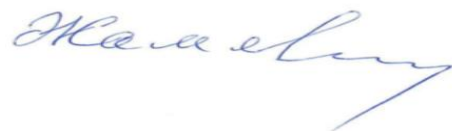


На правах рукописи



Жижиг Жамьян

**Обоснование безопасного применения промышленных
аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в
климатических условиях Монголии**

Специальность: 05.26.03. Пожарная и промышленная безопасность
(в горной промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университете МИСиС»

Научный руководитель:

Белин Владимир Арнольдович, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Иляхин Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры горного дела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,

Франтов Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук»

Ведущая организация:

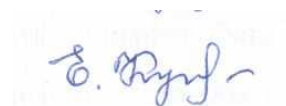
Государственный научно-исследовательский институт «Кристалл» (АО «ГосНИИ «Кристалл»)

Защита диссертации состоится "_____" _____ 2018 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д-212.132.11 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университете МИСиС» (НИТУ «МИСиС») по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте <http://misis.ru/science/dissertations/2017/3343/>

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Е.Ю. Куликова



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Актуальность темы диссертации обусловлена расширением области применения аммиачно-селитренных взрывчатых веществ (ВВ) на угольных разрезах Монголии и необходимостью повышения уровня безопасности взрывных работ в угольных массивах, склонных к самовозгоранию. На территории Монголии сосредоточены большие запасы различных минеральных ресурсов. Наиболее значимыми являются залежи углей различного качества, прогнозные запасы которых оцениваются на уровне 100 млрд тонн.

Все горные работы ведут с обеспечением безопасных условий разработки месторождений и минимальных отрицательных воздействий на экологическую систему. Подготовку горных пород к выемке, включая вскрышные породы и угольные пласты, ведут с использованием буровзрывных работ (БВР). Состояние и развитие этого звена горных работ определяют эффективность всего горного комплекса, и он меняется в соответствии с развитием БВР и технических средств для их ведения в мировой практике.

На горных предприятиях Монголии основную долю составляют скважины диаметром от 105 до 160 мм, которые заряжают современными типами смесевых ВВ, в частности смесями ANFO (АСДТ). Такие ВВ изготавливают из невзрывчатых компонентов вблизи мест применения (на горных предприятиях) на основе аммиачной селитры (АС) российского производства.

Изготовление смесей АСДТ осуществляют на стационарных пунктах изготовления (СПИ) или с помощью смесительно-зарядных машин (СЗМ) различных типов. Важно отметить, что, несмотря на резко континентальный климат Монголии, хранение АС осуществляется на открытых площадках, при этом она подвергается деструкции, что существенно влияет на качество изготавливаемых ВВ и, следовательно, на безопасность и эффективность взрывных работ.

Применение несбалансированных ВВ приводит к повышению вероятности самовозгораемости угля на разрезах и возникновению аварийных ситуаций.

В связи с этим особую актуальность приобретает обоснование безопасного применения промышленных аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в климатических условиях Монголии.

Цель работы – повышение безопасности взрывных работ на основе изучения влияния климатических условий Монголии на свойства промышленных аммиачно-селитренных взрывчатых веществ.

Идея работы заключается в создании безопасных и эффективных взрывчатых веществ с учетом изменения свойств аммиачной селитры при хранении.

Задачи исследований:

1. Выполнить анализ результатов натурных измерений параметров глубины деструкции гранул аммиачной селитры от времени хранения на открытых площадках при подготовке массовых взрывов на угольных разрезах Шарынгол и Баганур.

2. Выполнить теоретические и экспериментальные исследования и определить условия самовозгорания углей на разрезах Монголии при взрывных работах с использованием аммиачно-селитренных ВВ.

3. Оценить изменения чувствительности к инициирующему импульсу заряда взрывчатого вещества типа АСДТ, изготавливаемого из кристаллов аммиачной селитры, подвергнутой деструкции в процессе длительного хранения в условиях резко континентального климата Монголии.

4. Оценить вероятность воспламенения углей Монголии, склонных к самовозгоранию, при применении взрывных работ в зависимости от времени года, условий взрывания, типа взрывчатого вещества и продуктов детонации зарядов ВВ.

5. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработать технологию взрывного разрушения угольных

массивов с использованием сбалансированных аммиачно-селитренных ВВ и провести ее внедрение на угольных разрезах Монголии.

Методы исследований:

- анализ и обобщение научно-технической информации в областях изменения свойств компонентов взрывчатых веществ в процессе длительного хранения в различных климатических условиях и влияния взрывных работ на самовозгораемость угля;
- методы математической статистики по оценке влияния качества применяемых ВВ на параметры самовозгорания угля в различных горно-геологических и климатических условиях;
- теоретические и экспериментальные исследования процессов деструкции гранул аммиачной селитры под воздействием внешних факторов и самовозгорания углей, подвергавшихся воздействию взрывных работ;
- экспериментальные исследования изменения чувствительности к инициирующему импульсу зарядов аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в процессе длительного хранения в условиях резко континентального климата;
- лабораторные и полигонные исследования влияния различных факторов на границы фазовых переходов гранулированной аммиачной селитры и их влияние на эффективность и безопасность взрывных работ на угольных разрезах.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Резкие колебания суточных и сезонных климатических условий Монголии приводят к изменению структуры применяемых взрывчатых веществ, изготовленных на основе аммиачной селитры, с повышением чувствительности к инициирующему импульсу и опасности применения.
2. Температурные границы существования и переходов модифицированных форм в кристаллической структуре аммиачной селитры в реальных условиях горных предприятий отличаются от стандартных в силу зависимостей от большого числа факторов, основными из которых являются:

сезонность, время и условия хранения.

3. Вероятность воспламенения углей Монголии, склонных к самовозгоранию, при взрывном дроблении увеличивается при использовании взрывчатых веществ, взрыв которых сопровождается выделением продуктов неполного разложения с образованием окислов азота.

Достоверность научных положений и выводов подтверждается:

- применением апробированного математического аппарата для описания процессов деструкции гранул аммиачной селитры и обработки полученных экспериментальных данных;
- использованием при проведении исследований современных методик, методов и контрольно-измерительных приборов;
- применением современных методов математической статистики при анализе экспериментальных данных, полученных в результате многолетних наблюдений процессов самовозгорания углей при взрывных работах с применением различных типов ВВ;
- внедрением разработанных технологических решений и результатов работы на угольном разрезе Баганур (Монголия).

Научная новизна работы:

- установлены зависимости изменения границ фазовых переходов аммиачной селитры, хранимой в резко континентальных климатических условиях Монголии и при активном ультрафиолетовом излучении, от относительной влажности окружающего воздуха;
- установлены зависимости изменения средней глубины деструкции гранул аммиачной селитры от времени хранения на открытых площадках под воздействием ультрафиолетового излучения;
- установлены зависимости изменения критического диаметра заряда взрывчатого вещества типа АСДТ от содержания мелких фракций

кристаллов аммиачной селитры, подвергнутой деструкции в процессе хранения и транспортирования;

- установлены зависимости изменения чувствительности к инициирующему импульсу заряда взрывчатого вещества типа АСДТ от содержания мелких фракций кристаллов аммиачной селитры, подвергнутой деструкции в процессе хранения и транспортирования.

Научное значение диссертации состоит в получении новых зависимостей в области изменения свойств компонентов взрывчатых веществ в различных термоклиматических условиях и их влияния на процессы самовоспламенения углей при использовании взрывных работ.

Практическая ценность работы состоит в разработке технологии изготовления аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ, основанной на изменении внутренней кристаллической структуры гранул селитры с обеспечением модификационных кристаллических переходов, обеспечивающей значительное улучшение основных взрывчатых характеристик смесей типа АСДТ, практическое исключение самовозгорания углей при взрывных работах, повышение уровня промышленной безопасности и снижение уровня профессиональных заболеваний на разрезе, использующем разработанную технологию взрывных работ.

Реализация выводов и рекомендаций. Проведенные исследования позволили разработать технологию приготовления сбалансированных аммиачно-селитренных ВВ, которая внедрена на угольном разрезе «Баганур» (Монголия). Разработанная технология позволила повысить безопасность горных работ при добыче угля за счет существенного снижения вероятности самовоспламенения углей и выделения ядовитых продуктов взрыва и горения углей.

Апробация работы. Научно-практические результаты работы доложены на ряде конференций, в том числе на международных конференциях в России, Казахстане и Монголии: научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, МГТУ, 2010 — 2016); Международной

конференции «Инженерная защита окружающей среды» (Москва, МГУИЭ, 1999); Международной научно-практической конференции «Горное дело в Казахстане. Состояние и перспективы» (Алма-Ата, Центрально-Азиатский горнопромышленный союз, 04 - 07 сентября 2000); Международной конференции «Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век» (Москва, ИПКОН РАН, 20—25 ноября 2000); Второй международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород» (Санкт-Петербург, С-ПГИ, 25—29 сентября 2000); Международной конференции «Агошкинские чтения» (Иркутск ИрГТУ, 14 - 15 декабря 2000); Первой международной конференции Евроазиатского союза инженеров-взрывников (ЕАСИВ), г. Алматы, Республика Казахстан (12 - 13 сентября 2016); Шестнадцатой международной конференции по взрывному делу (Россия, Геленджик, 09 - 16 сентября 2016); Технических совещаниях и конференциях на угольных разрезах Шарынгол, Баганур (Монголия 1999 — 2017)

Публикации. Основное содержание работы изложено в 23 научных статьях, 16 из которых опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 41 рисунок, 6 таблиц, список литературы из 103 наименований и 1 приложение.

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность докт.техн.наук. проф., В.А. Белину и канд. техн. наук А.В. Старшинову за помощь и постоянное внимание, что способствовало успешному выполнению работы, а также сотрудникам угольного разреза и преподавательскому составу кафедр взрывного дела и физических процессов горного производства и геоконтроля Горного института НИТУ «МИСиС» за полезные замечания, консультации и практическую помощь в ходе выполнения диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вопросам изучения процессов разрушения горных пород взрывом, исследования, установления и обобщения факторов, влияющих на эффективность разрушения и качество подготовки горной массы к выемке, управления действием взрыва для обеспечения требуемого качества взорванной горной массы и уменьшения опасной зоны взрыва с учётом взаимосвязи горно-геологических, горнотехнических условий и свойств ВВ посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований, из которых следует отметить работы Б.Я. Светлова, Б.В. Гидаспова, Л.В. Дубнова, З.Г. Позднякова, С.Д. Викторова, Ю.М. Михайлова, Е.В. Колганова, В.А. Соснин, Б.Н. Кутузова, В.А. Белина, С.В.Иляхина, В.Ф. Богацкого, К.К. Шведова, Е.И. Жученко, В.Б. Иоффе, М.И. Ганопольского, В.Л. Барона, А.В.Старшинова, Ю.В. Горлова, В.В. Пупкова, М.Ф. Друкованого, А.Е. Франтова, А. Цэдэнбата, Б. Ишмэнда, Б. Лайхапсурена и других авторов.

В диссертации приводятся результаты исследований параметров взрывчатых веществ, основанных на применении аммиачной селитры с измененной внутренней кристаллической структурой гранул, позволяющих обеспечить эффективное разрушение угольных массивов и снижение вероятности самовозгорания угольных масс на разрезах Монголии.

При рассмотрении проблем и вопросов, связанных с горной промышленностью Монголии, необходимо учитывать особенность географического положения страны, климат которой является резко континентальным с существенными колебаниями температуры по сезонам года: от 50 до минус 55 °С, а также в течение суток, например в зимний период. возможны изменения температуры воздуха в пределах от минус 5 до минус 30 °С.

Исходя из особенностей и условий ведения взрывных работ в Монголии там применяют различные типы взрывчатых веществ, но наиболее рациональными для применения в стране представляются смеси АСДТ без использования дополнительных компонентов.

Физико-химическая природа аммиачной селитры – нитрата аммония (AN) – полиморфное кристаллическое вещество. При понижении температуры от 169,6 °С (температура плавления АС) до минус18 °С или, наоборот, при повышении в этих пределах кристаллическая решетка АС может иметь пять различных модификационных структур.

При модификационных превращениях происходит изменение объема и плотности кристаллов. Прочность кристаллов и гранул АС зависит от способа их получения при изготовлении и числа модификационных превращений, которым они могут быть подвергнуты в процессе хранения. С растрескиванием гранул повышается их впитывающая способность по отношению к нефтепродуктам, но уменьшается прочность.

При хранении АС в условиях климата Монголии (в частности, на угольном разрез Баганур), особенно в хранилищах облегченного типа в виде навеса с крышей, но без полного перекрытия вертикальных стенок, наблюдается изменение в крайних (верхних) рядах упаковок (мешков) вплоть до полного разрушения оболочек мешков. Внешний вид мешков после хранения показан на рис. 1.



Рисунок 1 – Внешний вид мешков с АС после хранения в течение 3 - 5 месяцев

Интенсивность разрушения мешков зависит от времени хранения и сроков нахождения их под воздействием светового (солнечного) излучения.

Исследования процесса деструкции гранул аммиачной селитры под действием внешних воздействий позволили получить прогнозную оценку влияния температурных колебаний в климатических условиях Монголии на глубину разрушения слоя гранулированной аммиачной селитры.

Теоретическими исследованиями установлено, что толщина разрушенного слоя X при колебании внешней температуры окружающей среды от 10°C до 40°C определяется из выражения:

$$X_{\wedge} = -\frac{S \cdot K}{Q} \cdot T_{\wedge}^{\circ} - 15 \frac{S \cdot K}{Q}, \quad (1)$$

где T_{\wedge}° — средняя температура системы в летний период;

X — толщина разрушенного слоя;

K — коэффициент теплопроводности разрушенного слоя;

S — площадь поверхности слоя;

Q — количество теплоты, проходящее через этот слой.

А при хранении АС при отрицательных температурах толщина разрушенного слоя:

$$x_3 = \frac{S \cdot K}{Q} \cdot t_3^{\circ} + 20 \cdot \frac{S \cdot K}{Q}, \quad (2)$$

где t_3° — средняя температура системы в зимний период.

Следовательно, при тепловом воздействии на гранулы аммиачной селитры подвергающиеся деструкции в результате фазовых переходов, толщина разрушенного слоя пропорциональна количеству тепла, проходящего через этот слой, и обратно пропорциональна площади воздействия и коэффициенту теплопроводности селитры.

Полученные зависимости явились основой для проведения натурных исследований по определению параметров деструкции гранул аммиачной селитры при длительном хранении на открытых площадках на территории Монголии. Средние значения изменения толщины слоя с разрушенными гранулами от времени хранения на открытых площадках в условиях Монголии в период апрель–сентябрь показаны на рис. 2.

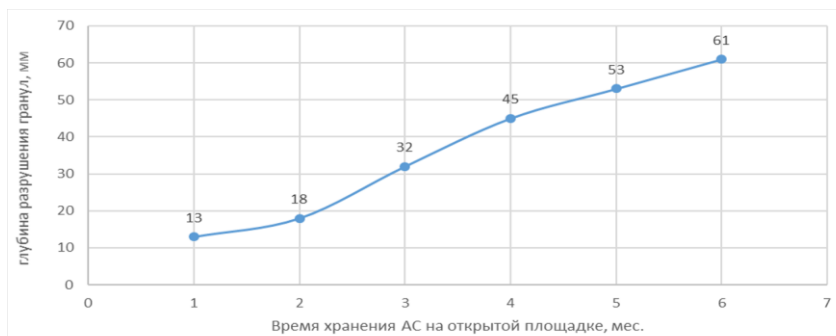


Рисунок 2 — Зависимость изменения средней толщины слоя с разрушенными гранулами от времени хранения на открытых площадках в условиях Монголии

Нашими исследованиями установлено, что на деградацию гранул большое влияние оказывает воздействие ультрафиолетового излучения на аммиачную селитру, хранимую на открытых площадках или на временных складах. Зависимость средней глубины разрушения гранул аммиачной селитры при хранении в мешках на защищенных от атмосферных осадков и ультрафиолетового излучения площадках показана на рис. 3.



Рисунок 3 — Зависимость средней глубины разрушения гранул аммиачной селитры при хранении в мешках на защищенных от атмосферных осадков и ультрафиолетового излучения площадках

Анализ полученных зависимостей показал, что влияние температурных факторов при деструкции аммиачной селитры составляет около 80%, а доля вклада от воздействия ультрафиолетового излучения на аммиачную селитру не превышает 20%.

Наблюдаемое явление разрушения гранул АС приводит к изменению свойств продукта, как исходного сырья, а в конечном итоге - к снижению взрывной эффективности и безопасности применения.

Наличие значительного процента мелких фракций в составе АС имеет отрицательные свойства. Их наличие приводит к повышению чувствительности ВВ к инициирующему импульсу, что существенно снижает безопасность обращения с таким ВВ.

Влияние содержания мелких фракций на восприимчатость АСДТ к стандартному детонатору показано на рис. 4.

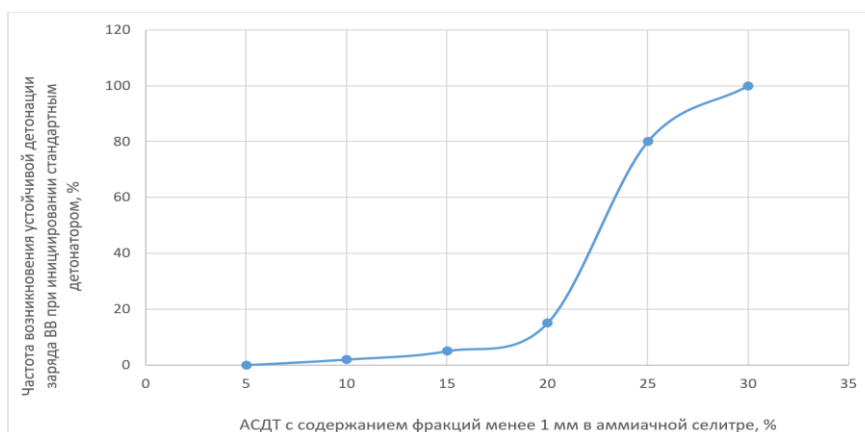


Рисунок 4 – Влияние содержания мелких фракций на восприимчивость АСДТ к стандартному детонатору

На рис. 5 показана зависимость влияния содержания мелких фракций (< 1.0 мм), образовавшихся в результате фазовых переходов при хранении АС, на критический диаметр детонации смесевых ВВ типа АСДТ.

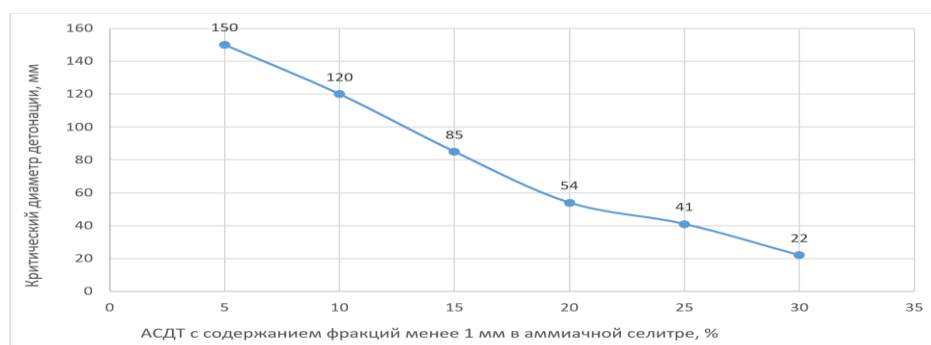


Рисунок 5 — Зависимость влияния содержания мелких фракций (< 1.0 мм), образовавшихся в результате фазовых переходов при хранении АС, на критический диаметр детонации смесевых ВВ типа АСДТ

Эти особенности АС необходимо учитывать на всех этапах разработки технических решений и оценки безопасности переработки, как исходного сырья, так и смесей из него.

Исследованиями, проведенными в условиях действующих горных предприятий Монголии, установлено, что резкие колебания суточных и сезонных климатических условий Монголии приводят к изменению структуры применяемых взрывчатых веществ, изготовленных на основе аммиачной селитры, с повышением чувствительности к инициирующему импульсу и опасности применения (**первое научное положение**).

Прочность кристаллов и гранул АС зависит от способа их получения при изготовлении и числа модификационных превращений, которым они могут быть подвергнуты в процессе хранения продукта. С растрескиванием гранул повышается их впитывающая способность по отношению к нефтепродуктам, но уменьшается прочность. Это явление сильно затрудняет получение стабильных смесей АСДТ в реальных условиях горного производства.

Для определения численных значений фазовых переходов АС в условиях Монголии были проведены лабораторные и полигонные исследования определения температурных границ фазовых переходов для селитры, находящейся под воздействием ультрафиолетового излучения на открытой площадке в течении 1 - 3 месяцев (рис. 6, 7).

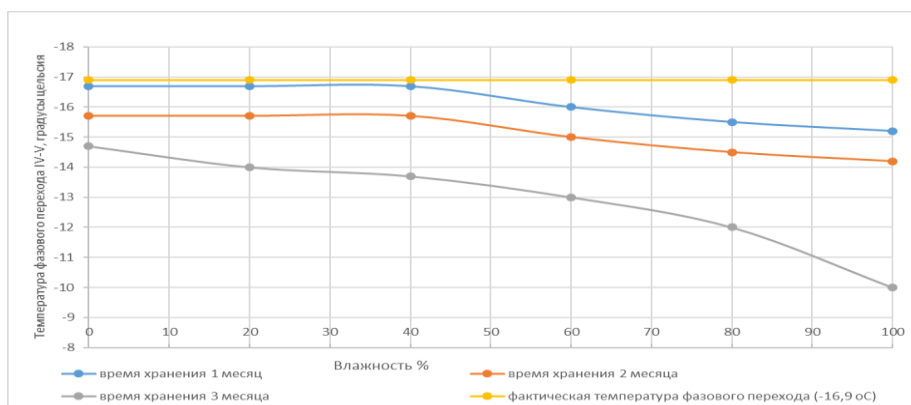


Рисунок 6 — Влияние относительной влажности, времени хранения АС на фактическую температуру фазового перехода (минус 16,9 °C) в условиях Монголии

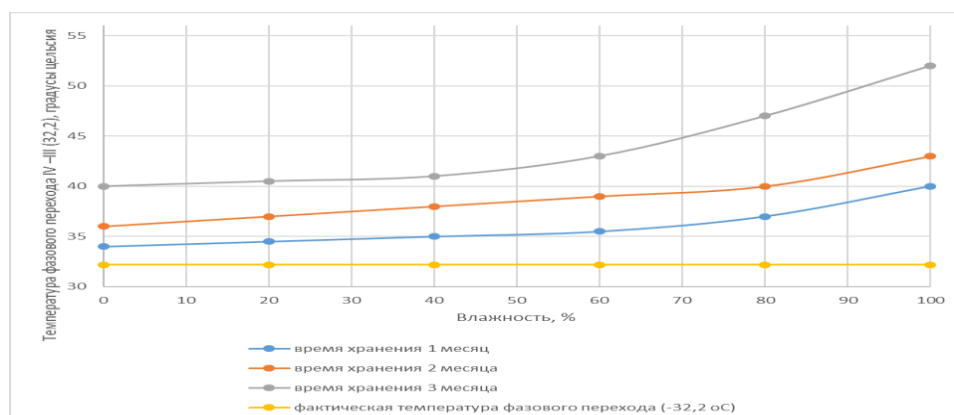


Рисунок 7 — Изменение температурных границ фазового перехода IV - III (32,2 °C) АС в условиях Монголии для различной влажности гранул

Анализ графиков (рис. 6, 7) показывает, что температурные границы существования и переходов модифицированных форм в кристаллической структуре аммиачной селитры в реальных условиях горных предприятий Монголии отличаются от стандартных в силу зависимостей от большого числа факторов, основными из которых являются: сезонность, сроки и условия хранения (**второе научное положение**).

Следует отметить, что деструкция селитры происходит неконтролируемо и неравномерно по объему с учетом условий и времени хранения селитры. Данное явление приводит к формированию заряда ВВ в виде «слоеного пирога» с различными по высоте детонационными характеристиками. Изготовление смесей АСДТ в таких условиях может приводить к неполной детонации или выгоранию части заряда из-за избытка или недостатка жидкого горючего.

Следовательно, для получения ВВ на базе смесей АСДТ в условиях Монголии необходимы предварительная подготовка АС и технология изготовления смесей АСДТ, учитывающие деструктивные процессы в АС. Разработка технологии изготовления эффективных и безопасных ВВ на основе смесей АСДТ подробно изложена в диссертации.

Опыт ведения взрывных работ в условиях Монголии показал, что применение несбалансированных ВВ приводит к снижению качества дробления горной массы и зачастую к возгоранию углей.

Самовозгорание угля (эндогенный пожар) — это физико-электрохимический процесс, приводящий к возгоранию скоплений угля и углесодержащих пород вследствие того, что выделение тепла превышает теплоотдачу в окружающую среду.

Количество тепла, требующееся для подогрева угля от начальной температуры T до критической температуры воспламенения $T_{кр}$, можно определить из выражения:

$$Q_1 = C_y (T_{кр} - T) , \quad (3)$$

где C_y — удельная теплоемкость угля, Дж/К;

$$T = T_{\text{окр}} + T_{\text{вз}},$$

$T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, К;

$T_{\text{вз}}$ – температура, добавившаяся от взрыва, К.

Определение $T_{\text{инк}}$ связано с определением теплового потока при взрыве и изменением скорости сорбции газообразующих продуктов взрыва и кислорода воздуха углем.

В общем виде выражение для определения $T_{\text{инк}}$ сводится к следующему:

$$T_{\text{инк}} = Q_1 / V, \quad (4)$$

где V – изменение скорости сорбции угля при взрыве.

Выражение (4) можно преобразовать следующим образом:

$$T_{\text{инк}} = Q_1 / K (q + Q_2 + Q_3), \quad (5)$$

где K – константа скорости сорбции окислов (газообразующих продуктов взрыва) и кислорода воздуха углем;

q – удельная теплота сорбции кислорода воздуха и окислов углем, кал/мл;

Q_2 – количество тепла, концентрирующееся на поверхности угля в условиях повышенной влажности;

Q_3 – количество тепла, выделяющегося за счет десорбции метана.

На процесс самовозгорания угля большое влияние оказывает присутствие метана и характер дегазации его из трещин и пор. Чем быстрее выделяется метан из угля, тем легче диффундируют кислород и окислы в поры угля и тем раньше и сильнее произойдет окисление. Также интенсивность окисления зависит прямо пропорционально от количества и размеров трещин. Взрыв значительно увеличивает число микротрещин N , а значит, растет адсорбционная поверхность угля, т.е. инкубационный период уменьшается. Помимо этого, одновременно с выходом метана происходит его окисление с выделением тепла. Взрыв форсирует поток метана из пор.

Количество тепла Q_3 , выделяющееся за счет десорбции метана из микротрещины, определяется из выражения:

$$Q_3 = q_m \cdot X_m \cdot N, \quad (6)$$

где N – количество пор и микротрещин в скоплении угля;

q_m – удельная теплота десорбции метана, Дж/кг;

X_m – природная метаноносность, м³/кг.

Конечное выражение для определения $T_{инк}$ при взрыве зарядов несбалансированных ВВ примет вид:

$$T_{инк} = \frac{C_y (T_{кр} - T)}{K(q + rW + q_m X_m N)}, \quad (7)$$

В итоге аналитически обосновано влияние продуктов взрыва несбалансированных ВВ на длительность инкубационного периода. Инкубационный период самовозгорания угля резко падает, если скопление угля находится рядом с взорванной скважиной. Полученная формула (7) подтверждает эту зависимость.

Многолетними исследованиями были установлены зависимости влияния природных и техногенных факторов на активность по степени самовозгорания углей Шарынгольского и Баганурского месторождений.

Исследования, проведенные на этих разрезах, показали, что среднее время от момента взрыва до отгрузки взорванного угля потребителям не превышает двух месяцев. Как правило, угольные массивы, разрабатываемые механическим способом, не возгораются за этот период. Однако при добыче угля с применением БВР инкубационный период сокращается и может составлять от двух месяцев до нескольких суток.

Одной из трудностей эксплуатации разреза Баганур были непрекращающиеся пожары в нижних вскрышных горизонтах и угольных забоях, а также в бульдозерных отвалах.

После перевода горных предприятий в начале XXI века на применение смесевых ВВ типа АСДТ ситуация еще более усложнилась.

Исследования, проведенные автором, позволили создать для условий Монголии технологию изготовления и применения аммиачно-селитренных

ВВ, которые имеют сбалансированный состав и при взрыве выделяют минимальное количество ядовитых продуктов, вызывающих ускоренное самовозгорание угля. Данная технология была успешно внедрена на разрезе Баганур в 2011 г. Результаты внедрения показаны на рис. 8. Для сравнения на рис. 9 показаны объемы горевших углей по годам с использованием смесей типа АСДТ на угольном разрезе Шарыngoл, где не применяется новая технология изготовления ВВ.

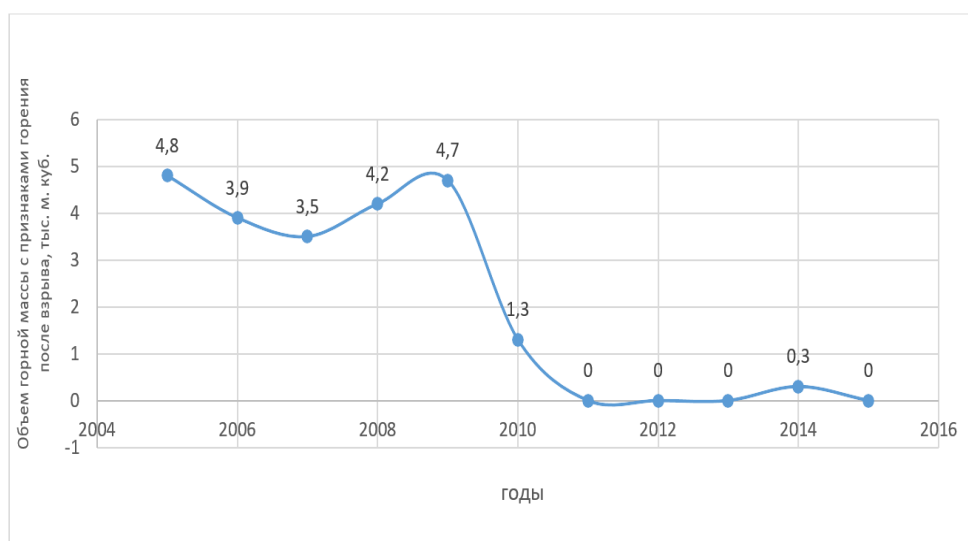


Рисунок 8 — Объем горевшей горной массы после взрыва на разрезе Баганур в период 2005 - 2015 гг.

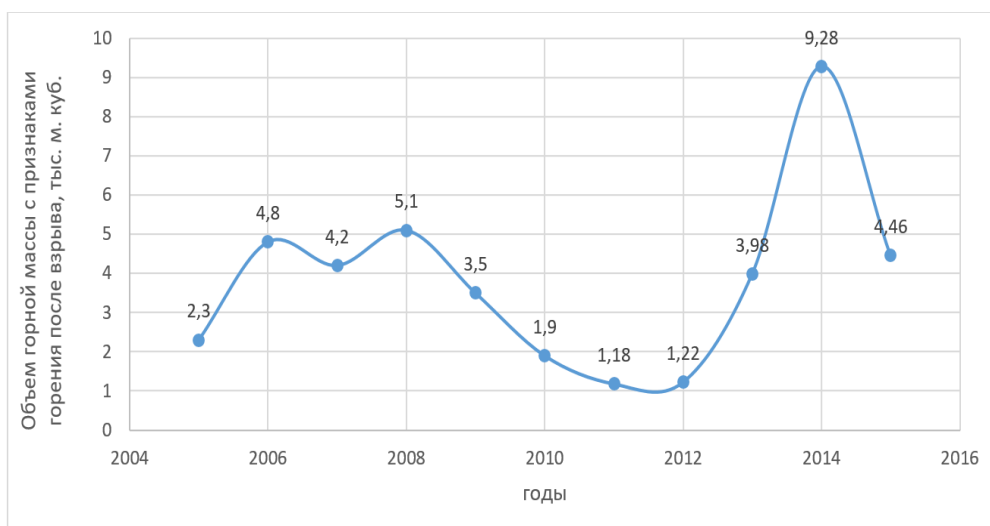


Рисунок 9 — Объем горевшей горной массы после взрыва на разрезе Шарыngoл в период 2005—2015 гг.

Анализ полученных зависимостей показывает, что применение гранулированных крупнодисперсных ВВ вызывает активацию процессов самовозгорания углей на месторождениях угля, склонных к самовозгоранию. При этом аммиачно-селитренные ВВ типа АСДТ с положительным кислородным балансом вызывают самовозгорание углей более интенсивно, чем гранулированные тротилосодержащие ВВ с отрицательным кислородным балансом.

Применение разработанной технологии изготовления смесей АСДТ-МОНМАГ практически исключает самовоспламенение углей после взрыва в период до 2 месяцев после взрывных работ, что существенно повышает эффективность и безопасность добычи угля на разрезах Монголии.

Проведенные исследования позволили определить условия и основные причины самовозгорания углей на угольных разрезах Монголии.

Полученные результаты позволили разработать взрывчатые составы, основанные на модифицированной аммиачной селитре, и практически исключить самовоспламеняемость углей на угольном разрезе Баганур.

Исследованиями, проведенными в условиях действующих горных предприятий Монголии, установлено, что вероятность воспламенения углей, склонных к самовозгоранию при использовании взрывных работ, зависит от времени года и резко увеличивается при использовании взрывчатых веществ, взрыв которых сопровождается выделением продуктов неполного разложения с образованием окислов азота (**третье научное положение**).

Необходимо отметить, что горящие угли существенно нарушают экологическое воздействие горных работ на окружающую среду.

Результаты анализа профессиональных заболеваний персонала угольных разрезов Шарынгол и Баганур показаны на рис. 10.

Анализ графиков (рис. 10) показывает, что применение разработанной технологии на разрезе Баганур в 1,6—1,7 раза снижает заболеваемость персонала от запыленности воздуха и окиси углерода, образующихся при самовозгорании угля.

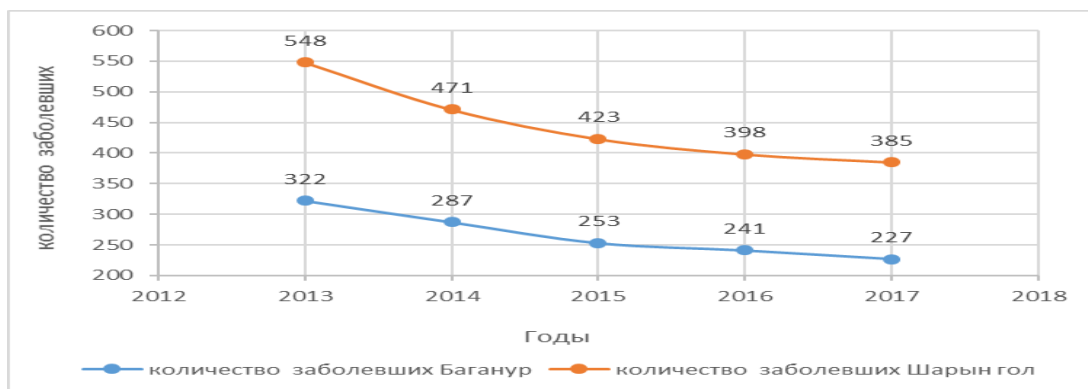


Рисунок 10 – Количество профессиональных заболеваний на угольных разрезах Шарынгол и Баганур

Итоговым результатом использования смесевых ВВ, изготовленных из невзрывчатых компонентов по методике автора, обеспечивает исключение возрастания вероятности самовозгорания угля на разрезе Баганур выше естественного уровня, улучшение экологического состояния горных работ и снижение дополнительных затрат на ликвидацию эндогенных пожаров в пределах рабочей зоны разреза.

Проведенные исследования позволяют прогнозировать степень влияния качества взрывчатых материалов на безопасность разработки угольных массивов, склонных к самовозгоранию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки в области совершенствования технологий безопасного применения промышленных аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в климатических условиях Монголии путем создания условий изменений модификационных кристаллических переходов гранул селитры, обеспечивающих значительное улучшение основных взрывчатых характеристик смесевых ВВ и практическое исключение самовозгорания углей при взрывных работах, имеющие существенное значение для обеспечения безопасности и эффективности угледобычи.

Основные научные и практические результаты работы, полученные автором, заключаются в следующем:

1. Исследованиями установлено, что на процесс модификационных превращений аммиачной селитры оказывают влияние многие факторы и окончательный результат зависит от сочетания этих факторов, наиболее важными из которых являются: химическая природа АС, влажность АС и распределение влаги по грануле, прочность гранул, время от момента производства гранул АС и использования для изготовления ВВ.

2. Резкие колебания суточных и сезонных климатических условий Монголии приводят к изменению структуры применяемых взрывчатых веществ, изготовленных на основе аммиачной селитры с повышением чувствительности к инициирующему импульсу и опасности применения.

3. Установлено, что температурные границы существования и переходов модифицированных форм в кристаллической структуре аммиачной селитры в реальных условиях горных предприятий отличаются от стандартных, в силу зависимостей от большого числа факторов, основными из которых являются: сезонность, сроки и условия хранения.

4. Исследованиями установлены зависимости изменения границ фазовых переходов аммиачной селитры, хранимой в резко континентальных климатических условиях Монголии, и активного ультрафиолетового излучения от относительной влажности окружающего воздуха.

5. Исследованиями установлены зависимости изменения средней глубины деструкции гранул аммиачной селитры от времени хранения на открытых площадках под воздействием ультрафиолетового излучения.

6. Исследованиями установлены зависимости изменения критического диаметра заряда взрывчатого вещества типа АСДТ от содержания мелких фракций кристаллов аммиачной селитры, подвергнутой деструкции в процессе хранения и транспортирования.

7. Исследованиями установлены зависимости изменения чувствительности к инициирующему импульсу заряда взрывчатого вещества типа АСДТ от содержания мелких фракций кристаллов аммиачной селитры, подвергнутой деструкции в процессе хранения и транспортирования.

8. Процесс возгорания углей на угольных разрезах Монголии, связанный с использованием несбалансированных грубодисперсных аммиачно-селитренных ВВ, наносит угольным предприятиям существенный экономический ущерб, снижая уровень промышленной безопасности при отработке угольных месторождений.

9. Процесс возгорания угля при добыче зависит от свойств угля, условий его залегания и технологии взрывных работ. Применение гранулированных крупнодисперсных ВВ вызывает активацию процессов возгорания углей на месторождениях угля, склонных к самовозгоранию. При этом применение аммиачно-селитренных ВВ типа АСДТ с положительным кислородным балансом вызывает самовозгорание углей более интенсивно, чем гранулированные ВВ с нулевым или отрицательным кислородным балансом.

10. Полученные результаты по детонационной способности и оценке эксплуатационных свойств смесей АСДТ определили основное направление создания технологии изготовления взрывчатых смесей АСДТ – применения для изготовления смесей АСДТ аммиачной селитры с повышенной пористостью, в первую очередь полученной путем последовательной обработки высокоплотных гранул АС общетехнического назначения поверхностно-активным веществом, термическим воздействием, а затем – дизельным топливом.

11. Подтверждена технико-экономическая эффективность работ за счет применения сбалансированных гранулированных аммиачно-селитренных ВВ, которые при рыхлении угольных пластов обеспечивают исключение возрастания вероятности самовозгорания углей на угольном разрезе

«Баганур» выше естественного уровня. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии за последние пять лет составил более 37 млн руб. (625 000 дол. США).

12. Проведенные исследования позволяют прогнозировать степень влияния качества взрывчатых материалов на безопасность разработки угольных массивов, склонных к самовозгоранию. Дальнейшее развитие тематики исследований целесообразно проводить в направлении совершенствования технологии изготовления сбалансированных взрывчатых веществ, обеспечивающей снижение вероятности самовоспламенения углей при взрывных работах.

Список публикаций по теме диссертации:

Научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Жамьян Ж., Кутузов Б.Н., Старшинов А.В. Опыт производства и применения взрывчатых материалов на карьерах Монголии // Горный журнал. — 2000. — № 8. — С. 31-34.
2. Жамьян Ж., Батмунх Ж., Старшинов А.В. Состояние и перспективы развития горных и взрывных работ Монголии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — №7. — С. 19-23.
3. Старшинов А.В., Костылев С.С. Ж. Жамьян и др. Некоторые проблемы и результаты повышения качества смесевых взрывчатых веществ для различных условий применения. Вестник технологического университета. - Казань, КНИТУ, - Том 19, - №19, - 2016. С. 90 - 94.
4. Белин В.А., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Особенности влияния климатических условий Монголии на эффективность применения аммиачно-селитренных взрывчатых веществ. // Взрывное дело. - 2017 - №117/74. - С. 99 - 114.
5. Кутузов Б.Н., Старшинов А.В., Жамьян Ж., Батмунг Ж. Совершенствование буровзрывных работ на основе применения новых видов взрывчатых материалов и зарядной техники // Горный журнал. — 2010. — №7. — С. 61-64.
6. Жамьян Ж., Додух В.Г., Сенько Н.В. и др. Особенности структуры ВМ, применяемых на горных предприятиях России, СНГ и Монголии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2002. — №5. — С. 171-174.
7. Додух В.Г., Старшинов А.В., Жамьян Ж. и др. Влияние типа и свойств аммиачной селитры на взрывчатые характеристики сыпучих смесевых ВВ // Горный журнал. — 2003. — № 4-5. — С. 66-70.
8. Викторов С.Д., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Экспериментальная оценка и сравнение работоспособности смесевых взрывчатых веществ различного состава. // Взрывное дело. — 2011. — №105/62. — С.142-149.

9. Старшинов А.В, Викторов С.Д., Жамьян Ж. и др. Экспериментальные результаты определения детонационной способности взрывчатых смесей различного состава. //Взрывное дело. — 2013. — №110/67. — С.124-129.
10. Старшинов А.В., Жамьян Ж., Гильманов Р.А. и др Влияние структуры частиц аммиачной селитры на детонационную способность смесевых взрывчатых веществ // Горная промышленность. — 2017. — № 5. — С. 69 - 73.
11. Старшинов А.В., Фадеев В.Ю., Жамьян Ж. и др. Изменение свойств аммиачной селитры при транспортировании и хранении в сложных условиях. // Взрывное дело.— 2001.— №93/50.—С.212-219.
12. Белин В.А., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Влияние взрывных работ и различных типов взрывчатых веществ на самовозгорание угольных масс. //Взрывное дело. — 2017. — №117/74, —С. 115 -126.
13. Белин В.А., Жамьян Ж., Старшинов А.В. Обеспечение безопасности взрывных работ на угольных разрезах Монголии.// Горная промышленность. — 2017. — № 5. — С. 78 - 81.
14. Жамьян Ж., Белин В.А., Старшинов А.В. Особенности возгорания угольных масс на разрезах Монголии при ведении буровзрывных работ. // Взрывное дело—2017. — № 118/75. — С.189-196.
15. Старшинов А.В., Костылев С.С., Куприянов И.Ю., Жамьян Ж. Некоторые проблемы и результаты повышения качества смесевых ВВ для различных условий применения. // Взрывное дело. — 2016. — № 116/73, — С. 71 - 84.
16. Драган Б.П., Жамьян Ж., Старшинов А.В. и др. Технологические возможности улучшения свойств смесевых ВВ по опыту работы в Монголии и Югославии (Сербии). //Записки горного института. Том 148 (1). — СПб. —2001. — С. 183-185.

Научные статьи в прочих изданиях

17. Старшинов А.В, Костылев С.С., Жамьян Ж. и др. Некоторые особенности сырьевого обеспечения и метрологического оснащения производства смесевых взрывчатых веществ // «Маркшейдерия и недропользование». - 2010. —№1(45). — С.49-53.
18. Старшинов А.В., Жамьян Ж., Фадеев В.Ю. Особенности сырьевой базы для изготовления взрывчатых веществ на местах применения в странах СНГ. В сб.: Первая междунар. науч.-практ. конф. «Горное дело в Казахстане». — Алма-Ата, РИО ВАК РК, 2000. — С.234-236.
19. Трубецкой К.Н., Старшинов А.В., Жамьян Ж., Батмунг Ж. Современное состояние и перспективы развития горнодобывающей промышленности Монголии. — КМУ (7). — 2010. —С. 189-193.
20. Старшинов А.В., Ицкович Н.П, Батмун Ж., Жамьян Ж. Перспективы совершенствования и развития производства смесевых взрывчатых веществ. —КМУ ИПКОН РАН. 2012.— Том 1. — С. 42-46.
21. Гидаспов Б.В., Жамьян Ж., Старшинов А.В. и др. Влияние типа и свойств аммиачной селитры на взрывчатые характеристики сыпучих смесевых ВВ. — Информационный бюллетень НОИБ. — 2002. — №3. — С.35-37.
22. Jijig Jamian, Starshinov A.V., Itskovich N.P. Compound explosives in Mongolia - technology and usage. EFEE. 7-th World Conference of Explosives and Blasting. Proceedings. Part 1. Moscow. 2013. P. 201-203.
23. Ж. Жамьян, Старшинов А.В, В.Ю.Фадеев и др. Улучшение свойств смесей АСДТ технологическими приемами и специальными добавками // Материалы междунар. конф. «Взрывное дело 99». — М.: МГГУ, 1999. — С. 89-95.