

На правах рукописи

ФРАНТОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
И ПРИМЕНЕНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ
ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

Специальность: 25.00.20 – «Геомеханика,
разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика
и горная теплофизика»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2017

Работа выполнена в Институте проблем комплексного освоения недр РАН
г. Москва, Россия

Научный консультант – **ВИКТОРОВ Сергей Дмитриевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **БЕЛИН Владимир Арнольдович**
доктор технических наук, профессор кафедры
физических процессов и геоконтроля ФГБОУ
ВО «МГИ» НИТУ «МИСиС»,

ДЕРЖАВЕЦ Аврам Семенович
доктор технических наук, профессор
генеральный директор
ИТЦ ЗАО «Взрывиспытания»

ИЛЯХИН Сергей Васильевич
доктор технических наук, профессор
кафедры горного дела ФГБОУ ВО «Россий-
ский государственный геологоразведочный
университет им. С. Орджоникидзе»

Ведущая организация – ФГБУН Институт горного дела СО РАН

Защита диссертации состоится «27» сентября 2017 г. в 10 час. 30 мин. На засе-
дании диссертационного совета Д 002.074.02 по адресу: 111020, г. Москва,
Крюковский туп., д.4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте
WWW.ИПКОНРАН.РФ

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

Жариков И.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение. Основой конверсионных взрывчатых веществ, как объекта применения в геотехнологии, являются компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Применяемые в разрывных зарядах взрывчатые соединения отличаются разнообразием состава – это сложные эфиры азотной кислоты, нитросоединения ароматического ряда, неароматические нитросоединения. Основными представителями метательных ВВ выступают нитроцеллюлозные пороха – пироксилиновые, баллиститные и др. Баллиститные твердые ракетные топлива относятся к взрывчатым системам.

Конверсионные ВВ отличаются от промышленных взрывчатыми, физико-химическими свойствами и геометрическими характеристиками. Параметрами отличия являются: малый критический диаметр, более высокая скорость детонации, высокая чувствительность к механическим, тепловым и электрическим воздействиям, низкая ударно-волновая чувствительность порохов и топлив, широкий спектр форм и геометрических размеров зарядов, высокая плотность и водостойкость.

Высокая чувствительность компонентов боеприпасов к механическим воздействиям, низкая ударно-волновая чувствительность метательных зарядов определяют опасность в обращении и при ведении взрывных работ с применением конверсионных ВВ. Негативным фактором также является повышенная токсичность продуктов взрыва.

Конверсионные ВВ прошли промышленную апробацию на карьерах при отбойке горных пород, контурном взрывании, дроблении негабарита. Достижение максимального эффекта использования ресурсного потенциала конверсионных ВВ должно увязываться с технологией освоения месторождений, горно-геологическими условиями месторождений, особенностями ведения взрывных работ не только на карьерах, но и при подземной добыче руд, проведением подземных выработок, в технологических процессах подземного выщелачивания руд.

По мере роста глубины отработки месторождений происходит усложнение горно-геологических и горнотехнических условий, характеризующееся при отбойке руд увеличением зажима горных пород, возрастанием сопротивлений срезу и трению по подошве уступа.

В системах с массовым обрушением недостаточно разработаны методы управления действием взрыва за счет изменения направления фронта детонации в заряде. В процессе подготовки запасов к выемке при проведении подготовительно-нарезных выработок происходит потеря большого объема шпуров из-за низкого коэффициента их использования. Простой технологического оборудования, связанные с вторичным дроблением и ликвидацией зависаний, ухудшают технико-экономические показатели работ горного предприятия.

Интенсификация процесса выщелачивания руд характеризуется сложными щелочно-кислотными условиями при повторном разрушении ранее взорванных и выщелоченных руд.

Учитывая государственное значение вопроса утилизации боеприпасов*, сопряженной с техногенной и экологической безопасностью общества, вовлечение конверсионных ВВ в хозяйственную деятельность в технологиях разрушения горных пород является актуальной проблемой и обуславливает необходимость научного обоснования эффективного и безопасного их применения (*ФЦП «Промышленная утилизация вооружения и военной техники на 2011–2015 годы и период до 2020 года»).

В диссертационной работе обобщены результаты исследований, выполненных автором в рамках основных направлений фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН, Государственных заданий Федерального агентства научных организаций РФ, Федеральной целевой программы Минобрнауки России «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.». Соглашение № 14.607.21.0027 от 05 июня 2014 г.; уникальный идентификатор Соглашения: RFMEFI60714X0027.

Цель работы. Научное обоснование и разработка эффективных и безопасных взрывных технологий с применением конверсионных ВВ в физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Идея работы. Повышение эффективности взрывной отбойки и обеспечение требуемой безопасности при применении конверсионных ВВ производится на основе управления свойствами компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов с учетом особенностей взрывных работ при извлечении полезных ископаемых из недр.

Задачи исследований:

- анализ методов оценки эффективности взрывания и показателей, характеризующих взрывчатые, энергетические, технологические свойства ВВ;
- систематизация особенностей взрывных работ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд с учетом горно-геологических и горнотехнических условий месторождений;
- обоснование требований по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, основанных на учете взрывчатых, физико-механических свойств ВВ и особенностей взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии;
- исследование процесса возбуждения детонации конверсионных ВВ практическими видами взрывного импульса и методов управления действием взрыва шпуровых и скважинных зарядов смесевых ВВ;
- разработка технологий взрывания с применением конверсионных ВВ на карьерах, обеспечивающих увеличение масштабности отбойки в сложных условиях, управление законтурным действием взрыва, повышение эффективности и безопасности работ при дроблении негабарита;
- обоснование технических решений по использованию конверсионных ВВ при подземной разработке месторождений, обеспечивающих управление

действием взрыва при отбойке руды, эффективное использование энергии взрыва при проходке выработок, повышение эффективности и безопасности работ при вторичном дроблении и ликвидации заторов при доставке руды;

- разработка способов взрывных работ с применением конверсионных ВВ при отработке запасов методом выщелачивания, при повторном разрушении замагазинированных руд для интенсификации процесса выщелачивания, для улучшения условий миграции растворов и снижения потерь реагентов и продуктивных растворов;

- обоснование параметров зарядов направленного действия на основе конверсионных взрывчатых веществ для использования во взрывных технологиях разрушения горных пород;

- оценка факторов воздействия на окружающую среду при использовании конверсионных ВВ на взрывных работах в геотехнологии;

- разработка рекомендаций по применению в геотехнологии и методических положений по оценке экономической эффективности использования конверсионных взрывчатых веществ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

В основу методологии проведения исследований при решении поставленных задач положен комплексный подход, включающий:

- анализ исследований в области физики взрыва, управления действием взрыва при разрушении горных пород, оценке эффективности применения ВВ;

- обобщение достижений науки и практики ведения взрывных работ с учетом горно-геологических условий и природных особенностей при осуществлении различных способов и методов разработки месторождений;

- методы экспериментальных исследований в полигонных и промышленных условиях свойств конверсионных ВВ, эффективности их применения при инициировании шпуровых и скважинных зарядов смесевых ВВ, при отбойке горных пород;

- аналитические и численные методы при обосновании параметров зарядов направленного действия, используемых на взрывных работах в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд;

- факторный анализ и вероятностно-статистические методы при проведении экспериментальных исследований действия взрыва шпуровых и скважинных зарядов промышленных ВВ;

- технико-экономический оценка и опытно-промышленная проверка результатов исследований.

Защищаемые положения

1. Обоснование методов и параметров кондиционирования свойств конверсионных ВВ (разрывных и метательных зарядов боеприпасов) должно быть основано на учете их взрывчатых и физико-механических свойств и особенно-

стей взрывных работ в соответствии с предложенной систематизацией по видам геотехнологии, способам разработки, методам добычи.

2. Модификация состава, преобразование физического состояния, консолидации и физической структуры, изменение чувствительности к механическим воздействиям и ударной волне, формирование зарядов для применения по назначению обеспечивает необходимые показатели опасности в обращении и устойчивого состояния детонации конверсионных ВВ, соответствующие особенностям взрывных работ в геотехнологии.

3. Изыскание методов применения конверсионных ВВ при взрывном разрушении горных пород на карьерах следует производить за счет управления энергией и действием взрыва на основе установленных связей, позволяющих при разработке сложных забоев определять на основе задаваемых кусочно-линейных функций объемную концентрацию энергии конверсионных ВВ для пород с разной удельной энергоемкостью взрывного разрушения и пространственным положением контактов руд и пород; при контурном взрывании определять объемную плотность заряжения на основе зависимости, выражаемой произведением плотности конверсионных ВВ на разность параболических отношений радиуса заряда и радиуса полости к радиусу скважины.

4. Во взрывных технологиях разрушения руд при подземной добыче управление действием и работой взрыва следует производить с учетом установленных зависимостей позволяющих при линейном инициировании вертикальных концентрированных зарядов изменять угол встречи ударной волны со стенкой скважины за счет выбора детонационных характеристик простейших и конверсионных ВВ; при проведении горных выработок определять оптимальную величину линии наименьшего сопротивления на основе зависимости, выражаемой произведением полинома третьей степени на сомножитель, выражаемый кубическим корнем из отношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметра заряда для конверсионных и штатных ВВ.

5. Во взрывных технологиях разрушения руд при подземном выщелачивании интенсификацию процесса обеспечивает при повторном дроблении замагазинированной руды способность конверсионных ВВ к сохранению взрывчатых свойств в сложных щелочно-кислотных условиях.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- использованием экспериментальных методов измерений и современной измерительной аппаратуры, позволяющих получить достоверную информацию о параметрах быстропротекающих процессов;
- достаточным объемом экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью опытных данных с результатами теоретических расчетов, повторяемостью и сопоставимостью их с ранее полученными результатами;

- широкой апробацией конверсионных ВВ в технологии взрывания на открытых и подземных горных работах, подтверждением выводов и рекомендаций при проведении промышленных экспериментов.

Научная новизна работы

1. Дана систематизация особенностей взрывных работ, основанная на признаках, характеризующих вид геотехнологии, способ разработки месторождений, метод добычи, и позволяющая обосновать требования по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в соответствии с видом выполняемых взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологиях.

2. Впервые определено технологическое содержание понятия «кондиционирование свойств конверсионных ВВ», под которым понимается совокупность процессов механического или физического воздействия на разрывные и метательные заряды боеприпасов с целью придания им свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

3. Установлены зависимости параметров взрывных работ от свойств массива горных пород и характеристик конверсионных ВВ, обеспечивающие управление энергией, работой и действием взрыва при отбойке пород, контурном взрывании и проведении выработок, а также устойчивое состояние детонации в сложных щелочно-кислотных условиях при подземном выщелачивании.

4. Разработаны инженерные методики определения рациональных параметров взрывания с использованием конверсионных ВВ при отработке сложных забоев разнотипных горных пород, отбойке пород с сокращением длины перебур скважин, контурном взрывании, взрывании вертикальных концентрированных зарядов, при проведении подземных выработок, при взрывной интенсификации процесса выщелачивания руд.

5. Получены расчетные зависимости активной части кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной и кольцевой формы от формы и размеров кумулятивной выемки.

6. Предложена методика оценки экономической эффективности применения конверсионных ВВ, основанная на учете особенностей производства взрывных работ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

Практическая ценность:

- разработаны рекомендации по применению конверсионных ВВ на открытых горных работах, базирующиеся на учете условий размещения зарядов, технологических свойств горных пород (крепости), свойств ВВ, в качестве основного классификационного признака используется взрывная эффективность, определяемая показателем удельной мощности ВВ;

- реализованы технические решения по инициированию зарядов, исключающие или снижающие до минимума возникновение низкоскоростных

режимов взрывчатого превращения, с передачей инициирующего импульса промежуточному детонатору детонирующим шнуром низкой энергии с усилителем детонационного импульса;

- на основе разработанного расчетного метода определения оптимальных параметров зарядов с осевой полостью обоснованы конструкции зарядов конверсионных ВВ и параметры их взрывания, обеспечивающие сокращение перебура взрывных скважин за счет повышения интенсивности взрывного воздействия на подошвенную часть блока;

- предложены конструкции зарядов конверсионных ВВ для контурного взрывания, в которых обеспечение оптимальной объемной плотности заряжения производится за счет изменения размеров радиальных зазоров и осевых полостей;

- обоснованы конструкции вертикальных концентрированных зарядов, обеспечивающие управление параметрами волны напряжений путем изменения угла наклона фронта детонационной волны на границе раздела «заряд – среда» за счет выбора смесевых малоплотных промышленных и конверсионных ВВ;

- разработаны технологические схемы взрывных работ при дроблении негабарита в процессе выпуска и доставки руды: в дучках, при вибровыпуске, в выработках скреперования, при ликвидации зависаний в рудоспусках с применением зарядов конверсионных взрывчатых веществ специальных конструкций;

- предложены технологические схемы взрывных работ для интенсификации выщелачивания в зоне открыто-подземного яруса, при создании противифльтрационных завес для предотвращения потерь выщелачивающих и продуктивных растворов, для создания горизонтальных распределительных щелей при распределении выщелачивающих растворов, для изменения характеристик продуктивных пластов;

- разработаны рекомендации по применению конверсионных взрывчатых веществ в процессах и операциях взрывных работ: на открытых горных работах, при контурном взрывании, при инициировании шпуровых и скважинных зарядов, при вторичном дроблении горных пород, при инициировании вертикальных концентрированных зарядов, при проходке горных выработок. Рекомендации по применению конверсионных ВВ на открытых горных работах, базирующиеся на учете условий размещения зарядов, технологических свойств горных пород (крепости), свойств ВВ, в качестве основного классификационного признака используется взрывная эффективность, определяемая показателем удельной мощности ВВ.

Реализация рекомендаций работы. Опытно-промышленную апробацию конверсионные ВВ прошли на горнодобывающих предприятиях цветной и черной металлургии, горно-химического сырья, предприятиях по добыче строительных материалов. Результаты исследований используются НПП «Самаравзрывтехно-

логия», НПЦ «Экоресурсы», ОАО «Евразруда», ОАО «Союзвзрывпром» при проектировании взрывных работ и создании эффективных конструкций зарядов.

Апробация работы. Основные положения диссертации в период выполнения докладывались на Международных конференциях и симпозиумах: «Взрывное дело-99» (Москва, МГГУ, 1999), «Физические проблемы разрушения горных пород» (ИПКОН РАН, 2000–2010), «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2003–2016), «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» (Красноармейск, КНИИМ, 2000–2010), «Актуальные проблемы утилизации ракет и боеприпасов» (Красноармейск, КНИИМ, 2011–2014), «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» (Москва, РГГРУ, 2004–2006), Международной научной школе им. Академика С.А. Христиановича (Алушта, 2008–2014).

Публикации. Основные научные результаты по теме диссертации изложены в 72 печатных работах, в том числе в одной монографии, в 34 работах, опубликованных изданиями, рекомендованными ВАК, в 17 авторских свидетельствах и патентах, а также в 20 работах, опубликованных прочими изданиями.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав, заключения и содержит 305 стр. машинописного текста, включая 105 рисунков, 66 таблиц и список использованной литературы из 472 наименований.

Автор выражает искреннюю признательность и глубокую благодарность научному консультанту, проф. Докт. техн. наук С.Д. Викторову, сотрудникам отдела Проблем геомеханики и разрушения горных пород ИПКОН РАН, коллегам по работе, а также сотрудникам организаций, сотрудничавших с автором в процессе проведения работ – МГГУ, КНИИМ, НИИПМ, ОАО «Союзвзрывпром», НПЦ «Самаравзрывтехнология», «НТЦ «Росвзрывбезопасность», НПЦ «Экоресурсы».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ особенностей взрывных работ в геотехнологии. Разрушение горных пород взрывом осуществляют при подземной добыче руды, добыче полезных ископаемых на карьерах, вторичном дроблении негабарита, контурном взрывании, проведении подземных выработок, при подземном выщелачивании, повторном разрушении замагазинированных руд в процессах физико-технической и физико-химической геотехнологии. Особенности ведения работ являются технологии, методы, виды и способы взрывания, выбираемые с учетом горно-геологических и горнотехнических условий, физико-механических свойств и строения массивов горных пород, применяемого горного оборудования.

Усложнение условий разработки характеризуется увеличением глубины горных работ, укрупнением масштаба отбойки, увеличением высоты уступа, ростом линии наименьшего сопротивления и степени зажима горных пород, возрастанием сопротивлений срезу, трению по подошве уступа.

Качество подготовки скальных горных пород к выемке определяет производительность и ритмичность работы горного оборудования на карьерах. Операции по разделке негабарита и подготовке забоя требуют затрат времени и ухудшают технико-экономические показатели погрузки в целом.

При отработке запасов системами с массовым обрушением отбойка руды вертикальными концентрированными зарядами ограничивается сложностью получения равномерного дробления горных пород. При выпуске и доставке руды наличие негабарита и работы по вторичному дроблению вызывают простои оборудования и отрицательно сказывается на работе всего предприятия.

В процессе подготовки запасов к выемке недостаточная эффективность взрывания при проведении подготовительно-нарезных выработок, характеризующаяся низким коэффициентом использования шпуров, обуславливает поиск и совершенствование методов управления энергией и действием взрыва при образовании врубовой полости.

Изучению процессов, происходящих при действии взрыва на твердую среду, вопросам управления энергией и работой взрыва при разрушении горных пород посвящены труды академиков В.В. Адушкина, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, С.А. Христиановича, чл.-корр. АН СССР Д.М. Бронникова, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова, академика НАН РК Б.Р. Ракишева, чл.-корр. НАН Украины Э.И. Ефремова, проф. С.Д. Викторова, А.В. Джигрина, Г.П. Демидюка, И.Ф. Жарикова, В.М. Закалинского, Н.Н. Казакова, Б.Н. Кутузова, С.В. Лукичева, Г.П. Парамонова, Е.А. Петрова, Г.И. Тамбиева, В.А. Соснина, В.Г. Шеменева и др.

Начало систематического изучения свойств конверсионных ВВ связано с решением проблемы вторичного использования накопленных запасов энергетических материалов. Значительный вклад в развитие исследований свойств, теории и практики ведения взрывных работ с использованием конверсионных ВВ внесли труды А.Н. Афанасенкова, В.А. Белина, А.Г. Горста, А.С. Державца, Е.Ф. Жегрова, Ю.П. Желуницина, В.Х. Кантора, Б.В. Мацевича, Г.А. Нишпала, М.Я. Сухаревского, Н.М. Сытого, Ю.Г. Щукина и др.

На основе анализа опыта производства взрывных работ предложена систематизация особенностей взрывных работ (взрывных технологий, методов взрывных работ, параметров взрывания, характеристик ВВ) с учетом вида геотехнологии (физико-техническая, физико-химическая и комбинации), способа разработки месторождений (открытый, подземный, открыто-подземный), метода добычи (шахтное выщелачивание, скважинное выщелачивание, скважинная гидродобыча), представленная на рис. 1, со следующей аббревиатурой: ФТГТ – физико-техническая геотехнология; ОГР – открытые горные работы; ПГР – подземные горные работы; ОПЯ – открыто-подземный ярус; ВВ – взрывчатое вещество; ВКЗ – вертикальный концентрированный заряд; КБ – кислородный баланс ВВ; ПДК – предельно допустимые концентрации; ФХГТ – физико-химическая геотехнология; ПВ – подземное выщелачивание; СПВ – скважинное подземное выщелачивание; СГД – скважинная гидродобыча.

Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, геотехнологические требования по кондиционированию свойств конверсионных ВВ. Отличия от промышленных ВВ в удельной химической энергии, пределах распространения и скорости детонации, чувствительности к механическим, тепловым и электрическим воздействиям, ударно-волновой чувствительности и др. показателях определяются химической природой рассматриваемых взрывчатых соединений и смесей. Широкий спектр форм и размеров пороховых элементов определяется задаваемым режимом горения в различных видах оружия. В детонирующих зарядах используют ВВ с высокой теплотой взрыва, плотностью снаряжения и скоростью детонации, обеспечивающих повышение эффективности действия взрыва.

С учетом представленной систематизации взрывных работ обоснованы требования по управлению свойствами компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, оказывающими влияние на безопасность в обращении, при перевозке и применении; надежность взрывания и устойчивое распространение детонации, являющихся характерными для используемых видов взрывных работ, осуществляемых в физико-технической, комбинированной физико-технической, физико-химической, комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Совершенствование методов и параметров управления свойствами компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов производится в рамках введенного впервые технологического содержания понятия «кондиционирование свойств», под которым понимается совокупность процессов механического, физического воздействия на компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов при утилизации с целью придания им комплекса взрывчатых, механических и технологических свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в производственных процессах геотехнологии.

Чувствительность к механическим воздействиям может быть изменена модификацией состава, что демонстрируют тренды для порохов (рис. 2а) и бризантных ВВ (рис. 2б). Показатели безопасности в обращении, при перевозке и применении обеспечиваются при флегматизации водой, нефтепродуктами, растворами или загущенными растворами окислителей.

Ударно-волновая чувствительность ВВ, характеризующая надежность взрывания, обеспечивается преобразованием физического состояния, консистенции и физической структуры, что демонстрируют тренды для порохов (рис. 3а) и бризантных ВВ (рис. 3б).

Чувствительность к ударной волне повышается добавками более чувствительных ВВ, технологическими добавками, играющими роль горячих точек.

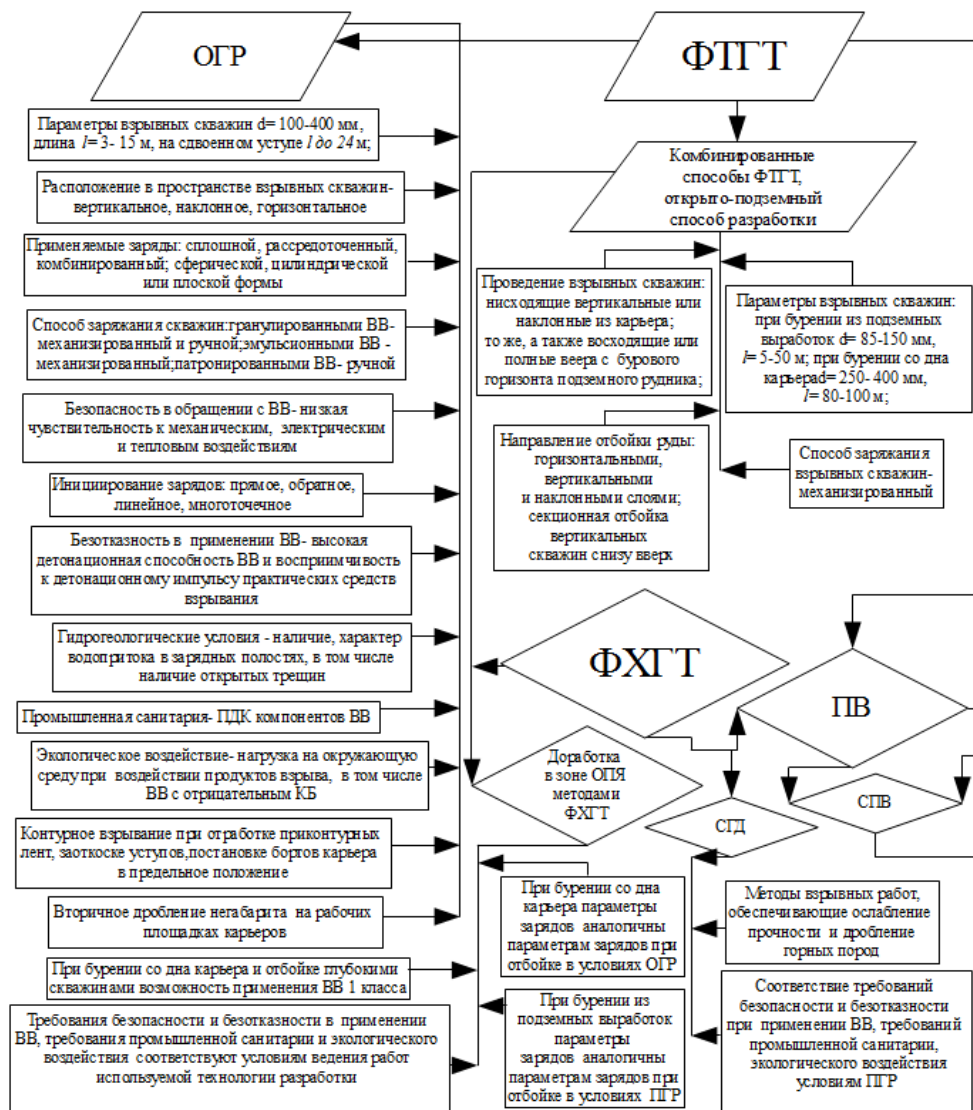
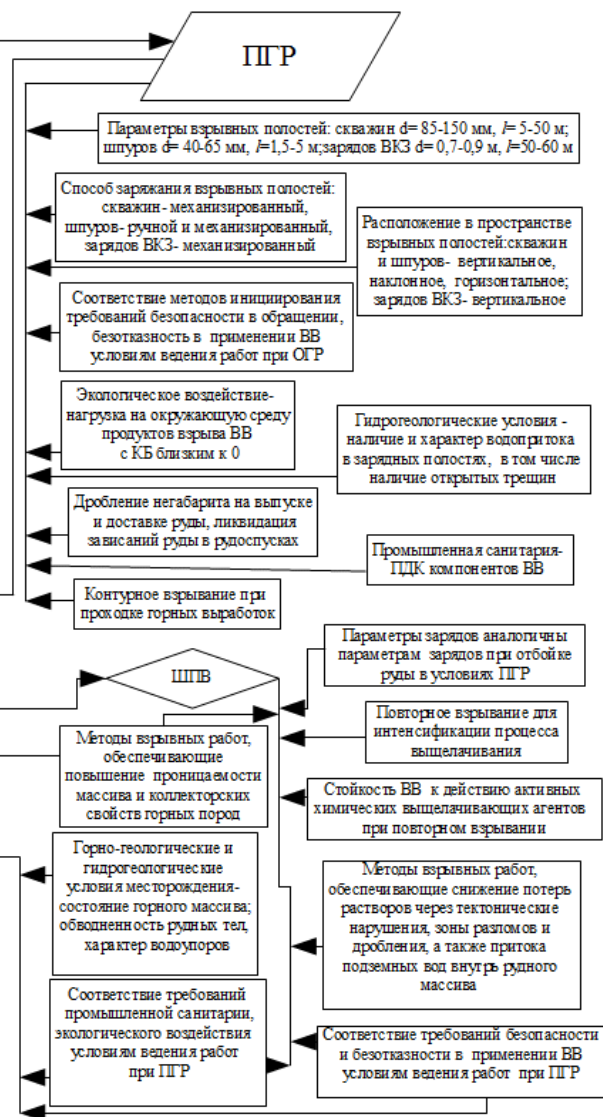
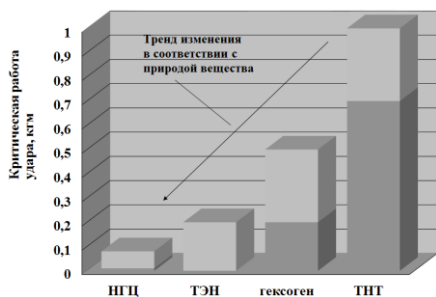
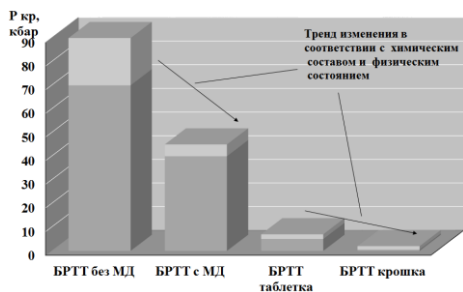
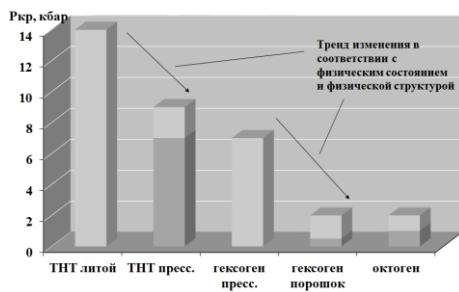
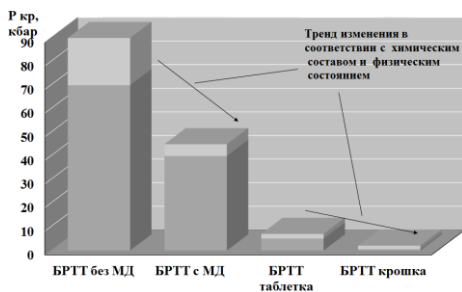


Рисунок 1 – Систематизация особенностей взрывных работ с учетом вида геотехнологии, способа разработки месторождений, метода добычи





а)
Рисунок 2 – Чувствительность к механическим воздействиям порохов (а)
и бризантных ВВ (б)



а)
Рисунок 3 – Критическое давление инициирования порохов (а) и бризантных ВВ (б)

Повышение эффективности использования энергии взрыва разрывных и метательных зарядов боеприпасов связано с изменением физического строения компонентов боеприпасов при переработке (методами дробления, измельчения, резки, грануляции и др.), что обеспечивает управление их взрывчатым превращением. Регулирование запаса энергии заряда ВВ осуществляется за счет изменения объемной концентрации энергии. Формирование зарядов из сухих консистенций, водосодержащих, полидисперсных, льющихся и пластичных смесей, а для обводненных скважин – из водоустойчивых или ограниченно водоустойчивых ВВ в оболочках и корпусах обеспечивает эффективное применение конверсионных ВВ при ручном заряжании. Демпфирование местного действия взрыва в зарядах контурного взрывания обеспечивает выбор оптимальной для данного типа пород линейной концентрации энергии, регулируемой за счет конструкции зарядов изменением радиальных зазоров и осевых полостей. Для сбалансированности компонентов разрывных и мета-

тельных зарядов боеприпасов с отрицательным кислородным балансом в состав ВВ вводится окислитель, что дает возможность снизить токсичность продуктов взрыва.

Повышение дисперсности компонентов боеприпасов, введение в состав добавок (металлы, оксиды металлов, соли и др.), играющих роль горячих точек, сенсibilизация более чувствительными ВВ создают условия устойчивого распространения детонации при взрывных работах на карьерах в скважинах диаметром 80-320 мм и длиной 5-20 м, при подземной добыче руд в шпурах и скважинах диаметром 40-150 мм и длиной 10-60 м, при отработке открыто-подземного яруса в скважинах диаметром 250-320 мм и длиной до 100 м.

При подземной разработке существенным фактором является кислородный баланс, который для компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов изменяется от минус 22 до минус 74%. При проведении подземных выработок и отбойке руды вертикальными концентрированными зарядами повышение эффективности взрывания обеспечивает использование мощных конверсионных ВВ, в первом случае, при использовании во врубных шпурах, во втором – при линейном инициировании смесевых низкоплотных ВВ.

В физико-химической геотехнологии для интенсификации выщелачивания при снижении проницаемости замагазинированной руды проводят повторное разрушение в условиях действия активных химических агентов, приводящих к изменению (ухудшению) взрывчатых свойств ВВ. Для безопасного ведения работ ВВ должны сохранять взрывчатые свойства в течение времени ведения взрывных работ.

Исследования структуры смесей порохов проведены с использованием модельного описания пористой среды. Установлена степень окатанности и шероховатости пороховых зерен в зависимости от сохранности первоначальной формы, характера граней и неровностей поверхности зерна, что позволяет прогнозировать взаимодействие частиц зеренных и дробленых порохов при зарядании скважин. При использовании для описания структуры гранипора глобулярной модели пористой среды установлено, что для размера гранул 1–20 мм, характерного для гранипора, поры в смеси составляют при пластинчатой форме гранул 0,73–14,64 мм, при цилиндрической – 0,37–7,34 мм, при сферической – 0,25–4,92 мм. Увеличение гравиметрической плотности гранипоров осуществляют усложнением смеси зерен порохов с преобладанием крупных над более мелкими фракциями. В процессе измельчения порохов зернам должна придаваться форма с более совершенной окатанностью и шероховатостью поверхности с отношением минимального размера зерна к максимальному 0,6–0,9.

С использованием метода сопоставления определены тренды изменения взрывчатых свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов при получении конверсионных ВВ, показанные на рис. 4-7. Характер изменения теплоты взрыва смесевых гранипор в зависимости от содержания высокоэнергетической добавки и аммиачной селитры представлен на рис. 4.

Увеличение теплоты взрыва на 500-800 кДж/кг происходит при введении в состав баллиститных артиллерийских порохов (минометных) и баллиститных ракетных топлив (рис. 4а). При введении в состав аммиачной селитры 5–55% (рис. 4б) происходит закономерное снижение теплоты взрыва (границы №1–№6).

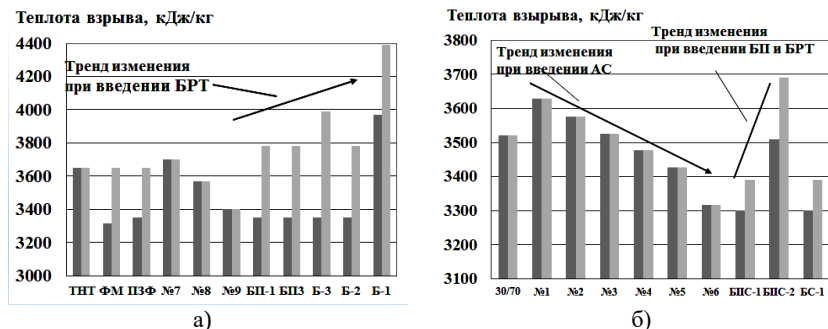


Рисунок 4 – Теплота взрыва гранипоры

Введение в состав неводоустойчивых гранипоры баллиститного артиллерийского пороха или баллиститного ракетного топлива обеспечивает существенный прирост теплоты взрыва (БПС-1 и БПС-2). При введении аммиачной селитры снижение теплоты взрыва гранипоры компенсирует увеличение объема газообразных продуктов взрыва (рис. 5).

За счет формы зерен и дробленых кусков порохов, их размеров, наличия в составе аммиачной селитры неводоустойчивые гранипоры обладают большей насыпной плотностью, чем водоустойчивые. Кислородный баланс (КБ) гранипоры выше на 20-25% КБ тротила, за исключением гранипора на основе минометных порохов. Введение аммиачной селитры в концентрации 5–55 % увеличивает кислородный баланс до значения минус 9% (рис. 6).

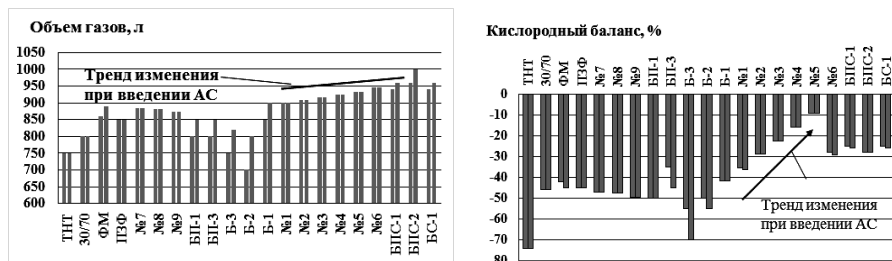


Рисунок 5 – Объем газообразных продуктов взрыва гранипоры

Рисунок 6 – Кислородный баланс гранипоры

Кондиционирование свойств бризантных конверсионных ВВ производят дроблением, грануляцией, смешиванием и др. методами. Крупность фракций кускового тротила марки УД достигает 50 мм. Снижение крупности фракционного состава до 6-8 мм дробленого тротила марки У ведет к повышению пори-

стоности и уменьшению прочностных свойств, что при зарядании скважин приводит к его дополнительному измельчению.

Для наиболее мощных конверсионных ВВ (гексогоносодержащих) теплота взрыва (рис. 7), зависит от содержания гексогена, алюминия и аммиачной селитры. Повышение содержания алюминия повышает теплоту взрыва (алюмогекситы и др.).

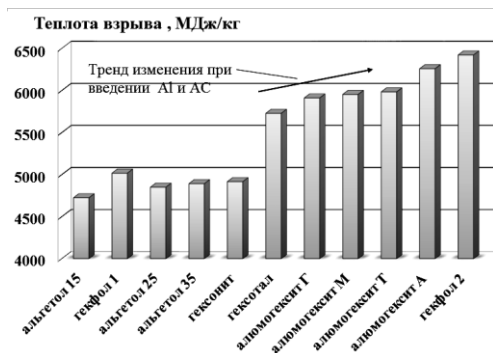


Рисунок 7 – Теплота взрыва гексогоносодержащих конверсионных ВВ

Анализ взрывчатых, физико-механических свойств ВВ и методов взрывных работ позволил разработать рекомендации по применению конверсионных ВВ для отбойки горных пород на карьерах с учетом условий размещения зарядов, крепости пород и эффективности взрывания, определяемой на основе удельной мощности ВВ. Различия во взрывчатых характеристиках (ударно-волновой чувствительности, детонационной способности) промышленных и конверсионных ВВ требует изучения вопросов возбуждения детонации практическими видами взрывного импульса (ЭД, ДШ, предельному инициирующему заряду). Регистрация параметров детонации производилась методом «аквариума».

Для детонирующих шнуров (ДШ) различной мощности были получены зависимости массовой скорости за фронтом ударной волны в воде от расстояния. На основании проведенных исследований установлена корреляционная зависимость относительной инициирующей способности J детонирующего шнура от массы взрывчатой сердцевинки (q , г/м); массы оболочки (m , г/м); давления на границе раздела заряд-среда (P , кбар):

$$J = 0,1195 q - 0,04315 m + 0,0035 P + 0,20418 \quad (1)$$

При изменении массы сердцевинки от 2 до 30 г относительная инициирующая способность J изменяется от 0,2 до 13,9. Увеличение степени использования энергии взрыва на полезные формы работы взрыва за счет исключения или снижения до минимума низкоскоростных режимов взрывчатого превращения возможно реализовать при использовании ДШ малой мощности с усилителем детонационного импульса (УДИ). Разработанные промежуточные детонаторы ПД-300М и ПД-400 с УДИ для шнура малой мощности (2,5 г/м ВВ)

испытаны при отбойке горных пород с $f=12-16$. Экспериментальные работы показали снижение размера среднего куска на 15–20%, возрастание производительности погрузочного оборудования на 10–12%, снижение удельного расхода ВВ на 3,7–10,3%.

Для взрывания в сложных горно-геологических условиях разработан промежуточный детонатор ДПК с УДИ для шнура малой и нормальной мощности. Экспериментальные работы при отбойке нефелиновой руды показали высокую надежность инициирования и эффективность взрывания. Отказов и неполных детонаций при разборке навала горных пород не обнаружено, проработка подшвы уступа хорошая.

На основе обобщения результатов исследований восприимчивости к детонации баллиститных шашек и испытаний детонаторов с УДИ предложены конструкции усиленных промежуточных детонаторов для ДШ малой мощности (рис.8а) и для ДШ нормальной мощности (рис.8б).

Оценка эффективности взрывания гранулированных ВВ при различных способах инициирования показала, что соотношение объемов разрушения при прямом и обратном инициировании зависит от чувствительности ВВ и составляет от 0,55 до 0,8. Соотношение объемов при линейном и обратном инициировании зависит от мощности инициатора и составляет 0,55 – 0,6 для сенсibilизированного ВВ и 0,6-0,93 для простейшего ВВ. Натурными исследованиями при проходке выработки в гранитах установлено, что для одного типа ВВ величина КИШ находится в пределах ошибки измерений (КИШ 0,86-0,88 или 0,79-0,80) и не зависит от чувствительности ВВ для ДШ с навеской 2-30 г/мм.

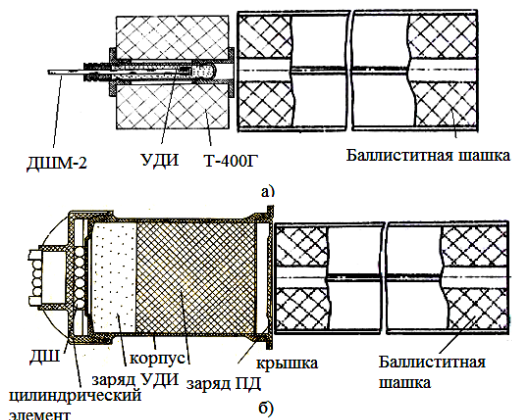


Рис. 8 – Усиленные промежуточные детонаторы на основе баллиститных шашек

Управление энергией, действием и работой взрыва при использовании конверсионных ВВ. Развитие и совершенствование процессов открытой разработки месторождений связано с ведением работ в сложных горнотехнических условиях, укрупнением масштаба отбойки выемочной единицы (блока) из горного массива. При разработке новых геотехнологических решений параметры

буровзрывных работ определяют с учетом усложнения условий отработки, влияния высоты уступа на рост ЛНС, степени зажима горных пород, возрастания сопротивлений срезу и трению по подошве уступа.

Модельное решение при взрывании высоких уступов включало исследование факторов, имеющих существенное значение для обоснования параметров взрывных работ в сложных горнотехнических условиях: диаметра скважинного заряда, линии наименьшего сопротивления по подошве уступа (W), удельной энергоёмкости взрывного разрушения горных пород (A_p), запаса энергии 1 п. м скважинного заряда ($A_{з\text{ п.м.}}$), объемной концентрации энергии ВВ (A_0). При отбойке горных пород $f=3-16$ (удельная энергоёмкость взрывного разрушения $4,18-7,95 \text{ МДж/м}^3$) получение требуемого для преодоления сопротивления массива действием взрыва запаса энергии, обеспечивается за счет создания объемной концентрации энергии конверсионных ВВ в скважинах выбранного диаметра (рис. 9а). Конверсионное ВВ (гельпор ГП-2У) обеспечивает преодоление большего сопротивления (рис. 9б) по сравнению с эмульсионным промышленным ВВ (гранзмит И-30). Это позволяет рекомендовать гельпор ГП-2У для отбойки горных пород ($f=9-12$) при $W=8,2-8,3 \text{ м}$, а для пород ($f=13-16$) при $W=7,3-7,4 \text{ м}$ (заряды диаметром 250 мм).

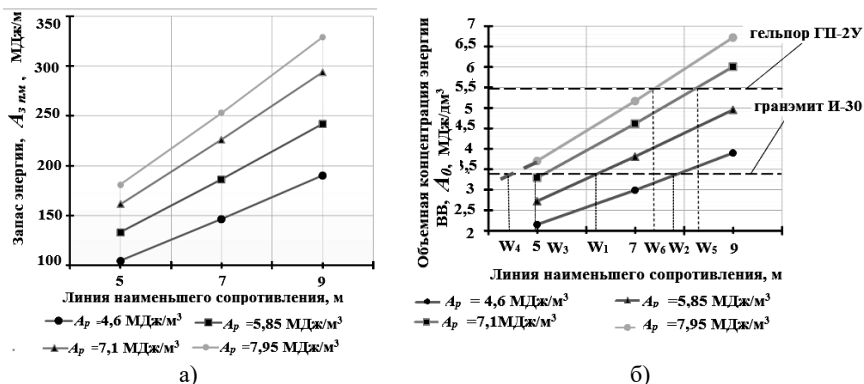


Рисунок 9 – Изменение требуемого запаса энергии и объемной концентрации энергии зарядов диаметром 250 мм от величины W для пород с $f=3-16$

На характер распределения энергии при взрывании высоких уступов кроме технологических факторов (запас энергии заряда, сопротивление массива действию взрыва) оказывают влияние элементы залегания горных пород – однородность и перемежаемость пород, направление контактов, мощность и число прослоев, количество типов пород.

Для рассматриваемых условий ведения взрывных работ параметры зарядов определяются с учетом удельной энергоёмкости взрывного разрушения горных пород. Получены выражения, позволяющие при разработке сложных забоев определять на основе задаваемых кусочно-линейных функций объемную кон-

центрацию энергии конверсионных ВВ для пород с разной удельной энергоемкостью взрывного разрушения и пространственным положением контактов пород (рис. 10).

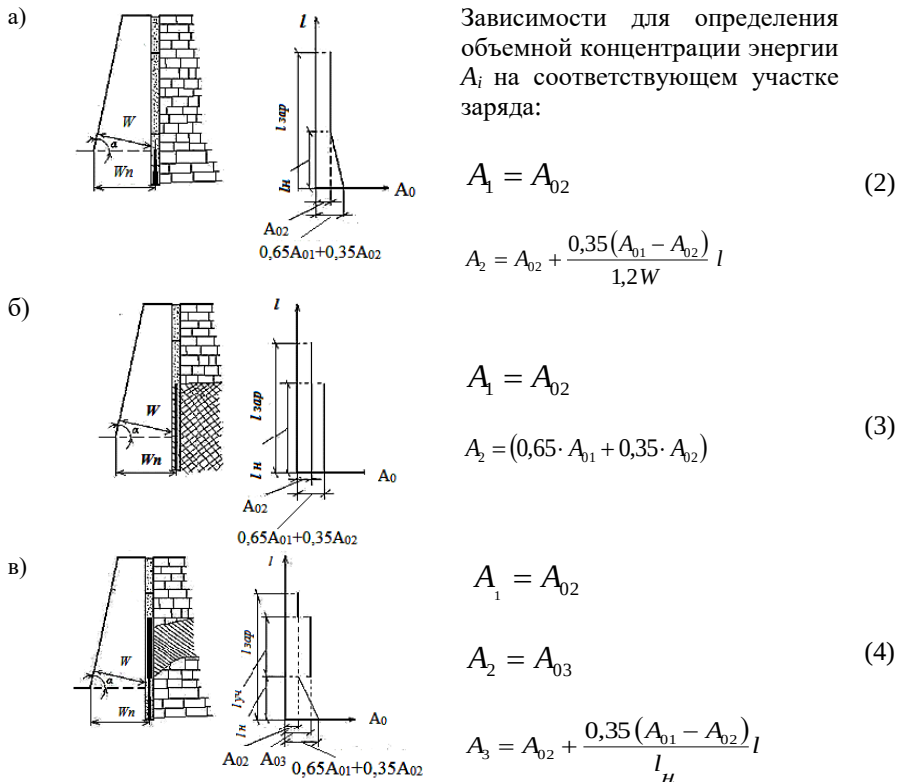


Рисунок 10 – Схемы к расчету параметров зарядов: l_{zap} – длина заряда; $l_{уч}$ – мощность породного включения

где A_{01} , A_{02} , A_{03} – объемная концентрации энергии конверсионных ВВ; l – длина заряда с изменяемой объемной концентрацией энергии, м; l_n – длина нижней части заряда, м; W – линия наименьшего сопротивления, м.

Для однородных забоев с породами, имеющими удельную энергоемкость взрывного разрушения A_p (рис. 10а), изменение объемной концентрации энергии определяется выражением (2), для массива с горизонтальным сложением разнотипных по взрываемости пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения $A_{p1} < A_{p2}$ (рис.10б) изменение объемной концентрация энергии определяется на основе выражений (3), для пород с удельной энергоемкостью

взрывного разрушения A_{p1} и включением пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p2} , при условии $A_{p1} < A_{p2}$ (рис. 10в) изменение объемной концентрации энергии характеризуется зависимостями (4).

Снижению расхода бурения способствует отбойка горных пород с использованием зарядов с осевой полостью и кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы (ККЗ). Взрывание заряда ККЗ в горной породе образует эллипсовидную камуфлетную полость. На основании модельных исследований кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы получены выражения для определения активной части заряда с треугольной и параболической поверхностью кумулятивной выемки.

Отношение активной массы к массе заряда при треугольной форме кумулятивной выемки составляет 0,29, при параболической – 0,155. Экспериментальные исследования на карьерах строительной индустрии показали, что применение зарядов ККЗ обеспечивает снижение нарушенности верхней части нижележащего уступа, соответствие основания уступа проектной отметке. Магистральные трещины в плоскости, перпендикулярной к оси скважины, при взаимодействии нескольких зарядов объединяются в плоскость подсежки.

Анализ технологии взрывания в условиях возрастания степени зажима горных пород позволил рекомендовать для повышения эффективности отбойки использование зарядов с осевой полостью. Осевая полость заряда определяет особенности процесса и параметры детонации (возрастание давления P , повышение энергии газовой кумулятивной струи $E_{стр}$). Установлено, что при изменении крепости пород f с 3 до 14 параметры зарядов с осевой полостью, обеспечивающие увеличение эффективности взрывания на уровне подошвы уступа и сокращение перебура, изменяются в диапазоне от 9,3 до 27,9 кг и от 16,9 до 50,7 кг в скважинах диаметром 200 мм и 250 мм соответственно.

Увеличение масштаба взрывной отбойки способствует усилению контурного действия взрыва. Модельными исследованиями для пород с различными физико-механическими свойствами установлены значения давления в скважине, обеспечивающие с учетом возрастания давления при отражении ударной воздушной волны от стенок скважины отсутствие смятия и интенсивного трещинообразования пород. Установлено, что оптимальная линейная плотность заряжания при использовании конверсионных ВВ для пород с $\sigma_{сж}=500, 1000, 1500$ и 2000 кг/см² составляет 0,4 кг/м, 1,8 кг/м, 2 кг/м и 3 кг/м соответственно. Габаритно-массовые характеристики баллиститных шашек позволили рекомендовать для пород $\sigma_{сж}=500$ кг/см² рассредоточение зарядов. Отклонения от оптимальной линейной плотности заряжания составляют $\pm 10\text{--}15\%$ - для баллиститных шашек $d_{ш}=40\text{--}43$ мм (Н-13, ФГ-14, ФСГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14) для пород с $\sigma_{сж}=1000\text{--}1500$ кг/см², а также $\pm 10\text{--}20\%$ - для баллиститных шашек $d_{ш}=45\text{--}54$ мм (РСИ-5, РСИ-60, РНДСИ-5К) для пород с $\sigma_{сж}=2000$ кг/см².

Параметры контурных зарядов (диаметр заряда, диаметр скважины, их соотношение, плотность ВВ) оказывают существенное влияние на эффективность взрывания. Выбор ВВ производят на основе соответствия оптимальной для данного типа горных пород объемной плотности заряжания Δ и объемной плотности заряжания конверсионного ВВ $\Delta_{квв}$ (рис. 11).

Для баллиститных шашек диаметром от 40 до 54 мм объемная плотность заряжения меняется в пределах 0,232–0,422 г/см³. Исходя из условия равенства $\Delta = \Delta_{квв}$, показывающего соответствие характеристик заряда условиям взрыва-ния, регулирование $\Delta_{квв}$ осуществляют согласно установленной зависимости:

$$\Delta = \delta \left(\frac{r_z^2 - r_n^2}{r_c^2} \right) = \delta \left(\frac{r_z^2}{r_c^2} \right) - \delta \left(\frac{r_n^2}{r_c^2} \right) \quad (5)$$

где: Δ – объемная плотность заряжения, г/см³; δ – плотность конверсионных ВВ, г/см³; r_z – радиус заряда, см; r_c – радиус скважины, см; r_n – радиус осевой полости шашки конверсионных ВВ, см.

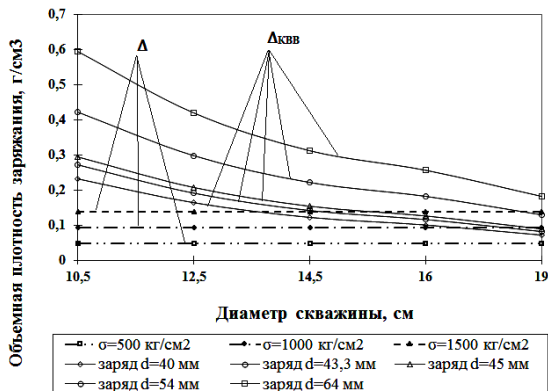


Рисунок 11 – Изменение объемной плотности заряжения Δ и объемной плотности заряжения конверсионных ВВ $\Delta_{квв}$

Натурными исследованиями установлено, что кумулятивные заряды плоской симметрии обеспечивают разрушение негабарита без разлета осколков, что позволяет обеспечить снижение времени простоев погрузочного оборудования и повышение безопасности ведения взрывных работ. Установлено, что от формы кумулятивной поверхности (парабола, полусфера, треугольная $2\alpha=60^\circ$) зависит массы активной части, которая для зарядов диаметром 28–85 мм составляет 270–2740 г. На основе проведенных исследований и опыта применения конверсионных ВВ на ОАО «Лебединский ГОК», ГП «Гранит», ОАО «Учалинский ГОК» разработаны параметры дробления негабарита на открытых горных работах: для зарядов бризантных ВВ и баллиститных шашек – удельный расход $q=1,5\text{--}2$ кг/м³, максимальный объем негабарита $V_{нег}=1\text{--}5$ м³, для кумулятивных зарядов плоской симметрии – удельный расход $q=0,2\text{--}0,3$ кг/м³, объем негабарита $V_{нег}=1\text{--}8$ м³, для кумулятивных зарядов осесимметричных – удельный расход $q=0,3\text{--}0,4$ кг/м³, объем негабарита $V_{нег}=1,5\text{--}10$ м³.

Обоснование параметров взрывных работ с использованием конверсионных ВВ в технологических процессах подземных горных работ. Повышение эффективности действия взрыва смесевых низкоплотных ВВ – гранулита ПС, гранулита ОП, пористой аммиачной селитры (ПАС) исследовали в техно-

логии крупномасштабной отбойки при взрывании вертикальных концентрированных зарядов (ВКЗ). При детонации ВВ в зарядах диаметром $d_{зар}=0,7-0,9\text{ м}$ приход волны разгрузки от боковых поверхностей и связанное с ней расширение продуктов детонации происходит после завершения химических реакций исходных веществ. Исследование параметров взрывания зарядов ВКЗ в рассматриваемых условиях показывает, что детонационный процесс характеризуется параметрами идеальной детонации, скорость которой определяется расчетными методами с высокой точностью.

Для конверсионных ВВ (баллититные шашки, тротил, гексоген) установлено, что за счет изменения соотношения скоростей детонации инициирующего и инициируемого ВВ (гранулит ПС, гранулит ОП, пористая (ПАС) или поризованная (ПорАС) аммиачная селитра) линейными инициаторами происходит изменение угла падения фронта детонации α на границу раздела «заряд ВВ-среда» в диапазоне от 0,488 до 0,924 радиан. При использовании рассматриваемых конверсионных ВВ изменение параметров волны напряжений, рассчитанное на основе полученной зависимости давления на фронте волны напряжений от α :

$$P = 13,6 \frac{\alpha}{\pi} + 6 \quad (6)$$

составляет 8,1-10 ГПа, где P – давление на фронте волны напряжений, ГПа, α – угол падения фронта детонации на границу раздела «заряд ВВ-среда», радиан. Гирлянды шашек конверсионных ВВ размещают равномерно по всему сечению заряда ВКЗ вдоль оси коммутационных скважин. Разработанные конструкции зарядов ВКЗ показаны на рис. 12, вариант а) – при использовании низкоплотных ВВ (гранулит ПС, $\rho_0=0,43 \text{ г/см}^3$; гранулита ОП); вариант б) – при использовании аммиачной селитры (ПАС или ПорАС).

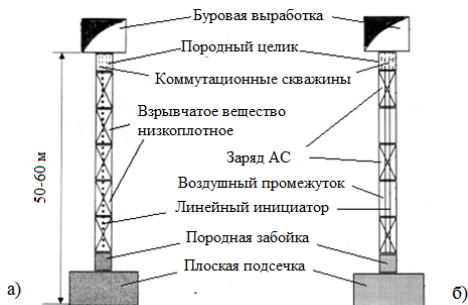


Рисунок 12 – Конструкция заряда ВКЗ при линейном инициировании гранулита ПС (а) и пористой АС (б)

При проведении подземных горных выработок воздействие взрыва на массив определяет активная часть заряда, энергия которой расходуется на полезные формы работы взрыва. Шпуровые заряды различаются по условиям

взрывания и работы, что следует из отличий в линии наименьшего сопротивления врубных, вспомогательных и оконтуривающих шпуров, изменения конфигурации обнажения в процессе расширения врубной полости.

При рассмотрении действия шпуровых зарядов принят постулат, предложенный проф. Г.П. Демидюком, что активная часть цилиндрического заряда пропорциональна площади сегмента заряда, заключенного между образующими воронки взрыва, продолженными до центра заряда.

Экспериментальные исследования проводились с изменением диаметра заряда, мощности и плотности ВВ, применением зарядов направленного действия. Активная часть заряда ΔQ_a , связанная с размером диаметра, характеризуется секторами ΔS_1 и ΔS_2 (рис. 13).

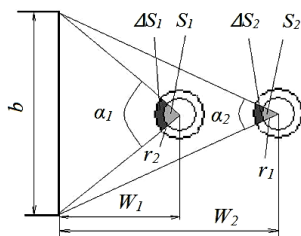


Рисунок 13 – Величина активной части шпурового заряда

Изменение активной части заряда (ΔQ_a) пропорционально площади круговых секторов ΔS_1 и ΔS_2 и определяется из выражения

$$\Delta Q_a = \frac{\pi \alpha \gamma l}{360^\circ} (r_2^2 - r_1^2) \quad (7)$$

где ΔQ_a - масса активной части заряда, г; r_1 и r_2 - радиусы зарядов, см; α - угол раствора воронки взрыва, градус; γ - плотность ВВ, г/см³; l - длина заряда, см. Использование конверсионного ВВ, имеющего более высокую теплоту взрыва и плотность, приводит к увеличению энергии (ΔA), заключенной в активной части цилиндрического заряда, определяемой зависимостью

$$\Delta A_1 = \frac{\pi \alpha l}{360^\circ} ((\gamma_2 q_2 - \gamma_1 q_1) r_1^2 + (r_2^2 - r_1^2) \gamma_2 q_2) \quad (8)$$

где ΔA_1 - энергия активной части заряда, кДж; r_1 и r_2 - радиусы зарядов, см; γ_1 и q_1 ; γ_2 и q_2 - плотность ВВ, г/см³ и теплота взрыва (кДж/кг) промышленного и конверсионного ВВ. Экспериментальные исследования при проведении горных выработок на Учалинском ГОКе показали, что применение во врубных шпурах баллистических шашек РНДСИ-5К позволило увеличить линию наименьшего сопротивления врубных шпуров в 1,325 раза в сравнении типовым паспортом БВР.

Кумулятивные заряды плоской симметрии обладают важным свойством - усиленным разрушающим действием вдоль линии симметрии кумулятивной выемки. На основании модельных исследований для кумулятивных зарядов плоской симметрии получены выражения для определения положения поверхности схождения волн разрезания при треугольной, сферической и параболической поверхности кумулятивной выемки:

$$\text{коническая форма} \quad y + \frac{y+b}{k} = x + \sqrt{R^2 - x^2} \quad (9)$$

$$\text{цилиндрическая форма} \quad y + \frac{4b^2 \pm \sqrt{-4r^2 + 4y^2}}{2} = x + \sqrt{R^2 - x^2} \quad (10)$$

$$\text{параболическая форма} \quad y + k^2 y^2 + b = x + \sqrt{R^2 - x^2} \quad (11)$$

где R – радиус заряда, k , b , r – коэффициенты, характеризующие форму кумулятивной выемки.

Расчетами параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии с использованием баллистических шашек диаметром от 28 до 85 мм определено, что масса заряда изменяется в пределах от 0,816 до 7,584 кг, масса активной части заряда изменяется в пределах от 0,298 до 2,736 кг при конической форме выемки, в пределах от 0,281 до 2,592 кг при сферической форме выемки, в пределах от 0,272 до 2,528 кг при параболической форме выемки.

При малых размерах полости обнажения кумулятивные заряды плоской симметрии имеют большую линию наименьшего сопротивления W , чем цилиндрические заряды. На основе статистической обработки материалов исследований получены зависимости величины линии наименьшего сопротивления зарядов от размеров полости обнажения $W(b)$, аппроксимируемые для кумулятивных и цилиндрических зарядов полиномами третьей степени. Для конверсионных ВВ с использованием положений принципа подобия взрыва получены зависимости $W_i(b)$

для кумулятивных зарядов

$$W_{\text{кум}}(b) = \sqrt[3]{\frac{\rho_i^{\text{квв}} d_i^2}{\rho_{\text{вв}} d_{40}^2}} (2,2142442 \cdot 10^{-5} \cdot b^3 - 0,0075964 \cdot b^2 + 1,0039966 \cdot b + 18,0056739) \quad (12)$$

для цилиндрических зарядов

$$W_{\text{цил}}(b) = \sqrt[3]{\frac{\rho_i^{\text{квв}} d_i^2}{\rho_{\text{вв}} d_{40}^2}} (4,1328757 \cdot 10^{-6} \cdot b^3 - 0,002454 \cdot b^2 + 0,670045 \cdot b + 9,1466474) \quad (13)$$

где b – обнаженная поверхность, см; $\rho_i^{\text{квв}}$ и $\rho_{\text{вв}}$, d_i и d_{40} – плотность (г/см³) и диаметр заряда (мм) конверсионного и промышленного ВВ.

Таким образом, при использовании конверсионных ВВ вместо штатных величину линии наименьшего сопротивления кумулятивных и цилиндриче-

ских зарядов определяют умножением полинома третьей степени или на сомножитель, выражаемый кубическим корнем из отношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметра заряда для конверсионных и штатных ВВ. Анализ представленных зависимостей $W_i(b)$ показывает, что при определении параметров взрывания учет диаметра заряда и плотности конверсионных ВВ

целесообразно осуществлять множителем $\sqrt[3]{\frac{\rho_i^{k_2} d_i^2}{\rho_{св} d_{40}^2}}$, принимающим

целые значения $k_2=2$; $k_3=3$, тогда зависимость $W_i(b)$ может быть представлена семейством кривых (рис. 14).

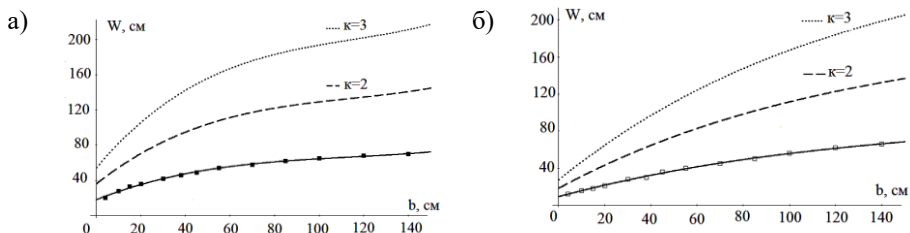


Рисунок 14 – Зависимость W от величины полости обнажения b для кумулятивных (а) и цилиндрических (б) зарядов (опытные данные [2] ■ – кумулятивные заряды, □ – цилиндрические заряды; расчетные данные – $k=2$, $k=3$)

Использование кумулятивных зарядов плоской симметрии на проходке в дренажной шахте Лебединского месторождения в забое Южного штрека позволило увеличить расстояние между врубовыми шпурами в 1,21 раза по сравнению с типовым паспортом.

На основе проведенных исследований разработаны параметры взрывания при дроблении негабарита на подземных горных работах: для зарядов бризантных ВВ и баллиститных шашек – удельный расход $q=1,2-1,5$ кг/м³, объем разрушаемого негабарита $V_{нег}=0,3-4$ м³, для кумулятивных зарядов плоской симметрии – удельный расход $q=0,2-0,4$ кг/м³, объем разрушаемого негабарита $V_{нег}=0,5-5$ м³, для зарядов, использующих принцип «ударного ядра», при ликвидации завесаний в рудопусках – удельный расход $q=20-30$ кг/м³.

Применение конверсионных ВВ в технологических процессах выщелачивания. При взрывной подготовке горных пород под дном карьера к подземному выщелачиванию образуют блок замагазинированной руды без нарушения структуры залегания. ЛНС скважинных зарядов определяется с учетом взрываемости горных пород, показателя действия взрыва, энергетических характеристик заряда. Как показало сравнение, конверсионные ВВ превосходят промышленные ВВ по скорости детонации и объемной концентрации энергии в 1,2–1,3 раза. Использование мощных конверсионных ВВ (альгетол-15, альгетол-35, гелпор-2, эмульсен-Г с объемной концентрацией энергии 4,50–6,26

МДж/дм³) позволяет увеличить ЛНС до 1,4 раза при образовании блока замагазинированной руды.

Технология взрывания при отработке запасов под дном карьера методом подземного выщелачивания имеет аналогию с отбойкой руды в зажатой среде в подземных условиях. Создание компенсационного пространства в рассматриваемых условиях производится за счет объема компенсационных и взрывных скважин. По данным проф. В.Н. Мосинца при взрывании в зажатой среде $K_p=1,06$. Используя этот показатель, количество компенсационных скважин определяется из выражения

$$N_n = \frac{0,06 D_{\text{дл}}^2 - 1,06 N d_{\text{взр}}^2}{1,06 d_{\text{комп}}^2}, \quad (14)$$

где N_n - количество компенсационных скважин, шт.; $D_{\text{дл}}$ - приведенный диаметр дна карьера, м; N - количество взрываваемых скважин, шт.; $d_{\text{комп}}$ - диаметр компенсационных скважин, м; $d_{\text{взр}}$ - диаметр заряжаемых скважин, м.

При выщелачивании, как показывают результаты исследований акад. Н.П. Лаверова, благоприятные щелочно-кислотные условия при переходе металлов (цинка, кадмия, меди, свинца, ванадия, бериллия, индия, хрома, галлия, тория) в раствор реализуются при pH среды от 2 до 7,5. При выщелачивании в процессе газовой, химической или механической кольматации ухудшается проницаемость замагазинированной руды. При проведении повторного дробления остающиеся в замагазинированной руде активные химические агенты (кислоты, щелочи и их растворы) оказывают воздействие на ВВ, приводящее к изменению (ухудшению) его взрывчатых свойств (флегматизации, уменьшению бризантности).

Конверсионные ВВ имеют значительные преимущества перед промышленными ВВ при использовании для повторного взрывания частично выщелоченной руды, что выражается в сохранении взрывчатых свойств и химической стойкости ВВ в щелочно-кислотных условиях среды при pH от 2 до 10. В щелочно-кислотной среде с pH от 2 до 10 конверсионные ВВ не снижают взрывчатые свойства - пентолит до 10 суток, тетрил, тротило-гексогеновые смеси ТГ90/10 и ТГ80/20 - до 4 суток. Это показывает, что при изменении фильтрационных свойств горных пород возможно проведение повторного разрушения частично выщелоченной руды, в щелочно-кислотных условиях, присущих процессу выщелачивания, без изменения взрывчатых свойств ВВ.

При оценке воздействия на окружающую среду при применении конверсионных ВВ была использована методика д.т.н. В.И. Папичева, основанная на определении отклонений фактических, полученных в результате воздействия, величин количества ресурса от его исходных (естественных) значений с учетом токсичности выбросов и длительности их существования в атмосфере, воде и почве. Относительные нагрузки на атмосферу, воду и почву продуктов взрыва порохов НМФ (баллиститного) и ПЭКА (смесового) представлены на рис. 15.

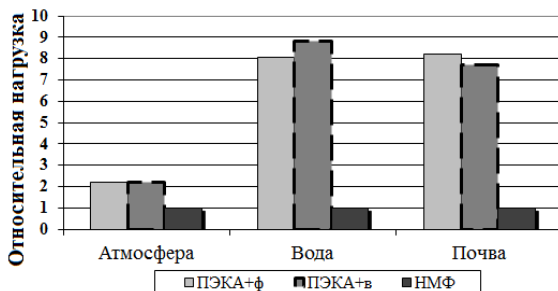


Рисунок 15 – Относительная нагрузка на атмосферу, воду и почву продуктов взрыва НМФ и ПЭКА

Снижение нагрузки на компоненты природной среды может быть получено технологическими приемами. Например, содержащаяся в продуктах взрыва ПЭКА соляная кислота может выступать активным агентом в технологии выщелачивания.

В технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд технико-экономическая эффективность применения конверсионных ВВ по сравнению с промышленными определяется с учетом их влияния на параметры и показатели буровзрывных работ. Оценка технико-экономической эффективности основывается на разнице удельных эксплуатационных затрат при осуществлении взрывных технологий - отбойки руды и пород, вторичного дробления негабарита, контурного взрывания, при проведении подземных выработок, ликвидации завесаний руды, повторного взрывания для интенсификации процесса подземного выщелачивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана совокупность технических и технологических решений по теоретическому обоснованию параметров взрывной технологии и управления взрывчатыми свойствами утилизируемых боеприпасов, обеспечивающих в физико-технической и физико-химической геотехнологии эффективность отбойки горных пород и безопасное ведение взрывных работ, внедрение которых содействует ускорению научно-технического прогресса в области взрывного разрушения пород при освоении месторождений твердых полезных ископаемых.

Основные результаты, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Дана систематизация особенностей взрывных работ, основанная на признаках, характеризующих вид геотехнологии, способ разработки месторождений, метод добычи, и позволяющая обосновать требования по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в соответствии с видом выполняемых взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологиях.

2. Впервые определено технологическое содержание понятия «кондиционирование свойств конверсионных ВВ», под которым понимается совокупность процессов механического или физического воздействия на компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов с целью придания им свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

3. На основе глобулярной модели пористой среды разработан метод оценки структуры гранипоров, отражающий влияние на пористость формы и размера пороховых зерен. Для характерного в гранипоре размера пороховых гранул 1–20 мм показано изменение размера пор смеси при пластинчатой 0,73–14,64 мм, цилиндрической 0,37–7,34 мм и сферической 0,25–4,92 мм форме гранул. Увеличение гравиметрической плотности гранипоров возможно усложнением смеси зерен порохов с преобладанием крупных над более мелкими фракциями. В процессе измельчения порохов зернам должна придаваться форма с более совершенной окатанностью и шероховатостью поверхности с отношением минимального размера зерна к максимальному 0,6–0,9.

4. Комплексом экспериментальных исследований определена иницирующая способность и восприимчивость к детонации практических видов взрывного импульса компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, используемых в конверсионных взрывчатых веществах, предназначенных для использования в геотехнологии. Иницирующая способность J детонирующих шнуров с навеской ВВ от 2 до 30 г изменяется от 0,2 до 13,9. Восприимчивость РНДСИ к импульсу детонирующего шнура составляет 9(-) от-каз- 10(+) взрыв. Показано, что исключение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения гранулированных ВВ при иницировании зарядов способствует уменьшению на 15–20% размера среднего куска, снижению на 5–10% удельного расхода ВВ, повышению на 10–12% производительности погрузочного оборудования.

5. Разработаны способы взрывания, обеспечивающие увеличение масштабы подготовки горной массы к выемке, основанные на создании необходимого запаса энергии для разных условий взрывания, на обеспечении требуемой объемной концентрации энергии взрывчатого вещества, соответствующей энергоемкости взрывного разрушения пород, на дифференцированном распределении с учетом условий залегания, на повышении эффективности взрывания на уровне подошвы уступа с учетом условий зажима.

6. Показано, что изменение запаса энергии заряда с увеличением высоты уступа для более крепких пород носит более сильный характер. При взрывании в разных условиях залегания требуемая объемная концентрация энергии взрывчатого вещества определяется энергоемкостью взрывного разрушения пород и величиной линии сопротивления действию взрыва (подошве, контакту). В зависимости от крепости пород масса заряда, обеспечивающего сокра-

щение длины перебура на 50%, составляет от 9,3 до 27,9 кг в скважинах 200 мм.

7. Обоснован метод контурного взрывания и предложены конструкции шпуровых и скважинных зарядов, в которых объемная плотность заряжания меняется в пределах 0,232–0,422 г/см³ для баллиститных шашек диаметром от 40 до 54 мм. Показано, что для обеспечения щадящего режима образования трещин в горном массиве объемная плотность заряжания определяется с учетом радиальных зазоров и осевых полостей.

8. На основании физически обоснованных гипотез дано решение по определению величины активной части кумулятивного заряда плоской симметрии линейной и кольцевой формы. При изменении формы кумулятивной поверхности (парабола, треугольная $2\alpha=60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$) масса активной части увеличивается с 136,6 г до 410,4 г. Показано, что при взрывании горных пород кумулятивными зарядами плоской симметрии происходит трещинное разрушение без разлета осколков. Дробление негабарита конверсионными взрывчатыми веществами позволит обеспечить эффективную работу в дучках, в выработках скреперования, а также при ликвидации завесаний в рудоспусках.

9. Установлены особенности детонации смесевых гранулированных ВВ в вертикальных концентрированных зарядах. Показано, что при линейном инициировании угол наклона фронта детонационной волны на границе раздела «заряд - среда» при использовании конверсионных взрывчатых веществ изменяется от 0,488 до 0,924 радиан, обеспечивая изменение величины давления в волне напряжений в пределах от 8,11 до 10 ГПа. Обоснован оптимальный по кислородному балансу компонентный состав зарядов ВКЗ на основе пористой и поризованной аммиачной селитры при использовании конверсионных ВВ с кислородным балансом от -22 до -74%.

10. Созданы методы определения параметров зарядов в зависимости от места расположения шпура в забое при проходке горных выработок. Особенность предлагаемых методик заключается в том, что в цилиндрических зарядах увеличение активной части и соответственно энергии, идущей на полезные формы разрушения горного массива, осуществляется за счет изменения диаметра заряда и плотности ВВ, а в зарядах направленного действия активная часть заряда сохраняется постоянной независимо от места расположения шпура в забое. Использование конверсионных ВВ позволяет увеличить нагрузку на шпур в 1,2–1,3 раза.

11. Разработаны технологические методы взрывных работ для интенсификации процесса выщелачивания. Получена расчетная зависимость определения компенсационного пространства, обеспечивающего получение требуемого коэффициента разрыхления, за счет объема заряжаемых и незаряжаемых скважин. В зоне открыто-подземного яруса использование мощных конверсионных взрывчатых веществ позволяет увеличить линию наименьшего сопротивления до 1,4 раза. Показано, что при подземном выщелачивании для улучшения условий миграции растворов, снижения потерь реагентов и продуктив-

ных растворов целесообразно применять для образования щелевых полостей заряды направленного действия, обеспечивающие в 1,5–1,7 раза большую эффективность взрывания по сравнению со сплошными цилиндрическими зарядами.

12. Обоснована возможность проведения повторного разрушения частично выщелоченной руды, исходя из такого технологического фактора, влияющего на взрывчатые свойства ВВ, как щелочно-кислотные условия процесса выщелачивания. Показано, что пентолит в щелочно-кислотной среде с pH от 2 до 10 не снижает взрывчатые свойства до 10 суток, а тетрил и смеси ТГ90/10, ТГ80/20 - до 4 суток.

13. Разработаны рекомендации по применению конверсионных взрывчатых веществ для контурного взрывания, инициирования шпуровых, скважинных и вертикальных концентрированных зарядов, вторичного дробления горных пород, проходки горных выработок. Для открытых горных работ рекомендации базируются на учете условий размещения зарядов, технологических свойств горных пород (крепости), удельной мощности используемого ВВ. Результаты исследований, методики расчета и рекомендации используются НПП «Самаравзрывтехнология», НПЦ «Экоресурсы», НИИ «Росконверсвзрывцентр», ОАО «Евразруда», ОАО «Союзвзрывпром» при разработке безопасных методов взрывных работ и создании эффективных конструкций зарядов.

14. Подготовленные методические положения по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ основываются на учете показателей взрывных работ, оказывающих влияние на параметры технологических процессов физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах

Монография. Франтов А.Е. Конверсионные взрывчатые вещества - условия рационального применения в геотехнологиях. - LAP Lambert Academic Publishing, Германия, 2014. – 136с.

Издания, рекомендуемые ВАК России:

1. Иванов А.В., Желунин Ю.П., Сысоев Н.И., Щукин Ю.Г., Франтов А.Е. Энергетические показатели дробления негабаритных кусков с использованием штатной и конверсионной взрывной техники. // Записки горного института. - 2001. – т.148 (1). - С.189-192.

2. Анисимов В.Н., Франтов А.Е. Применение кумулятивных зарядов с плоской симметрией для разрушения горных пород и проходки горных выработок. Ч.1 // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2006. - №4. - С.284-287.

3. Анисимов В.Н., Франтов А.Е. Применение кумулятивных зарядов с плоской симметрией для разрушения горных пород и проходки горных выработок. Ч.2 // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2006. - №11. - С.100-102.

4. Франтов А.Е., Демченко Н.Г., Ибрагимов Н.Г., Аффиагулов Э.Х., Юков Ю.М. Составы промышленных ВВ из утилизируемых порохов и топлив на основе нитроцел-

лулозы и возможность их использования при механизированном зарядании // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - №5 ОБ. - С. 309-315.

5. Франтов А.Е., Демченко Н.Г., Вахотин А.А. Иницирование зарядов ВКЗ. Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - №5 ОБ. - С. 150-153.

6. Франтов А.Е. Геотехнологические параметры контурного взрывания с использованием конверсионных ВМ. // Маркшейдерия и недропользование. - 2007. - №5. - С.32-35.

7. Франтов А.Е. Особенности действия зарядов с осевой полостью в скважинах // Записки горного института. - 2007. - т. 171. - С. 226-228.

8. Папичев В.И., Франтов А.Е. Сравнительная оценка экологического воздействия на атмосферу при использовании конверсионных взрывчатых материалов // Экологические системы и приборы. - 2008. - №2. - С. 55-58.

9. Франтов А.Е. Использование зарядов конверсионных ВМ при взрывании высоких уступов // Маркшейдерия и недропользование. - 2008. - №1. - С.18-20.

10. Франтов А.Е. К оценке свойств конверсионных ВМ, определяющих эффективность применения в геотехнологиях // Взрывное дело. - 2008. - №99/56. - С. 217-225.

11. Франтов А.Е. Управление действием взрыва шпуровых и скважинных зарядов конверсионных ВМ // Маркшейдерия и недропользование. - 2008. - № 6. - С.34-36.

12. Франтов А.Е. Развитие систем инициирования на основе детонирующего шнура // Взрывное дело. - 2008. - №100/57. - С. 124-133.

13. Франтов А.Е., Закалинский В.М. Способ взрывной подготовки руды в зоне открыто-подземного яруса // Взрывное дело. - 2009. - №102/59. - С. 121-128.

14. Франтов А.Е. Геотехнологические критерии выбора конверсионных ВВ // Записки горного института. - 2009. - т. 180. - С. 204-208.

15. Франтов А.Е. Совершенствование методов инициирования при добычании полезных ископаемых // Взрывное дело. - 2009. - №101/58. - С. 73-79.

16. Папичев В.И., Франтов А.Е. К вопросу оценки экологического воздействия на природную среду при применении конверсионных взрывчатых материалов // Взрывное дело. - 2010. - № 103/60. - С. 283-293.

17. Франтов А.Е. Оценка факторов, определяющих возможность применения конверсионных взрывчатых материалов в физико-химических геотехнологиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - №7. - С. 157-162.

18. Павлов В.И., Нагибин Ю.П., Франтов А.Е. Техническое обеспечение работ при подготовке руды для геотехнологических методов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - №3. - С. 294-297.

19. Франтов А.Е. Эффективность применения конверсионных взрывчатых материалов при добыче строительных горных пород // Строительные материалы. - 2011. - №1. - С. 6-9.

20. Закалинский В.М., Франтов А.Е. О принципе преемственности технологических решений в области взрывных работ // Взрывное дело. - 2011. - №105/62. - С.83-92.

21. Желунин Ю.П., Франтов А.Е. К вопросу оценки активной части кольцевого кумулятивного заряда // Взрывное дело. - 2011. - № 106/63. - С. 33-42.

22. Франтов А.Е. Взрывные работы в открытой физико-технической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ // Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - №4. - С.15-20.

23. Франтов А.Е. К вопросу оценки экономической эффективности применения конверсионных ВВ в процессах взрывных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - №6. - С.172.

24. Франтов А.Е. Способ подготовки руды к выщелачиванию в зоне открыто-подземного яруса // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - №12. - С.169-172.

25. Закалинский В.М., Франтов А.Е. Совершенствование методов взрывных работ в геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - №12. - С. 170.

26. Франтов А.Е. Особенности ведения взрывных работ с применением конверсионных ВВ в физико-химических и комбинированных геотехнологиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - №12. - С. 234.

27. Франтов А.Е. Взрывные работы в подземной физико-технической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ // Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - № 5. - С. 15-21.

28. Закалинский В.М., Франтов А.Е. Физико-химические предпосылки выбора ВВ при интенсификации выщелачивания из крепких руд. - Вестник Российской академии естественных наук. - 2013/6. - том 13. - С. 97-102.

29. Франтов А.Е. К обоснованию свойств конверсионных ВВ с учетом особенностей процессов взрывных работ в геотехнологиях // Маркшейдерия и недропользование, 2013. № 6, с. 11-15.

30. Франтов А.Е. Совершенствование методов и средств разрушения горных пород при разработке месторождений // Взрывное дело. - 2014. - № 111/68. - С. 117-131.

31. Франтов А.Е. Взрывные работы в комбинированной физико-химической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ // Маркшейдерия и недропользование, 2014. № 3, с. 35-39.

32. Франтов А.Е., Бригадин И.В., Тучков Е.Н., Дорошенко С.И. О связи энергетических и взрывчатых характеристик при оценке действия взрыва в сложных горнотехнических условиях // Взрывное дело. - 2015. №113/70. - С. 204-216.

33. Франтов А.Е. К вопросу определения параметров кондиционирования конверсионных ВВ для использования в геотехнологии // Взрывное дело. - 2015. - № 114/71. - С. 252-270.

34. Викторов С.Д., Франтов А.Е., Лапиков И.Н., Андреев В.В., Старшинов А.В. Влияние микроструктуры гранул нитрата аммония на детонационную способность смесевых ВВ на его основе // ФГВ. - 2016. - Т52, №6. - С.119-124.

Авторские свидетельства и патенты:

1. Ас 776130, СССР. Способ ведения взрывных работ / Ю.Г. Щукин, М.З. Иналов, А.О. Бозиев, А.И. Пустовалов, В.А. Ярмизин, Г.М. Лезгинцев, А. Е. Франтов (31.07.1978).

2. Ас 946321, СССР. Взрывное устройство / Ю.Г. Щукин, Н.Н. Мельников, А.Г. Гусев, М.А. Гайдамако, А.И. Шумский, Н.П. Сеинов, А.Е. Франтов, В.Н. Попов (08.01.1981).

3. Ас 948218, СССР. Устройство для инициирования взрывчатого вещества во взрывной выработке / Ю.Г. Щукин, А.И. Шумский, Н.Н. Мельников, А.Е. Франтов, В.В. Кортин, Г.И. Каргин, В.В. Степин (18.08.1980).

4. Ас 1520974, СССР. Способ отбойки горных пород / А.Е. Франтов, А.И. Панов, А.А. Мирзоян, И.К. Мультианов, Г.Ф. Каган, Л.В. Бахарев, Г. И. Земляной (19.02.1988).

5. Ас 1545712, СССР. Способ взрывания эмульсионного вещества / А.Е. Франтов, И.К. Мультианов, А.И. Ванюшкин, П.А. Велькин, В.Ю. Потулов, Н.Т. Селезнев, Н.А. Свердленко (09.11.1987).

6. Ас 1616059, СССР. Детонирующий шнур / В.Ю. Гололобов, В.Б. Гаврилов, Н.М. Савельев, А.Е. Франтов, Е.К. Овчинников, В.Н. Алексеев, Л.П. Ильвуткина, Г.Г. Лютиков, А.И. Кочеряев (12.05.1989).
7. Ас 1764368, СССР. Способ отбойки горных пород на уступе / В.Н. Фатеев, А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, В.Н. Чубаков, В.А. Скворцов (20.12.1990).
8. Ас 1762614, СССР. Способ взрывной отбойки блочного камня / А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, Р.А. Гильманов, А.А. Мирзоян, В.В. Пугачев, Н.А. Свердленко (14.08.1990).
9. Ас 1785231, СССР. Взрывчатое вещество / И.К. Мультианов, А.Е. Франтов, П.А. Велькин, Л.Р. Хусаинов, В.А. Соснин, В.В. Степин, Р.И. Бахулиев (05.06.1987).
10. Ас 1793789, СССР. Способ формирования колонкового заряда / А.В. Крохин, А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин (14.08.1990).
11. Ас 1805723, СССР. Способ заряжания нисходящих скважин и устройство для его осуществления / А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, И.К. Мультианов, А.А. Мирзоян, С. Гангаржал, Н.А., Свердленко, В.Ю. Потулов (20.11.1990).
12. Ас 1820704, СССР. Контейнер для боевика / А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, В.Н. Жило, Н.А. Свердленко, Г.Л. Рейнгард (14.08.1990).
13. Патент 2089844, РФ. Способ взрывной отбойки малоустойчивых рудных тел / Ю.Д. Шварц Ю.Д., А.Е. Франтов, Ю.Г. Шукин, А.В. Крохин (22.05.1992).
14. Патент 2453701, РФ. Способ доработки запасов рудных месторождений под дном карьера / С.Д. Викторов, А.Е. Франтов, В.М. Закалинский, Ю.П. Галченко (25.10.2010).
15. Патент 2449240, РФ. Способ взрывной отбойки руд и пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко, Г.В. Сабянин, А.Е. Франтов (18.11.2010).
16. Патент 2511330, РФ. Способ крупномасштабного взрывного разрушения горных массивов сложной структуры для селективной выемки полезного ископаемого на открытых работах / С.Д. Викторов, А.Е. Франтов, В.М. Закалинский, Ю.П. Галченко (16.07.2012).
17. Патент 2600061, РФ. Способ получения поризованной гранулированной аммиачной селитры и устройство для его реализации. / Викторов С.Д., Франтов А.Е., Закалинский В.М., Жариков И.Ф., Каинов А.И., Красиков В.Д., Яковлев Д.С., Старшинов А.В., Куприянов И.Ю. (14.11.2014).

Научные статьи:

1. Шукин Ю.Г., Онищенко А.Е., Зябрев Е.Т., Франтов А.Е., Совершенствование процессов отбойки, дробления и выпуска руды // Черная металлургия. - 1980. - №10. - С.38-39.
1. Франтов А.Е., Шукин Ю.Г. Изыскание оптимальных средств передачи инициирующего импульса зарядам промышленных ВВ // Сб. тр. / ИПКОН АН СССР. Напряженное состояние массивов горных пород и процесс взрывного разрушения. – М., 1985. – С.144-155.
2. Шукин Ю.Г., Франтов А.Е., Боев В.В., Телков В.И. Применение конверсионных ВМ на гранитном карьере «Микашевичи» и опыт использования механизированного заряжания гранипора. // Мат. конф. «Взрывное дело-99» - М.: Изд. МГТУ, 1999. - С.334-338.
3. Калашников В.В., Лаптев Н.И., Иванов А.В., Желунин Ю.П., Шукин Ю.Г., Франтов А.Е. Заряд для дробления негабарита // Сб. трудов. IV Междунар. науч.-техн.

конф. «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» КНИИМ - 2000 г. М.: Изд. «Вооружение. Политика. Конверсия». 2001. - С. 217-222.

4. Франтов А.Е., Мардасов О.Ф., Шалыгин Н.К., Северов А.Н. Соответствие номенклатуры конверсионных ВМ требованиям взрывных технологий в промышленности. // В сб. Проблемы взрывного дела, № 1-2002, МГГУ-НОИВ, М. - С. 150-158.

5. Викторов С.Д., Машуков И.В., Франтов А.Е., Филиппов П.А., Фефелов С.В., Кудряшов А.А. Перспектива применения простейших ВВ и изделий из конверсионных ВВ в вертикальных концентрированных зарядах. // В сб. Проблемы взрывного дела, № 1, 2002 г., М. - С. 146-150.

6. Франтов А.Е., Соловьев Б.А., Северов А.Н., Комаров Д.В. Результаты испытаний баллистических ракетных твердых топлив // Сб. тр. Третьей междунар. научн. конф. «Физические проблемы разрушения горных пород». Наука, Новосибирск, 2003. - С. 173-177.

7. Зольников Ю.Г., Желунин Ю.П., Иванов А.В., Драчев С.В., Гильманов Р.А., Франтов А.Е., Макаров А.В. Новые конструкции зарядов для горных работ // Сб. науч. тр. Четвертой междунар. научн. конф. «Физические проблемы разрушения горных пород», М., ИПКОН РАН, 2005. - С.359-362.

8. Франтов А.Е., Демченко Н.Г. Методы кондиционирования конверсионных энергетических материалов для горной промышленности // Сб. научн. тр. Четвертой междунар. научн. конф. «Физические проблемы разрушения горных пород», М., ИПКОН РАН, 2005. - С.409-415.

9. Франтов А.Е. Рациональные параметры зарядов конверсионных ВМ // Тр. XVIII Междунар. научн. шк. им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2008. - С.322-326.

10. Франтов А.Е., Желунин Ю.П. Новые решения в технике и технологии взрывных работ // Сб. научн. тр. ИГД УрО РАН Вып. 4 (94) «Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр». - Екатеринбург, 2008. С. 267-270.

11. Frantov A.E., Zhelunitsyn Yu.P. Blasting operations in combined geotechnologies. - Proceedings of the 6th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. Beijing, 2009, P.R. China - P.265-267.

12. Желунин Ю.П., Франтов А.Е. Заряды для геотехнологических способов разработки // Тезисы докл. V междунар. конф.: Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр земли. - Екатеринбург, 2009, ИГД УрО РАН. - С.176-178.

13. Франтов А.Е. Гравиметрическая плотность и структура заряда гранипора // Тр. XIX Междунар. научн. шк. им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2009. - С.315-319.

14. Франтов А.Е. Перспективы применения конверсионных взрывчатых материалов в комбинированной геотехнологии // Тр. XX научн. шк. им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2010. - С.341-343.

15. Франтов А.Е. Определение активной частикумулятивного заряда плоской симметрии аналитическим методом // Тр. XXI научн. шк. им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2011. - С.361-367.

16. Викторов С.Д., Франтов А.Е. Развитие научных основ применения в геотехнологиях конверсионных ВВ // Сб. докл. VIII Междунар. научн.-техн. конф. «Актуальные проблемы утилизации ракет и боеприпасов». М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 305-314.

17. Франтов А.Е. О взрывной эффективности конверсионных ВВ // Тр. XXII Междунар. научн. шк. им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2012. - С.352-364.

18. Франтов А.Е. К обоснованию требований по кондиционированию свойств конверсионных ВВ с учетом особенностей процессов взрывных работ в геотехнологиях. // Тр. XXIII Междунар. научн. шк. им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2013. - С.278-284.

19. S.D. Viktorov, V.M. Zakalinsky, A.E. Frantov, A.N. Koshanov. Classification of blasting process characteristics in combined and conventional geotechnologies. 7th world conference on explosives & blasting. - Moscow. - Russia. -2013. Part 1, p. 27-30.

Подписано в печать с оригинал-макета 11.04.2017 г. Формат 60х84 1/16.
Бумага «Mega Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 2,25 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 238.