не рассмотрены условия формирования на контуре выработки трещиноватого слоя пород вызванного действием высоких сжимающих напряжений, который имеет свои

измененные физико-механические свойства, и действие в данных условиях сейсмической волны на устойчивость выработки. В реальных условиях разрабатываемых месторождений зоны разгрузки (где напряжения в массиве приближены к нулевым значениям) оказывают больше вреда, чем зоны повышенных напряжений (сжимающие напряжения оказывают благоприятные условия на устойчивость выработок). В таких зонах кроме действия сейсмической волны при проведении массовых взрывов на массив горных пород, вмещающий выработку, оказывает влияние (гравитационное) потенциальная энергия неустойчивого трещиноватого приконтурного массива и часто происходят обрушения – данные условия в работе не рассматривались.

- Необходимо также диссертанту пояснить физический смысл влияния сейсмической волны вызванной массовым взрывом на состояние массива, который вмещает горизонтальную выработку, в т.ч. закрепленную (так как вопросы крепления озвучены в диссертации). Какие сценарии деформирования и разрушения приконтурного массива выработки бывают в процессе динамической нагрузки (этого в диссертации нет) и как это происходит.

2. Представленная геомеханическая модель слоистого массива с радиальным расположением слоев (не более 3) вокруг выработки разномодульных пород имеет недостатки. В реальных условиях разрабатываемых месторождений вмещающий горную выработку массив представляет более сложную картину распределения горных пород, имеются также в массиве как правило от 1 до 3 и более систем трещин, что также не учитывалось при исследовании влияния взрывов.

3. В диссертационной работе рассматривается только модельный случай в нескольких вариантах, где волна падает под углом 0° к оси симметрии горной выработки. При проведении массового взрыва на карьере эпицентр может располагаться на одном фланге карьерного поля, а исследуемая горная выработка на другом фланге шахтного поля на рассматриваемой в работе глубине 500 м. В данном случае волна падает под углом уже не 0° , а ее угол изменяется от 15° до 25° при длине рассматриваемого участка 1-3 км. Данные условия в работе не рассматриваются, хотя имеют большое значение, особенно в условиях тектонической нарушенности и трещиноватости массива, большого количества разномодульных пород различного геометрического расположения.

4. В диссертационной работе нет ссылки на работы знаменитого шведского ученого взрывника R. Holmberg, который провел в натуральных условиях многочисленные исследования по влиянию взрывов шпуровых, скважинных зарядов и массовых взрывов на массив горных пород, в т.ч. вмещающий выработки и камеры. Его формулами в основном пользуются взрывники при разработке месторождений в горнодобывающих

странах мира, которые позволяют определять зоны: разрушения, наведенной трещиноватости, микротрещиноватости и ненарушенного массива.

5. В 1 главе (состояние вопроса) очень подробно в большом объеме описаны вопросы опасного воздействия взрывов, безопасности охраняемых объектов при проведении массовых взрывов: действие ударных воздушных волн, охрана объектов на поверхности, экология (разлет частиц взрываемого материала и облаков мелкодисперсной пыли, ядовитых газов), характер разлета взорванной массы и пр., а также возникновение при подводных взрывах гидроударных волн. Так как в диссертационной работе исследуется конкретный вопрос влияния массовых взрывов, проводимых в карьерах, на массив горных пород, вмещающий подземные горизонтальные горные выработки (название диссертационной работы), то достаточным было рассмотреть вопросы сейсмического влияния массового взрыва на подземные горные выработки.

6. Любая модель не совершенна и требует калибровки, не понятно из диссертационной работы какой диапазон точности представленных моделей, и как они калибруются с учетом проведенных натурных исследований и ретроспективного анализа деформаций и разрушений приконтурного массива вмещающего подземные горизонтальные выработки.

7. Рассматриваемая упругая модель грунта не в полной мере учитывает процесс затухания сейсмозрывных волн.

8. В работе недостаточно обоснована связь параметров буровзрывных работ с параметрами сейсмозрывной волны.

9. В диссертации отсутствует сравнение результатов решения рассматриваемых геомеханических задач на основе других программных комплексов.

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

**6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
«Положением о присуждении учёных степеней»**


Рассмотренная диссертационная работа Я.Н. Выходцева «Разработка математической модели воздействия сейсмозрывной волны на массив горных пород, включающий горизонтальную выработку» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи формирования оценки безопасности горизонтальной горной выработки в слоистом горном массиве под воздействием сейсмозрывной волны.

По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, 3 из них – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Получены 2 свидетельства о регистрации

программного продукта. Автореферат полностью раскрывает научные положения, вынесенные на защиту, и написан в требуемом объеме. Основные результаты работы доложены на различных Международных конференциях.

Диссертация Я.Н. Выходцева по содержанию, объему и оформлению выполненных исследований соответствует предъявляемым требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней и ученых званий» (утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, – а её автор, Выходцев Ярослав Николаевич, заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор РАН,
ведущий научный сотрудник Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
«Институт проблем комплексного освоения недр РАН»
им. академика Н.В. Мельникова

 В.А. Еременко

Подпись официального оппонента, ведущего научного сотрудника отдела №3 освоения месторождений твердых полезных ископаемых на больших глубинах Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем комплексного освоения недр РАН» им. академика Н.В. Мельникова, доктора технических наук, профессора РАН В.А. Еременко заверяю:

Заместитель директора по инновациям и развитию,
Ученый секретарь Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
«Институт проблем комплексного освоения недр РАН»
им. академика Н.В. Мельникова
кандидат технических наук

 А.З. Вартанов

07.09.2018г.

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Еременко Виталий Андреевич

Адрес: 111020, Россия, г. Москва, Крюковский тупик, 4

Тел/факс: (495) 8-495-360-07-40

E-mail: ipkon-dir@ipkonran.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр РАН»