

## *Отзыв*

официального оппонента на диссертацию Франтова Александра Евгеньевича  
«Научное обоснование совершенствования и применения конверсионных  
взрывчатых веществ для разрушения горных пород», представленную на  
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная  
аэрогазодинамика и горная теплофизика.

**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.

**Актуальность:** Основой конверсионных взрывчатых веществ, как объекта применения в геотехнологии, являются компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Конверсионные ВВ отличаются от промышленных взрывчатых веществ физико-химическими свойствами и геометрическими характеристиками: 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.

К настоящему времени конверсионные ВВ прошли промышленную апробацию на карьерах при отбойке горных пород, контурном взрывании, дроблении негабарита, а также и при подземной добыче руд, проведении подземных выработок, в технологических процессах подземного выщелачивания руд.

Автор решал задачу повышения эффективности взрывной отбойки и обеспечения требуемой безопасности при применении конверсионных ВВ на основе управления свойствами компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов с учетом особенностей взрывных работ при извлечении полезных ископаемых из недр. Итогом работы является целый ряд комплексных технических и технологических решений, позволивших существенно расширить и обосновать применения широкого спектра конверсионных ВМ при ведении взрывных работ на поверхности и в подземных условиях.

Учитывая государственное значение проблемы утилизации боеприпасов, сопряженной с техногенной и экологической безопасностью общества, вовлечение конверсионных ВВ в хозяйственную деятельность в технологиях разрушения горных пород является актуальной задачей и обуславливает необходимость научного обоснования эффективного и безопасного их применения в геотехнологии.

Представленная работа базируется на результатах теоретических и технологических исследований, а также производственных испытаний, выполненных автором и под его руководством как по линии научно-исследовательских работ 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.", так и по личной инициативе автора.

**Достоверность научных исследований, выводов и рекомендаций** подтверждается:

- использованием экспериментальных методов измерений и современной измерительной аппаратуры, позволяющих получить достоверную информацию о параметрах быстропротекающих процессов;
- достаточным объемом экспериментальных данных, представленных в виде графиков, таблиц, номограмм и обработанных с применением современных методов обработки и использованием стандартных в науке критериев надежности, удовлетворительной сходимостью теоретических расчетов и полученных опытных данных;
- проверкой расчетных параметров при проведении полигонных и опытно-промышленных испытаний новых технологических решений, технологий и рекомендаций на производстве с относительной погрешностью для различных параметров не более 5-20%;
- широкой апробацией конверсионных ВВ в технологии взрывания на открытых и подземных горных работах с подтверждением сделанных выводов и рекомендаций при проведении лабораторных, полигонных и промышленных экспериментов.

#### **Основное содержание работы:**

Работа выполнена в ИПКОН РАН в отделе проблем геомеханики и разрушения горных пород г. Москва, Россия.

Диссертационная работа к.т.н. Франтова А.Е. состоит из введения, восьми глав, заключения изложенных на 343 страница машинописного текста, включая 61 таблицу, 105 рисунков, список использованной литературы из 472 наименования и 10 приложений на 37 страницах.

**В первой главе** автор приводит анализ особенностей взрывных работ в 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. Описывает особенности применения конверсионных ВВ для взрывных работ и предъявляемые к ним требования.

**Во второй главе** автор раскрывает свойства компонентов разрывных и метательных зарядов существующих боеприпасов, условия их безопасного применения в горной промышленности, обосновывает требования по

управлению свойствами ВВ для их использования в геотехнологии. Выполняет историко-технический анализ утилизации компонентов боеприпасов. Описывает тренды изменения взрывчатых свойств порохов, гранипоров, бризантных ВВ и дает рекомендации по применению конверсионных ВВ для отбойки г.п.

**Третья глава посвящена** исследованию факторов, оказывающих влияние на безопасность применения в горной промышленности и устойчивое состояние детонации конверсионных ВВ.

**В четвертой главе** автор исследует применение конверсионных ВВ на открытых горных работах. Описывает условия безопасного ведения взрывных работ при механизированном зарядании скважин конверсионными ВВ на основе нитроцеллюлозы. *Разрабатывает* технические решения по созданию средств разрушения на базе конверсионных ВВ, технологии взрывания с использованием кумулятивных зарядов плоской симметрии. Изучает применение конверсионных ВВ для контурного взрывания, при дроблении негабаритов.

**В пятой главе** приводит результаты комплексных исследований по применению конверсионных ВВ для разрушения г.п. в подземных условиях. Обосновывает параметры взрывания с использованием вертикальных концентрированных зарядов на очистных работах на основе конверсионных ВВ: зарядной колонки, средств инициирования, при отбойке г.п. в скважинах, шпурах при проходке подземных горных выработок, а также особенности применения конверсионных зарядов для ликвидации зависаний в камерах и при вторичном рообленн негабарита в подземных условиях.

**Шестая глава** посвящена исследованию технологии ведения взрывных работ в процессах подземного выщелачивания полезного ископаемого: при подготовке блоков к выщелачиванию, интенсификации подземного выщелачивания за счет применения конверсионных ВВ, обоснованию параметров БВР на основе конверсионных ВВ.

**В седьмой главе** приводятся результаты исследований по оценке факторов воздействия на окружающую среду при применении конверсионных ВВ.

**В восьмой главе** автор приводит методику расчета по оценке экономической эффективности использования конверсионных ВВ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

**Заключение** отражает обобщенные научные выводы исследований в соответствии с поставленными целями и задачами, а также показывает практические результаты их внедрения при ведении взрывных работ на предприятиях горного профиля.

***Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.***

Автореферат диссертации, а также опубликованные печатные работы в достаточной мере отражают основные положения, изложенные в диссертационной работе «Научное обоснование совершенствования и применения конверсионных взрывчатых веществ для разрушения горных пород».

***Полнота изложения материалов исследований в публикациях автора.***

Все основные результаты исследований полностью опубликованы автором в 72 печатных работах, в том числе одной монографии, в 34 работах, опубликованных изданиями, рекомендованными ВАК, в 17 авторских свидетельствах и патентах, а также в 20 работах, опубликованных прочими изданиями.

***Новизна теоретических положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.***

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 перебура 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.

Новым и оригинальным является комплексность полученных результатов исследований, разработанных методик, технологий и рекомендаций, позволяющих осуществлять взрывные работы на поверхности и в подземных условиях с использованием конверсионных ВВ в различных условиях применительно к различным технологическим схемам в горном деле. Установленные закономерности могут быть использованы при исследовании действия взрыва в скальных породах и грунтах при оценке эффективности различных конструкций зарядов, боевиков, схем взрывания, методик расчетов на основе применения конверсионных ВВ.

*Наиболее существенные научные результаты, полученные лично автором.*

1. Дана систематизация особенностей взрывных работ, 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».

3. На основе глобулярной модели пористой среды разработан метод оценки структуры гранипоров, отражающий влияние на пористость формы и размера пороховых зерен.

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.

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. 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).

7. Обоснован метод контурного взрывания и предложены конструкции шпуровых и скважинных зарядов, в которых объемная плотность заряжения меняется в пределах  $0,232-0,422 \text{ г/см}^3$  для баллистических шашек диаметром от 40 до 54 мм.

8. На основании физически обоснованных гипотез дано решение по определению величины активной части кумулятивного заряда плоской симметрии линейной и кольцевой формы. Показано, что при взрывании горных пород кумулятивными зарядами плоской симметрии происходит трещинное разрушение без разлета осколков.

9. Установлено, 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. Доказано, 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. Показано, что при подземном выщелачивании для улучшения условий миграции растворов, снижения потерь реагентов и продуктивных 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. 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.

*Практическое значение диссертационной работы и реализация ее результатов заключается в следующем:*

- 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 показатель удельной мощности ВВ;
- реализованы технические решения по иницированию зарядов, исключаящие или снижающие до минимума возникновение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения, с передачей иницирующего 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 завесаний 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 противодиффузионных 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 иницировании шпуровых и скважинных зарядов, при вторичном дроблении горных пород, при

инициировании вертикальных концентрированных зарядов, при проходке горных выработок.

- 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 «Самаравзрывтехнология», 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).

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

2. Модификация состава, преобразование физического состояния, консистенции 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 соотношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметр 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.

*В качестве замечаний можно отметить следующее:*

1. Вызывает сомнение использование термина «кондиционирование» применительно к ВВ, на мой взгляд понятнее термин «управление» свойствами ВВ, часто приводимый самим автором в тексте диссертации (с.63 и 65).
2. Утверждение автора (с.58) «..заряды конверсионные ВВ с осевой полостью....обеспечивают высокую концентрацию энергии во врубовых шпурах» справедливо для узкой группы патронов конверсионных ВВ при соблюдении отношения  $d_{зар} / d_{пол} = 15-20$ , а не для всего спектра патронов с полостями (работы Железняк С.С., Кузнецова Ю.С., Иляхина С.В.).
3. На с. 144 автор приводит данные по испытанию зарядов ВВ с ДШ применительно к отбойке блочного камня, но такие конструкции были разработаны в 80-х годах испытаны и описаны в 90-х (Азаркович, Шехурдин В.К.) и не рекомендуются в настоящее время для отбойки блочного камня из-за наведения искусственных дополнительных трещин.
4. Рекомендации автора по использованию зарядов ВВ с плоской кумуляцией для врубовых шпуров также являются спорными, т.к. на практике сложно обеспечить ориентацию кумулятивной выемки в шпуре в нужном направлении. Подтверждением этого вывода являются приводимые автором работы Ведутина В.Ф. (60-годы), которые так и не нашли промышленного применения.
5. При расчете параметров зарядов с плоской симметрией, на мой взгляд, автор не раскрыл влияние угла наклона фронта детонационной волны по отношению к плоскости «резания», хотя предпосылки этих исследований заложены в трудах многих авторов, включая Токмакова А.Б, Нуриджаняна Г., Жарикова И.Ф.

6. Автор не приводит в работе разработанные им методики, рекомендуемые к внедрению, а делает только ссылки на них, хотя позднее был представлен электронный вариант вышеупомянутых методик.

Оставшиеся замечания были сняты при обсуждении с автором диссертации. Отмеченные замечания ни в коей мере не умаляют ценность научной работы и носят рекомендательный характер.

### ***Общее заключение по диссертационной работе.***

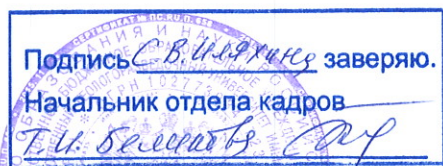
Диссертационная работа Франтова Александра Евгеньевича является законченным научным исследованием в которой на основании выполненных автором исследований разработана совокупность технических и технологических решений по теоретическому обоснованию параметров взрывной технологии и управления взрывчатыми 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.

Она удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук и может быть квалифицирована как научная работа, в которой представлены новые научно обоснованные технические и технологические решения на современном уровне в области разрушения горных пород взрывом и имеющие большое значение для технологического обеспечения взрывных работ с использованием конверсионных кондиционированных ВВ при разработке месторождений минерального сырья как на открытых работах, так и в подземных условиях.

Учитывая изложенное, можно заключить, что представленная научная работа и ее автор, Франтов Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент-  
Доктор технических наук, профессор  
кафедры горного дела МГРИ-РГГРУ

  
С.В. Иляхин



11.09.2017