

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук *Реготунова Андрея Сергеевича* на диссертацию *Зигангирова Рамиля Ринатовича* на тему: «Обоснование энергозатрат на взрывное дробление неоднородного массива горных пород», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Актуальность темы диссертации

Диссертационное исследование посвящено решению актуальной научно-технической задачи – обоснованию энергозатрат на взрывное дробление перемежающихся по прочности горных пород Куранахского рудного поля. Актуальность работы обусловлена тем, что классические методики расчета параметров БВР, основанные на усредненных физико-механических свойствах пород, приводят к нерациональному распределению энергии взрыва: перерасходу взрывчатых веществ (ВВ) в слабых прослоях и недостатку энергии в прочных, что ухудшает качество дробления. Автор верно полагает, что решение указанной задачи связано с развитием способа оперативного уточнения информации о прочностных свойствах горных пород, слагающих буровзрывной блок, в процессе шарошечного бурения взрывных скважин. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям горной науки и имеет существенное значение для горнодобывающей отрасли.

Научная новизна диссертации

- экспериментально установлено, что зависимость удельной энергоёмкости шарошечного бурения от коэффициента крепости по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова (далее – коэффициент крепости) в диапазоне от 1,5 до 11 описывается логарифмическим уравнением;

- методом воронкообразования в натуральных условиях для пород типа «известняк» и «песчаник» экспериментально получена линейная зависимость эталонных удельных энергозатрат на взрывное дробление от коэффициента крепости пород в диапазоне от 6 до 10;

- разработаны алгоритмы и созданы программы для ЭВМ, позволяющие в автоматическом режиме выполнять поскважинный расчет массы заряда взрывчатого вещества (ВВ) на основе данных мониторинга бурения для массивов с перемежающимися по крепости горными породами.

Новизна подтверждена двумя свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ: № 2022684396 «Программа расчёта коэффициента крепости горных пород по параметрам, полученным при бурении взрывных скважин»; № 2024683950 «Программа расчета массы скважинного заряда на основе параметров, полученных при бурении взрывных скважин».

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений и достоверности результатов обеспечивается представительным объемом лабораторных и натуральных экспериментов. Автором использована комплексная методика, включающая анализ параметров шарошечного бурения с помощью сертифицированного оборудования и серию опытных взрывов методом воронкообразования. Достоверность подкрепляется статистической обработкой данных, сопоставлением результатов лабораторных определений прочности с данными бурения, а также положительными результатами опытно-промышленных испытаний на карьере.

ОТЗЫВ

ВХ.М.В-ЮЧ от 26.05.26
АУ УС

Выводы и рекомендации логически вытекают из полученного фактического материала и не противоречат фундаментальным положениям теории разрушения горных пород взрывом.

Научные результаты, их ценность

Основные научные результаты диссертационного исследования заключаются в:

- установлении расчетного выражения для определения коэффициента крепости горных пород на каждом метровом интервале взрывной скважины на основе экспериментально выявленной логарифмической зависимости этого показателя с текущей удельной энергоемкостью шарошечного бурения для перемежающихся по прочности горных пород Куранахского рудного поля;

- разработке оригинальной методики поскважинного расчета массы заряда ВВ и выбора его конструкции, адаптированной к неоднородному по коэффициенту крепости строению массива. Методика основана на установленной в результате серии натуральных экспериментов методом воронкообразования линейной зависимости эталонных удельных энергозатрат на взрывное дробление от коэффициента крепости для горных пород типа «известняк» и «песчаник» Куранахского рудного поля.

Результаты исследования имеют научную и практическую ценность:

- впервые для условий Куранахского рудного поля, сложенного перемежающимися по прочностным свойствам горными породами, получена количественная основа для оперативной и непрерывной оценки прочностных свойств пород по глубине скважины непосредственно в процессе шарошечного бурения. Расчет выполняется в специально разработанной соискателем программе для ЭВМ по коэффициенту крепости без отбора проб и лабораторных испытаний.

- разработанная методика впервые позволила перейти от расчёта массы заряда ВВ по усреднённым прочностным свойствам взрывного блока к поскважинному проектированию заряда ВВ, обеспечивающему избирательный подбор энергии взрыва в зависимости от фактической перемежаемости пород по коэффициенту крепости. Методика реализована в виде программы для ЭВМ и защищена свидетельством о государственной регистрации. Применение методики обеспечило снижение расхода ВВ в среднем на 20%, уменьшение выхода негабарита на 2-5% и рост производительности экскавации на 15-20%. Положительные результаты внедрения методики в АО «Полюс Алдан» документально подтверждены актом внедрения от 05.07.2024 г.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научные результаты диссертации прошли апробацию на международных и российских конференциях и известны научной общественности.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Теоретическая значимость работы заключается в развитии энергетического метода расчета БВР, основанного на концепции о взаимосвязи удельных энергозатрат при бурении и взрывании массива горных пород. Установленные регрессионные зависимости для горных пород Куранахского рудного поля дополняют существующие представления о взаимосвязи прочностных свойств горных пород и энергоемкости их дезинтеграции при шарошечном бурении и взрывном воздействии.

Практическая значимость подтверждается:

- разработкой программного обеспечения, автоматизирующего расчет массы скважинного заряда ВВ на основе данных мониторинга бурения, что упрощает проектирование БВР в массивах горных пород с переменным коэффициентом крепости;
- опытными данными, показывающими возможность снижения расхода ВВ, выхода негабарита и увеличения производительности экскавации в результате применения предложенной методики;
- внедрением результатов в производственный процесс горного предприятия АО «Полюс Алдан».

Структура и содержание диссертации

Диссертация содержит 120 страниц текста, состоит из разделов: введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 100 наименований источников, 2 приложений. Текст диссертации иллюстрирован 31 рисунком и 33 таблицами. К диссертации прилагается автореферат.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость исследования и изложены защищаемые положения.

В первой главе приведен критический анализ существующих методик расчета параметров БВР. Автор обоснованно указывает на недостатки подхода, базирующегося на усреднении свойств пород по взрываемому блоку, и делает вывод о перспективности использования параметров шарошечного бурения для экспресс-оценки физико-механических свойств в каждой скважине.

Во второй главе представлены геологические характеристики исследуемого Куранахского золотоносного рудного поля, включающего в себя 11 месторождений, методика проведения эксперимента и результаты экспериментальных исследований по оценке влияния физико-механических свойств пород на параметры шарошечного бурения. Представлена логарифмическая регрессионная зависимость удельной энергоемкости бурения от коэффициента крепости в диапазоне его изменения от 1,5 до 11, что явилось основой для установления одного из основных научных результатов работы – расчетного выражения для определения коэффициента крепости горных пород на каждом метровом интервале взрывной скважины.

Третья глава содержит теоретические аспекты метода воронкообразования, методика проведения экспериментальных взрывов и результаты экспериментов по определению эталонных удельных энергозатрат на взрывное дробление методом воронкообразования. Установлена линейная зависимость указанных энергозатрат от коэффициента крепости пород в диапазоне изменения от 6 до 10, которая служит основой для расчета энергонасыщенности скважинных зарядов ВВ.

В четвертой главе приведена разработанная соискателем методика расчета массы и выбора конструкции скважинного заряда ВВ с учетом неоднородности массива горных пород по коэффициенту крепости, а также результаты опытно - промышленных испытаний. Показано, что предложенная методика позволяет адаптировать параметры БВР к изменяющимся прочностным свойствам горных пород по глубине скважин, что приводит к сокращению расхода ВВ, снижению выхода негабарита и увеличению производительности экскавации.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертации, а также намечены перспективы дальнейших исследований.

Выводы по диссертации соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

В приложениях приведен акт внедрения результатов диссертационного исследования в АО «Полюс Алдан» и представлены копии свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ: №2022684396 «Программа расчета коэффициента крепости горных пород по параметрам, полученным при бурении взрывных скважин»; №2024683950 «Программа расчета массы скважинного заряда на основе параметров, полученных при бурении взрывных скважин».

Автореферат и опубликованные статьи отражают основное содержание диссертации. Тема и содержание диссертационной работы согласуются с паспортом научной специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика:

- по п. 7 – «Создание на основе цифровых информационных технологий методов, приборов, автоматизированных систем для изучения и контроля свойств горных пород и грунтов, строения и состояния их массивов, а также для прогнозирования динамических процессов и явлений». В работе созданы программы для ЭВМ, позволяющие в автоматизированном режиме определять косвенно через коэффициент крепости прочностные свойства горных пород по данным бурения и прогнозировать энергонасыщенность заряда ВВ.

- по п. 9 – «Развитие теории и разработка способов и средств разрушения и предразрушения горных пород механическими, взрывными, гидравлическими, тепловыми, электрофизическими, комбинированными и другими воздействиями». Соискателем развит энергетический метод расчета параметров взрывного разрушения массивов, сложенных переменными по крепости горными породами, разработан способ избирательного распределения энергии ВВ по глубине скважины в зависимости от коэффициента крепости.

Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертации результаты, в том числе программы для автоматизированного расчета параметров БВР, целесообразно использовать на горных предприятиях, разрабатывающих месторождения со сложным геологическим строением, для повышения эффективности буровзрывных работ в массивах, представленных перемежающимися по коэффициенту крепости горными породами. Материалы диссертации также могут быть использованы в учебном процессе при подготовке горных инженеров и в проектных организациях.

Замечания и вопросы по работе

Диссертация обладает несомненной научной и практической ценностью, однако по содержанию работы имеются следующие замечания и вопросы:

1. Регрессионная зависимость на рисунке 2.15 (стр. 64) охватывает диапазон изменения коэффициента крепости от 1,5 до 11, тогда как регрессионная зависимость эталонных удельных энергозатрат на дробление горных пород от коэффициента крепости на рисунке 3.8 (стр. 83) – только от 6 до 10. Соискатель обоснованно отнёс расширение зависимости, представленной на рисунке 3.8 (стр. 83) на весь диапазон изменения коэффициента крепости к перспективным направлениям дальнейших исследований. Какие первоочередные методические действия для такого расширения автор считает наиболее целесообразными?

2. В предложенной методике основным и единственным показателем для определения энергии заряда ВВ служит коэффициент крепости породы, вычисляемый через удельную энергоёмкость бурения (формула 2.8, стр. 64). Однако неясно, учитывается ли влияние абразивного износа бурового инструмента на этот параметр. Рост энергоёмкости из-за износа твердосплавных вставок шарошечного долота может быть ошибочно принят за повышение коэффициента крепости, что приведет к завышению массы заряда и перерасходу ВВ. Также требуется уточнить (стр. 12 автореферата): трещины какого порядка (по классификации акад. В.В. Ржевского) в экспериментах не оказывали значительного влияния на энергоёмкость бурения, в отличие от скорости бурения?

3. В диссертации на рис.4.3 (стр.89) представлена схема размещения заряда ВВ для массива с горизонтальным перемежением прослоев горных пород. Может ли предлагаемая методика расчета массы и выбора конструкции скважинного заряда ВВ применяться для массивов горных пород с наклонным залеганием прослоев?

4. В таблице 4.1 на стр. 101 диссертации «Параметры БВР при различных вариантах расчёта и экономический эффект» приведены сравнительные данные, демонстрирующие снижение расхода ВВ и выхода негабарита, а также увеличение средней производительности экскавации в смену. Однако эти показатели не сведены в итоговый расчет экономического эффекта от внедрения предложенной методики в конкретных условиях Куранахского рудного поля. В работе следовало бы представить калькуляцию прямой экономии, включающую снижение затрат на ВВ и средства инициирования, уменьшение объемов вторичного дробления негабарита, а также стоимостную оценку прироста производительности экскавации.

5. В тексте диссертации не указано, каким способом измерялась производительность экскаватора и каким образом контролировалось влияние возможных сопутствующих факторов (например, различие в квалификации и опыте машинистов экскаватора, техническое состояние выемочного оборудования, погодные условия).

Отмеченные недостатки и замечания не снижают общей положительной оценки работы, носят дискуссионный и рекомендательный характер и не влияют на новизну и обоснованность защищаемых научных положений.

Заключение по диссертации

По своей актуальности, научной новизне, практической и научной значимости полученных результатов, личному вкладу автора в горную науку диссертация на тему: «Обоснование энергозатрат на взрывное дробление неоднородного массива горных пород», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 №953 адм. Автор **Зигангиров Рамиль Ринатович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент
старший научный сотрудник
лаборатории разрушения горных пород,
кандидат технических наук

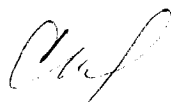


Реготунов Андрей Сергеевич

Подпись Реготунова Андрея Сергеевича заверяю

М.П.

Начальник отдела кадров



Коптелова Светлана Валерьевна

14.05.2026

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

Почтовый адрес: 620075, г. Екатеринбург, Мамина-Сибиряка., д. 58

Официальный сайт в сети Интернет: <https://igduran.ru>

эл. почта: rochta8400@inbox.ru

телефон: 8(343)350-90-11.