

*На правах рукописи*

**Русских Александр Петрович**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СНИЖЕНИЕ ПЕРЕИЗМЕЛЬЧЕНИЯ  
ГОРНОЙ МАССЫ  
(НА ПРИМЕРЕ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

**Специальность:** 2.8.6 - Геомеханика, разрушение горных пород,  
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Екатеринбург – 2024**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН).

Научный руководитель:

**Корнилков Сергей Викторович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН.

Официальные оппоненты:

**Сысоев Андрей Александрович**, доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева.

**Галимьянов Алексей Алмазович**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель сектора разрушения горных пород, Институт горного дела ДВО РАН.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Защита состоится **4 июля 2024** года, в **14:00** на заседании диссертационного совета Д **24.1.503.01** на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук по адресу: 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д.58. тел/факс: **8(343) 350-50-51**; e-mail: [direct@igduran.ru](mailto:direct@igduran.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИГД УрО РАН (<http://diss.igduran.ru>).

Просьба направлять отзывы почтой в двух экземплярах, заверенных печатью организации, по указанному выше почтовому адресу и на электронный адрес: [panzhin@igduran.ru](mailto:panzhin@igduran.ru)

Автореферат диссертации разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ **2024** г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат технических наук



**А.А. Панжин**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** С ростом глубины карьеров изменяются физико-механические свойства горных пород, увеличивается их крепость и обводненность, что предъявляет высокие требования к технологии разрушения массивов взрывным способом, который является одним из наиболее дорогостоящих технологических процессов. Доля затрат на буровзрывные работы в условиях глубоких карьеров достигает в себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого 30-35% и имеет тенденцию к дальнейшему росту.

С конца XX века широкое применение нашли эмульсионные взрывчатые вещества, изготавливаемые на горных предприятиях вблизи мест их применения. Достигнут существенный прогресс в развитии рецептурного состава эмульсионных ВВ, средств инициирования зарядов, технологии и комплексной механизации взрывных работ.

Существующие в АО «Ураласбест» параметры буровзрывных работ, обеспечивающие высокое качество взрывания, тем не менее допускают возможность переизмельчения разрушенной горной массы, что в ряде случаев ведет к потерям полезного материала, особенно при диверсификации производства и реализации принципов комплексного использования недр.

Переизмельчение, особенно в осенне-весенний период, ведет к повышению влажности руды, поэтому при подготовке к пневматическому обогащению требуется повышенный расход газа для ее предварительной сушки. При производстве теплоизоляционных материалов из пород Баженовского месторождения, а также строительного щебня различных марок переизмельчение взрывом ведет к увеличению потерь природного сырья.

Как показывает практика применительно к специфическим условиям разработки месторождений при добыче асбестовых руд не все апробированные способы управления энергией взрыва могут быть эффективно использованы. В этой связи изыскание новых способов управления энергией взрыва с целью является актуальной задачей.

Тема исследований соответствует направлению исследований, указанных в паспорте научной специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», а именно: 9. Развитие теории и разработка способов и средств разрушения и предразрушения горных пород механическими, взрывными, гидравлическими, тепловыми, электрофизическими, комбинированными и другими воздействиями.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в развитие теории и практики взрывного разрушения массивов горных пород и управления процессами их нагружения при разработке месторождений минерального сырья внесли учёные, а именно: академики Н.В.Мельников, В.В.Ржевский, М.А.Садовский, К.Н.Трубецкой, Е.Н.Шемякин, В.В.Адушкин, проф.,д.т.н. Л.И.Барон, Г.П.Демидюк, В.Н. Мосинец, А.Н.Ханукаев,

Г.И.Покровский, Б.Н.Кутузов, С.Д.Викторов, Н.Н. Казаков, Е.Г.Баранов, В.Л.Белин, М.Ф.Друкованый, Э.И.Ефремов, А.А. Козырев, Л.Н.Марченко, В.Н.Родионов, А.Ф.Суханов, И.А.Тангаев и другие доктора и кандидаты технических наук, обосновавшие современные представления о механизме разрушения массива взрывом, основой которых являются ударно-волновая теория, теория радиального трещинообразования и энергетическая теория. При этом подавляющее большинство исследований, по применению буровзрывной подготовки горной массы к выемке на открытых горных разработках, проведено применительно к условиям разработки железорудных, меднорудных и угольных месторождений.

Анализ существа «Типового проекта производства буровзрывных работ АО «Ураласбест» показал, что в нем не учитывается ряд факторов, влияющих на эффективность подготовки горной массы к выемке, а именно: структура и изменчивость разрушаемых локальных массивов, рецептура и тип ЭВВ, вероятностный характер плотности заряжания скважин, конструкция зарядов и пр. технические параметры, не имеющие достаточного теоретического обоснования для оцениваемых условий.

**Объект исследования** – технология буровзрывных работ при разрушении руд и пород на сложноструктурном месторождении хризотил-асбеста.

**Предмет исследования** – параметры буровзрывных работ, обеспечивающие снижение переизмельчения горной массы, безопасность, составы и вариабельность характеристик эмульсионных ВВ в процессе заряжания взрывных скважин.

**Идея работы** заключается в комплексном учете совокупности технологических требований к процессу бурения и заряжания скважин, а также способов контроля характеристик эмульсионных взрывчатых веществ при подготовке технологических взрывов на асбестовых карьерах.

**Целью работы** является разработка уточненной методики обоснования параметров взрывного разрушения пород для достижения рациональной степени дробления руд и скальных пород при комплексном использовании недр.

**Задачи исследований:**

1. Анализ и прогнозирование изменения горно-геологических условий ведения горных работ и показателей буровзрывного комплекса в динамике разработки асбестовых месторождений.

2. Изучение и оценка прочностных свойств горных пород как основы для адаптации параметров взрывных работ при установленных требованиях к качеству дробления.

3. Совершенствование эффективного использования эмульсионных ВВ местного изготовления на основе исследования их свойств и характеристик.

4. Разработка уточненной методики обоснования параметров БВР на основе исследования способов повышения качества подготовки породных

массивов, при разрушении пород с меняющимися физико-механическими свойствами.

5. Опытно-промышленная оценка предложенных способов, технических и технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности буровзрывного комплекса.

**Научные положения**, выносимые на защиту:

1. Общий тренд изменения предела прочности пород на сжатие от величины отскока бойка молотка Шмидта сохраняется для различных литотипов: габбро, празиниты, магматические породы и серпентиниты и позволяет получить зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь размеров ЛНС.

2. При взрывной подготовке массива сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием пневматических затворов и заглушек технологических перебуров рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли.

3. Оценку качества изготавливаемых ЭВВ в период подготовки технологических взрывов рекомендуется основывать на разработанной методике оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов.

**Научная новизна исследования** заключается в:

- получении зависимостей, характеризующих расчетную взаимосвязь предела прочности пород на сжатие и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта;
- обосновании экспресс-метода оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов в период подготовки технологических взрывов;
- экспериментальной оценке способов управления энергией взрывного разрушения горных пород зарядами ЭВВ, основанных на добавлении ингибиторов из хризотилового волокна, а также введении хлорида натрия в раствор окислителя матрицы порэмита взамен части аммиачной селитры;
- определении соответствия матрицы Порэмита 1А требованиям ООН, что обеспечивает ее безопасное использование.

**Практическая значимость исследования** состоит в:

- разработке уточненной методики расчёта параметров БВР, обеспечивающих снижение переизмельчения горной массы;
- оцененных способах эффективности управления энергией взрывного разрушения скальных массивов горных пород зарядами ЭВВ с добавлением ингибиторов хризотилового волокна и хлорида натрия (NaCl);

- сокращении доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% за счет комплексного управления энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием пневматических затворов и заглушек рекомендованной конструкции;

- стабилизации плотности ЭВВ и пределов её варьирования в процессе заряжания скважин на базе созданной передвижной лаборатории.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректностью постановки задач и применяемых методов исследования, в том числе натуральных, представительностью исходных и статистических данных опытных промышленных взрывов, основывается на апробированных положениях теории взрывного разрушения горных пород и подтверждается сходимостью теоретических выводов и практических рекомендаций.

**Реализация результатов исследования.** Разработанные методики, обеспечивающие снижение некондиционной фракции (0-100мм), сокращение затрат на подготовку горной массы к выемке и организацию контроля и устранения колебаний плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси в процессе заряжания скважин для более равномерного дробления пород используются при ведении горных работ в ПАО «Ураласбест».

**Личный вклад автора** состоит в постановке задач исследования, разработке и обосновании основных параметров бурения и взрывания при обеспечении эффективного использования ЭВВ для снижения переизмельчения горной массы при производстве технологических взрывов, а также разработке организационных мероприятий, реализующих снижение затрат и повышение экономической эффективности буровзрывного комплекса при эксплуатации Баженовского месторождения хризотил – асбеста.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: XIII-XVI Международных научно-технических конференциях «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Чтения памяти В. Р. Кубачека», (Екатеринбург, 2015-19 гг.), научно-технических конференциях «Технология и безопасность взрывных работ» в рамках Уральского горнопромышленного форума, (Екатеринбург, 2012-2022гг.), Уральском горнопромышленном съезде (Екатеринбург, 2011г.), а также научных семинарах ИГД УрО РАН и технических совещаниях ПАО «Ураласбест».

**Методы исследований:** использован комплексный подход, включающий экспериментальные исследования свойств горных пород в естественном залегании, изучение фактических параметров сетки и глубины скважин и размещения зарядов ВВ, теоретическое и экспериментальное изучение свойств и взрывчатых характеристик эмульсионных ВВ местного изготовления, регрессионный и корреляционный анализ, методы теории

вероятностей и математической статистики, метод натурных наблюдений, методы технико-экономического анализа.

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 14 работах, в том числе 5 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, является соавтором 3 патентов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 187 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка, 31 таблицу, список литературы из 131 наименований.

Автор чтит память профессоров Корнилкова М.В. и Латышева О.Г., под руководством и при консультациях которых был выполнен значительный объем представленных исследований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе на основании того, что доля затрат на БВР в условиях глубоких отечественных и зарубежных карьеров достигает в себестоимости добычи 1т полезного ископаемого 30-35% и имеет тенденцию к дальнейшему росту, проанализирована динамика структуры объемов выемки горной массы на карьерах АО «Ураласбест», которая свидетельствует о том, что взрывание трудновзрываемых крепких пород IV и V категорий составляет более половины (57%) от общего объема, по сравнению с 2010 годом, где породы IV-V категории составляли 35-42%.

Анализ показал, что в течение значительного срока отработки месторождения увеличением глубины карьеров и усложнением гидрогеологических условий возникла потребность в расширении ассортимента водостойчивых взрывчатых веществ (рис.1).

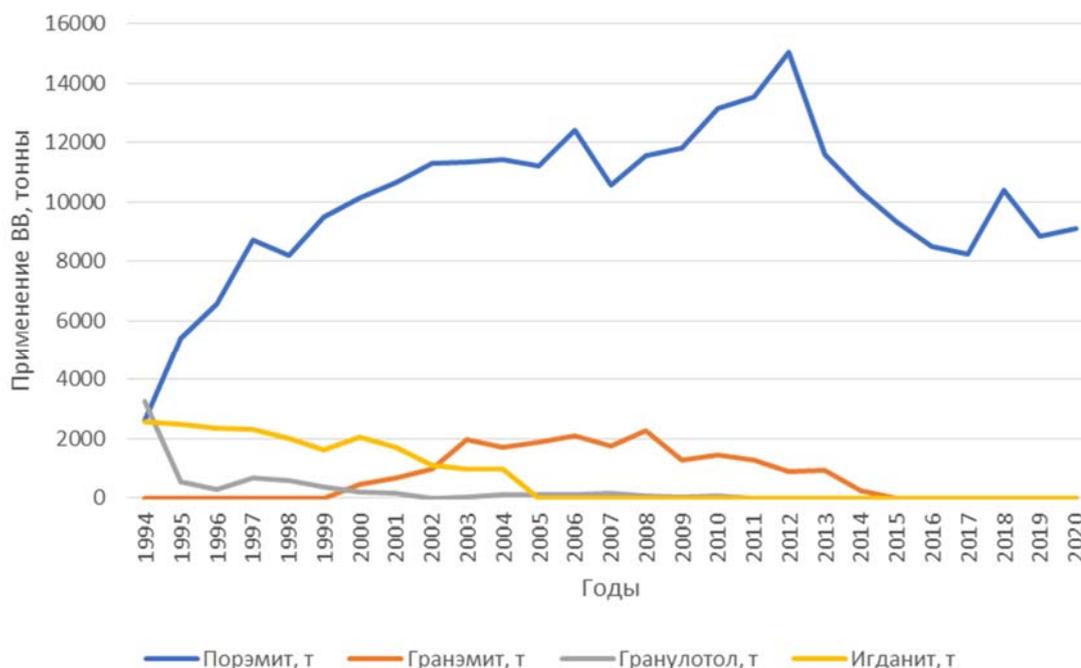


Рисунок 1 – Динамика применения простейших, тротилсодержащих и эмульсионных ВВ на Баженовском месторождении хризотил-асбеста

С конца 80-х годов XX века началось изготовление и применение собственных эмульсионных взрывчатых веществ, постепенно приведшее к полному отказу от тротилсодержащих ВВ. При этом основным недостатком применения смесительно-зарядной техники оказалось ее нестабильная работа в условиях низких температур. Это проявлялось в расслоении эмульсии при изготовлении ЭВВ и при транспортировке на расстояние 10-12 км, что потребовало дополнительного контроля качества эмульсии при смешении компонентов в смесительно-зарядных машинах.

Показано, что на комбинате все больше внимания уделяется диверсификации, связанной с увеличением производства и сбыта щебня различных марок из перидотитов, габбро и диоритов, однако при их взрывной подготовке не в полной мере учитываются требования к выходу кондиционного куска, т.е. требуется изменение подхода к проектированию буровзрывных работ и изменению составов ЭВВ, их заряданию и инициированию. Переизмельчение, особенно в осенне-весенний период, ведет к повышению влажности руды, поэтому при подготовке к пневматическому обогащению требуется повышенный расход газа для ее предварительной сушки. При производстве теплоизоляционных материалов из пород Баженовского месторождения, а также строительного щебня различных марок переизмельчение взрывом ведет к увеличению потерь природного сырья.

В связи с изложенным необходима разработка уточненной методики обоснования параметров взрывного разрушения пород, обеспечивающих снижение переизмельчения пород и повышение эффективности взрывных характеристик эмульсионных ВВ, используемых на предприятии в условиях комплексного использования недр.

**Во-второй главе** в процессе исследований выявлены тенденции структурных изменений в составе взорванной и отгруженной горной массы, которые за последние два десятилетия имеет тенденцию к сокращению ввиду снижения количества потребителей хризотил-асбеста. За рассматриваемый период объёмов взрывных работ снизились с 20 000 т.м<sup>3</sup> до 10 000 т.м<sup>3</sup>. При этом с ростом глубины разработки месторождения с 200 до 350 метров удельный расход взрывчатых веществ увеличился почти в два раза (рис.2).

В оцениваемый период удельный расход взрывчатых материалов растёт вплоть до 2015 года, достигая максимума - 1,02 кг/м<sup>3</sup>. Далее наблюдается его снижение - в 2020 г. он составил 0,92 кг/м<sup>3</sup>. Сокращение расхода ВВ в значительной мере связано с варьированием и адаптацией параметров БВР к меняющимся экономическим и горно-геологическим условиям.

Анализ основных достигнутых технико-экономических показателей буровзрывных работ за длительный период свидетельствует о том, что компенсация увеличения текущих расходов на БВР достигнута за счет комплекса инженерно-технических мероприятий, включающих: организацию

восстановления изношенных запчастей собственной ремонтной службой; повышение степени использования бурового и зарядного оборудования во времени; расширение объема предоставляемых услуг по ведению взрывных работ с использованием ЭВВ сторонним организациям; внедрение результатов исследовательских работ, связанных применением технологии рассредоточения зарядов по длине скважины.

Изученные особенности взрывных работ при использовании эмульсионных взрывчатых веществ свидетельствуют о том, что их эффективность обеспечивается учетом комплекса взаимосвязанных факторов, характеризующих: геометрические параметры уступа; плотность и крепость пород; обводненность, трещиноватость пород и скорость распространения в них энергии взрыва; объём взрываемого блока; расположение и конструкция заряда; расположение в заряде точки инициирования; линейные размеры промежуточного детонатора, а также детонационные характеристики промежуточного детонатора и заряда ЭВВ в целом.

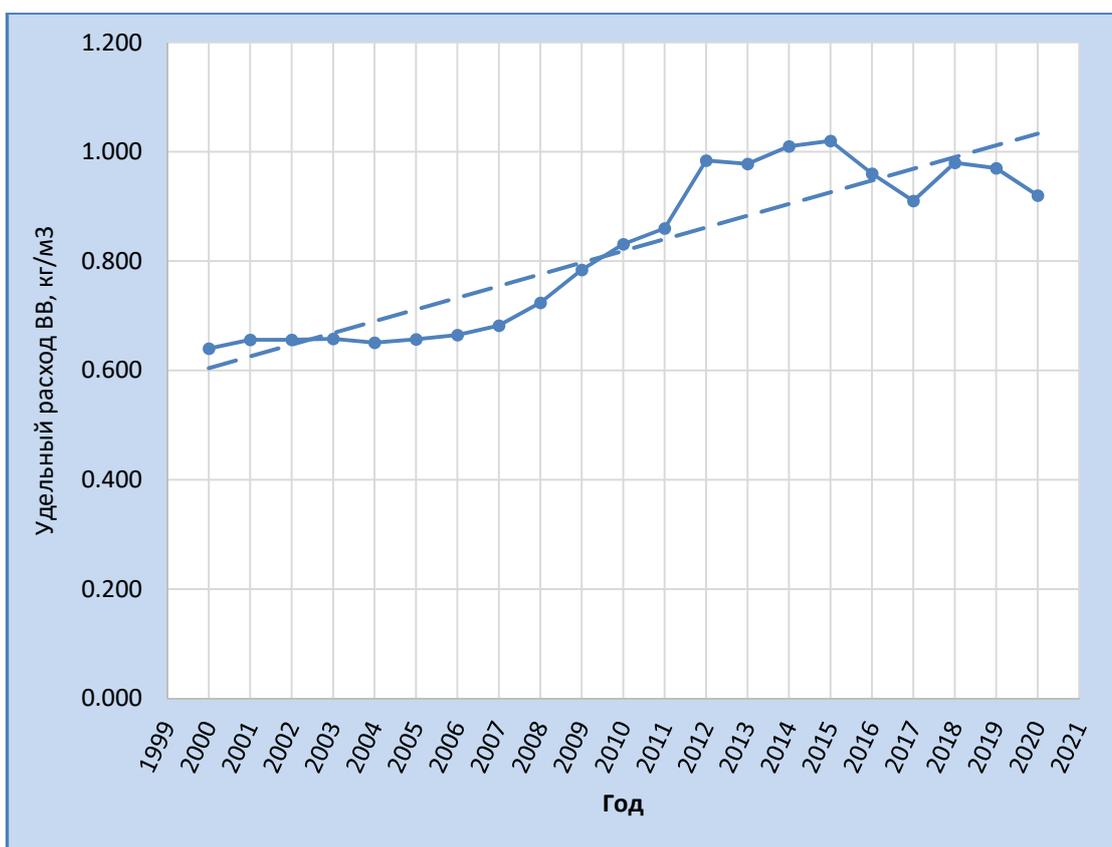


Рисунок 2 - Изменение удельного расхода взрывчатых материалов на Баженовском месторождении хризотил-асбеста в 1999-2020 гг.

Показано, что в отличие от лабораторных методов определения механических характеристик горных пород, результатом натуральных измерений может быть величина отскока бойка молотка Шмидта.

Одним из основных механических свойств горных пород является предел прочности на одноосное сжатие ( $\sigma_{сж}$ ). Тарировка молотков Шмидта,

традиционно, выполняется именно для этой характеристики. Многочисленные эмпирические формулы, описанные линейными, степенными, экспоненциальными зависимостями, встречаются в многих научных трудах, в том числе, зарубежных.

Дробимость пород стандартно определяется гранулометрическим составом продуктов разрушения образца массой 50–70г при однократном сбрасывании на него груза 16 кг с высоты 0,5 м. Показатель дробимости ( $\text{см}^3$ ) численно равен объему фракции прошедшей через сито с отверстиями  $d_{\text{max}}=7\text{мм}$  и рассчитывается по формуле:

$$A = m_7 / \rho, \quad (1)$$

где  $m_7$  – масса фракции -7 мм, г;  $\rho$  – объемная масса горной породы,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Профессор О.Г. Латышев установил следующую эмпирическую зависимость между дробимостью ( $V_{\text{max}}$ ) и крепостью эффузивных пород, которая выражается формулой:

$$V_{\text{max}} = 10^3 / (23f + 21), \quad (2) \quad \text{при } f = 0,1\sigma_{\text{сж}}, \quad (3)$$

$$q = 0,678 \exp(-0.065V_{\text{max}}) \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент крепости по М.М. Протоdjяконову

$q$  – удельный расход ВВ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Комбинируя вышеуказанные выражения, можно получить формулу для расчета предела прочности при одноосном сжатии при известной дробимости пород

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{435}{V_{\text{max}}} - 9, \quad (5)$$

В свою очередь по данным ИГД УрО РАН взаимосвязь между прочностью пород на сжатие и отскоком бойка молотка Шмидта выражается соотношением:

$$\sigma_{\text{сж}} = 0.0017 \cdot e^{0.14 \cdot Hr} + 0.3 \cdot Hr - 0.0017 \quad (6)$$

где  $Hr$  – величина отскока бойка молотка Шмидта.

Тогда расчетная дробимость пород по отскоку бойка молотка Шмидта может быть получена из выражения:

$$V_{\text{max}} = \frac{435}{0,0017e^{0.14Hr} + 0.3Hr + 9}, \quad (7)$$

В этом случае размер ЛНС ( $W_0$ ) в зависимости от величины отскока бойка молотка Шмидта определится как:

$$W_0 = \sqrt{\frac{M}{0.678 \exp\left(-\frac{28.275}{0,0017e^{0.14Hr} + 0.3Hr + 9}\right) m L_{\text{эф}}}} \quad (8)$$

При:  $M$  – масса заряда ВВ в скважине, кг,  $L_{\text{эф}}$  – эффективная длина скважины (соответствует высоте уступа), м;  $m$  – коэффициент сближения зарядов.

Сопоставление вида известных эмпирических зависимостей, увязывающих предел прочности эффузивных пород с величиной отскока бойка молотка Шмидта показано в табл.1.

С увеличением отскока бойка молотка Шмидта логарифмически и нелинейно уменьшаются значения и  $V_{\max}$ , и  $W_0$ . Вместе с тем размах расчетных отклонений искомым параметров по разным методикам в диапазоне отскоков бойка молотка Шмидта (до 30 – 60) достаточно велик. Поэтому при косвенной оценке рекомендуется повышенный контроль точности при низких значениях отскока бойка. Следует обращать внимание на точность полевых измерений, при малых значениях отскока бойка молотков Шмидта, что достигается стандартными методами: увеличением количества измерений и их статистической обработкой.

Предложенный способ расчета основных параметров БВР по степени дробления апробирован на примере серпентинитовых пород Джетыгаринского и проверен для условий Баженовского месторождения. Для этого на локальных участках обнаженного массива, в полевых условиях производились измерения молотком Шмидта по методике ASTM (American Society for Testing and Materials). Дополнительно проводились испытания образцов горных пород на предел прочности при сжатии в лабораторных условиях с применением специализированного прессового оборудования

Таблица 1 – Эмпирические зависимости для расчета предела прочности в образце в зависимости от величины отскока молотка Шмидта

Авторы (год)	Тип пород	Предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа
Хи и др. (1990) [7]	Празиниты,	$\sigma_{сж} = 2.99 e^{0.06 Hr}$
	Серпентиниты,	$\sigma_{сж} = 2.98 e^{0.063 Hr}$
	Габбро	$\sigma_{сж} = 3.78 e^{0.05 Hr}$
Караман и др. (2015) [12]	Магматические породы	$\sigma_{сж} = 0.097 Hr^{1.88}$
ИГД УрО РАН, Харисов Т.Ф. и др. (2020) [18]	Серпентиниты	$\sigma_{сж} = 0.0017 e^{0.14 Hr} + 0.3 Hr + 9 - 0.0017$

На основании анализа экспериментальных данных и выражений, предложенных различными авторами и приведенных в таблице 1, построены графики, характеризующие расчетную взаимосвязь предела прочности пород и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта (рисунки 3, 4).

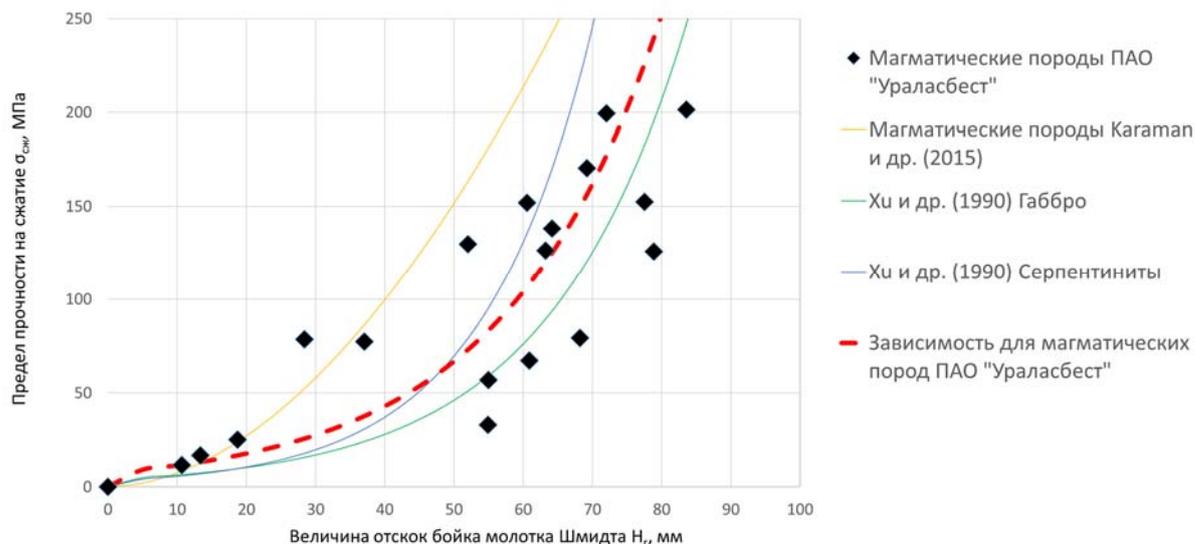


Рисунок 3 – Расчетное значение предела прочности на сжатие в зависимости от величины отскока бойка молотка Шмидта

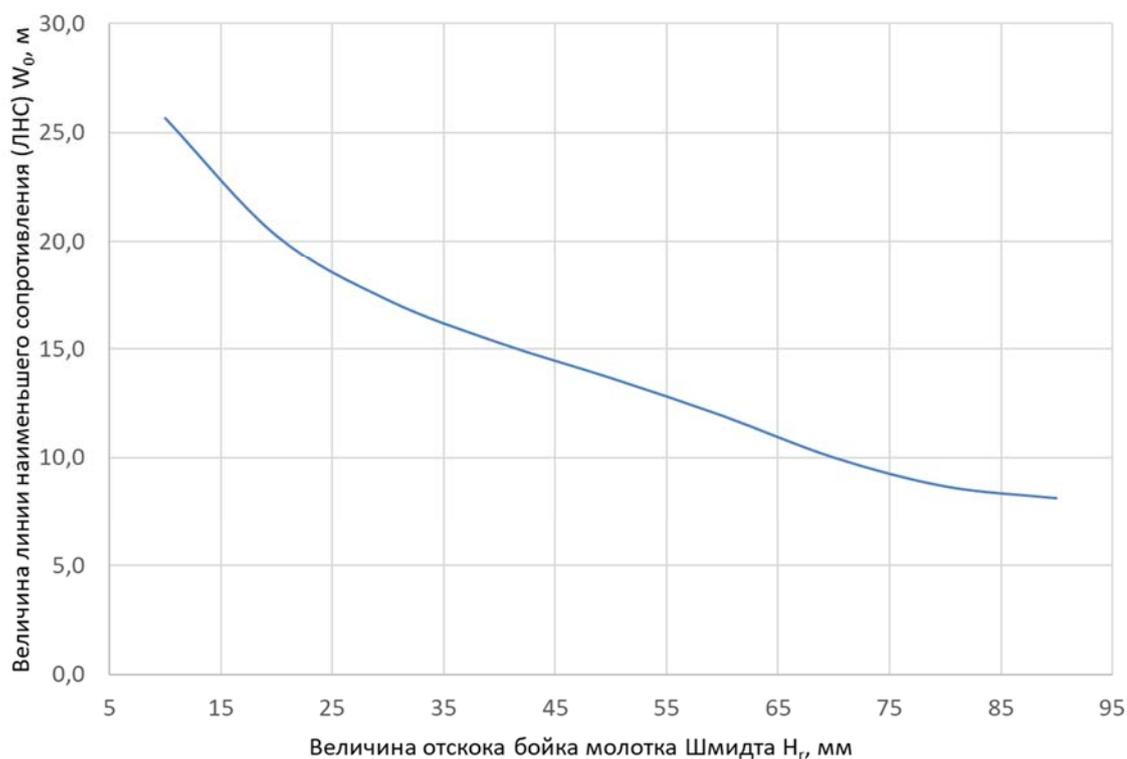


Рисунок 4 – Расчетная величина линии наименьшего сопротивления в зависимости от величины отскока бойка молотка Шмидта

**На основании изложенного сформулировано первое научное положение: *общий тренд изменения предела прочности пород на сжатие от величины отскока бойка молотка Шмидта сохраняется для***

*различных литотипов: габбро, пазиниты, магматические породы и серпентиниты и позволяет получить зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь размеров ЛНС.*

В третьей главе выполнен анализ организационно-технических факторов, влияющих на качество взрывной подготовки массива, по материалам которого получена достоверная информация о качестве подготовки блока к взрыву: по параметрам пробуренных скважин и качеству их заряжания, в т.ч. о плотности заряжания скважин порэмитом 1А, изготовленным применяемых СЗМ.

Определена зависимость средней скорости детонации заряда порэмита 1А от исходной плотности заряжания скважин на экспериментальном блоке. Показано, что скорость детонации напрямую зависит от плотности ЭВВ в скважине, поэтому разброс скорости детонации в любой скважине в блоке должен минимальным по отношению к скорости детонации других скважин на взрываемом блоке. Выявлено низкое качество подготовки блока к взрыванию - глубина перебуренных или недобуренных скважин не доведена до проектной. Для сокращения затрат на подготовку горной массы к выемке на основании исследованной закономерности изменения скорости детонации от исходной плотности заряжания скважин рекомендуется устранение колебаний плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси СЗМ в процессе заряжания скважин для обеспечения стабильной высоты колонки заряда и равномерного дробления верхней части уступа.

Замерена величина высоты колонки заряда в зависимости от плотности ЭВВ и обоснована необходимость определять исходную плотность заряжания скважин порэмитом 1А экспресс-методом непосредственно в условиях карьера в связи с неодинаковым характером смещения ЭВВ разными типами смесительно- зарядного оборудования, а также разных партий ЭВВ.

При экспериментах управление переизмельчением взорванной горной массы осуществлялось последовательно тремя способами: бурением скважин шарошечными станками с уменьшенным диаметром долот; применением в обводнённых массивах рассредоточенных скважинных зарядов с варьируемой величиной активных и пассивных зон за счет установки в скважине пневматических затворов; применением зарядов на воздушной подушке, а в слабообводнённых массивах – на водяной подушке с использованием специальных заглушек, частично (на 50-75%) перекрывающих технологический перебур скважин.

Проработка подошвы уступа через незаряженную часть перебура (до 1,5 м) реализуется за счет удовлетворительной работоспособности применяемых эмульсионных ВВ. Апробация технологии разрушения обводнённых массивов рассредоточенными скважинными зарядами с использованием предложенных и запатентованных специальных пневматических затворов и заглушек для технологических перебуров свидетельствует о том, что при использовании рассредоточенных зарядов (15-70% от общего числа

взорванных скважин в экспериментальных блоках) фактический расход ЭВВ снизился в 1,15–1,4 раза по сравнению с применением сплошных зарядов.

Результаты замеров гранулометрического состава взорванной горной массы в забоях экскаваторов показали, что выход мелких фракций (0-100 мм) в результате производства опытно-промышленных взрывов скважинных зарядов с диаметром 215,9 мм, в сравнении с базовым вариантом при диаметре 244,5 мм, снизился с 55,9% до 38,8%, то есть на 17,1%. При этом выход фракций 101-400 мм и 401-800 мм увеличился соответственно на 16,5% и 4,8%. Выход фракций 801-1200 мм и более 1200 мм снизился на 1,5% и 2,7%, что сократило количество отходов при производстве товарного щебня.

Исследованы способы управления энергией взрывного разрушения скальных массивов горных пород зарядами ЭВВ, основанные на добавлении ингибиторов из хризотилового волокна. Установлено, что добавка сухой фракции хризотила, независимо от способа ее введения, значительно снижает показатели качества эмульсии. Вместе с тем установлено, что применение отходов хризотила с предварительным их смачиванием может быть достаточно эффективным за счет снижения их адгезионных свойств.

С целью дальнейшего снижения доли мелочи за счет снижения энергии взрыва и уменьшения зоны переизмельчения на контакте заряда с породой исследована допустимость ввода в раствор окислителя хлорида натрия в количестве 5-15% взамен аммиачной селитры. Это снижает температуру газообразных продуктов взрыва и интенсивность ударных волн, несколько сокращает мощность ВВ, его бризантность и дробящее действие взрыва в ближней зоне вокруг скважины.

Таблица 2 – Результаты замера скорости и давления детонации образцов порэмита, изготовленных на подкисленных растворах окислителей а) без добавления; б) с добавлением 11% NaCl

а) № гильзы	Средняя скорость детонации по образцу $W_{обр.}$ , м/с	Средняя скорость детонации по образцам $W_{ср.}$ , м/с	Среднее детонационное давление по образцу $P_{обр.}$ , ГПа	Среднее детонационное давление по образцам $P_{ср.}$ , ГПа
1	4464	4519	5,70	5,50
3	4519		5,67	
4	4543		5,67	
5	4579		5,74	
8	4707		5,77	
6	4299		4,55	
б) № гильзы	Средняя скорость детонации по образцу $W_{обр.}$ , м/с	Средняя скорость детонации по образцам $W_{ср.}$ , м/с	Среднее детонационное давление по образцу $P_{обр.}$ , ГПа	Среднее детонационное давление по образцам $P_{ср.}$ , ГПа
2	4206	4115	5,06	4,58
1	3853		4,12	
3	4392		5,30	
4	4217		4,87	
5	4016		4,20	
7	4007		3,95	

Исследование рецептуры ЭВВ при добавлении хлорида натрия в раствор окислителя матрицы порэмита взамен части аммиачной селитры выявило эффективность такого способа регулирования энергии взрыва, обеспечивающего снижение переизмельчения горной массы. Дополнительное снижение доли фракций 0-100 мм до 29,3... 31,3% на диаметрах скважин 263,3 мм и до 21,17...23,3% на диаметрах скважин 226,7 мм обеспечивается снижением скорости детонации ЭВВ с 4519 м/с до 4115 м/с, то есть на 10%.

**На основании изложенного сформулировано второе научное положение: при взрывной подготовке массива сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием заглушек рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли**

В четвёртой главе проведены исследования способов контроля характеристик эмульсионных взрывчатых веществ.

При создании новых рецептов необходимо проведение дополнительных испытаний эмульсионных взрывчатых веществ.

Для обеспечения безопасности эмульсионных взрывчатых веществ проведены испытания матрицы эмульсии Порэмита 1А по методике ООН, включая испытания для определения: теплоустойчивости к температурам до 100<sup>0</sup>С; чувствительности к сильному удару (передача детонации через зазор); чувствительности вещества при воздействии интенсивного нагрева в ограниченном объёме (испытание по Коенену); пригодности к перевозке в цистерне для оценки эффекта воздействия на эмульсию открытого огня в ограниченном объёме при наличии выпускного отверстия. По результатам испытаний эмульсионная матрица порэмита 1А отнесена к классу 5, подкласс 5.1. номер ООН 3375 «аммония нитрата эмульсия, суспензия или гель, промежуточное сырьё для бризантных взрывчатых веществ, жидкое».

Накопленный при испытаниях опыт дает основания для разработки экспресс-методики определения свойств и характеристик эмульсионных взрывчатых веществ, изготовленных вблизи мест их применения. Установлено, что при выпуске одной партии ЭВВ, но отгруженной в разные СЗМ с разными техническими характеристиками, на заряжаемом блоке происходит изменение плотности ЭВВ, которое не всегда может отследить оператор СЗМ (таблица 3). Неконтролируемые отклонения от установленных параметров, как правило, приводили к браку при взрывании блоков.

Таблица 3 – Показатели плотности заряжения скважин порэмитом 1А

Наименование показателей	Марка и грузоподъёмность смесительно-зарядной машины				
	МЗВ-8-1	МЗВ-8-2	МЗВ-8-3	МЗВ-10-1	МЗВ-15-1
Количество замеров, ед.	14	12	16	15	17
Плотность заряжения, г/см <sup>3</sup>	1,11 – 1,30	1,11 – 1,24	1,06 – 1,26	1,02 – 1,32	1,08 – 1,29

Фактически измеренное варьирование плотности Порэмита 1А в процессе заряжения скважин на примере СЗМ МЗВ-15 по трём циклам замеров в разные дни, свидетельствует что одна и та же СЗМ в разные дни заряжения при стабильной матрице (с плотностью 1,32 кг/м<sup>3</sup>) может давать результаты конечной плотности Порэмита 1А.

Таким образом первоочередной задачей при заряжении скважин является обеспечение необходимой исходной плотности ЭВВ, при которой будет обеспечена надёжная детонация заряда. В этих условиях была разработана экспресс-методика определения исходной плотности заряжения скважин порэмитом 1А непосредственно в карьерных условиях.

Разработанная методика предполагает замер плотности ЭВВ с каждой СЗМ три раза. В начале разгрузки СЗМ (после первых выгруженных 300 кг), в середине разгрузки (после 4-7 тонн в зависимости от грузоподъемности СЗМ) и в конце разгрузки (после 7-10 тонн в зависимости от грузоподъемности СЗМ). Для организации оперативного контроля было предложено и апробировано оборудование, размещенное в грузопассажирском автомобиле.

**На основании изложенного сформулировано третье научное положение: *оценку качества изготавливаемых ЭВВ в период подготовки технологических взрывов рекомендуется основывать на разработанной методике оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов.***

Действующая методика производства периодических полигонных испытаний детонационных характеристик и предлагаемая и апробированная методика оперативного определения плотности ЭВВ не являются замещающими друг для друга, а служат взаимодополнением для более полного контроля за производством и применением ЭВВ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе представлено решение актуальной научно-практической задачи разработки уточненной методики обоснования параметров взрывного разрушения, обеспечивающих снижение переизмельчения горной массы и учитывающей совокупность технологических требований к процессу бурения и заряжания скважин, а также способов контроля характеристик эмульсионных взрывчатых веществ при проектировании и подготовке технологических взрывов на асбестовых карьерах.

**Основные научные результаты работы заключаются в следующем:**

1. Показано, что для сокращения потерь полезного материала как, при обогащении руд, так при производстве щебня различных марок из перидотитов, габбро и диоритов необходимо снижать переизмельчение взрывающей горной массы, что обуславливает изменение подхода к проектированию и производству буровзрывных работ.

2. Получены зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь предела прочности пород при одноосном сжатии и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта (Hr), применение которых обеспечивает при разработке проекта БВР учет изменчивости пород в блоке.

3. Апробированы предложенные способы управления энергией взрывного разрушения скальных массивов горных пород зарядами ЭВВ с добавлением ингибиторов хризотилового волокна и хлорида натрия (NaCl). Результаты исследований свидетельствуют об эффективности применения отходов хризотила с предварительным их смачиванием, то есть снижением их адгезионных свойств. Установлено, что при добавлении 11% хлорида

натрия в раствор окислителя матрицы порэмита взамен части аммиачной селитры, скорость детонации снижается с 4519 до 4115 м/с, то есть на 10%.

4. При проведении опытно-промышленных взрывов установлено, что применительно к специфическим условиям разработки горной массы асбестовых месторождений, предназначенной для производства щебня, сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием заглушек рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли.

5. Установлено, наличие разных партий ЭВВ, разная плотность заряжания (в пределах допуска ТУ), разные марки смесительно-зарядного оборудования, отклонения по глубине и взаимному расположению скважин по сравнению с проектными значениями, а также разброс высоты колонки скважинных зарядов при подготовке технологических взрывов провоцируют непрогнозируемое качество взрыва.

6. Апробирована технология разрушения обводнённых массивов рассредоточенными скважинными зарядами с использованием предложенных и запатентованных специальных пневматических затворов и заглушек для технологических перебуров. Показано, что при использовании рассредоточенных зарядов достигнутый фактический расход ЭВВ при их применении (от 15 до 70% от общего числа взорванных скважин) в сравнении с расчётным в 1,15 – 1,4 раза меньше, чем при сплошных зарядах. Экономия взрывчатых веществ в период опытно-промышленных испытаний составила 160 тонн (в денежном выражении 2,5 млн руб.) при выдерживании необходимой степени дробления пород.

7. Предложенный экспресс-метод определения плотности ЭВВ на базе созданной передвижной лаборатории позволяет экспериментально определить реальную величину исходной плотности Порэмита 1А в скважинных зарядах и пределы её варьирования в процессе заряжания скважин на локальном блоке.

8. Проведенный в промышленных условиях уникальный для РФ комплекс испытаний матрицы эмульсии Порэмита 1А, включающий определение: теплоустойчивости; чувствительности к сильному удару (передача детонации через зазор); воздействия нагревания в ограниченном объёме (испытание по Коенену); пригодности к перевозке в цистерне, дал основания для получения свидетельства Ростехнадзора РФ о соответствии эмульсии, производимой в ПАО «Ураласбест», требованиям ООН.

9. Накопленный при указанных испытаниях опыт дает основания рекомендовать для оценки качества изготавливаемых ЭВВ методику оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов в период подготовки технологических взрывов, а также методику

периодических полигонных испытаний их детонационных характеристик с использованием комплекта измерительно-регистрирующей аппаратуры. Методики не являются замещающими друг для друга, а служат взаимодополнением для полного контроля за производством и применением ЭВВ.

10. Для обеспечения качества дробления горных пород и снижения переизмельчения горной массы сформирована уточненная методика расчёта параметров БВР, позволяющая проектировать рациональные параметры БВР и учитывающая совокупность технологических требований к процессу бурения и заряжания скважин.

11. Для сокращения затрат на подготовку горной массы к выемке на основании установленного изменения скорости детонации от исходной плотности заряжания скважин рекомендуется устранение колебаний плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси СЗМ в процессе заряжания скважин для обеспечения стабильной высоты колонки заряда и равномерного дробления верхней части уступа.

Годовой экономический эффект от реализации предложенных организационно-технических решений для повышения эффективности буровзрывного комплекса составил от 110 до 560 млн руб., что позволило получить дополнительный доход (начиная с 2015 г.) в размере 2,47 млрд.руб.

Основные результаты исследований рекомендуются в качестве методической базы для совершенствования методики обоснования параметров взрывного разрушения пород при использовании эмульсионных ВВ в технологических взрывах на горных предприятиях, в организациях-производителях СЗМ, а также в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с освоением технологий буровзрывных работ. Совершенствование практической части реализации методики проектирования технологических взрывов тесно связано с повышением качества управления работой персонала бурового и взрывного участков.

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

**- публикации в изданиях из перечня ВАК:**

1. **Русских А.П.** Экспериментальные исследования свойств эмульсионных ВВ, изготовленных при заряжании скважин на карьерах /А.П. Русских, А.А. Котяшев //Известия вузов. Горный журнал. - 2012. - № 7.

2. Котяшев А.А. Оценка свойств эмульсионных ВВ в процессе изготовления и заряжания скважин на карьерах ОАО «Ураласбест» /А.А. Котяшев, М.В.Корнилков, **А.П. Русских**, Б.В.Пахряев. Известия вузов. Горный журнал. 2013.№ 5.

3. Котяшев А.А. Изучение и оценка структурных изменений при дезинтег-рации скальных массивов в динамике развития карьеров /А.А.

Котяшев, М.В.Корнилко, **А.П.Русских**// Известия вузов. Горный журнал. - 2017. – № 7.

4. **Русских А.П.** Исследование дробимости и взрываемости горных пород, разрабатываемых на карьере ПАО «Ураласбест» // Сборник Взрывное дело, - 2021. – 130/87. Теория и практика взрывного дела. – С. 63- 78.

5. **Русских А.П.** О процедуре расчёта параметров буровзрывных работ, основанных на экспресс оценке параметров дробимости пород массива/ А.П. Русских, С.В. Корнилко, А.Н. Авдеев, Т.Ф. Харисов, Известия Тульского государственного университета Науки о Земле, 2023. №4. 495 – 504.

6. **Русских А.П.** Studying physical and mechanical properties of rocks to carry out an express assessment of crushability parameters in the conditions of chrysotile asbestos rock mass / Русских А.П., Корнилко С.В., Авдеев А.Н., Харисов Т.Ф. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. №5. С. 9-19.

**- охранные документы:**

1. Патент на полезную модель №148326 «Устройство для создания свободных полостей в перебурах взрывных скважин» / Д.Н. Батраков, В.П. Доманов, А.П. Русских, В.В. Саяпин, Н.А. Чистяков. 2014.

2. Патент на полезную модель №162145 «Скважинный затвор» / Д.Н. Батраков, М.В. Корнилко, А.П. Русских, В.В. Саяпин, Н. А. Чистяков, В.П. Доманов, 2016.

3. Патент на изобретение №2799969 «Устройство для рассредоточения взрывчатого вещества», А. И. Басарнов, Д.Н. Батраков, И.Г. Зотов, А.П. Русских, В.В. Саяпин, Н.А. Чистяков. 2023.

**- прочие издания:**

1. Котяшев А.А. Исследование свойств эмульсионных ВВ при изготовлении их в смесительно-зарядных машинах в процессе зарядания скважин в условиях карьеров ОАО "Ураласбест"/ А.А.Котяшев, **А.П. Русских**, Б.В.Пахряев //Технология и безопасность. 2012:

2. Котяшев А.А. Исследование свойств горных пород в локальных массивах на карьерах для обоснования рациональных параметров БВР./ А.А. Котяшев, А. С.Маторин, **А.П. Русских**, Б.В.Пахряев// Технология и безопасность взрывных работ. – Екатеринбург, 2013

3. Котяшев А.А. Оперативное определение свойств и характеристик ЭВВ вблизи мест их применения/ А.А. Котяшев, В.Г. Шеменев, **А.П. Русских**, Б.В.Пахряев //Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-техн. конф., 2014 / ИГД УрО РАН,НП Взрывники Урала, Уральское управление Ростехнадзор. - Екатеринбург: АМБ, 2015. - С. 31 - 37.

4. Котяшев А.А. Опыт эксплуатации смесительно-зарядных машин в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» /А.А.Котяшев, Б.В.Пахряев,

**А.П.Русских** //Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: XIV Междунар. научно-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека: сб. трудов. - Екатеринбург: УГГУ. 2016. С 72-77.

5. Котяшев А.А. Динамика структуры взорванной горной массы на карьерах по добыче хризолит-асбеста /А.А.Котяшев, **А.П.Русских** //Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: XIV Междунар. научно-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека: сб. трудов. - Екатеринбург: УГГУ. 2016. С.138-144.

6. Котяшев А.А. Практика применения эмульсионных взрывчатых веществ в условиях карьеров ОАО Ураласбест /А. А. Котяшев, Б.В.Пахряев, **А.П.Русских** //Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-техн. конф./ ИГД УрО РАН- Екатеринбург: 2016.

7. Котяшев А.А. Статистическая оценка влияния горно-геологических факторов на показатели эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов на открытых горных разработках /А.А.Котяшев, **А.П. Русских**, Б.В.Пахряев// Технология и безопасность взрывных работ. – Екатеринбург, 2018.

Подписано в печать 23.02.2024.  
Усл. Печ. Л. 1,4

Формат 60x84/16  
Тираж 100 экз.

Бумага тип.№1.  
Заказ № 283

Отпечатано в ЦАСУ ГПР, 624269, г. Асбест, ул. Победы, 23