

**Министерство образования и науки РФ**  
**ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический**  
**университет «МИСиС»**  
**Горный институт**

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)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор. техн. наук, проф.  
Белин Владимир Арнольдович

Москва 2018

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1 СОСТОЯНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ГОРНЫХ РАБОТ МОНГОЛИИ</b> .....	11
<b>1.1 Общая характеристика условий ведения горных работ в Монголии</b> .....	11
<b>1.1.1 Особенности развития горных работ</b> .....	11
<b>1.1.2 Угольные разрезы Монголии</b> .....	12
<b>1.2 Некоторые особенности сырьевого обеспечения и технического оснащения производства смесевых ВВ</b> .....	17
<b>1.4 Технологические механизированные комплексы по изготовлению и применению смесевых ВВ</b> .....	24
<b>2 ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МОНГОЛИИ НА ВЗРЫВЧАТЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ</b> .....	28
<b>2.1 Особенности климатических и горнотехнических условий Монголии, оказывающие влияние на эффективность применения аммиачно-селитренных взрывчатых веществ</b> .....	28
<b>2.2 Исследование свойств аммиачной селитры, используемой для изготовления смесей АСДТ в условиях Монголии</b> .....	30
<b>2.3 Технические основы обеспечения эффективности и безопасности применения взрывчатых веществ в горной промышленности</b> .....	32
<b>2.4 Изменения в структуре гранул аммиачной селитры при модификационных превращениях при хранении на практике</b> .....	35
<b>3 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ АС ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МОНГОЛИИ</b> .....	48
<b>3.1 Обоснование выбора и общая характеристика смесевых ВВ типа АСДТ</b> .....	48
<b>3.2 Разработка способа повышения стабильности смесей АСДТ путем термохимической обработки гранул селитры</b> .....	62
<b>4 ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МОНГОЛИИ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫМИ ВВ</b> .....	69
<b>4.1 Основные причины активизации процессов самовозгорания углей при взрывной подготовке угольных массивов к выемке</b> .....	69
<b>4.2 Обоснование влияния продуктов взрыва несбалансированных ВВ на длительность инкубационного периода</b> .....	75
<b>4.3 Анализ влияния природных и техногенных факторов на самовозгорание угля на разрезах Монголии</b> .....	80
<b>4.4 Влияние взрывных работ и различных типов ВВ на самовозгорание угольных масс</b> .....	83

<b>5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СБАЛАНСИРОВАННЫХ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВВ ТИПА СМЕСЕЙ АСДТ ПО ТЕХНОЛОГИИ «МОНМАГ»</b> .....	90
<b>5.1 Особенности изготовления смесевых ВВ в условиях Монголии</b> .....	90
<b>5.2 Создание универсального комплекса оборудования для изготовления сыпучих сбалансированных взрывчатых смесей на основе гранулированной АС</b> .....	91
<b>5.3 Основные результаты, полученные при использовании разработанной технологии изготовления аммиачно-селитренных ВВ на угольных разрезах Монголии</b> .....	100
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	103
<b>Список литературы</b> .....	106
<b>Приложение 1</b> .....	116

## ВВЕДЕНИЕ

**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 натуральных 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, МГГУ, 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 2000г;

- международной конференции «Агошкинские чтения» Иркутск ИрГТУ, 14-15 декабря 2000г.

- Первой международной конференции Евроазиатского союза инженеров-взрывников (ЕАСИВ), 12.09.2016–13.09.2016, г. Алматы, Республика Казахстан.

- Шестнадцатой международной конференции по взрывному делу. (09.09.2017–16.09.2017, Россия, Геленджик)

- 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 Минобробразования 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 д.т.н. 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 «Взрывное дело» и «Физические процессы горного производства и геоконтроля» Горного института НИТУ «МИСиС» за полезные замечания, консультации и практическую помощь в ходе выполнения диссертационной работы.

# **1 СОСТОЯНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ГОРНЫХ РАБОТ МОНГОЛИИ**

## **1.1 Общая характеристика условий ведения горных работ в Монголии**

### **1.1.1 Особенности развития горных работ**

Монголия – страна, на территории которой имеются значительные запасы полезных ископаемых в виде руд металлов, нерудных и строительных материалов, золота, угля, нефти [1, 2]. Определенная часть этих месторождений разведана и находится в состоянии разработки, какая-то часть находится в состоянии разведки и уточнения запасов.

Активная разработка полезных ископаемых в Монголии начата в 20-30 годы XX столетия. Принципы проектирования и ведения горных работ в Монголии были построены на теоретических и технических достижениях СССР и других стран социалистического лагеря, соответственно, на научных разработках, учебниках и справочниках, написанных учеными этих стран [3, 4, 5, 6], а также учеными других стран мира, труды которых были доступны, как правило, в русскоязычном переводе [7, 8]. Проблемы горных работ в Монголии активно изучаются специалистами предприятий, расположенных на ее территории [9—16].

При рассмотрении проблем и вопросов, связанных с горной промышленностью Монголии, необходимо учитывать особенность географического положения страны, климат которой является резко континентальным, засушливым с перепадом температур от минус 40 °С – зимой до плюс 40 °С – летом.

Большое внимание в Монголии оказывается добыче угля, необходимого для обеспечения работы промышленности и жилищно-бытового сектора.

### 1.1.2 Угольные разрезы Монголии

В настоящее время в Монголии разрабатывается 15 угольных месторождений с годовой производительностью от 600 тыс. т до 3,0 млн т, которые позволили полностью обеспечить потребности угля внутри страны. Особенно большой вклад в обеспечение страны углем вносят разрезы «Шарын-Гол», «Баганур», «Шивээ-Овоо».

На карьерах Монголии, в частности, на месторождениях Баганур, Шивээ-Овоо, Шарын-Гол добыча угля ведется с помощью высокоэффективной техники и технологии, включая применение бестранспортных схем вскрыши с помощью шагающих экскаваторов.

Шарынгольский угольный карьер является одним из первых горных предприятий Монголии, здесь добывают уголь, предназначенный для топливно-энергетической промышленности.

Вскрышные породы на Шарынгольском карьере представлены осадочными пластообразными залежами, состоящими из породы в разнообразных сочетаниях. Физико-технические свойства пород вскрыши и угля существенно различны. Причем вскрышные породы даже в пределах горного уступа отличаются друг от друга не только прочностными характеристиками, но имеют различную интенсивность нарушения микро- и макротрещинами, соответственно, в зависимости от этого, образуют мелко- и крупноблочные структуры.

На месторождении «Шарын-Гол» разрабатывается угольный пласт «Великан» со средней мощностью 20 - 30 м и углом падения  $10^\circ$ . Этот пласт угля имеет сложное строение и содержит порядка 5 - 10 прослоек пустых пород. Эти прослойки не выдержаны по падению и простиранию, имеют мощность 0,1—0,8 м и состоят из аргиллита, алевролита, песчанка на известковом цементе с включениями галечников и песчано-угольных сланцев.

Вмещающие породы имеют угол падения порядка  $15^\circ$  и крепость 5—10 по шкале проф. М.М. Протоdjяконова.

Буровые работы на вскрыше по породе производят станками вращательного бурения типа СВБ–2, 2 СБШ–200Н, а также станками других марок с формированием скважин диаметром 150 - 214 мм.

Буровзрывные работы на вскрыше ведутся постоянно или сезонно. Взрывание уступов производится на рыхление без развала независимо от блочности и крепости пород. Коэффициент разрыхления взорванного массива при этом ориентировочно равен 1,13 — 1,26, что в крупноблочных массивах пород приводит к большому выходу негабарита, в результате чего снижается производительность погрузочно-транспортного комплекса.

На нижних горизонтах разреза увеличиваются проявления обводненности, что требует применения для взрывания водоустойчивых ВВ.

Баганурское месторождение расположено в пределах крупной Табунсубаикской котловины, выполненной верхнеюрскими — нижними меловыми пресноводно-континентальными осадками, перекрытыми чехлом четвертичных отложений [17].

Цаганцабская свита имеет мощность до 400 м и залегает на неровной поверхности палеозойского фундамента. Свита состоит из гравелитов, мелкогалечных конгломератов, песчаников и, в меньшей степени, алевролитов и аргиллитов.

Дзунбаинская свита приурочена к центральной части Табунсубаикской котловины и залегает согласно на отложениях Цаганцабаинской свиты. Отложения Дзунбаинской свиты характеризуются резкой изменчивостью как по падению, так и по простиранию. Общая мощность свиты составляет около 960 м.

Безугольная толща распространена в основном юго-восточнее месторождения и представлена частым переслаиванием алевролитов и аргиллитов с мелкозернистыми песчаниками.

Горизонт маломощных угольных пластов содержит многочисленные маломощные пласты, линзы и пропластки бурого угля, которые

характеризуются интенсивным расщеплением и выклиниванием и не имеют промышленного значения.

Горизонт мощных угольных пластов включает пласты 2, 2а и 3, а также маломощные пласты и линзы, характеризующиеся незначительным распространением на площади месторождения. В литологическом составе горизонта, особенно его северо-западной части, преобладают крупно-, средне- и мелкозернистые песчаники, суммарное содержание которых составляет 50,6%, а 23,5% разреза слагают угольные пласты (в том числе 21,4% пласты рабочей мощности), 12,6% — алевролиты, 10,3% — тонкое переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов.

Угольные пласты Баганурского месторождения, распространенные в пределах месторождения, входят в состав угленосной (продуктивной) толщи Дзунбаинской свиты. Основными промышленными пластами месторождения являются пласты 2, 2а и 3, имеющие значительную мощность и большое площадное распространение. Остальные пласты и пропластки этой свиты не имеют промышленного значения.

Пласты 2, 2а и 3 пригодны для отработки открытым способом. Общая угленосность горизонта мощных угольных пластов составляет 23,5%, рабочая — 21,4% от средней мощности этого горизонта на месторождении.

Условия разработки разреза «Баганур» в целом благоприятны. Породы, слагающие борта разреза, относительно устойчивы, благодаря высоким фильтрационным свойствам, они легко дренируются.

Однако наличие слабых тонких пропластков аргиллитов и углистых аргиллитов в кровле и почве угольных пластов является существенным отрицательным фактором, снижающим устойчивость откосов.

Водоносный комплекс угленосной толщи приурочен к верхам Дзунбаинской свиты и стратиграфически соответствует горизонту мощных угольных пластов. Воды комплекса преимущественно безнапорные и только на небольших участках распространения многолетнемерзлых пород значительной мощности приобретают

местный напор до 35 Па. Установившиеся уровни подземных вод отмечаются на глубинах от 1,2 до 24,2 м при годовой амплитуде колебаний их до 6 м.

При отработке месторождения водопритоки в разрез формируются в основном за счет подземных вод угольного массива и надугольными водоносными горизонтами.

Объемный вес угля — 1,29-1,31 т/м<sup>3</sup>, породных прослоев — 1,95т/м<sup>3</sup>. При отработке пласты требуют предварительного рыхления буровзрывным способом.

Вскрышные породы представлены, в основном, слабыми песчаниками, реже, аргиллитами и алевролитами. Мощность четвертичных отложений — 3-5м.

Очень прочные песчаники встречаются в толще породы вскрыши в виде линз и прослоев. Мощность их колеблется от 0,1 до 2,4 м. Общий объем очень прочных песчаников составляет только 0,038% от общего объема вскрыши по разрезу, однако их наличие весьма осложняет применение техники непрерывного действия.

Коэффициент крепости песчаников на поле разреза по шкале проф. М.М. Протодяконова — 5-6.

В соответствии с физико-техническими свойствами угля и вскрышных пород буровзрывные работы предусматриваются для рыхления всего объема угля в течение всего года и мерзлой корки вскрышных уступов в зимний период времени с ноября по апрель. Кроме того, рыхлению подлежат твердые включения.

Категория по буримости угля и мерзлой корки вскрышных уступов – УП-УШ, твердых включений — XI-XII.

Параметры буровзрывных работ (БВР) разреза проведены в табл. 1.1.

Для уменьшения величины развала взорванной массы и повышения качества дробления массива проектом предусматривается короткозамедленное взрывание.

В качестве ВВ обычно применяются смесевые аммиачно-селитренные ВВ. Удельный расход ВВ принимается исходя из физико-технических свойств взрывааемых пород.

Для заряжания скважин используются смесительно-зарядные машины типа

МЗ–3 грузоподъемностью 10 т, а также современные СЗМ от иностранных производителей с большей грузоподъемностью.

Таблица 1.1 — Параметры буровзрывных работ разреза Баганур

№ пп	Наименование показателей и единица измерения	Буквенно е обознача ния	Показатели						
			Угольные уступы				участок №2	Мерзлая корка	Твердые включения
			Участок №1			1989			
			1983	1985	1989				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Высота уступа, м	H	6	10	15	6	2	12	
2	Угол наклона скважин, град.	L	90	90	90	90	90	90	
3	Величина заряда ВВ в 1 пог.м скважины, кг/м	P	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	
4	Коэффициент перебура	K	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
5	Коэффициент сближения скважин	m	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
6	Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	g	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
7	Сопротивление по подошве уступа, м	w	6	8	9	6	2,5	2,0	
8	Расстояние между скважинами в ряду, м	a	7	10	11	7	2,5	2,0	
9	Расстояние между рядами скважин, м	b	6	8	9	6	2,5	2,0	
10	Длина перебура, м	ln	0,3	0,4	0,5	0,3	-	-	
11	Длина забойки, м	lзаб.	4,9	6,0	7,2	4,9	1,3	-	
12	Длина заряда, м	lзар.	1,4	4,4	8,3	1,4	0,7	2,0	
13	Длина скважин, м	lскв.	6,3	8,4	15,5	6,3	2,0	2,0÷12,0	
14	Объем горной массы, взрываемого 1 скважиной, м <sup>3</sup>	V	252	800	1500	252	12,5	8,0	
15	Выход горной массы с 1 пог.м скважины, м <sup>3</sup>	N	40	77	97	40	6,25	4,0	
16	Вес заряда в скважине, кг	Q	25,2	80	150	25,2	2,2	24,0	

## 1.2 Некоторые особенности сырьевого обеспечения и технического оснащения производства смесевых ВВ

За прошедшее десятилетие в России и странах, связанных с ней традиционно научно-техническим сотрудничеством, произошли серьезные изменения в структуре взрывчатых веществ (ВВ) промышленного назначения (ПВВ). Как и во всем мире, в этих странах основную долю ВВ составляют смесевые системы на основе гранулированной аммиачной селитры (АС) с постоянным уменьшением доли смесей, содержащих взрывчатые компоненты (тротил и др.). Вид гранул селитры по ГОСТ 2-2013 показан на рис. 1.1.

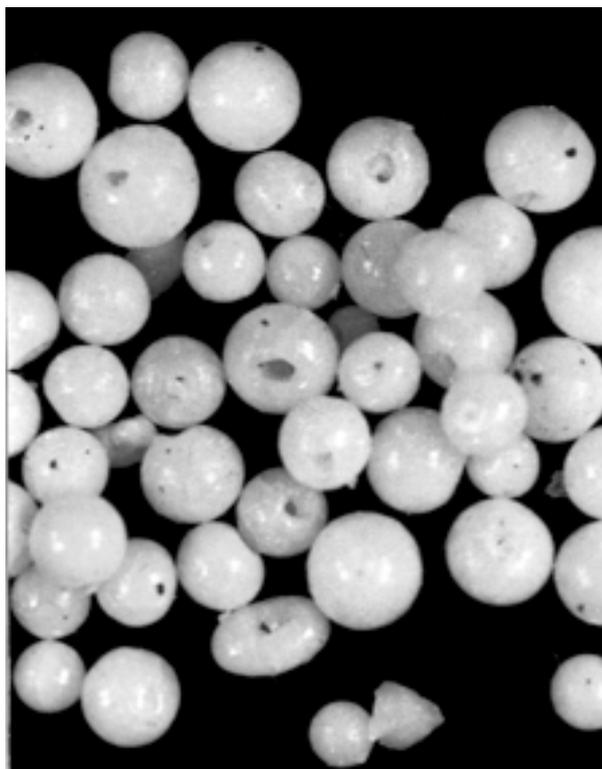


Рисунок 1.1 — Гранулы селитры по ГОСТ 2-2013

Известно, что свойства, технологичность и эффективность применения смесевых ВВ в значительной мере зависят от разновидности (товарной формы) и качества АС. В смесях АС в твердом состоянии с горючими добавками, в первую очередь – с жидкими (ЖГД), наиболее эффективной является форма АС в виде пористых (ПАС) [18] или в виде «расширенных» гранул, т.е. пористых, мелкодисперсных частиц [19]. Наличие газовых включений в заряде ВВ вообще является принципиальной особенностью, определяющей способность и критические условия взрыва ВВ [20 — 23].

Внутренняя структура, или «пористость», частиц (гранул) АС, а также заряда ВВ должна оцениваться как качественно, так и количественно, с учетом целевого назначения ВВ, способного к взрыву с максимально возможным выделением энергии [18—23]. В качестве исходной принципиальной характеристики пористости гранул АС может быть принято определение, данное в работе [18]. В реальных условиях пористость твердого тела, в данном случае – частиц АС, определяется большим числом качественных и количественных показателей: формой и размерами самой частицы, а также пор (полостей) в ней, равномерностью распределения пор по телу гранулы, характером «замкнутости» («открытости») и т.д.

Получение твердых частиц – гранул с газовыми включениями: полостями, кавернами, трещинами, каналами (в общем, порами), может быть осуществлено несколькими способами, основанных на использовании особенностей физических свойств АС в жидком и твердом состоянии, а также на реализации специальных технологических приемов и поверхностных явлений на границах раздела фаз [18,19, 24—26].

Применяемые в промышленности способы получения АС в виде гранул, в том числе пористых, размером от долей до нескольких мм можно объединить в несколько групп:

- формирование капель плава (высококонцентрированного раствора) АС и последующее охлаждение капель с переводом АС в твердое

кристаллическое состояние (принятое название способа – приллирование) [22—24];

- формирование гранул путем послойного напыления мелких капель плава АС на исходную частицу – затравку, с последующим охлаждением и сушкой (общеизвестное название – грануляция) [24—25];

- формирование гранул прессованием, таблетированием, экструзией и др. [25].

При изготовлении ПАС методом приллирования может быть реализовано несколько режимов:

- охлаждение и сушка в специальном (ступенчатом) температурном режиме капель, сформированных из плава, АС с повышенным (до нескольких процентов) содержанием воды [18,24,27];

- газификация («вспенивание») плава АС в каплях с последующим их охлаждением и отверждением.

Газификация капель может быть осуществлена “химически” или “физически”. При химическом способе газовые включения в теле гранулы образуются из продуктов взаимодействия предварительно введенных в плав веществ – порообразователей (порофоров) с основным веществом или между собой [28]. При физическом способе газовые включения образуются за счет выделения газа, предварительно растворенного в плаве АС и/или при обработке продукта в вакууме [29].

Общей особенностью гранул, полученных методом приллирования, является наличие скорлупообразной внешней оболочки, которая формируется при образовании капель под действием сил поверхностного натяжения и кристаллизации капель с поверхности. Основная часть последующих процессов происходит внутри этой оболочки. Одним из результатов физико-химических превращений в грануле – «прилле» является образование усадочной раковины, наличие и объем которой определяются разностью плотностей АС в жидком и твердом состоянии, а

также явлениями «сжатия» капли под действием сил поверхностного натяжения [24, 25].

При формировании капель из высококонцентрированного плава и монотонном режиме охлаждения, как это реализуется при производстве АС общетехнического назначения, в грануле образуется одна четко ограниченная полость, соединенная с поверхностью гранулы каналом. При этом тело гранулы представляет собой поликристаллическую структуру с высокой степенью сплошности [24]. Формально такая гранула может рассматриваться как пористая: пористость около 17%, если её рассчитать по разности плотностей без учета явлений усадки, в действительности объём полости составляет 3–7% от объёма гранулы [24, 25]. В реальных условиях при изготовлении ВВ эта пористость не проявляется, т.к. жидкая горючая добавка (ЖГД) в виде минеральных масел, в частности, дизельного топлива (ДТ), в полость гранулы не проникает из-за капиллярного эффекта в канале, а тело гранулы ДТ не впитывает. Ещё более высокой является «пористость» совокупности частиц-гранул или заряда ВВ. Так, при насыпной плотности АС по ГОСТ 2-2013 около  $1,0 \text{ г/см}^3$ , суммарная пористость системы составляет приблизительно 42%, из которых около 30% приходится на долю пустот между гранулами. Но такая «пористость» системы в процессе взрыва также не является эффективной. Следовательно, должно существовать рациональное сочетание количества и размера пор в заряде смесового ВВ, а также характера, структуры, прочности и т.д. самого твердого вещества, ограничивающего поры.

При формировании капель из «влажного» плава и охлаждении со ступенчатым, или «пилообразным», изменением температуры, а также с обеспечением удаления влаги (сушки) в областях фазовых переходов, происходит нарушение сплошности кристаллической структуры массива прилл-гранул. Эти гранулы отличаются увеличенным, по сравнению с гранулами высокоплотной АС, суммарным объемом внутренних полостей. Полости не имеют четких очертаний, содержат в себе рыхлые образования из

кристаллов АС и сообщаются с поверхностью гранулы системой сквозных каналов. Поверхность гранул ПАС деформируется, утрачивает сплошность и стекловидность, в итоге становится «бугристой» и «шероховатой» или «матовой» (рис.1.2). Первоначальным признаком повышенной пористости гранул является уменьшение их насыпной плотности по сравнению с высокоплотной АС. Для реализации способа в промышленности необходимо создание специального технологического комплекса, отличающегося сложным и громоздким оборудованием на операциях охлаждения–сушки.

При изготовлении ПАС методом приллирования и газонаполнения изменения в структуре гранул происходят за счет образования преимущественно замкнутых полостей-пузырьков, отделённых друг от друга сплошными, подобными внешней оболочке гранулы, стенками–перегородками.

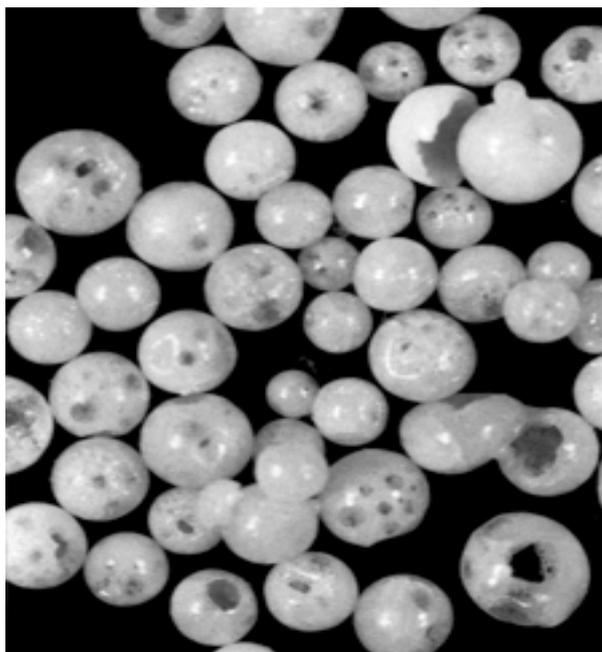


Рисунок 1.2 — Вид гранул ПАС, изготовленных по методу газонаполнения

Образование полостей происходит первоначально в капле плава с увеличением её объёма, а затем в жидкой части, затвердевающей с поверхности приллы-гранулы. Размеры и равномерность распределения

полостей в грануле однозначно определяются равномерностью распределения и реакционной способностью порофора в плаве АС. Поверхность гранул ПАС, полученных вспениванием, остается сплошной и однородной («глянцевой» или «стекловидной»), как у гранул высокоплотной АС. Насыпная плотность вспененных гранул меньше таковой для высокоплотной АС, что объясняется, по-видимому, расширением капли в жидком состоянии. Привлекательность способа для практической реализации определяется возможностью внедрения его на существующих производствах АС общетехнического назначения с незначительным дооснащением оборудования на операциях подготовки порофора и введения его в плав АС. Именно такой подход реализован на азотных заводах России.

Особенности строения и структуры частиц АС, полученных вспениванием, показаны на рис.1.3 [29 — 32].

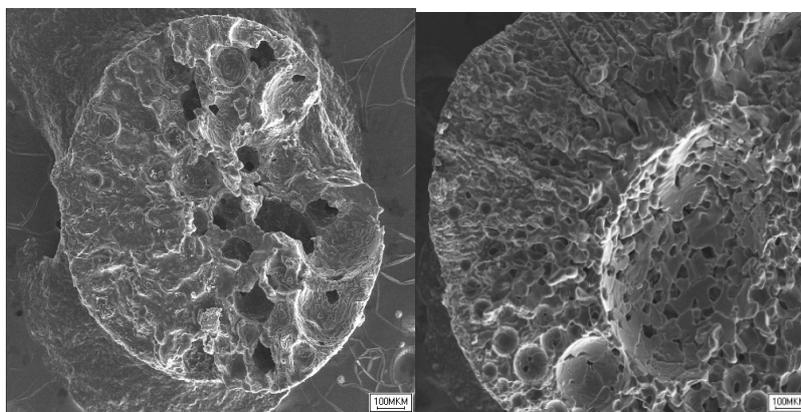


Рисунок 1.3 — Структура частиц АС, полученных методом вспенивания

Изменения в кристаллической структуре гранул АС, сформированных любым из методов, могут быть получены и в готовом продукте путем термообработки – нагрева (охлаждения) - до температур, превосходящих температуры фазовых переходов. Этот процесс хорошо известен и широко используется при работе с веществами в кристаллическом состоянии [32—

34]. В настоящее время способ поризации АС в доработанном виде и с применением оригинального оборудования используется в компании «Монмаг» (Монголия) [35].

При поризации АС, взятой в виде готовых гранул, происходящие в структуре изменения можно определить как «образование трещин в кристаллических блоках и выход этих трещин на поверхности гранул и полостей в них». Это приводит к изменению характера пористости (из «замкнутой» в «открытую»), повышению однородности распределения полостей, включая трещины, по телу гранулы, а также к нарушению однородности поверхности гранулы и уменьшению насыпной плотности на 5—10%.

Следует признать, что в рассматриваемой проблеме повышения эффективности применения смесевых ВВ важной составляющей являются не только пористость и структура гранул (частиц) исходной АС, но в большей степени - структура готовой смеси, а также структура и плотность заряда ВВ во взрывной полости. Структура же ВВ и заряда определяется совокупностью свойств всех компонентов смеси и способов их переработки.

### **1.3 Взрывчатые вещества, применяемые в горной промышленности Монголии**

Начиная с 60-х годов XIX столетия в промышленности стали использоваться взрывчатые вещества в виде смесей аммиачной селитры с различными горючими и взрывчатыми добавками. Применение этих веществ стало возможным благодаря исследованиям свойств аммиачной селитры и смесей на ее основе, а также фундаментальных исследований по явлению взрыва и свойствам ВВ [36 — 40].

Удобными и эффективными для применения в промышленности Монголии являются ВВ в виде смесей АС в гранулированном виде и невзрывчатых горючих добавок. Наиболее дешевыми и простыми из них являются смеси, состоящие из АС, взятой в количестве 94,5%, и дизельного

топлива (ДТ) – в количестве 5,5%. Эти смеси известны под общим названием «Игданит», или АСДТ, в России, а также ANFO в англоязычной литературе.

Исследованию физико-технических свойств, взрывчатых характеристик и рациональных условий применения гранулированных смесевых ВВ посвящено большое количество самостоятельных экспериментальных работ и обобщающих материалов, из которых можно отметить публикации последних лет [41—45].

Исходя из особенностей и условий ведения взрывных работ в Монголии, наиболее рациональными для применения в стране представляются смеси АСДТ без использования дополнительных компонентов. Это особенно важно и актуально для Монголии в связи с тем, что в стране нет собственных химических производств, за исключением производства сырья растительного или животного происхождения и отдельных проявлений ископаемого битума и нефти, не подвергнутых переработке.

Однако анализ опыта применения смесей АСДТ на сырье российского производства, где для изготовления ВВ используется АС общетехнического назначения (ГОСТ 2-2013), показывает, что для этих смесей характерен ряд недостатков, одним из которых является невозможность получения смеси АС и ДТ требуемого состава, стабильной во времени из-за малой абсорбционной (впитывающей) способности АС.

Рассмотрению и решению вопросов, связанных с названной выше проблемой обеспечения стабильности смесей АСДТ, посвящен основной комплекс исследований настоящей работы.

#### **1.4 Технологические механизированные комплексы по изготовлению и применению смесевых ВВ**

Создание и освоение в промышленности смесевых взрывчатых веществ на основе гранулированной аммиачной селитры определили возможность

внедрения механизированных комплексов при переработке и применении ВВ на буровзрывных работах.

Одним из первых комплексов приготовления ВВ с высоким уровнем механизации технологических операций можно считать комплекс «Кривбасс» [41, 45]. Отличительными особенностями данного комплекса были бестарная доставка АС и полная механизация межоперационного транспортирования компонентов. Однако на этом комплексе изготовление смеси АСДТ («Игданит») осуществлялось по периодической схеме и без применения дополнительных способов подготовки аммиачной селитры, которые позволяли бы повысить стабильность изготавливаемых смесей.

Для комплексов оборудования по механизированной подготовке ВВ, работающих в режиме изготовления ВВ из исходных компонентов, определяющими моментами следует признать способы подготовки компонентов к смешению, дозирования и смешения компонентов, обеспечивающих получение смеси заданного качества и безопасность технологического процесса.

Анализ известных решений по этой проблеме показывает, что наиболее удачные технические решения получены в ПО «Северовостокзолото» (ВНИИ-1) [41,46—48], где создана универсальная система комплексов оборудования, основу которых составляет измельчитель-смеситель ИСИ–II. Эти комплексы позволяют перерабатывать аммиачную селитру, поставляемую и/или хранящуюся в любой упаковке: в мешках, в мягких контейнерах, насыпью. Измельчитель-смеситель ИСИ–II обеспечивает переработку АС в слежавшемся или смерзшемся виде. Агрегат ИСИ–II содержит в своем составе измельчительный орган в виде горизонтального перфорированного диска с режущими элементами. При вращении диска вокруг вертикальной оси происходит срезание (скалывание) гранул АС с имеющихся агломератов, а образовавшиеся частицы просеиваются через диск в приемный бункер дозирующе-смесительного устройства, выполненного в виде наклонного шнека.

Смеситель ИСИ–II оснащен системой синхронной подачи жидкой горючей добавки, что обеспечивает изготовление двухкомпонентных смесей АСДТ, или «Игданита». При введении в состав оборудования комплекса ИСИ дополнительных устройств по подготовке и дозированию дисперсных добавок, например порошка алюминия, комплекс ИСИ позволяет изготавливать трехкомпонентные взрывчатые смеси типа гранулит А-6 [49, 50].

Близкой к комплексу ИСИ–II по назначению и устройству является установка изготовления УИ-2, созданная в Казахстане (НПП «Интеррин») [51], которая также обеспечивает измельчение агломератов и отделение измельченной (разрыхленной) АС от неизмельчаемых включений. Отличием этого оборудования является возможность работы только в периодическом режиме.

Заслуживают внимания появившиеся в последние годы аппараты смешения гравитационного типа [51, 52], однако они предназначены только для смешения компонентов в периодическом режиме и не содержат устройства для подготовки и дозирования компонентов. При создании комплексных механизированных пунктов с использованием гравитационных смесителей потребуется осуществить поиск или разработку и комплектацию дополнительных аппаратов, необходимых для выполнения операций по рыхлению (восстановлению сыпучести) аммиачной селитры, сепарации всех компонентов от посторонних включений, дозированию компонентов, межоперационному транспортированию полупродуктов и готового ВВ, накоплению его в бункерах или затариванию и др.

Как было показано например в работах [53, 54], параметры детонации аммиачно-селитренных ВВ, в том числе и гранулированных, в значительной степени зависят от технологии их изготовления, срока хранения, влажности, наличия инертных примесей, что, очевидно, оказывает влияние и на величину необходимых промежуточных детонаторов. Это обстоятельство связано с тем, что гранулированные ВВ имеют большой критический

диаметр и поэтому в условиях практического применения детонируют всегда в неидеальном режиме со скоростью, меньшей своего предельного значения. Для инициирования зарядов таких ВВ необходимы дополнительные детонаторы с повышенным инициирующим импульсом, который обеспечивается высокими параметрами детонации ВВ (скорость, давление), а также массой дополнительного детонатора.

## **2 ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МОНГОЛИИ НА ВЗРЫВЧАТЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

### **2.1 Особенности климатических и горнотехнических условий Монголии, оказывающие влияние на эффективность применения аммиачно-селитренных взрывчатых веществ**

Становление и современное состояние горной промышленности Монголии находятся в тесной взаимосвязи с историей развития страны, особенностями географического расположения, климата, а также уровня развития техники в мировой практике.

Горная промышленность Монголии с начала интенсивного развития в 20-е годы XX столетия [2] в основном была сориентирована на применение технологических и технических решений, созданных в СССР и других странах. Характер развития техники и экономических отношений, сложившихся к концу XX столетия в мировой практике, определил необходимость перехода на новые технические решения. Например, в части обеспечения взрывных работ (ВР) взрывчатыми материалами (ВМ), в качестве которых до конца 1980-х годов применялись смеси на основе тринитротолуола (ТНТ), завозимые в страну по импорту, возникла необходимость перехода на смесевые ВВ, изготавливаемые из невзрывчатых компонентов. Начальные этапы работ по реализации этого направления в Монголии показали, что прямой перенос известных технических решений не всегда приемлем и эффективен в силу специфики внешних климатических и горнотехнических условий.

Монголия расположена в средней части азиатского континента на значительном удалении от морей. Средняя высота расположения территории страны относительно уровня океана составляет более 1000 м. Климат с учетом расположения Монголии является резко континентальным с

существенными колебаниями температуры по сезонам года: от плюс 40 до минус 55 °, а также в течение суток, например, в зимний период возможны изменения температуры воздуха в пределах -5° — -40 ° Важной особенностью климата является невысокая относительная влажность воздуха («сухость»), которая в центральных районах страны (г. Улан Батор, г. Баганур) составляет 0,5–1,0 % летом и 10— 12 % зимой [1].

Интенсивность солнечной энергии на территории Монголии (рис. 2.1) существенно отличается от условий России. Повышенная интенсивность солнечной радиации и наличие большого количества солнечных дней в году (рис. 2.1) оказывают существенное влияние на качество перевозимых и хранимых на специальных открытых площадках компонентов, предназначенных для изготовления взрывчатых веществ на горных предприятиях Монголии вблизи мест проведения взрывных работ.

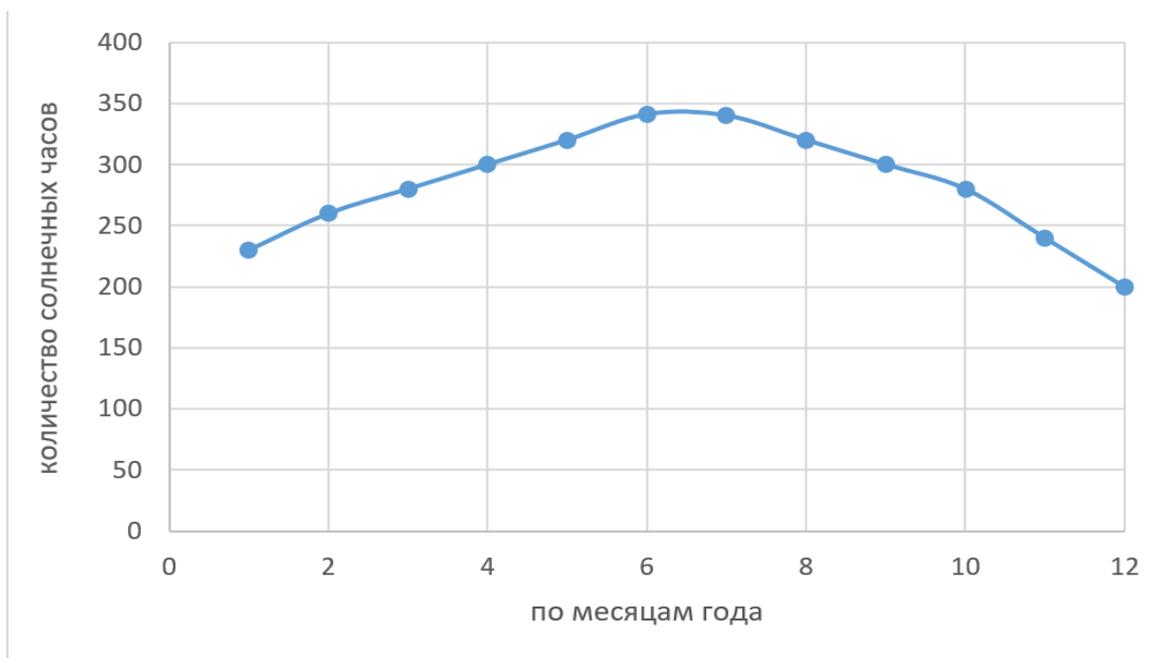


Рисунок 2.1 — Интенсивность солнечной энергии (количество часов) по месяцам на территории Монголии

## 2.2 Исследование свойств аммиачной селитры, используемой для изготовления смесей АСДТ в условиях Монголии

Специфика сырьевого обеспечения горных предприятий Монголии с закупкой химической продукции по импорту определяет возможность и неизбежность применения для изготовления смесей АСДТ аммиачной селитры (АС) различных марок и от различных производителей.

Свойства АС, производимой в России и других странах, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Свойства аммиачной селитры, применяемой для изготовления ВВ

Разновидность ПАС		Содержание АС, %	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Гран. состав	Совместимость с жидкими нефтепродуктами		
ТУ, источник	Обозначение				С, % Метод	Су*, % Метод	Oil Abs %
ТУ 113-03-00203789-16-93, «Акрон»	ПАС-А	≥ 98	0,76-0,84	1-3 мм – 85-95%	См*≥8,5 Вакуумный	5,5+1,0 -0,5 Центрифуга или Экстракция	-
ТУ 2143-036-002037890-2003, «Акрон» (марка МП)	ПАС-МП	≥ 98	0,70-0,86	1-2 мм – ≥75% ≤ 1 мм – ≤ 2 %	См*≥8,0 Вакуум или Гравиметрический	≥ 5,6 Центрифуга	-
ТУ 2143-635-002090230-1999, «Азот» Березники	ПАС-БЖ	≥98	≤ 0,84	1-3 мм – ≥ 90%	См*≥8,0 Гравиметрический	≥ 5,0 Экстракция	-
ТУ 2143-029-002037450-2005, «Азот» Березники	ПАС-ББ	≥ 98	≤ 0,84	1-3 мм – ≥ 90%	Св*≥10 Гравиметрический	≥ 5,5 Экстракция	-
ТУ 2143-639-00209023-1999, АТТЗ	ПАС-И	≥ 98		1-4 мм – ≥ 95%	Св*≥10 Гравиметрический	≥ 5,5 Экстракция	-
“Grande Paroisse”, Франция	ПАС-GR	≥ 99	0,70±0,03	≥ 2 мм -12 % ≤ 1 мм -10 %	- -	- -	≥11
Стандарт КНР, Китай	ПАС-М	≥ 99		1-3 мм – ≥ 90%	- -	- -	≥8
Стандарт Южная Корея, Южная Корея	ПАС-ЮК	≥99,5	W 0,75	-8 + 28 Mosh 95%	- -	- -	≥9

\*См – маслопоглощение, Св – впитывающая способность, Су – удерживающая способность

Физико-химическая природа аммиачной селитры — нитрата аммония (AN) – полиморфное кристаллическое вещество. При понижении температуры от 169,6 °С (температура плавления АС) до минус 18 °С или, наоборот, при повышении в этих пределах кристаллическая решетка АС может иметь пять различных модификационных структур (рис. 2.2)

При модификационных превращениях происходит изменение объема и плотности кристаллов [55, 56, 57.].

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. При повторных модификационных превращениях, в частности, при переходе через температурную точку 32,2 °С (рис. 2.2) (модификационный переход III-IV-III), что возможно в реальных условиях Монголии, характеризуются большим изменением объема кристаллов, гранулы АС растрескиваются. С растрескиванием гранул повышается их впитывающая способность по отношению к нефтепродуктам, но уменьшается прочность.

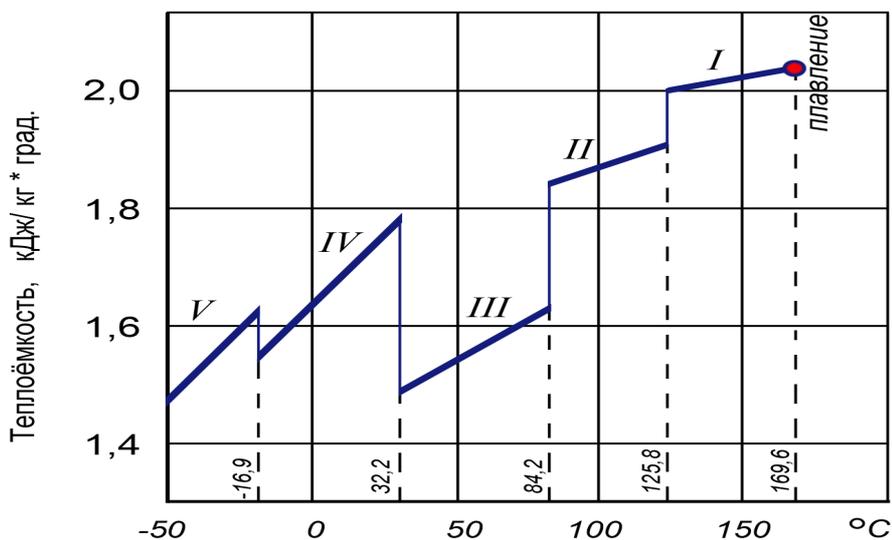


Рисунок 2.2 — Зависимость изменения теплоемкости аммиачной селитры от температуры при фазовых переходах

Нашими исследованиями установлено, что на процесс модификационных превращений [59, 60] оказывают влияние многие

факторы, и окончательный результат зависит от сочетания этих факторов, наиболее важными из которых являются:

- химическая природа примесей и их содержание в АС;
- влажность АС и распределение влаги по грануле;
- прочность гранул;
- время от момента производства гранул (срок хранения).

### **2.3 Технические основы обеспечения эффективности и безопасности применения взрывчатых веществ в горной промышленности**

Химическая природа веществ, используемых для изготовления смесевых ВВ, и их физико-механические особенности являются основой безопасности и эффективности применения в промышленности. Важными и существенными при выборе компонентов являются показатели химической и термической стойкости каждого из веществ-компонентов, их химической совместимости друг с другом, с материалами технологических аппаратов, взрываемыми породами. Оценка свойств и поведения ВВ должна выполняться с учетом влияния внешних факторов, например, увлажнения водой, замерзания, испарения, образования взрывоопасных смесей с воздухом, а также химического состава и «ядовитости» продуктов взрыва и др. Вопросы химической совместимости становятся еще более актуальными при использовании товарных форм веществ, в которых практически всегда присутствуют примеси – загрязнения или технологические добавки. Очевидным источником повышения рисков возникновения опасности является использование для изготовления ВВ отходов производства, которые выбираются по признаку «меньшей стоимости», но являются веществами «неопределенного химического состава» со случайным изменением его в отдельных образцах или порциях. Наглядным подтверждением необходимости строгих подходов к выбору веществ-компонентов являются

известные из истории применения ВВ и собственного опыта автора случаи с возникновением критических или аварийных ситуаций, например при кристаллизации (замерзании) нитроэфиров, взаимодействии ВВ с сульфидными рудами, взаимодействии порошков металлов с водой, возрастании детонационной способности нитросоединений (включая тротил) при загрязнении их аминами и другими «активными» веществами, разогреве смесей типа АСДТ при использовании для их изготовления отработанного масла и др.

В мировой практике с самого начала применения смесей ANFO для их изготовления были освоены производства специальных марок АС в виде пористых гранул – ПАС [61, 62]

Именно это техническое решение определило успех применения ANFO за рубежом, где производство ПАС осуществляется в странах как с большими, так и с незначительными объемами потребления ВВ, например, в Румынии, Южной Корее, Франции. Наличие специальных марок АС (ПАС) определяет возможность ужесточения требований к горючим добавкам, основными из которых в зарубежных странах являются масла (FO) с заданными показателями по химическому составу, вязкости, летучести и др.

В России, странах Восточной Европы и Монголии сложился иной подход к сырьевому обеспечению производства ВВ для горной промышленности. В период создания игданита реально существовавшие условия благоприятствовали успеху испытаний и применения этого состава. Аммиачная селитра, выпускавшаяся азотными заводами в виде гранул и чешуек, по характеристикам была подобна пористой в силу особенностей самого производства [63 — 65].

По мере совершенствования технологии процессов грануляции АС качественные показатели её улучшались применительно к условиям использования в сельском хозяйстве, а проблемы применимости в составе ВВ рассматривались как второстепенные.

Одним из известных и удачных решений 80-х годов XX столетия является создание в ИПКОН РАН взрывчатой смеси с повышенными показателями по энергетике и стабильности – игданита А-6 [66].

Возврат к необходимости создания производств АС в виде пористых гранул в РФ произошел около 20 лет назад. Разработка технологии изготовления АС с признаками пористости осуществлена в Государственном институте азотной промышленности (ГИАП), где для этих целей принят метод получения АС марок «пористая» путем химической газификации-вспенивания капле-гранул высококонцентрированного плава АС общетехнического назначения. Такой подход не требует внесения принципиальных изменений в технологическое оборудование по производству АС (ПАС) и больших финансовых затрат.

Исследования, проведенные автором, по изучению свойств аммиачной селитры с различными сроками хранения, которое осуществлялось в заводской упаковке в вагонах на пути следования или в неотапливаемых складах на местах применения в центральной части Монголии показали, что характеристики АС общетехнического назначения при непродолжительных сроках хранения (до 5—6 недель) практически соответствуют показателям стандарта.

При увеличении срока хранения до 4—6 месяцев наблюдаются изменения АС в части образования агломератов гранул АС в результате слеживания (смерзания) и изменения гранулометрического состава частиц АС в результате разрушения гранул при фазовых переходах.

При хранении АС в течение года и более происходят более существенные изменения целостности гранул, совместимости с горючим, сыпучести, слеживаемости и др. Такое поведение системы объясняется реакцией ее на сезонные колебания внешних условий — главным образом температуры и влажности. При разрушении гранул АС в результате длительного хранения возможно увеличение удерживающей способности АС по отношению к ДТ до уровня, достаточного для смесей АСДТ, однако при

этом происходит резкое ухудшение эксплуатационных свойств, в частности сыпучести. При этом изменение АС, хранящейся, как правило, в компактных штабелях, неравномерно и неоднозначно по объему штабеля, что приводит к неопределенным и не поддающимся регулированию колебаниям свойств изготавливаемых смесей АСДТ.

#### **2.4 Изменения в структуре гранул аммиачной селитры при модификационных превращениях при хранении на практике**

На начальных этапах выполнения настоящей работы по изучению и отработке наиболее рациональных и безопасных режимов ведения взрывных работ на горных предприятиях Монголии, особенно на угольных разрезах, характеризующихся повышенной склонностью углей к возгоранию при рыхлении, был выявлен ряд особенностей в поведении аммиачной селитры - основного компонента ВВ смесевых типов.

При хранении АС в условиях климата Монголии (в частности, угольный 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. Примеры внешнего вида мешков с АС после длительного хранения показаны на рис. 2.3.



а



б



в

Рисунок 2.3 — Внешний вида мешков после хранения: а—исходный вид упаковки; б— состояние упаковки после хранения в течение 1-2 месяцев; в— состояние упаковки после хранения в течение 3-5 месяцев

Интенсивность разрушения мешков зависит от срока нахождения их под воздействием светового (солнечного) излучения. Такое поведение самих упаковок мешков соответствует известным представлениям о малой стойкости полипропилена — материал внешней оболочки мешков. При этом выявлено, что мешки с АС (ПАС), по цвету отличающиеся от «белого» («рыжеватая», «желтоватая», «кремовая»), разрушаются более интенсивно.

Этот эффект можно объяснить с позиций более высокого коэффициента поглощения светового излучения окрашенными (не белыми) веществами.

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.

При воздействии градиента температур на массив аммиачной селитры происходят фазовые переходы, приводящие к деструкции гранул селитры. Температурные суточные колебания в зимний период приводят к фазовому переходу при температуре близкой к  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в летний период при температуре  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однако разрушенный слой селитры представляет собой термозащитный слой и это обуславливает изменение температурного режима только в поверхностном слое, а основная масса гранул селитры имеет стабильную температуру и не подвергается фазовым изменениям кристаллической решетки. Рассмотрим тепловое воздействие на массив гранул селитры (рис. 2.4).

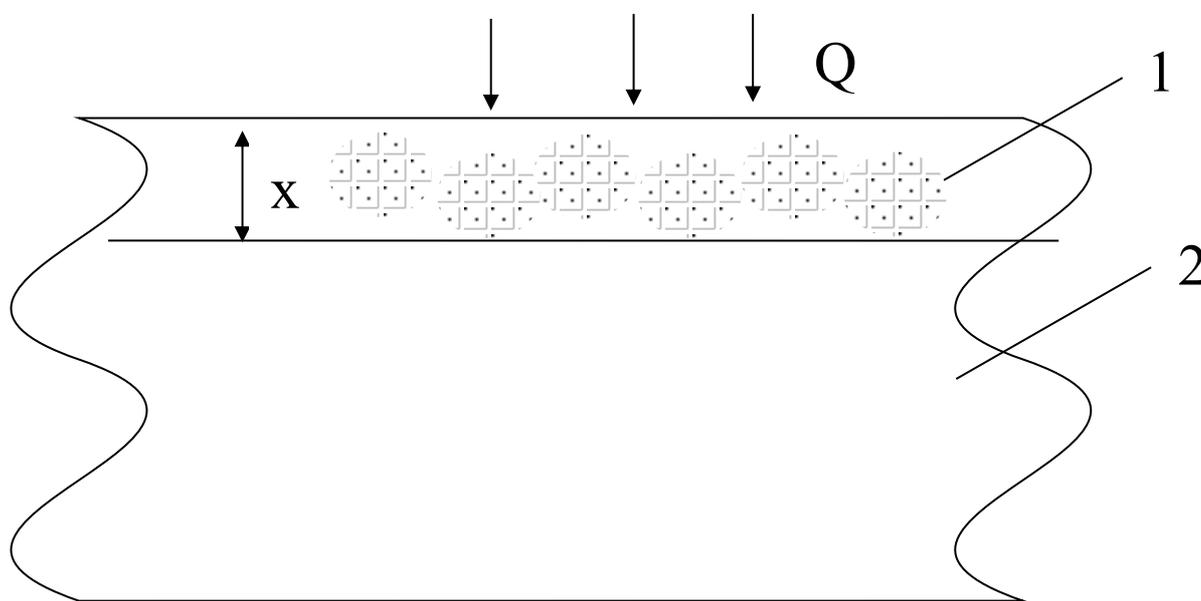


Рисунок 2.4 — Схема теплового воздействия на массив аммиачной селитры при длительном хранении: 1—внешний слой селитры, подвергающийся деструкции; 2— основная масса селитры

В общем виде количество теплоты, проходящее через единицу разрушенной в единицу времени, равно:

$$Q = K \frac{dt}{dx},$$

где  $t$ — температура системы;

$x$ — толщина разрушенного слоя;

$K$ — коэффициент теплопроводности разрушенного слоя.

Температурный градиент  $dt/dx$  характеризует интенсивность падения температуры по направлению теплового потока, перпендикулярного к поверхности слоя.

Температура внутри слоя есть функция расстояния до внутренней поверхности  $x$ , следовательно,

$$t = t(x)$$

Интенсивность падения температуры по нормали к поверхности определяется производной  $dt/dx$ . Возьмем на расстоянии  $x$  от внутренней поверхности слой толщиной  $d_x$ . С постоянной внутри этого элементарного слоя температурой  $t$  количество теплоты  $Q$ , проходящее через этот слой, будет постоянным и по условию

$$Q = -K \frac{dt}{dx} S,$$

где  $S$  — площадь поверхности слоя.

При решении данного дифференциального уравнения имеем:

$$dt = -\frac{Q}{SK} \cdot dx;$$

$$\int dt = -\int \frac{Q}{SK} dx;$$

$$T = -\frac{Q}{SK} x + c.$$

При среднесуточной температуре в летнее время 15 °С. распределение температуры внутри слоя при начальном условии  $x=0$ ,  $t=15$  °С примет вид:

$$T_{\wedge} = -\frac{Q}{SK} x_{\wedge} + 15, \text{ } ^\circ\text{C}$$

А толщина разрушенного слоя  $x$  при колебании внешней температуры окружающей среды от 10 до 40 °С определится из выражения:

$$X_{\wedge} = -\frac{S \cdot K}{Q} \cdot T_{\wedge} - 15 \frac{S \cdot K}{Q}.$$

Следовательно, при тепловом воздействии на слой гранул аммиачной селитры с фазовым переходом, происходящим при температуре около 32 °С, толщина слоя, подвергающегося деструкции, пропорциональна количеству тепла, проходящего через этот слой, и обратно пропорциональна площади воздействия и коэффициенту теплопроводности селитры. На основании данного вывода, было рекомендовано осуществлять складирование аммиачной селитры на открытых площадках в максимально возможные штабели с минимальной внешней поверхностью.

При хранении аммиачной селитры в зимнее время при среднесуточной температуре -20 °С и суточными колебаниями от -10 °С до -40 °С в условиях резко-континентального климата Монголии (температура фазового перехода около -17 °С) полученные выражения принимают следующий вид:

$$T_3^o = -\frac{Q}{S \cdot K} \cdot x_3 - 20, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$x_3 = \frac{S \cdot K}{Q} \cdot t_3^o + 20 \cdot \frac{S \cdot K}{Q}.$$

Полученные зависимости явились основой для проведения натуральных исследований по определению параметров деструкции гранул аммиачной селитры при длительном хранении на открытых площадках на территории Монголии. При этом необходимо было определить степень влияния ультрафиолетового излучения и температурного фактора на глубину деструкции гранул селитры при хранении. Были проведены масштабные исследования по изучению этих процессов, в результате которых было установлено, что толщина слоя с разрушенными гранулами может достигать нескольких десятков миллиметров. Средние значения изменения толщины слоя с разрушенными гранулами от времени хранения на открытых площадках в условиях Монголии в период апрель–сентябрь показаны на рис.2.5.

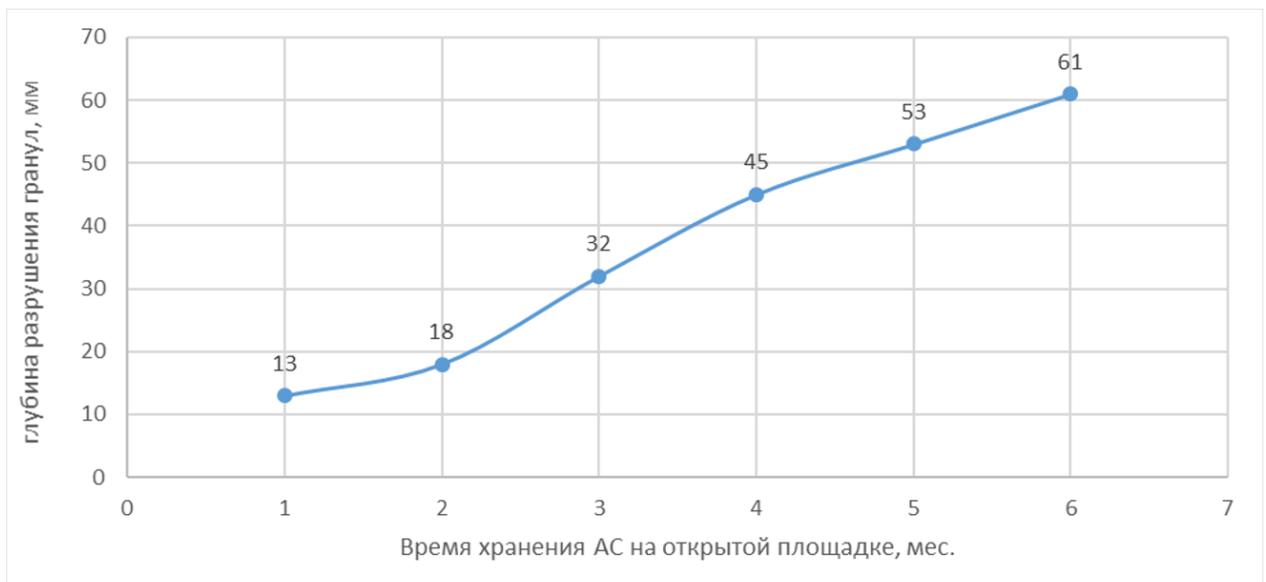


Рисунок 2.5 — Зависимость изменения средней толщины слоя с разрушенными гранулами от времени хранения на открытых площадках в условиях Монголии

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.2.6.

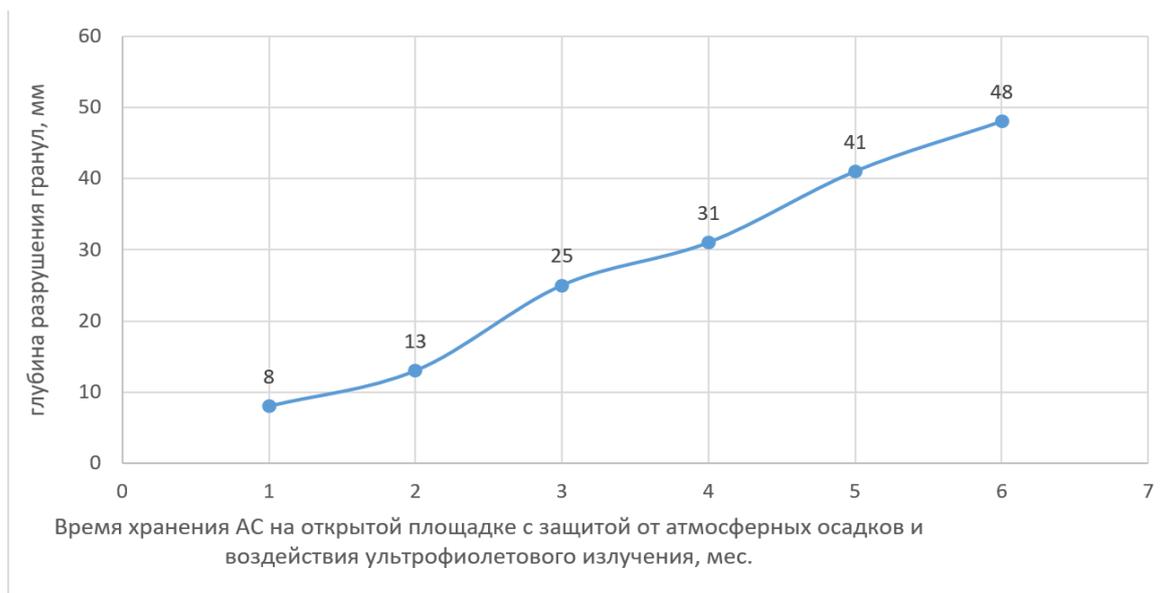


Рисунок 2.6 — Зависимость средней глубины разрушения гранул аммиачной селитры при хранении в мешках на защищенных от атмосферных осадков и ультрафиолетового излучения площадках

Наиболее «сильно» этот эффект проявляется в АС с признаками окрашивания, в частности АС марки ЖВГ, пористая АС по ТУ2143-005-86730570—2008 Березниковского АО «Азот» (условное обозначение в нашей работе — ПАС-БЖ), отдельные партии ПАС, произведенной в 2013-2015 гг. в ООО «Ангарский АТЗ» (ПАС-ИЖ). На рис. 2.7 показан вид подвергшихся хранению в период с апреля по август мешков с ПАС-БЖ с визуальной оценкой толщины слоя продукта со следами деградации гранул, а также количественная оценка гранулометрического состава частиц по объему отсеянной фракции в образце из поверхностного слоя толщиной 30 мм.

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%. Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по технологии хранения селитры с преимущественным размещением ее под навесами, защищающими массив селитры от солнечной радиации.



Рисунок 2.7 — Вид мешка с АС марки пористая по ТУ с деградацией гранул в верхнем слое (слева) и оценка изменения гранулометрического состава в слое толщиной 30 мм после хранения в климатических условиях Монголии в период с апреля по август (цифры у подсыпок— размер частиц в мм)

Анализ гранулометрического состава аммиачной селитры, подвергнутой деградации в процессе хранения на открытой площадке в климатических условиях Монголии показал, что изменение крупности гранул в поверхностном слое приводит к изменениям впитывающей способности селитры при изготовлении АСДТ и, в свою очередь, к изменениям чувствительности и скорости детонации получаемого взрывчатого вещества.

Другим достаточно важным показателем связи свойств измененной при хранении АС с особенностями климатических условий Монголии является то, что даже при увлажнении (намокании) АС от осадков (дождя) в мешках с нарушенной целостностью полиэтиленового вкладыша через короткий промежуток времени (3—5 дней) происходит высыхание селитры до состояния влажности, соответствующей внешним условиям и законам

гигроскопичности. При этом происходит кристаллизация АС в виде агломератов — комков. Пример такого исхода приведен на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 — Кристаллизация АС в виде агломератов - комков

Наблюдаемое явление разрушения гранул АС приводит к изменению свойств продукта как исходного сырья и характеристик изготавливаемого ВВ, в первую очередь, по показателям маслопоглощения и равномерности распределения горючего (ДТ) в системе, а в конечном итоге, по взрывной эффективности и безопасности применения. Необходимо отметить, что интенсивность модификационных превращений в кристаллической структуре АС в естественных условиях имеет случайный характер и зависит от большого числа факторов.

В соответствии со сложившейся сырьевой базой стран СНГ и Монголии, осуществляющих закупку АС по импорту преимущественно из России, для изготовления смесевых ВВ типа АСДТ (ANFO), или «Игданит», в этих странах до настоящего времени используется аммиачная селитра общетехнического назначения, выпускаемая по ГОСТ 2-85(ГОСТ 2-2013).

Эта селитра характеризуется повышенной прочностью и отсутствием развитой пористости гранул, что и определяет ее недостаточную «впитывающую», или «удерживающую», способность для получения

качественной (стехиометрической) смеси АС с жидкими нефтепродуктами, в частности с дизельным топливом (ДТ). Удерживающая способность АС по отношению к ДТ составляет не более 3,0–3,5% (см.табл.2.1), что не обеспечивает однородность состава ВВ, приготовленного на ее основе.

Экспериментальные исследования в условиях производственного предприятия «МОНМАГ» показали, что суммарная поверхность гранул такой селитры, имеющей гранулометрический состав по фракциям (табл. 2.2), составляет 1,54 м<sup>2</sup>/кг.

Таблица 2.2 – Распределение гранул селитры по фракциям

Номер фракции	Размер гранул, мм	Процентное содержание, %
1	От 3 до 4	5
2	От 2 до 3	35
3	От 1 до 2	55
4	От 0,5 до 1	4
5	Менее 0,5	1

При увеличении доли частиц размером менее 1 мм до 15% и менее 0,5 мм до 15% за счет пропорционального уменьшения долей фракций крупнее 1 мм удельная поверхность АС возрастает до 6 —7 м<sup>2</sup>/кг и соответственно возрастает удерживающая способность по ДТ до 10%

Вместе с тем наличие значительного процента мелких фракций в составе АС имеет и отрицательные свойства. Их наличие приводит к повышению чувствительности ВВ к инициирующему импульсу, что существенно снижает безопасность обращения с таким ВВ. Критериями изменения чувствительности к инициирующему импульсу являются детонационная способность при срабатывании детонатора в массе ВВ и критический диаметр детонации ВВ. На рис. 2.9 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.

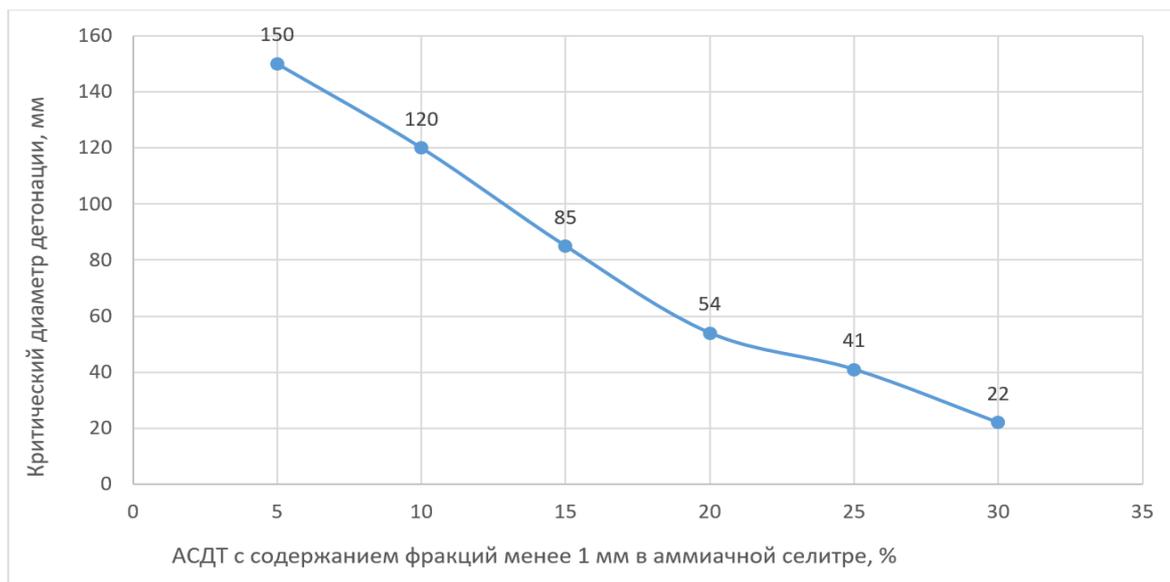


Рисунок 2.9 — Зависимость влияния содержания мелких фракций ( $< 1.0$  мм), образовавшихся в результате фазовых переходов при хранении АС, на критический диаметр детонации смесевых ВВ типа АСДТ

Влияние содержания мелких фракций на восприимчивость АСДТ к стандартному детонатору показано на рис. 2.10.

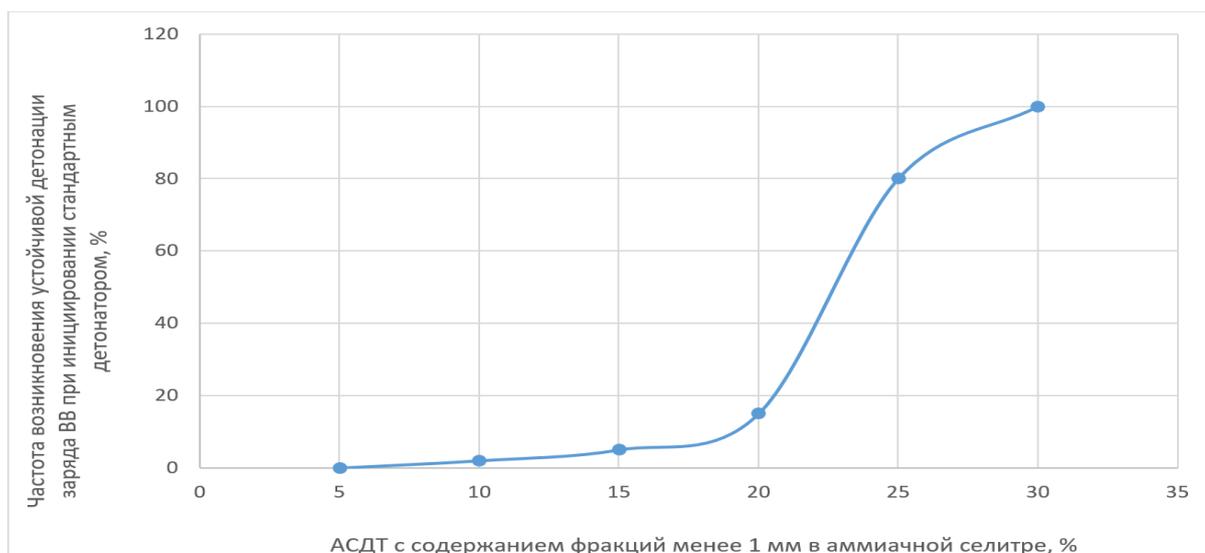


Рисунок 2.10 — Влияние содержания мелких фракций на восприимчивость АСДТ к стандартному детонатору

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

Для обеспечения безопасности производства и применения взрывчатых веществ в условиях Монголии с учетом проведенных исследований в технологии изготовления ВВ типа ИГДАНИТ предусмотрено отсеивание мелких фракций с размером гранул менее 1 мм и изготовление из этого отсева промежуточных детонаторов.

Названные и другие особенности сырьевого обеспечения производства смесевых ВВ в рассматриваемых условиях обуславливают необходимость создания и применения специальных технологических приемов и аппаратов для обеспечения реально приемлемого качества ВВ и зарядов из них. В общем случае это означает, что технические решения, созданные и применяемые за рубежом, для прямого использования в наших условиях практически непригодны и требуют доработки. Эта ситуация еще более усугубляется весьма сложными климатическими условиями и транспортными схемами. Естественно, что при создании или доработке технологических процессов и механизмов в первую очередь должны быть соблюдены условия обеспечения их безопасности.

При выборе способов изготовления смесевых систем по режимам технологического цикла проявляются несколько противоречивых условий:

- непрерывные режимы представляются наиболее производительными, но для их реализации необходимо обеспечить также непрерывное дозирование всех компонентов, которое в подавляющем большинстве случаев осуществляется «по объему» из-за повышенной технической сложности устройств-дозаторов «по массе». Точность объемного дозирования зависит от большого количества свойств перерабатываемого материала (дисперсность, плотность, сыпучесть-текучесть, влажность и др.) и для веществ в твердом состоянии невелика – отклонения в величине доз могут достигать 20—30%. Ситуация еще более усложняется при

изготовлении систем из нескольких (3 и более) компонентов в различном физическом состоянии;

- применение непрерывных режимов изготовления смесей из компонентов, поступающих на производство в штучной упаковке (мешки, контейнеры и др.), приводит к парадоксальной ситуации – исходное вещество с известной и достаточно точно заданной массой (порцией) в упаковке из неё извлекается и поступает на операцию дозирования «по объему»;

- высокое качество смешивания компонентов в различном количестве и сочетании обеспечивается в смесителях периодического действия, но для них характерна низкая производительность. Производительность работы таких смесителей может быть увеличена путем интенсификации процесса смешивания за счет введения в конструкции эффективных механических перемешивающих устройств и ускорения операций загрузки-выгрузки. Оба из этих решений малоприемлемы или даже опасны при изготовлении ВВ с большим содержанием мелких фракций.

**Выводы:** 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. Тем самым доказано первое научное положение.

### **3 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ АС ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МОНГОЛИИ**

#### **3.1 Обоснование выбора и общая характеристика смесевых ВВ типа АСДТ**

На основании выполненных экспериментальных исследований, содержание и результаты которых приведены в предыдущих разделах работы, следует признать, что для использования на горных предприятиях Монголии, в первую очередь на угольных разрезах, наиболее рациональными и эффективными являются смесевые взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры в твердом состоянии (в гранулированном виде) с различными жидкими, а также твердыми дисперсными горючими добавками – смеси типа АСДТ («Игданит») или ANFO.

Однако «прямое» использование известных и применяемых в других странах, в том числе в России, смесей АСДТ на горных предприятиях Монголии не представляется возможным из-за специфики условий сырьевого обеспечения, которое сориентировано на закупку практически всех компонентов по импорту.

Фактор ограниченности по источникам сырья задает необходимость анализа и исследований по определению возможности использования для изготовления ВВ аммиачной селитры и других компонентов различных марок и разновидностей от различных поставщиков (изготовителей) и с различными условиями поставки по срокам, видам упаковки, транспортным средствам и т.д.

Основу всех исследованных в настоящей работе взрывчатых смесей по функциональному назначению и массовой доле в составе составляет аммиачная селитра. Аммиачная селитра – химическое вещество, получаемое методом

синтеза [63— 68,]. Химическая формула –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , молекулярная масса – 80,05, кислородный баланс – плюс 20%.

В составе смесевых ВВ аммиачная селитра выполняет роль окислителя.

В качестве горючих компонентов в составе смесевых ВВ могут использоваться любые вещества, способные к окислению и имеющие отрицательный кислородный баланс. Наиболее удобными с позиций хранения, транспортирования, переработки, безопасности и т.д. являются жидкие нефтепродукты, в частности, дизельное топливо и минеральные масла.

Состав смесевых ВВ в идеальном варианте komponуется так, чтобы количество кислорода в смеси соответствовало количеству горючих компонентов и обеспечивало их окисление до полных окислов. При таком соотношении кислородный баланс ВВ равен нулю, а соответствующее нулевому кислородному балансу соотношение, называется стехиометрическим.

В реально существующих природных условиях аммиачная селитра находится в твердом кристаллическом состоянии, конкретная форма частиц которого задается технологией изготовления и условиями последующего хранения. Наиболее удобным для практического использования является состояние АС в виде гранул размером от десятых долей до нескольких миллиметров.

Физическая природа и состояние АС определяют другой характерный недостаток смесей гранулированной АС с жидкими горючими добавками, а именно сложность, иногда невозможность, получения однородных по составу и стабильных во времени стехиометрических смесей АСДТ.

На практике это проявляется в том, что верхняя часть заряда из смеси АСДТ имеет недостаток горючего (положительный кислородный баланс) и взрывается с пониженным выделением энергии, а также с повышенным образованием ядовитых оксидов азота. Нижняя часть заряда имеет избыток горючего (отрицательный кислородный баланс) с повышенным выделением

ядовитых оксидов углерода и низким выделением энергии при взрыве. Это образующая в итоге система дает отрицательные результаты по эффективности применения смесей типа АСДТ на взрывных работах.

Как уже отмечалось, аммиачная селитра – полиморфное кристаллическое вещество. При понижении температуры от 169,6 °С (температура плавления АС) до минус 18 °С или, наоборот, при повышении в этих пределах, кристаллическая решетка АС может иметь пять различных структур. При модификационных превращениях происходит изменение объема и плотности кристаллов [69— 74] (рис. 3.1).

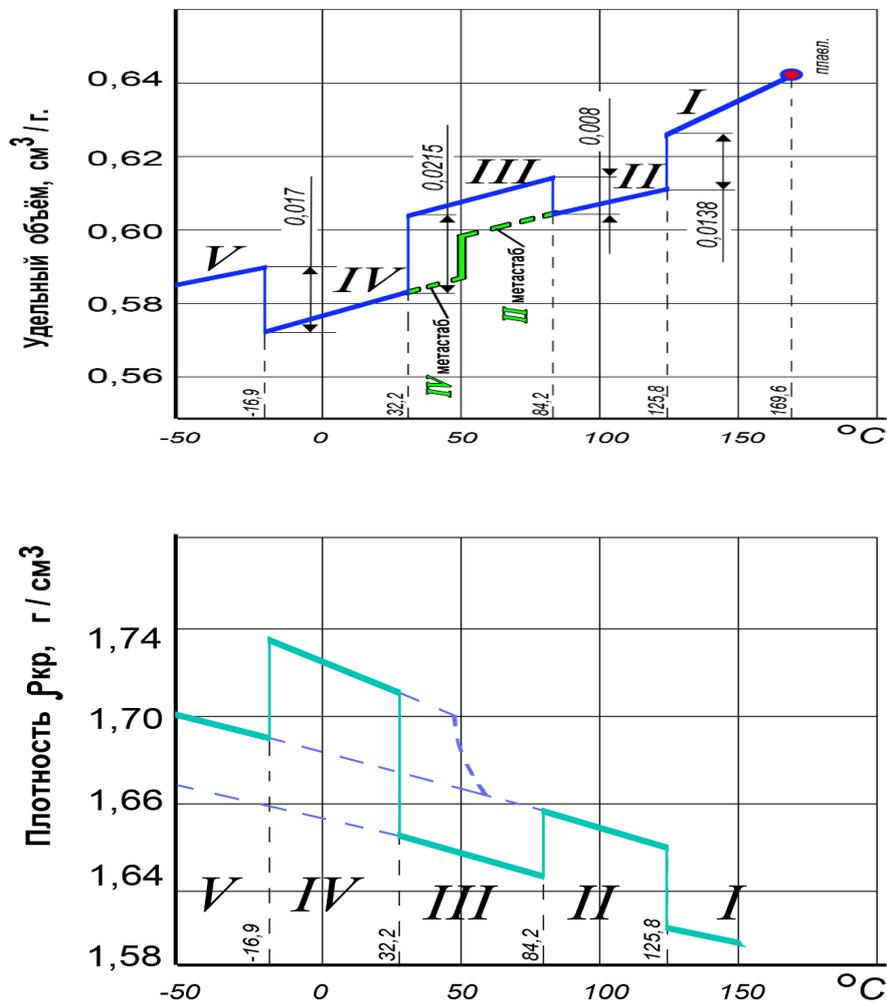
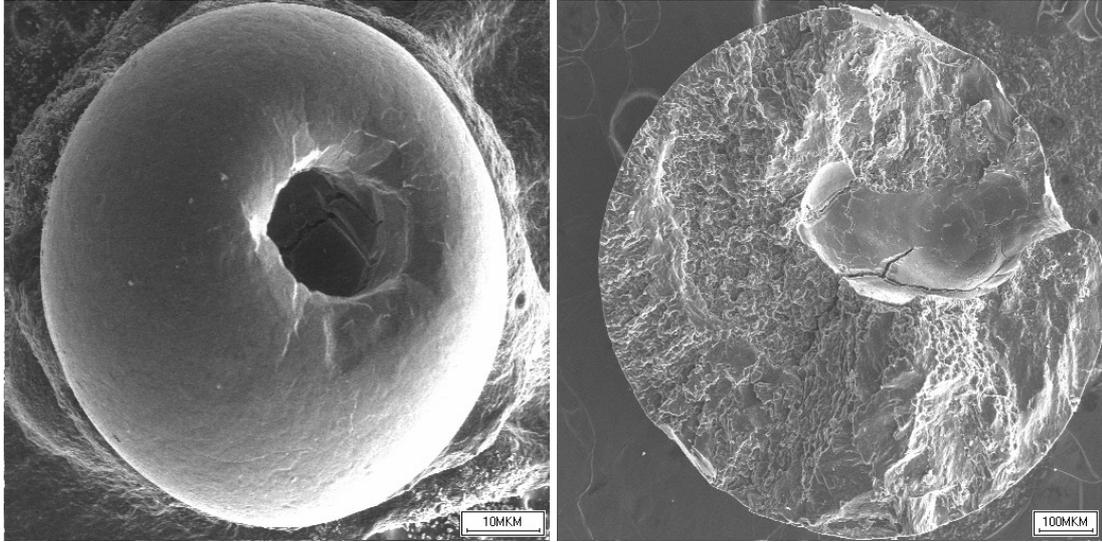


Рисунок 3.1 — Зависимость удельного объема и плотности от температуры нитрата аммония при фазовых переходах в стандартных условиях для чистого нитрата аммония

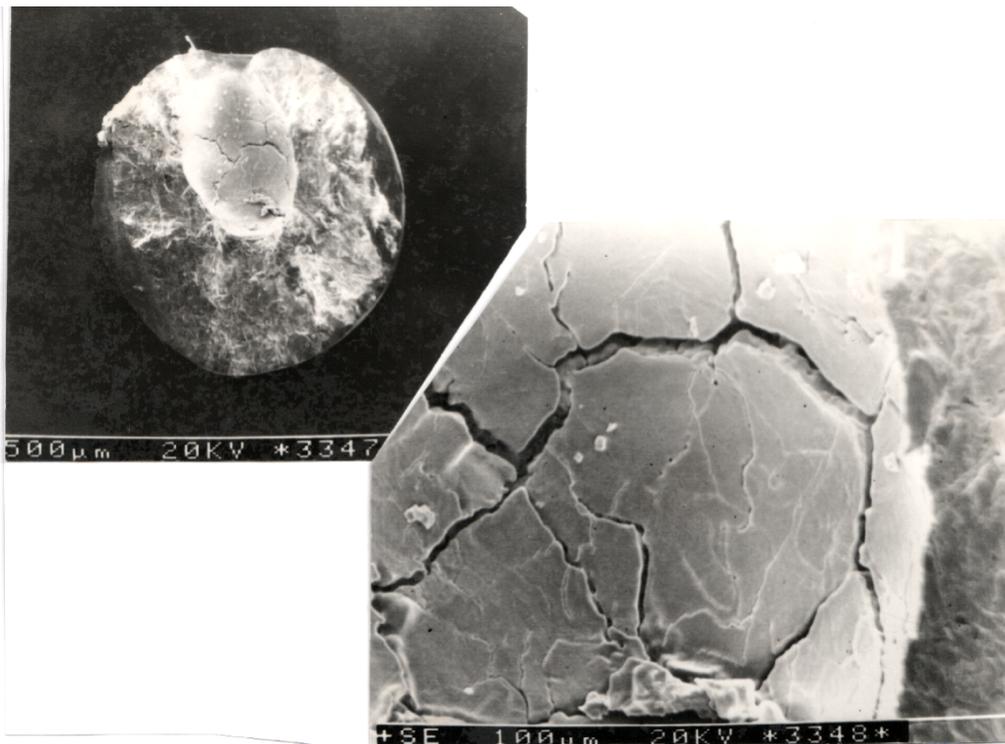
Прочность кристаллов и гранул АС зависит от способа их получения при изготовлении и числа модификационных превращений, которым они могут быть подвергнуты в процессе хранения продукта. При повторных модификационных превращениях, в частности, при переходе через температурную точку 32,2 °С (модификационный переход III-IV-III), что возможно в реальных условиях при работе с АС, которые характеризуются большим изменением объема кристаллов, гранулы АС растрескиваются. С растрескиванием гранул (рис. 3.2) повышается их впитывающая способность по отношению к нефтепродуктам, но уменьшается прочность. Это явление сильно затрудняет получение стабильных смесей АСДТ в реальных условиях горного производства.

Опыт изготовления АСДТ в условиях Монголии показывает, что в результате хранения аммиачной селитры в резко континентальных климатических условиях и активного ультрафиолетового излучения (основная часть страны находится на высоте 1000—1200 м над уровнем моря, преобладание солнечной погоды более 300 дней в году, и влажность селитры, не превышающая 1.0—0.35 %) температурные фазовые переходы существенно отличаются от стандартных значений.

Для определения численных значений фазовых переходов АС в условиях Монголии нами были проведены лабораторные и полигонные исследования [75—76] с целью определения температурных границ фазовых переходов для селитры, находящейся под воздействием ультрафиолетового излучения на открытой площадке в течение 1—3 месяцев в температурных режимах, не соответствующих фазовым переходам (- 50 — +55 °С) (рис. 3.3; рис. 3.4).



а



б

Рисунок 3.2 — Качество гранул после фазовых переходов: а — исходные гранулы АС по ГОСТ 2-2013; б — гранулы АС после фазовых переходов, осуществленных в заданном режиме термообработки

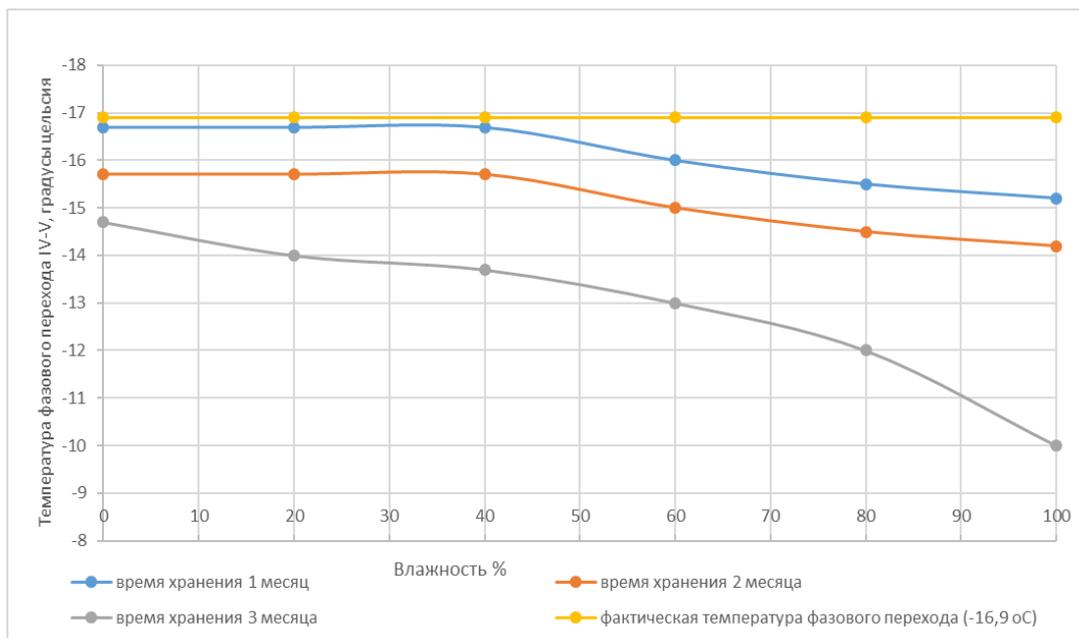


Рисунок 3.3 — Влияние относительной влажности, времени хранения АС на фактическую температуру фазового перехода (-16,9 °C) в условиях Монголии

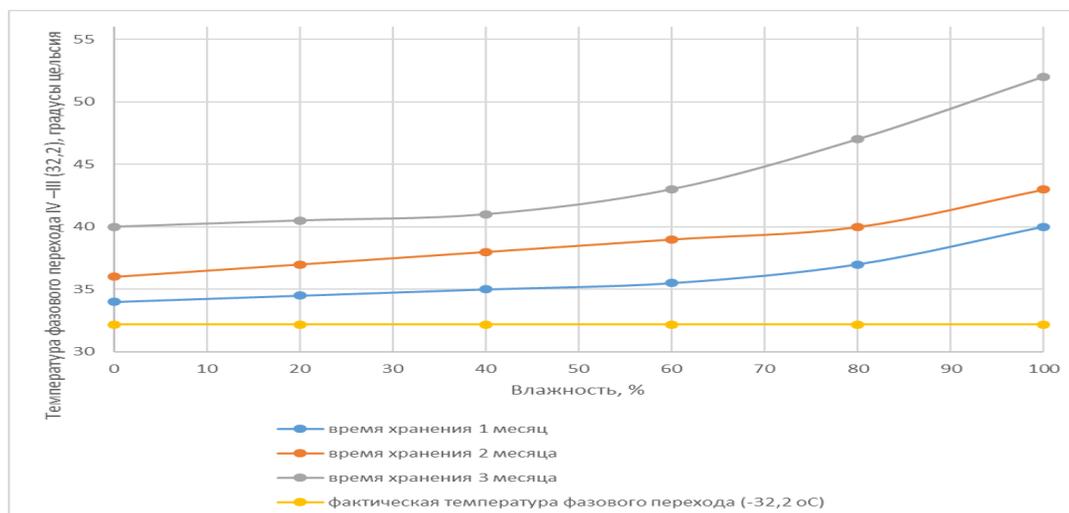


Рисунок 3.4 — Изменение температурных границ фазового перехода IV –III (32,2 °C) АС в условиях Монголии для различной влажности гранул

Аммиачная селитра в виде плотных гранул при изготовлении смесей АСДТ удерживает не более 3% жидкого топлива, что недостаточно для выделения максимальной энергии взрыва такого состава. При этом

выделяется большое количество окислов азота, имеющих выраженное токсическое действие. Фазовые переходы приводят к деструкции гранул селитры, возникновению нарушений сплошности поверхности гранул (рис. 3.2), образованию внутренних трещин и повышению удерживающей способности селитры до 6—7%, что превышает стехиометрическое соотношение. 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. При избытке жидкого горючего он является флегматизатором компонентов ВВ. Следовательно, при взрыве мы получаем скважинные заряды с различными, неуправляемыми детонационными характеристиками, что резко снижает уровень безопасности и эффективности взрывных работ на горных предприятиях.

Для проверки этих выводов и предположений мы провели серию экспериментальных исследований детонационных характеристик скважинных зарядов ВВ на угольном разрезе «Баганур». Исследования проводились путем измерения скорости детонации скважинных зарядов ВВ резистивным методом. При этом по длине скважины прокладывается непрерывный протяжённый датчик, представляющий собой коаксиальный резистивный кабель, имеющий центральную жилу из резистивного материала, легко разрушаемую изоляцию вокруг центральной жилы, проводящую оплётку поверх изоляции, и наружное пластиковое покрытие для защиты кабеля от внешних воздействий (рис. 3.5).

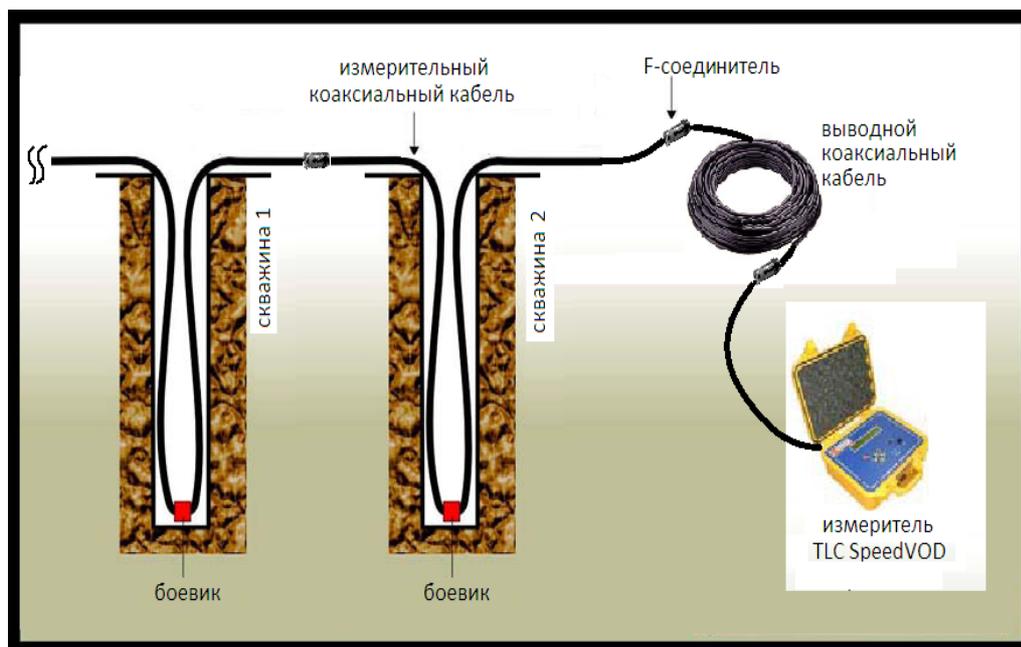


Рисунок 3.5 — Схема подключения измерительного кабеля к измерительному прибору (TLC SpeedVOD) и прокладки кабеля по нескольким скважинам

При прохождении по скважине детонационная волна разрушает кабель, изоляция между центральной жилой и оплёткой нарушается, а ионизированное вещество в детонационной волне электрически соединяет центральную жилу с оплёткой. При продвижении фронта детонации по кабелю его сопротивление, определяемое длиной оставшегося отрезка центральной жилы, уменьшается. Измеритель фиксирует сопротивление в разные моменты времени и запоминает зависимость сопротивления от времени, по которому можно рассчитать скорости движения фронта детонации в требуемых точках. Основным достоинством метода является непрерывность измерений, за счёт чего количество точек измерений на метр скважины может достигать десятков и сотен. Погрешность определения скорости детонации резистивным методом достаточно низка, определяется в основном точностью изготовления кабеля и температурными погрешностями кабеля и измерителя, и её можно оценить значением, не превышающим единиц процентов. На рис.3.6 — 3.8 показаны записи скорости детонации скважинных зарядов смесей АСДТ, изготовленных по обычной технологии

из АС, подвергнутой деструкции при хранении. С правой стороны рисунка показано расстояние от промежуточного детонатора. Анализ записей показывает, что определенные части зарядов практически выгорают или полностью отказывают, а другие детонируют с определенной скоростью. При этом выделяются продукты горения и детонации с выделением углерода, его окисла и окислов азота (рис. 3.9).

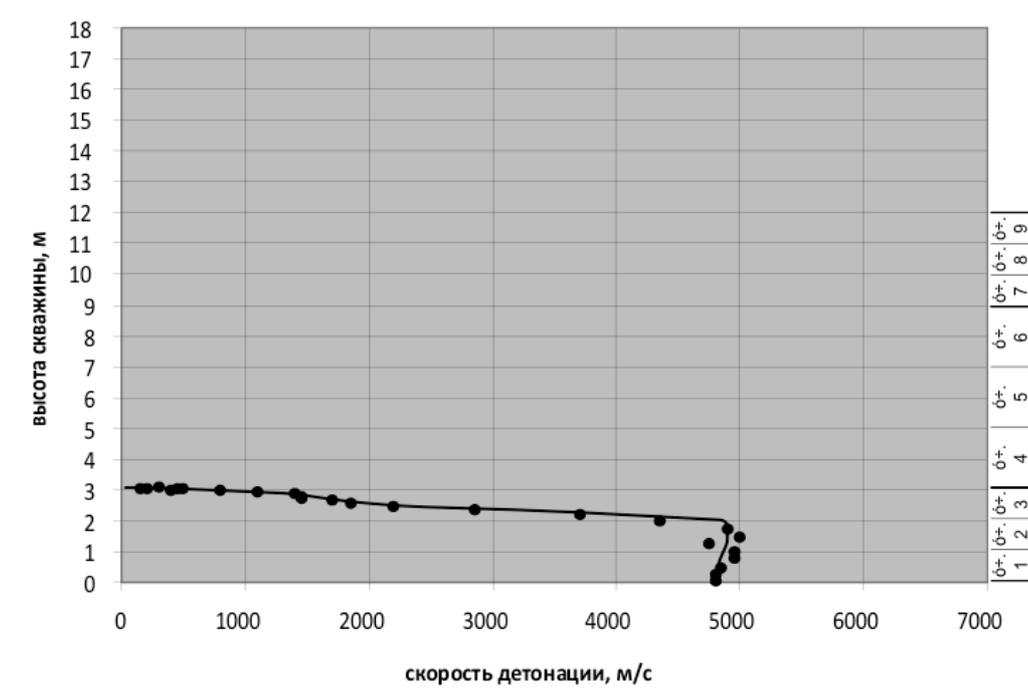


Рисунок 3.6 — Пример записи процесса нестационарного взрывного разложения скважинного заряда ВВ, представленного АСДТ. Масса промежуточного детонатора 0.5 кг

Анализ рис. 3.6 показывает, что часть заряда (от 0 до 3 м) детонирует с затуханием, а другая часть - выше 3 м от промежуточного детонатора - практически выгорает или полностью отказывает.

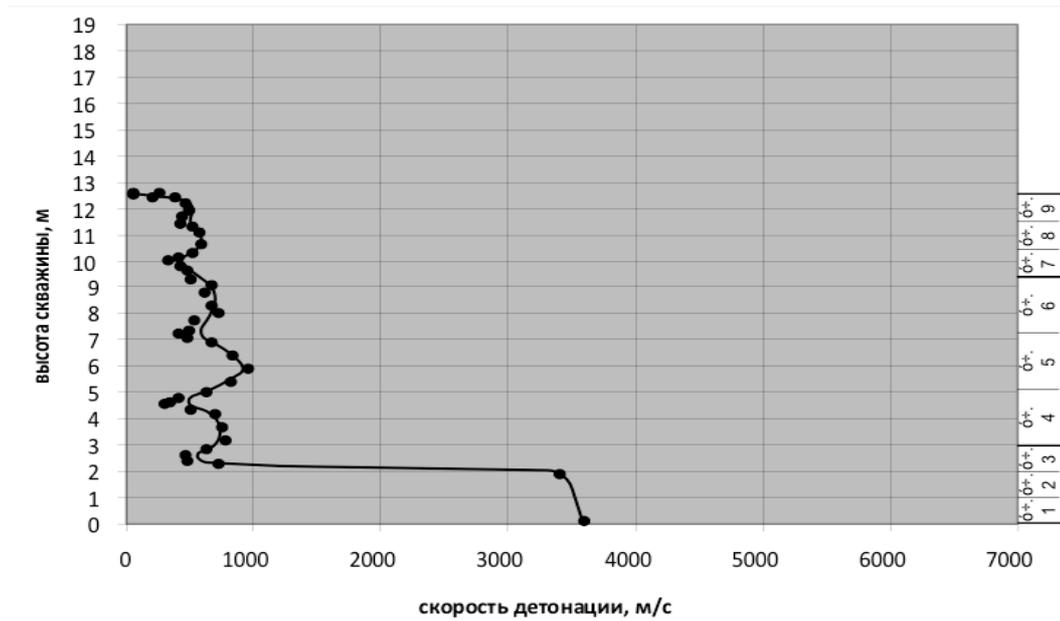


Рисунок 3.7 — Пример записи процесса нестационарного взрывного разложения скважинного заряда ВВ со «взрывным» горением части заряда ВВ представленного АСДТ. Масса промежуточного детонатора 0.5 кг.

Анализ рис. 3.7. показывает, часть заряда (от 0 до 2 м) детонирует с затуханием, а другая часть - выше 2 м от промежуточного детонатора - практически выгорает со скоростью 200-1000м/с.

Для повышения эффективности и надежности взрывания смесевых аммиачно-селитренных ВВ типа АСДТ, изготовленных из аммиачной селитры, подвергнутой деструкции при хранении и транспортировании, применяется способ взрывания с увеличенной массой промежуточного детонатора.

Видеозаписи, выполненные с использованием камеры скоростной съемки, показывают, что нестационарный режим детонации или выгорание зарядов смесевых ВВ, изготовленных из аммиачной селитры, подвергнутой деструкции, представляет определенную экологическую опасность окружающей среде, снижает эффективность взрывного дробления угольных массивов и может вызывать самовозгорание угольных масс. Примеры взрывов ВВ с элементами горения показаны на фото (рис. 3.8—3.9).



Рисунок 3.8 — Выгорание зарядов смешанного ВВ типа АСДТ в условиях угольного разреза



Рисунок 3.9 — Выгорание зарядов смешанного ВВ типа АСДТ в условиях угольного разреза



Рисунок 3.10 — Продукты взрыва заряда ВВ смесей АСДТ типа «слоеный пирог» с окислами азота

Следовательно, для получения ВВ на базе смесей АСДТ в условиях Монголии необходимы предварительная подготовка АС и технология изготовления смесей АСДТ, учитывающие процессы деструкции частиц-гранул АС. Разработка технологии изготовления эффективных и безопасных ВВ на основе смесей АСДТ изложена в главе 5.

В промышленных масштабах явление повышения стабильности смесей АСДТ за счет термохимической обработки АС с осуществлением кристаллических модификационных превращений впервые было реализовано в Польше [77], где были созданы способы и устройства контролируемого термического воздействия с дополнительной обработкой кондиционирующими препаратами, или кондиционирующими добавками (КД). Позднее этот способ подготовки АС перед изготовлением смесевых ВВ был отработан до промышленного применения в производственном объединении «Северовостокзолото» и СП «Каскад» (г. Магадан) [78].

Этот способ стабилизации смесей АСДТ принят за основу при выполнении настоящей работы. Процесс заключается в последовательной

обработке готовых, в том числе высокоплотных гранул АС общетехнического назначения, выпускаемых российскими заводами по ГОСТ 2-85 (ГОСТ 2-2013), или других марок, термическом воздействии и поверхностно активным веществом (ПАВ), что приводит к изменению плотной структуры гранул в состояние подобное пористому в результате модификационных кристаллических переходов (для этого технологического процесса предложено определение — «поризация», которое используется в наших и других публикациях по рассматриваемому вопросу).

Одним из необходимых условий получения заданного эффекта поризации является обеспечение необходимой перестройки структуры гранул при сохранении ее целостности. Известно, что различные разновидности АС (в рамках ГОСТ 2-2013) характеризуются различной способностью к поризации. На процесс поризации оказывают влияние многие факторы, и окончательный результат зависит от сочетания этих факторов, наиболее важными из которых являются:

- химическая природа примесей и их содержание в АС;
- влажность АС и распределение влаги по грануле;
- прочность гранул;
- присутствие кондиционирующего препарата, способ и момент его нанесения на гранулу, состав препарата;
- время от момента производства гранул (срок хранения);
- возможность сушки гранул во время термообработки, количество удаляемой при сушке влаги;
- способ нагрева гранулы при термообработке, начальная и конечная температура продукта при нагревании и охлаждении.

Особо важное значение имеют химические добавки, вводимые в АС на заводе изготовителя в процессе грануляции с целью формирования кристаллической структуры, повышения прочности и уменьшения слеживаемости гранул.

Добавка сернокислого аммония, содержащегося в АС некоторых российских заводов, по мере увеличения его количества постепенно затрудняет процесс поризации в результате торможения модификационного перехода и увеличения исходной прочности гранул АС.

Влияние добавок нитратов кальция и магния, присутствующих в АС от основной части заводов — изготовителей, происходит иначе. Эти вещества при влажности гранул АС 0,3% и менее затрудняют поризуемость АС, а гранулы с более высокой влажностью (приемлемое значение — до 1,0%) поризуются относительно легко.

Наличие в АС кондиционирующего препарата – ПАВ, наносимого на поверхность готовой гранулы, значительно облегчает процесс поризации, особенно, если препарат наносится на гранулу в процессе ее первичного охлаждения после кристаллизации.

Существенное значение для качества поризованной АС имеет обеспечение заданной температуры во время процесса поризации. Необходимая температура нагрева АС зависит от химического состава, который, как указано выше, даже в рамках одного ГОСТ 2-2013 различается для разных заводов – изготовителей. В большинстве случаев для условий Монголии необходимая температура нагрева АС составляет около 40 °С, а для АС с отдельных заводов требуется нагрев до 50 °С.

Применение ПАВ – кондиционирующей добавки (КД) — в процессе поризации способствует повышению эффективности образования пор (трещин) с размерами, достаточными для активного проникновения в них жидкого нефтепродукта при последующем изготовлении ВВ. Действие ПАВ происходит в соответствии с известным эффектом П.А. Ребиндера [79].

Ассортимент ПАВ, пригодный для использования в качестве КД при поризации АС, достаточно широк и известен из технологии модифицирования гранулированных минеральных удобрений при их производстве. Для этих целей используются высшие алифатические амины и их кубовые остатки, алкилсульфонаты, сульфонаты, сульфанола, различные смачиватели,

диспергатор НФ, стеарат кальция, кремнеорганические эмульсии, жирные кислоты и их кубовые остатки и др. Выбор ПАВ определяется в основном имеющейся сырьевой базой и условиями дальнейшего применения изготавливаемой с использованием этих ПАВ поризованной АС. Например, селитра, обработанная аминами или диспергатором НФ, непригодна для использования в составе эмульсионных ВВ.

Количество ПАВ (КД), которые необходимо или можно ввести в АС при поризации, также зависит от условий последующего применения получаемой АС. При изготовлении ВВ непосредственно после поризации АС ограничения по количеству КД обуславливаются только экономическими факторами, тогда как при необходимости транспортирования поризованной АС количество КД должно быть ограничено в соответствии с требованиями безопасности, и содержание КД не должно превышать 0,2% в пересчете на углерод.

### **3.2 Разработка способа повышения стабильности смесей АСДТ путем термохимической обработки гранул селитры**

При разработке способа осуществлялась термическая обработка (нагрев-охлаждение) аммиачной селитры гранулированной (АС по ГОСТ 2-2013) с обеспечением перехода температуры через точку 32,2 °С, которая соответствует модификационному переходу III - IV и достижение которой наиболее просто осуществимо в реальных условиях применения АС. Процесс термической или термохимической обработки АС с целью повышения совместимости, гранулированной АС с дизельным топливом в настоящей работе, как было отмечено выше, принято называть «поризация» АС.

Термообработка АС в экспериментах осуществлялась в лабораторном сушильном шкафу, нагретом до температуры 60—90°С. При нагреве АС размещалась в металлическом или стеклянном поддоне. В процессе нагрева АС периодически перемешивалась. Температура при нагреве АС замерялась

с помощью лабораторного жидкостного термометра, который вводился в массу АС после извлечения рабочего поддона из сушильного шкафа.

В экспериментах использовалась АС от различных заводоизготовителей, для которых АС может различаться по гранулометрическому составу, прочности, цвету и другим показателям гранул в исходном состоянии, что определяется визуально или по простейшим методикам.

### **3.2.1 Методика проведения исследований**

Внешний вид АС оценивался визуально, а также по общим признакам сыпучести при пересыпании, высыпании из тары, истечении из бункеров и т.д.

Насыпная плотность АС определялась путем взвешивания массы АС определенного объема. Для этого испытуемый образец АС засыпался в сосуд (стакан) цилиндрической формы. При этих измерениях диаметр сосудов (стакана) в целях сокращения влияния краевых эффектов выбирался не менее 30 мм, а высота — не менее 50 мм.

Гранулометрический состав определялся ситовым анализом. Вся проба АС пропусклась через набор сит, остатки на ситах взвешивались и вычислялось содержание фракций в процентах от суммарной массы пробы.

Влажность веществ определялась методом сушки по убыли массы навески по известной методике.

Прочность гранул АС определялась путем раздавливания отдельных гранул АС на специальном приборе с фиксацией усилия в момент разрушения гранулы.

Прибор состоит из весов со стрелочным указателем и винтового пресса. На правую тарелку весов под винт пресса устанавливается плоская подставка, на которую по центру укладывается гранула. Винт пресса медленно опускается и непрерывно наращивается нагрузка на гранулы до ее разрушения. С ростом нагрузки стрелка циферблата весов отклоняется. Момент разрушения устанавливается по вздрагиванию (отклонению назад) стрелки. Максимальная величина нагрузки в граммах, считываемая с

циферблатных весов, служит показателем прочности гранулы. В испытаниях по определению прочности используется 25 гранул с размером (диаметром), близким к требуемому. За результат испытаний принимается среднее арифметическое всех измерений (раздавливаний).

Сыпучесть АС определялась по углу естественного откоса следующим образом: на пластинку (стеклянную) устанавливался цилиндр (муфта) с внутренним диаметром 50 и высотой 100 мм, в него насыпалась АС вровень с верхним срезом, затем цилиндр медленно поднимался. Измеряемой величиной является диаметр образовавшегося конуса. По величине диаметра конуса и известному объему цилиндра вычисляются тангенс и величина угла наклона образующей конуса к основанию.

Показатель частиц-гранул АС по совместимости с жидким нефтепродуктом — дизельным топливом (ДТ) определяли по поведению системы АС—ДТ после смешения и последующей выдержки во времени в делительной воронке. В порядке усовершенствования известной методики в настоящей работе использовалась единая подборка приблизительно одинаковых по размерам и конструкции делительных воронок. Перед введением образцов в устье сливного носика воронки укладывался стеклянный кубик с размером ребра 4 — 6 мм.

Способ определения: в стеклянную делительную воронку вместимостью 250 см<sup>3</sup> цилиндрической формы с пробковым краном засыпается навеска (100г) АС, затем навеска заливается дизельным топливом таким образом, чтобы уровень ДТ был выше столбика селитры (навеска ДТ — 50 г).

Полученная система для пропитки гранул выдерживается в течение 20 минут, затем открывается кран и происходит слив ДТ в течение 2х часов.

Для получения более полной картины поведения системы ее в дальнейшем выдерживали в течение более длительного времени (до 6 суток).

Содержание ДТ в системе, выраженное в процентах к массе полученной смеси, в соответствии с распространенной терминологией в настоящей работе принято определять как «удерживающая способность» —  $S_y$ .

Стабильность смеси аммиачной селитры с жидкими горючими и другими добавками оценивалась также по методу "делительной воронки». В воронку засыпалась определенная навеска готовой смеси селитры с горючими добавками в заданном стехиометрическом соотношении, а в процессе выдержки определялась масса выделившегося жидкого топлива. По убыли горючего или отсутствию его выделения определяли стабильность состава и доля потерь горючего состава при выдержке.

В качестве основного рабочего метода оценки полученного результата при термообработке-поризации в работе был принят метод определения количества дизельного топлива  $C_u$ , остающегося в образце АС в делительной воронке. При этом образец АС, подлежащий термообработке, перед нагревом разделялся на 2 части, для одной из которых удерживающая способность определялась до нагрева, а для другой — после нагрева. Изменение физико-технических свойств гранулированной АС при однократном нагреве выше температуры фазового перехода III-IV (32,2 °C) приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1— Физико-технические характеристики гранулированной АС различных производителей

№ п / п	Показатель	Значение показателя для различных образцов и состояния АС									
		г.Ангарск		г.Чере повец		г.Кеме рово		г.Новомоско вск		АС марки ЖВГ	
		исхо дн.	коне чн	исхо дн.	коне чн	исхо дн.	коне чн	исходн .	коне чн	исхо дн.	коне чн
1	Температура образца в исходном состоянии, °C	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
2	Температура образца после нагрева, °C	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45
3	Гранулометрический состав, содержание фракции, %:										
	менее 1 мм	4,8	6,2	0,5	2,5	6,1	7,5	8,2	8,7	2,7	7,5
	от 1 до 2 мм	20,0	37,1	24,3	29,0	17,7	31,8	38,2	38,0	37,5	40,1
	от 2 до 3 мм	67,9	40,3	61,5	56,4	75,0	37,1	52,9	53,3	57,5	52,4
	более 3 мм	7,3	8,4	13,7	12,1	1,2	3,3	0,7	-	2,3	-

Продолжение таблицы 3.1

4	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,95	0,91	0,93	0,91	0,92	0,89	0,94	0,90	0,92	0,90
5	Прочность гранул, г/гранулу	850	620	880	770	720	530	8,0	675	920	760
6	Остаток ДТ в образце АС, % от смеси*: через 0,5 ч через 6 ч	4,0	6,3	4,8	5,7	4,4	6,1	3,9	6,3	4,2	5,3
		2,8	5,4	3,3	3,7	3,1	4,9	3,2	5,1	2,7	3,2

Примечание: \*) по методу делительной воронки

В первоначальной серии опытов выбор и идентификация образцов АС осуществлялись по признаку «завод-изготовитель». Затем для анализа полученных результатов и выявления причин различного поведения АС от различных источников были использованы данные о типе и количестве кондиционирующих добавок, используемых при изготовлении АС на различных заводах.

Из полученных результатов (табл. 3.1) следует, что однократный нагрев АС до температуры выше температуры фазового перехода III-IV (около 32,2°C) позволяет увеличить удерживающую способность некоторых марок АС по отношению к ДТ до уровня 4,5—5 %. Этого еще недостаточно для получения полностью стабильной сбалансированной по соотношению окислитель-горючие смеси, но существенно улучшает качество смеси АСДТ на поризованной АС по сравнению со смесью исходной гранулированной селитры. Анализ полученных результатов показал, что из всех испытанных образцов АС по показателю удерживающей способности ДТ лучшие результаты через 6 ч показали образцы АС, произведенные в г. Ангарске и г. Новомосковске. Для АС, изготовленной на этих предприятиях, переход через один фазовый переход обеспечивает удерживающую способность по ДТ, близкую к стехиометрическому соотношению.

Для оценки возможности реализации в реальных условиях в настоящей работе выполнен ряд первичных установочных экспериментов с нагревом АС до конечной температуры АС выше 84 °С, при которой происходит следующий

модификационный переход III–II в кристаллической структуре АС. Естественно, что такой нагрев АС приводит к дополнительному увеличению удерживающей способности т.к. в селитре происходит каскад модификационных переходов IV–III–II и обратно. Однако возможность его применения определяется и ограничивается повышением затрат тепловой энергии на нагрев системы с большим перепадом температур. Полученные при выполнении работы результаты показали, что при оценке влияния кондиционирующих добавок необходимо учитывать их химический состав, в частности содержание ионов кальция, магния, железа, сульфата и др.

В целях определения принципиальных возможностей повышения удерживающей способности высокоплотной АС до требуемого уровня (6% и более) были проведены исследования по многократному (2 и более раза) нагреву одного образца. При этом перед повторным нагревом образец АС охлаждается до температуры ниже температуры фазового перехода. Изменение физико-технических свойств гранулированной АС при нагреве до различной конечной температуры и повторном нагревании приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2 — Изменение физико-технических свойств гранулированной АС при нагреве

№ п/п	Показатель	Значение показателя для АС при различной температуре нагрева				
		исходная АС	$T_k = 45^\circ$	$T_k = 60^\circ$	$T_k = 85^\circ$	Повторный нагрев*
1	Гранулометрический состав, содержание фракции, %:					
	менее 1 мм	4,8	6,2	5,9	12,3	10,1
	от 1 до 2 мм	2,0	37,1	39,6	55,6	49,3
	от 2 до 3 мм	67,9	48,3	47,4	32,1	-
	более 2 мм	7,3	8,4	7,1	-	-
2	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,95	0,91	0,91	0,77	0,75
3	Прочность, г/гранулу	750	520	500	300	350

Продолжение таблицы 3.2

4	Остаток ДТ в образце АС, % от смеси**: через 0,5 час через 6 час.	4,0	6,3	6,3	11,5	11,1
		2,8	5,4	5,2	9,2	10,9

*Примечание:*

\* Для повторного нагрева использовались образцы после однократного нагрева до температуры 45—50°C и охлаждения до комнатной температуры. Интервал между циклами – около 1ч.

\*\* определение по методу делительной воронки

Двукратный нагрев высокоплотной АС приводит к увеличению удерживающей способности полученного продукта по отношению к ДТ до уровня более 6%, что обеспечит получение стабильных смесевых ВВ стехиометрического состава. Целесообразность реализации такого технологического процесса на практике подлежит технико-экономической оценке с учетом усложнения технологического оборудования и возрастанием затрат энергии на термообработку АС.

Полученные при выполнении диссертации результаты показали, что при оценке влияния кондиционирующих добавок необходимо учитывать их химический состав, в частности, содержание ионов кальция, магния, железа, сульфата и др.

**Выводы:** исследованиями, проведенными в лабораторных условиях и в условиях действующих горных предприятий Монголии, установлено, что температурные границы существования и переходов модификационных форм в кристаллической структуре аммиачной селитры в реальных условиях горных предприятий отличаются от стандартных в силу зависимостей от большого числа факторов: наличие и состав примесей, влажность, сезонность, сроки и условия хранения. Тем самым доказано второе научное положение.

## **4 ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МОНГОЛИИ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫМИ ВВ**

### **4.1 Основные причины активизации процессов самовозгорания углей при взрывной подготовке угольных массивов к выемке**

Самовозгорание угля [80 — 83] (эндогенный пожар) — это физико-электрохимический процесс, приводящий к возгоранию скоплений угля и углесодержащих пород вследствие того, что выделение тепла превышает теплоотдачу в окружающую среду. Соответственно, эндогенная пожароопасность — это совокупность природных свойств угля и углистых пород, геологических и горнотехнических условий, а также климатических факторов, которые обуславливают потенциальную возможность возникновения эндогенных пожаров по истечении инкубационного периода ( $T_{инк}$ ).

Потенциально пожароопасные участки — это технологические объекты по добыче и хранению угля, которые характеризуются наиболее благоприятными условиями для протекания процессов самонагревания, самовозгорания, возгорания от внешних тепловых источников и распространения открытых очагов пожаров.

В общей схеме добычных работ такими объектами являются:

- кровля вскрытого пласта, нарушенная при взрывании пород вскрыши и некачественно зачищенная от разрыхленного угля;
- верхняя бровка угольного уступа, неудовлетворительно зачищенная при превышении высоты уступа над высотой черпания экскаватора;
- откос угольного уступа; при некачественной оборке угля, на оползневых участках, в районе геологических нарушений;

- целики угля на контакте с породами внутренних отвалов при бестранспортной вскрыше;

- угольные и смешанные уступы, оставляемые на длительную консервацию;

- осыпи (породно-угольные скопления, прилегающие к откосу уступа), образующиеся при послойной разработке пластов большой мощности без оставления транспортных берм между слоями, при некачественной зачистке элементов уступа и при выветривании породугольного массива под воздействием атмосферных факторов;

- навалы (породно-угольные скопления конусной или плоской формы с высотой более 2 м).

Возгорания и пожары на объектах добычи и переработки угля приводят к существенному повышению опасности горных работ и негативному воздействию на окружающую среду, в частности, увеличению загрязнения атмосферы разрезов и близлежащих территорий и жилых посёлков. Источниками опасности и загрязнений являются продукты горения, среди которых могут быть не только механические взвеси (сажа), но и отравляющие и токсичные вещества (окись углерода, сернистый газ, углеводороды различного строения, включая соединения с бензольными образованиями, и др.). Возгорание угля и возникновение очагов пожара приводит к резкому изменению режима работы объекта по условиям безопасности по целому ряду параметров, к числу которых относятся: утрата угля, возможность распространения пожара на оборудование и технику, воздействие на экологическую обстановку и т.д. В итоге это обуславливает дополнительные материально-технические и трудовые затраты, связанные с тушением пожара и восстановлением нормальной работы объекта.

На практике часто встречаются такие случаи, когда часть объема, подготовленного к выемке блока, остается на долгое время неотработанной. Этим создаются благоприятные условия для самовозгорания, так как угольная масса, имеющая высокую активность окисления, под

взаимодействием многочисленных внешних и внутренних факторов – бурение, взрывание и т.д., и в связи с разрушением исходной структуры вещества вплоть до разрушения отдельных связей в молекулах, находится в состоянии выдержки в течение времени, превышающем  $T_{инк}$ .

Известно [84], что только рациональное проведение технологических и профилактических мероприятий по предупреждению самовозгорания угля в забоях и на добычных уступах приводит к существенному результату. Если проводить эти меры изолированно друг от друга, то не достичь желаемых результатов. Производительность предприятия и длина добычного фронта будут оказывать большое влияние на выбор сочетания технологических и профилактических мер в зависимости от продолжительности инкубационного периода ( $T_{инк}$ ). Продолжительность  $T_{инк}$  можно считать указателем момента возникновения пожара во взорванных массах с того времени, когда произведено взрывание.

Высоких результатов при отработке углей, склонных к самовозгоранию, можно достичь путем рационального определения объемов готовых к выемке запасов, которые зависят от изменения условий работы экскаваторов и инкубационного времени, а также выбора профилактических мер.

Известно, что склонность угля к самовозгоранию зависит от величины и активности его адсорбирующей поверхности, которая обусловлена первичными факторами генезиса: составом растительного материала, первоначальными условиями накопления и разложения материнского вещества и характером метаморфизма [85]. Эти параметры являются характеристикой угля данного месторождения и в процессе добычных работ не изменяются. Изменяющимися при разработке данного месторождения являются климатические условия и их вариации в различные времена года, но в большей степени — способы и режимы ведения горных работ, включая буровзрывные (БВР).

В реальных условиях ведения взрывных работ состав продуктов взрыва становится более разнообразным. В частности, окислы азота могут быть представлены во всех возможных формах с различной степенью восстановления азота от значения +5 до нулевого, соответствующего нейтральному и наиболее устойчивому состоянию азота  $N_2$ . При этом важно отметить, что все продукты неполного превращения, такие как окислы азота, отличаются высокой химической активностью и при контакте с окружающей средой вступают в химические реакции [86, 87] с преобразованием одного состояния в другое. Например, при взрывании в лабораторных условиях в вакуумированном сосуде (бомбе Бихеля) [88] образуется бесцветная моноокись азота (NO), которая при контакте с воздухом переходит в окрашенные окислы: азотистый ангидрид, двуокись азота, четырехокись азота ( $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$ ). В шахтных условиях образуются одновременно и примерно в равных количествах  $NO_2$  и NO. Последняя в течение довольно долгого времени может сохраняться в разрыхленной породе и постепенно переходит в двуокись. Двуокись азота легко растворяется в воде с образованием соответствующей (азотистой) кислоты. Эти соединения, химически более активные, по сравнению с кислородом воздуха, могут вступать во взаимодействие с породой, в частности, с углем, находящимся в активированном состоянии, с уменьшением  $T_{инк}$  и увеличением вероятности возгорания. К подобному результату приводит и наличие в составе продуктов взрыва продуктов неполного окисления горючих добавок или тринитротолуола (ТНТ), которые также обладают повышенной химической активностью [89].

Таким образом, одной из причин образования токсичных газов – окиси углерода и окислов азота – является избыток или недостаток кислорода в составе ВВ. Однако и ВВ с близким к нулевому кислородному балансу образуют при взрыве некоторое количество ядовитых газов. Так, хорошо изготовленный аммонит 6ЖВ в патронах диаметром от 32 до 36 мм образует при взрыве около 30 л/кг окиси углерода и до 5 л/кг окислов азота. Наличие

этих газов в продуктах взрыва ВВ с нулевым кислородным балансом является следствием того, что окислы азота, первоначально образовавшиеся при взрывном разложении селитры, и окись углерода, образовавшаяся при разложении тротила и других нитросоединений, при быстром охлаждении продуктов взрыва не успевают полностью прореагировать между собой с образованием нетоксичной двуокиси углерода. Часть их остается в первоначальном виде. Процесс образования продуктов неполного превращения ВВ по описанному механизму становится более интенсивным при уменьшении однородности смеси, в частности, в смесях АС+ ТНТ при увеличении размера частиц АС и ТНТ, т.е. при переходе от тонкодисперсных систем к грубодисперсным.

Описанный механизм образования ядовитых газов позволяет объяснить зависимость этого процесса от качества изготовления смесового ВВ, диаметра патронов, величины инициирующего импульса, дисперсности ВВ и других факторов, влияющих на полноту химических реакций при взрыве, а также зависимость образования продуктов взрыва от свойств взрывааемых горных пород. Так, по данным Б.Я. Светлова [90], в лабораторных условиях крупнодисперсный аммонит 6ЖВ (размер частиц от 0,2 до 0,5 мм) образовывал почти в пять раз больше окислов азота, чем тонкодисперсный (размер частиц менее 0,2 мм). Им же установлено, что некоторые вещества способны снижать образование ядовитых газов при взрыве ВВ, каталитически воздействуя на вторичные реакции в продуктах взрыва с участием окислов азота. Свойства горных пород также могут влиять на конечный состав продуктов взрыва в результате химического воздействия вещества породы на продукты реакции, связывания или растворения их (грунтовыми водами), физического воздействия на процесс охлаждения газов, закалку и установление ложного равновесия в охлажденных газах. В этой связи Б.Д. Росси [91] предложил классифицировать горные породы по признаку их влияния на образование ядовитых газов при взрыве ВВ. К группе I отнесены апатиты, нефелины, калийные руды, молибденовые руды,

некоторые медные и полиметаллические руды, при взрывании которых аммонитом бЖВ количество ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода (для окислов азота переводной коэффициент равен 6,5) составляет менее 40 л на 1 кг ВВ. К группе II отнесены угли и вмещающие породы, свинцово-цинковые, мартитовые железные и золотоносные руды, в которых аммонит бЖВ образует при взрыве от 40 до 100 л/кг ядовитых газов. К группе III отнесены джеспилитовые железные руды, в которых образуется более 100 л/кг ядовитых газов. Можно предположить, что породы, характерные для угольных месторождений, особенно сами угли, склонные к возгоранию, будут еще более «активными» по способности к взаимодействию с продуктами взрыва.

В связи с сильным влиянием свойств горных пород на образование ядовитых газов при взрывах нет единой нормы по этому показателю для различных ВВ, но соблюдается правило, что в одинаковых условиях взрывания каждое новое ВВ, предназначенное для работ на угольных месторождениях, должно выделять при взрыве ядовитых газов в расчете на один килограмм не больше, чем аммонит бЖВ, принимаемый за эталон.

Результаты наблюдений и исследований в различные периоды отработки угольных месторождений, в том числе на разрезе Шарыngoл (Монголия), показывают, что самое активное место для возникновения очагов пожаров – взорванные массы в блоках угольного уступа с применением БВР (рис. 4.1).

В реальных условиях это проявляется в том, что при рыхлении пород взрывом наблюдается уменьшение времени инкубационного периода ( $T_{инк}$ ), по сравнению с таковым для разработки данного месторождения (угля) без использования БВР.



Рисунок 4.1 – Горение углей после взрывных работ на разрезе Шарыngoл

#### **4.2 Обоснование влияния продуктов взрыва несбалансированных ВВ на длительность инкубационного периода**

Основным фактором, влияющим на безопасность добычи угля, является длительность инкубационного периода. Если пласт угля расположен в непосредственной близости к месту взрыва (скважине), то инкубационный период существенно сокращается. Это происходит потому, что при взрыве выделяются такие газы, как  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ .

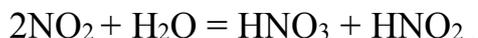
Эти газы легко вступают в химическую реакцию с кислородом воздуха, образуя при этом более активные соединения, которые при контакте с адсорбирующей поверхностью угля, образуют очень сильные окислители, которые резко повышают температуру поверхности угля, тем самым уменьшая время воспламенения. Помимо этого, после взрыва увеличивается концентрация кислорода над углем. Окись азота вступает в связь с кислородом и образует двуокись



Ситуация осложняется тем, что при воздействии взрыва на разрушаемую породу происходит вытеснение (выдавливание) воды, которая

в свою очередь тоже вступает в реакцию с продуктами взрыва, образуя очень сильные окислители на поверхности угля.

Двуокись азота вступает в реакцию с водой, выбитую взрывом из микротрещин и пор, образуя азотную и азотистую кислоты:



Имея на своей поверхности такие кислотные образования, как азотная  $\text{HNO}_3$  и азотистая  $\text{HNO}_2$  кислоты, температура угля резко возрастает до критической. Вступая в реакцию с углем, азотная кислота окисляет его с выделением теплоты.



В такой ситуации количество теплоты, требуемое для воспламенения, уменьшается, соответственно  $T_{\text{инк}}$  уменьшается.

В итоге: количество тепла, требующееся для разогрева пласта угля до критической температуры воспламенения, уменьшается.

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

$$Q_1 = C_y (T_{\text{кр}} - T) , \quad (4.1)$$

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.

Слагаемое  $Q_1$  уменьшается за счет скобки, так как возрастает начальная температура  $T$ , а также за счет уменьшения теплоемкости  $C_y$  скопления угля. Одновременно с этим теплопроводность верхнего слоя угля уменьшается, что связано с увеличением трещиноватости после взрыва (образование новых трещин увеличивает объем газовой фазы, что приводит к снижению теплопроводности).

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:

$$T_{\text{инк}} = Q_1 / V, \quad (4.2)$$

где  $V$  – изменение скорости сорбции угля при взрыве.

Выражение (4.2) можно преобразовать в следующем виде:

$$T_{\text{инк}} = Q_1 / K( q + Q_2 + Q_3 ), \quad (4.3)$$

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.

Суммарная константа скорости сорбции окислов в воздухе после взрыва:

$$k = \sum_1^n K_i, \text{ м}^3/(\text{кг}\cdot\text{с}),$$

где  $n$ -число.

При этом

$$K_i = \frac{V}{mt} \sum \ln \frac{C_{ki}}{C_{oi}},$$

где  $K_i$ – константа скорости сорбции  $i$ -го окисла углем;

$V$  – объем воздуха,  $\text{м}^3$ ;

$m$  – масса пласта угля, кг;

$t$  – время контакта воздуха с углем, сут;

$C_{ki}$  – конечная концентрация  $i$ -того окисла в воздухе;

$C_{oi}$  – начальная концентрация  $i$ -того окисла в воздухе.

Константа скорости сорбции увеличивается, так как существенно растет концентрация агрессивных газов (вместо одного кислорода воздуха появляются окислы азота и углерода; помимо этого, повышается концентрация самого кислорода). Количество теплоты, выбрасываемое взрывом в атмосферу, значительно повышает температуру воздуха над углем. Коэффициент химической активности кислорода существенно повышается с ростом температуры — увеличение скорости химических реакций происходит в 2-4 раза при увеличении температуры на каждые 10 градусов.

Количество тепла ( $Q_2$ ), концентрирующееся на поверхности угля в условиях повышенной влажности,

$$Q_2 = r \cdot W, \quad (4.4)$$

где  $r$  – изменение количества тепла, скапливающегося на поверхности угля;

$W$  – влажность угля.

В результате взрыва из микропор угля на адсорбирующую поверхность им выбивается вода, которая играет значительную роль в процессе окисления. Влажный уголь сорбирует кислород гораздо больше, чем сухой. Более того, при испарении воды из угля обедненный окислами воздух выходит из микротрещин, а на его место приходит свежий воздух, насыщенный кислородом и окислами.

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 диффундирует 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

$$Q_3 = q_m \cdot X_m \cdot N, \quad (4.5)$$

где  $N$  – количество пор и микротрещин в скоплении угля;

$q_m$  – удельная теплота десорбции метана, Дж/кг;

$X_m$  – природная метаноносность, м<sup>3</sup>/кг.

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

$$T_{инк} = \frac{C_y (T_{кр} - T)}{K(q + rW + q_m X_m N)}, \quad (4.6)$$

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 (4.6) подтверждает эту зависимость. Параметры, входящие в числитель, при взрыве уменьшаются, а входящие в знаменатель, наоборот, увеличиваются. То есть  $T_{инк}$  в результате воздействия взрыва несбалансированных ВВ уменьшается по сравнению с инкубационным периодом в отсутствие взрывных работ.

### 4.3 Анализ влияния природных и техногенных факторов на самовозгорание угля на разрезах Монголии

Угли из различных месторождений Монголии при разработке проектов их освоения, а также в процессе эксплуатации подвергнуты систематическому анализу с точки зрения их опасности по склонности к возгоранию [92—93].

Классификация некоторых месторождений угля Монголии по степени опасности самовозгорания представлена в табл. 4.1.

Таблица 4.1 — Классификация месторождений угля Монголии по степени опасности самовозгорания

Угольные месторождения Монголии	Группы опасности
Шарынгольское	Опасное
Баянтэгское	Мало опасное
Баганурское	Опасное
Тавантайгольское	Умеренно опасное
Талбулагское	Опасное

Из данных табл. 4.1. следует, что Шарынгольское и Баганурское месторождения относятся к опасным по показателю активности самовозгорания, а Тавантайгольское и Баянтэгское относятся к умеренно опасным месторождениям.

На практике степень опасности угля по возгоранию оценивается по длительности инкубационного периода. Для угля Шарынгольского разреза инкубационный период, по данным наблюдений технических служб разреза, составляет 1—2 месяца, а зачастую меньше 2—3 недель. Именно такие

колебания и аномалии позволяют производить оценку влияния различных факторов на возгорание угля и возникновение аварийных ситуаций с эндогенными пожарами. В соответствии с профессиональной деятельностью автора настоящей работы, как исполнителя и руководителя буровзрывных работ (БВР) на угольных разрезах, исследования по изучению причин самовозгорания углей и влияние на этот процесс БВР выполнялись постоянно, начиная с конца 60-х годов XX столетия.

Многолетними исследованиями [94—96] были установлены зависимости влияния природных и техногенных факторов на активность по степени самовозгорания углей Шарынгольского и Баганурского месторождений. Влияние времени года на самовозгораемость углей на угольных разрезах Шарынгольского и Баганурского месторождений при различных технологиях ведения горных и взрывных работ в период 1995—2005 гг. показано на рис. 4.2, 4.3.

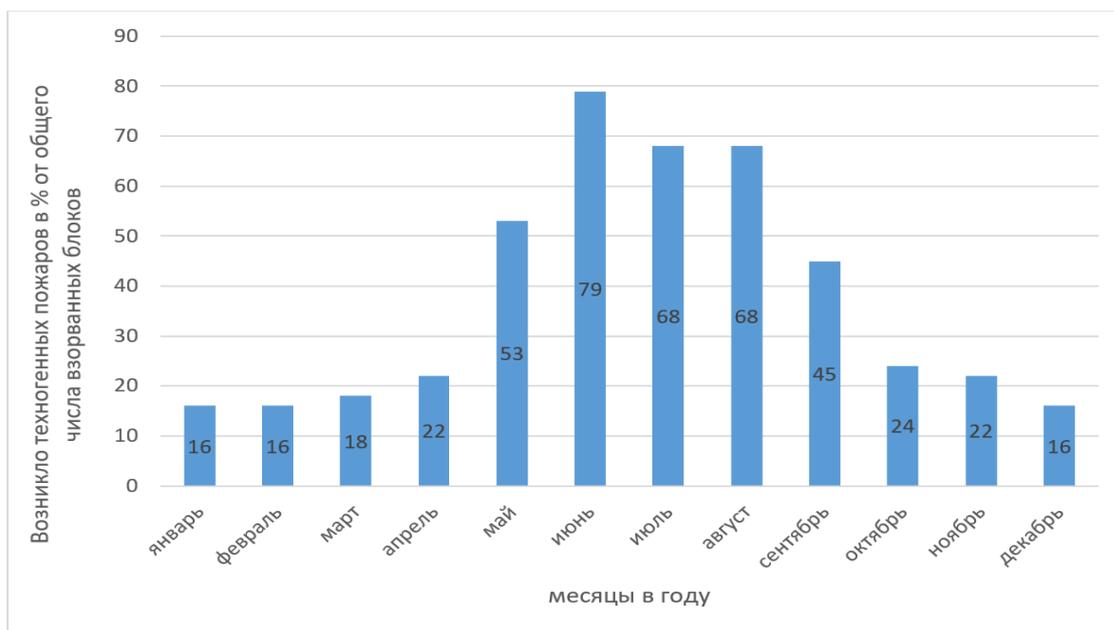


Рисунок 4.2 — Распределение взорванных угольных блоках с признаками самовозгорания в зависимости от времени года на Шарынгольском месторождении

Анализ данных, представленных на рис. 4.2 и 4.3 свидетельствуют о наибольшей вероятности возникновения пожаров на угольных разрезах

Шарынгольского и Баганурского месторождений в весенне-летний период года.

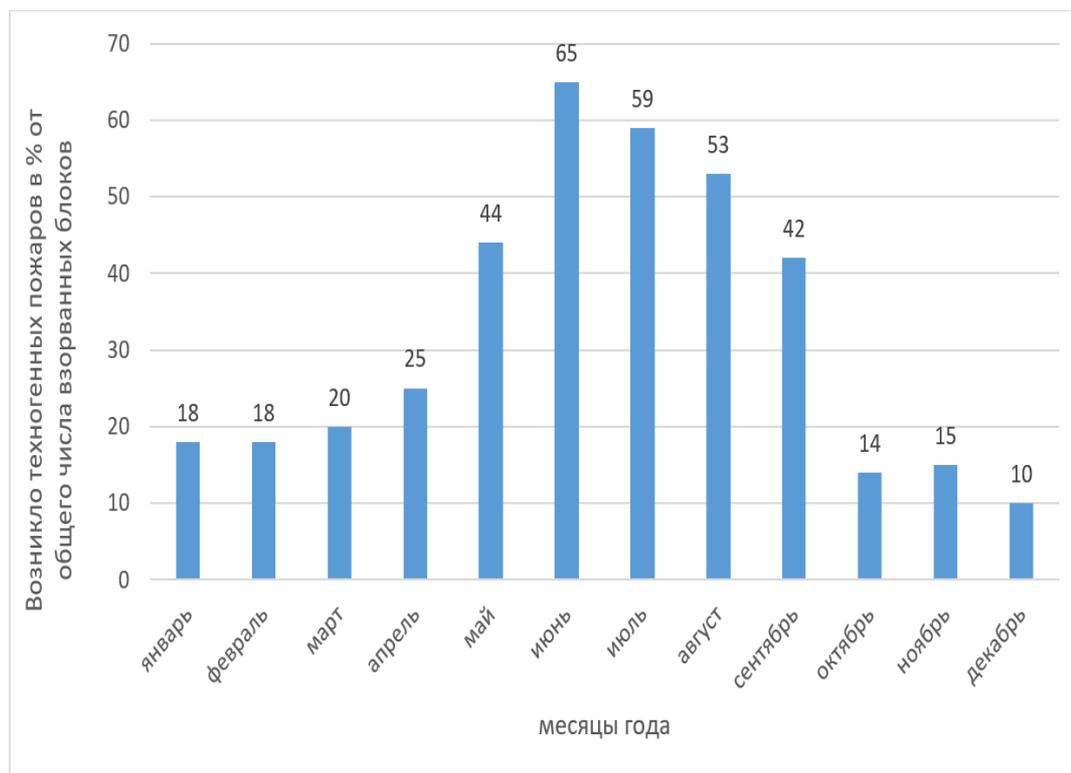


Рисунок 4.3 — Распределение взорванных угольных блоках с признаками самовозгорания в зависимости от времени года на Баганурском месторождении

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 2—3 недель. Такой разброс объясняется генезисом месторождения и воздействием взрывчатых веществ на разрыхленные массы угля. Для выявления влияния взрывных работ на самовозгорание угольных масс нами были проведены специальные многолетние исследования.

#### 4.4 Влияние взрывных работ и различных типов ВВ на самовозгорание угольных масс

На угольном разрезе Шарыngoл, проектом (1972—1979гг.) было предусмотрено применение ВВ — Аммонит 6ЖВ, как в патронированном, так и в рассыпном виде в скважинах диаметром 150—160 мм в целом по разрезу и 200—213 мм на вскрышных работах. Такая ситуация сохранялась до начала 80-х годов. Например, в 1973 г. на разрезе было подготовлено к выемке с использованием БВР около 2,2 млн м<sup>3</sup> (не менее 50% от общего объема) вскрышных пород и около 300 тыс. т угля (26%) с удельным расходом ВВ (аммонит 6ЖВ) по углю - 0.3—0.45 кг/м<sup>3</sup>.

Естественно, что комплекс работ по совершенствованию БВР в названный период времени соответствовал существующему на тот момент уровню развития технологий и горной техники. При этом случаи возгорания угля носили незначительный, случайный характер.

Более значимыми и в последующем реализованными в Монголии явились результаты по экспериментальной проверке эффективности применения на угольных разрезах, гранулированных тротилсодержащих ВВ (ГТВВ) заводского изготовления. Применяемый ассортимент ВВ включал гранулотол и граммониты с различным содержанием тротила. Отличительной особенностью этих составов является отрицательный кислородный баланс с выделением при взрыве окислов углерода. Преимущества ГТВВ, по сравнению с порошкообразным аммонитом 6ЖВ, определяются возможностью увеличения плотности насыпного заряда в скважине с 0,7 — 0,8 г/см<sup>3</sup> для аммонита практически до 0,9—1,0 г/см<sup>3</sup> для ГТВВ с соответствующим увеличением количества ВВ и запаса энергии на единицу длины скважины. Итогом выполненной замены ВВ является расширение сетки скважин, уменьшение затрат на приобретение ВВ и, что не менее важно, обеспечение возможности применения средств механизированной переработки и заряжания ВВ. Однако применение ВВ

этого типа привело к многочисленным случаям самовозгорания угля после взрыва.

На первичных этапах перехода на ГВВ вопрос влияния типа ВВ на воспламеняемость углей, склонных к возгоранию, не рассматривался, но он проявился в последующие периоды.

Систематические наблюдения за возникновением эндогенных пожаров в период перехода на гранулированные ВВ и вплоть до конца 1990-х годов показали, что углистые аргиллиты и сланцы в нижних горизонтах (в среднем 2.4 млн м<sup>3</sup> очень активные к самовозгоранию после рыхления взрывом.

По внешним признакам это проявляется в том, что инкубационный период самовозгорания сокращается по сравнению с потенциально возможным в «нормальных» условиях в несколько раз, вплоть 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.

Следует особо выделить, что в этот период на разрезах Монголии были начаты работы по экспериментальной оценке возможности применения смесевых ВВ на основе аммиачной селитры (АС) и дизельного топлива (ДТ). Смеси типа АСДТ или "ИГДАНИТ" изготавливаются непосредственно на горных предприятиях. Однако при этом следует особо отметить, что использование ВВ новых разновидностей, особенно в виде грубодисперсных смесей на основе АС в гранулированном состоянии может и должно осуществляться только с учетом специфики разрабатываемого угля, обладающего повышенной склонностью к самовозгоранию и опасности возникновения эндогенных пожаров. Смеси типа АСДТ существенно дешевле гранулированных тротилсодержащих ВВ, но их изготовление из аммиачной селитры с деградацией гранул приводит к созданию

разбалансированной по кислородному балансу системе и выделению при взрыве большого количества окислов азота. Массовое применение смесей типа АСДТ в 2005—2015 гг. привело к многочисленным случаям самовозгорания угля и техногенным пожарам с повышенной опасностью отработки угольных месторождений.

Обобщенные статистические данные о доле возникших эндогенных пожаров на разрезах Шарынгол и Баганур в период 2005-2015 гг. с учетом применяемого ассортимента ВВ представлены на рис. 4.4, рис. 4.5.

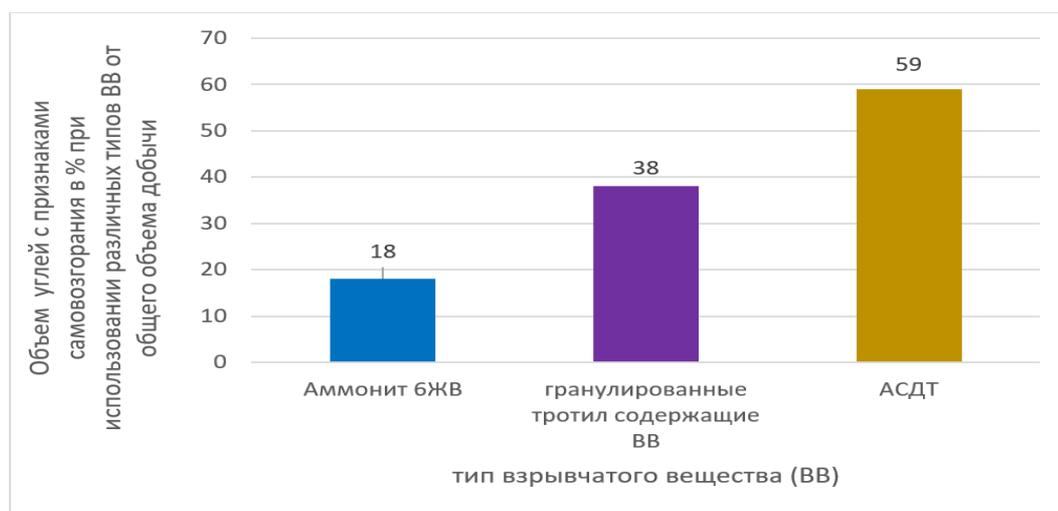


Рисунок 4.4 — Доля углей с признаками самовозгорания при использовании различных типов ВВ на разрезе Шарынгол

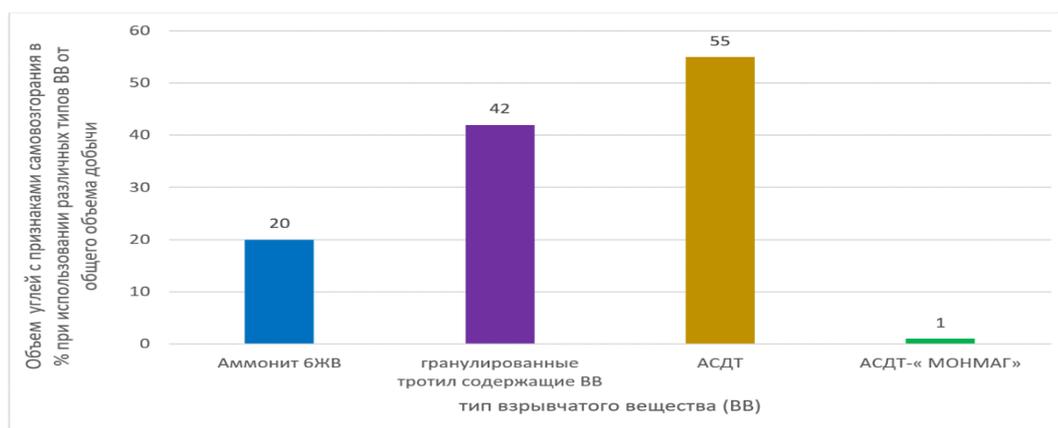


Рисунок 4.5 — Доля углей с признаками самовозгорания при использовании различных типов ВВ на разрезе Баганур

Исследования, проведенные автором [97—98], 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 (Глава 5). Данная технология была успешно внедрена на разрезе Баганур в 2011 г. Результаты внедрения показаны на рис. 4.6. Для сравнения, на рис. 4.7 показаны объемы горевших углей по годам с использованием смесей типа АСДТ на угольном разрезе Шарыngoл, где не используется новая технология изготовления ВВ.

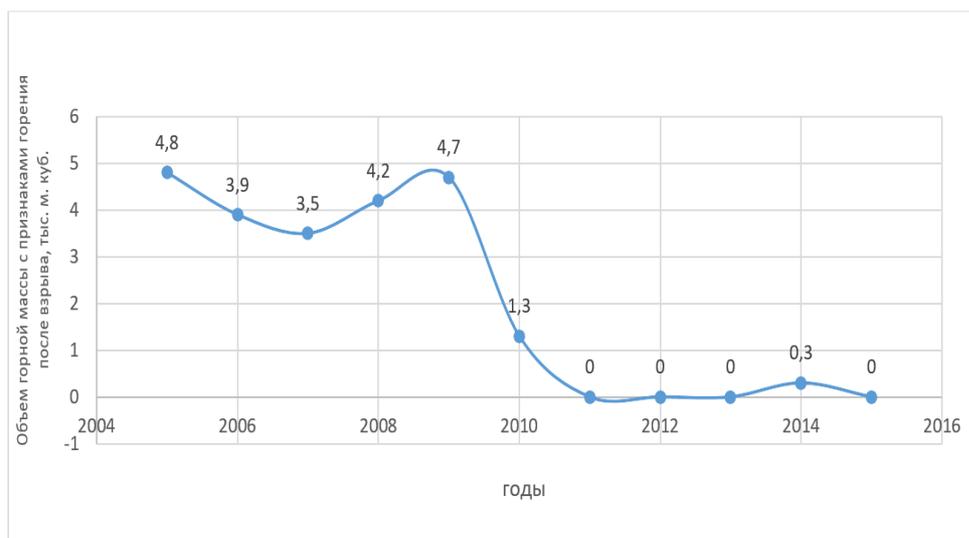


Рисунок 4.6 — Объем горевшей горной массы после взрыва на разрезе Баганур в период 2005-2015 гг.

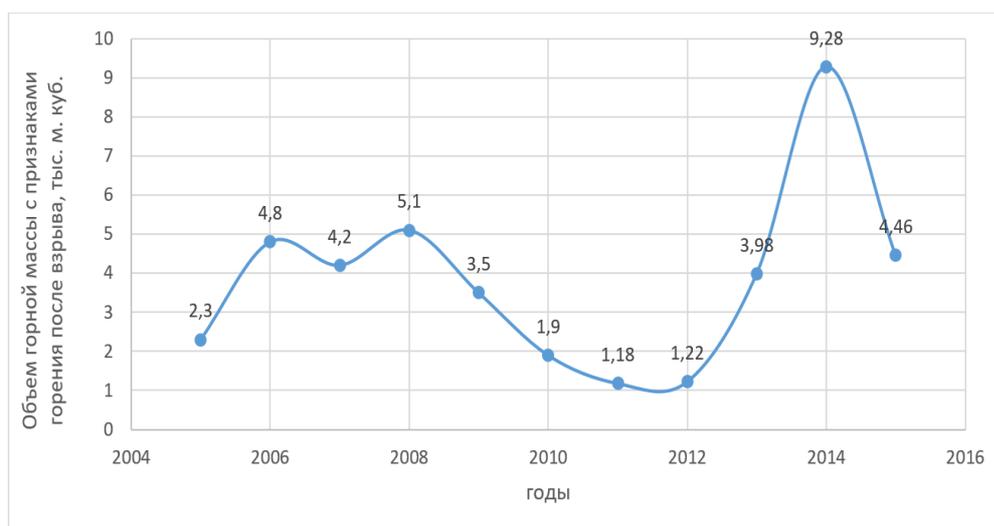


Рисунок 4.7 — Объем горевшей горной массы после взрыва на разрезе Шарыngoл в период 2005—2015 гг.

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.

Для проверки влияния качества смесей АСДТ по технологии «Монмаг» на возгораемость углей были проведены замеры скорости детонации зарядов ВВ, изготовленных по разработанной технологии. Результаты замеров приведены на рис. 4.8, 4.9.

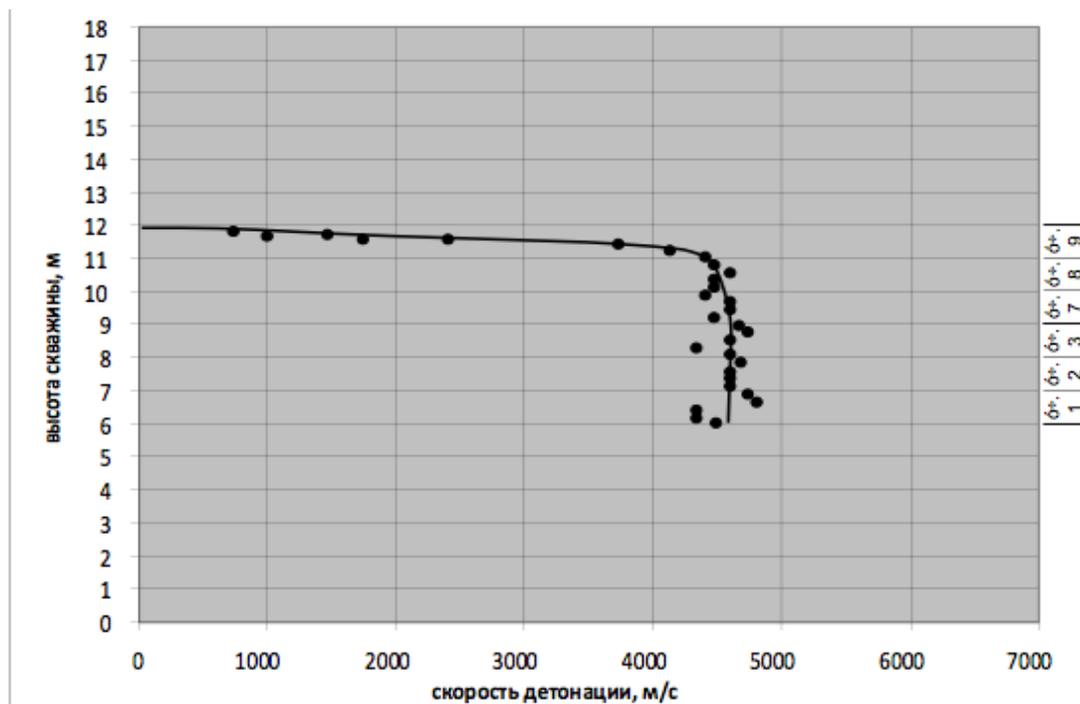


Рисунок 4.8 — Пример записи скорости детонации заряда смешанного ВВ, изготовленного по технологии «Монмаг», на угольном разрезе Баганур. Промежуточный детонатор массой 0,5 кг, расположен в средней части заряда

Анализ рис. 4.8 показывает, что при взрыве зарядов смешанных ВВ, изготовленных по технологии «Монмаг», сохраняется устойчивый режим

детонации по всей длине заряда (замер скорости производился от места расположения промежуточного детонатора до верхней части заряда).

Продукты детонации зарядов ВВ, изготовленных по технологии «Монмаг», показаны на рис. 4.9. Из рисунка видно, что окислы азота при взрыве практически не выделяются.



Рисунок 4.9 — Пример взрыва на угольном разрезе Баганур (окислы азота в продуктах детонации отсутствуют)

Проведенные исследования позволили определить условия и основные причины самовозгорания улей на угольных разрезах Монголии. Полученные результаты позволили разработать взрывчатые составы, основанные на модифицированной аммиачной селитре, и практически исключить самовоспламеняемость углей на угольном разрезе Баганур.

**Выводы:** 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. Тем самым доказано третье научное положение.

## **5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СБАЛАНСИРОВАННЫХ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВВ ТИПА СМЕСЕЙ АСДТ ПО ТЕХНОЛОГИИ «МОНМАГ»**

### **5.1 Особенности изготовления смесевых ВВ в условиях Монголии**

Проведенные исследования позволили оценить изменения качества аммиачной селитры, используемой для производства ВВ типа смесей АСДТ, в процессе хранения и транспортирования. Модификационные изменения, слеживаемость и окомкование, происходящие с селитрой, повышают опасность в обращении и требуют создания новой технологии производства сбалансированных аммиачно-селитренных ВВ типа смесей АСДТ в условиях горных предприятий Монголии.

Для обеспечения высококачественными сбалансированными взрывчатыми веществами горных предприятий Монголии были разработаны технологические схемы и создано производство взрывчатых смесей типа АСДТ по технологии «Монмаг» [99—102].

Изготовление взрывчатых веществ в виде смесей аммиачной селитры и горючих добавок по технологии «Монмаг» для взрывания массивов углей осуществляется в строгом соответствии с требованиями технологического регламента и с обеспечением заданного соотношения компонентов. Процесс изготовления ВВ включает в себя обязательные операции рыхления (восстановления сыпучести) АС, сепарации её от посторонних (не измельчаемых) примесей, усреднения массы АС по гранулометрическому составу, дозирование АС с помощью горизонтального шнека, дозированию жидкой горючей добавки (ЖГД) с помощью насоса-дозатора и твердых дисперсных добавок (ТДД) с помощью горизонтального шнека. Смешивание компонентов (АС, ЖГД, ТДД) осуществляется с использованием аппаратов интенсивного перемешивания, в качестве которых используются или одновинтовой шнек с большим углом наклона (не менее 55°) или специальный двухвальный шнековый смеситель, или смеситель барабанного

типа. При необходимости производится предварительная подготовка АС путем термической обработки — «поризации» с последующим усреднением композиции АС (гранулы + возможные мелкие частицы). При использовании в составе ВВ дополнительных горючих (стабилизирующих) добавок (ТДД) процесс совмещения и смешивания компонентов осуществляется с соблюдением порядка ввода компонентов: вначале на поток или слой АС подается ЖГЛ в дисперсно-капельном состоянии, получаемом с помощью нагнетательных форсунок, а затем ТДД, которая в таком режиме приобретает эффект «опудривания» омасленных частиц-гранул АС и удаления с поверхности гранул возможного слоя масла («омасливания»), оказывающего флегматизирующее действие.

## **5.2 Создание универсального комплекса оборудования для изготовления сыпучих сбалансированных взрывчатых смесей на основе гранулированной АС**

Для отработки технологических режимов и выпуска продукции в промышленных объемах создан универсальный комплекс оборудования для изготовления сыпучих взрывчатых смесей на основе гранулированной АС различных марок и различных горючих добавок как в виде индивидуальных веществ (жидких нефтепродуктов), так и в виде композиций нескольких веществ. Комплекс оборудования размещен в строительных сооружениях типового пункта расстраивания ВВ. Схема комплекса с указанием позиций оборудования и некоторых размеров приведена на рис. 5.1; 5. 2.

Из состава оборудования пункта растаривания в комплексе использованы ленточный транспортер, смонтированный в наклонной галерее, и бункер для готового ВВ с двумя выпускными горловинами с секторными затворами.

Основу технологического оборудования изготовления ВВ составляет измельчитель-смеситель ИСИ-2 и шнек ТШ-1.

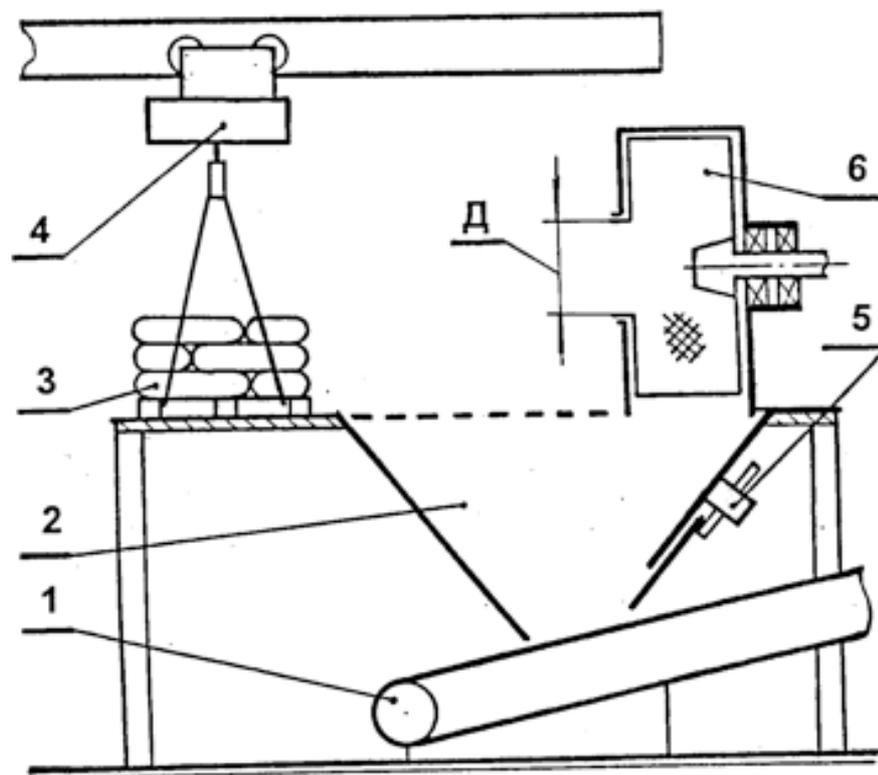


Рисунок 5.1 — Схема размещения оборудования для растаривания аммиачной селитры:

1—транспортёр ленточный, 2—бункер с приемной решеткой, 3—аммиачная селитра в мешках на поддоне, 4—электротальфер, 5—заслонка регулирования величины потока селитры на ленте, 6—барабанный аппарат рыхления и сепарации

Все другие агрегаты и элементы комплекса разработаны и введены в состав комплекса с учетом конкретных условий размещения оборудования, где основная часть межоперационного перемещения обрабатываемой АС осуществляется самотеком. Особенность разработанного комплекса заключается в необходимости переработки АС различных марок и производителей с длительным сроком хранения и слежавшейся практически до монолитного состояния в пределах упаковочной единицы.

Исходная АС, поступающая в производство в мешках, укладывается на поддоны по 20 мешков. Поддоны доставляются в помещение растаривания автопогрузчиком, на месте обработки поддоны с помощью электротали поднимаются на рабочую площадку приемного бункера с крупноячеистой

решеткой. АС из мешков растаривается на решетку и просыпается в бункер, откуда ленточным транспортером передается на переработку в здание подготовки и смешения компонентов. Для разрушения крупных кусков АС на операции растаривания используется агрегат, представляющий собой барабан с перфорированной боковой поверхностью, вращающийся вокруг горизонтальной оси (поз. 6 на рис. 5.1). Загрузка кусков АС в агрегат осуществляется через горловину в днище барабана, через эту же горловину производится очистка барабана от неизмельчаемых примесей и остатков упаковки. Диаметр (Д) загрузочной горловины превышает размер мешка с АС и позволяет загружать на рыхление мешок целиком.

Набор оборудования в помещении окончательной подготовки АС, дозирования компонентов и приготовления конечного продукта—ВВ подобран таким образом, чтобы обеспечить работу комплекса в нескольких режимах в зависимости от качества (марки) исходной АС. Выбор режима обработки АС осуществляется с помощью переключателей потоков (поз. I, II, III на рис. 5.2).

Принципиально новым в составе оборудования подготовки АС является аппарат термообработки (поз. 4 на рис. 5.2). В представленном комплексе аппарат термообработки АС обогревается жидким теплоносителем, подготовка которого осуществляется с помощью индивидуального источника – электрического котла, а схема монтажа системы теплоснабжения выполнена таким образом, чтобы обеспечить работу в неотапливаемом помещении без риска размораживания.

Другим существенным элементом комплекса оборудования, описания которого в российских общедоступных источниках отыскать не удалось, является система синхронной сбалансированной подачи окислителя — АС в виде целых и раздробленных гранул и горючего — ДТ или его смесей с растворенными или суспензированными добавками. Схема устройства приведена на рис. 5.3.

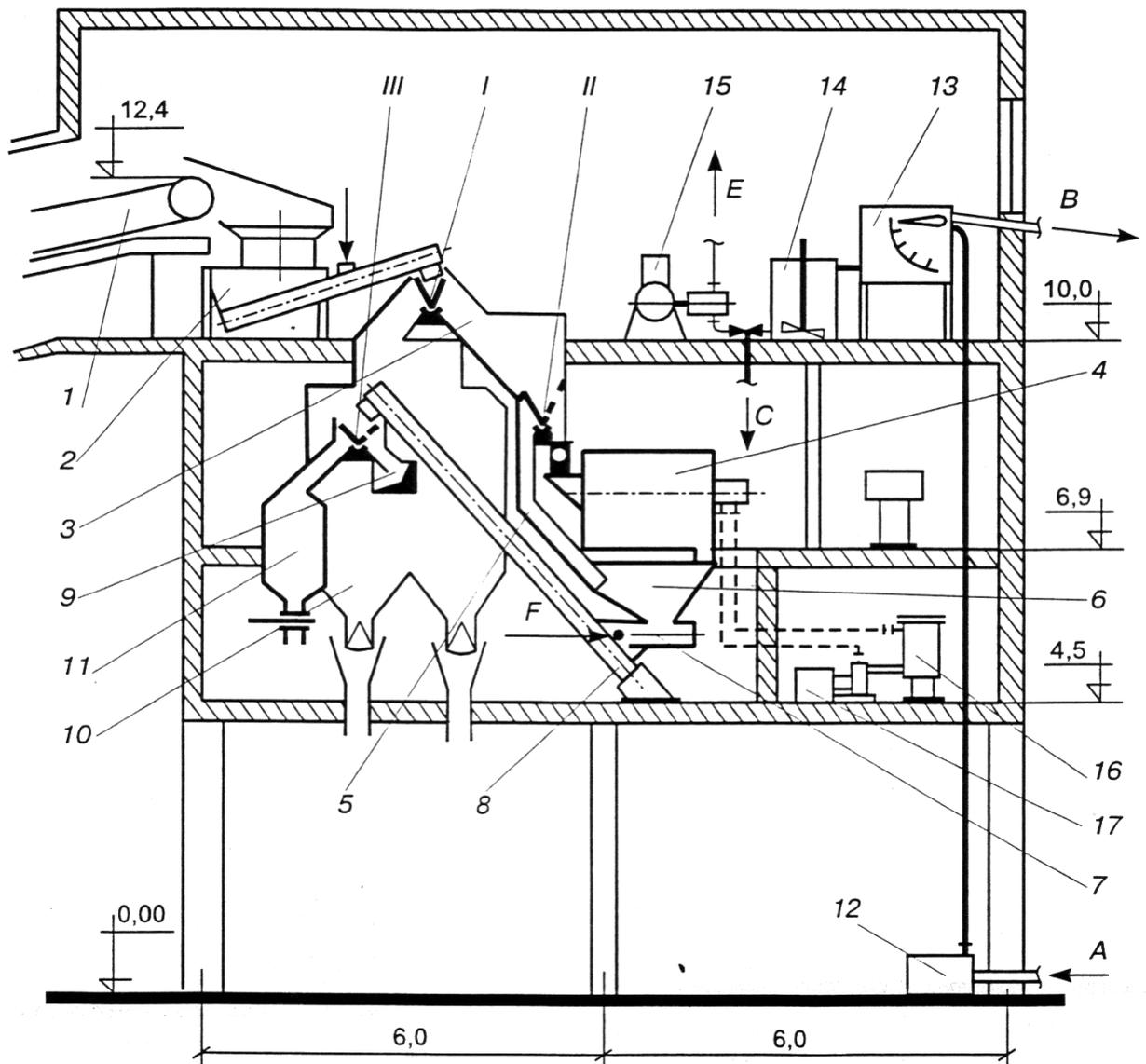


Рисунок 5.2 — Схема пункта приготовления смешанных ВВ на основе аммиачной селитры:

1 – транспортер ленточный; 2 – измельчитель-смеситель ИСИ-2; 3 – бункер-питатель АС; 4 – аппарат термообработки АС; 5 – массопровод обводной; 6 – бункер-накопитель подготовленной АС; 7 – питатель (дозатор) шнековый; 8 – шнек транспортно-смесительный; 9 – узел загрузки готового ВВ в бункер-накопитель; 10 – бункер-накопитель ВВ для бестарной отгрузки; 11 – установки затаривания ВВ в мешки с промежуточным бункером; 12 – насос подачи ДТ из емкости-хранилища; 13 – бак расходный ДТ и/или комбинированной горючей добавки; 14 – аппарат приготовления комбинированных горючих; 15 – насос-дозатор регулируемый; 16 – электродогреватель; 17 – насос циркуляции теплоносителя; I-III – распределители потоков АС и ВВ. Потоки ДТ: А – из хранилища, В – слив избытка, С – дозирование самотеком, Е – дозирование насосом, F – ввод в поток АС (форсунка). Цифры, разделенные точкой, – размеры и отметки высот в метрах. Глубина здания – 6 м

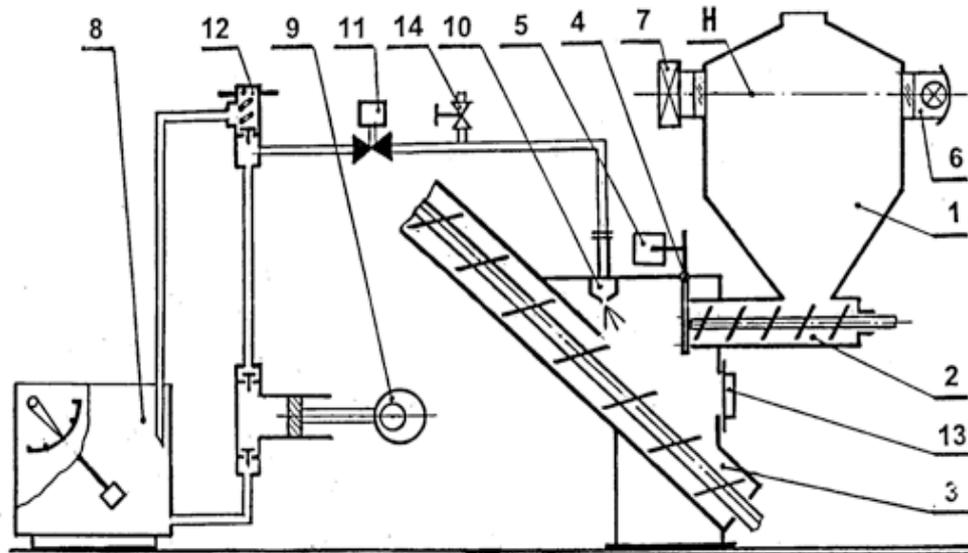


Рисунок 5.3 — Схема устройства синхронной регулируемой подачи сыпучего окислителя и жидкого горючего при изготовлении смесевых ВВ:

1-бункер накопитель подготовленного сыпучего окислителя, 2-питатель шнековый со ступенчатым регулированием производительности, 3-смеситель ВВ (шнек транспортно-смесительный ТШ-1), 4-датчик наличия потока окислителя (заслонка), 5-устройство электроконтактное, 6-источник света, 7-блок светоприемный, 8-бак горючей добавки, 9-насос-дозатор с плавной регулировкой производительности, 10-форсунка, 11-клапан электромагнитный, 12-клапан предохранительный регулируемый, 13-люк отбора проб окислителя, 14-кран отбора проб горючей добавки

Устройство, состоящее из питателя сыпучего компонента объемного типа (питатель шнековый), насоса с жесткой рабочей характеристикой и плавным регулированием производительности (плунжерный насос-дозатор типа НД), электромеханической системы блокировки одновременности работы питателя и насоса, а также смесителя непрерывного действия (шнек транспортно-смесительный) с целью обеспечения стабильности заданного соотношения компонентов, уменьшения зависимости названного соотношения от насыпной плотности сыпучего и реологических свойств жидкого компонента, уменьшения относительного времени переходных процессов, исключения отдельной подачи одного из компонентов, содержит

механизм ступенчатого регулирования производительности питателя сыпучего материала (ступенчатая гибкая передача или коробка переключения передач) и систему контроля и одновременного отключения обоих потоков при отсутствии или уменьшении нижезаданной величины одного из них.

С целью повышения надежности работы системы в условиях, приближенных к полевым, и в агрессивной среде устройства контроля и отключения потоков содержат простейшие механические подвижные элементы: заслонку на сыпучем материале, клапан на потоке жидкости и электроконтактные устройства — концевые выключатели в защищенном исполнении.

Важным элементом комплекса оборудования является аппарат для интенсивного перемешивания компонентов, в качестве которого использован шнек длиной 6 м (поз. 8 на рис. 5.2 и поз. 3 на рис. 5.3), расположенный под углом более  $45^\circ$  и работающий с неполной загрузкой. Величина загрузки шнека-смесителя задается питателем (поз.7 на рис.5.2 и поз.2 на рис. 5.3) и составляет не более 70% от расчетной. Другим элементом комплекса, позволяющим изготавливать качественные и стабильные во времени взрывчатые смеси типа АСДТ, является возможность применения комбинированных горючих в виде растворов загущающих или поверхностно-активных добавок в базовом нефтепродукте.

Изготовление смесевых ВВ типа АСДТ по разработанной технологии [103] позволяет получить гранулы аммиачной селитры с измененным характером пористости с наличием открытой трещиноватости и повышенной однородности распределения полостей, включая трещины по телу гранулы, а также с нарушением однородности поверхности гранулы и уменьшением насыпной плотности на 5 — 10% [35]. Вид гранул показан на рис. 5.4.

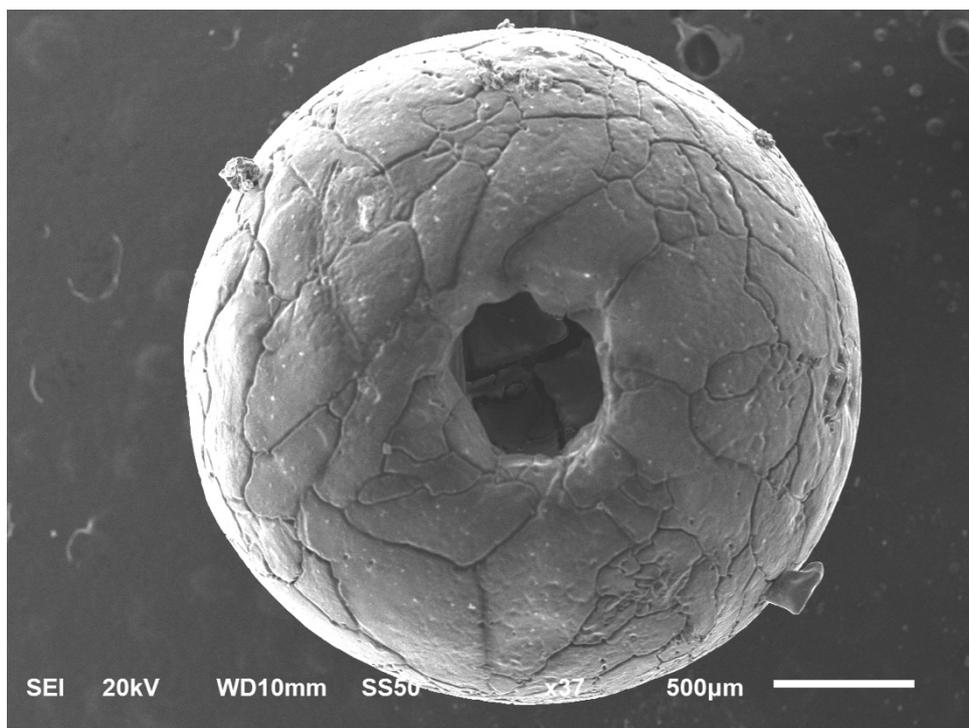


Рисунок 5.4 — Вид гранул аммиачной селитры (фото выполнено с использованием электронного микроскопа в ИПКОН РАН им. Н.В. Мельникова), полученной при использовании разработанной технологии изготовления смесевых ВВ типа АСДТ с предварительной термообработкой-поризацией

Для оценки качества получаемого смесевого ВВ типа АСДТ нами проведено определение эффективности (бризантности) получаемого ВВ при различном содержании горючего компонента в пределах от 2 до 10 %. Испытания проводились по стандартной методике с использованием свинцовых столбиков. Величина деформации столбиков характеризует бризантность (дробящее действие) взрыва. Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 5.5.

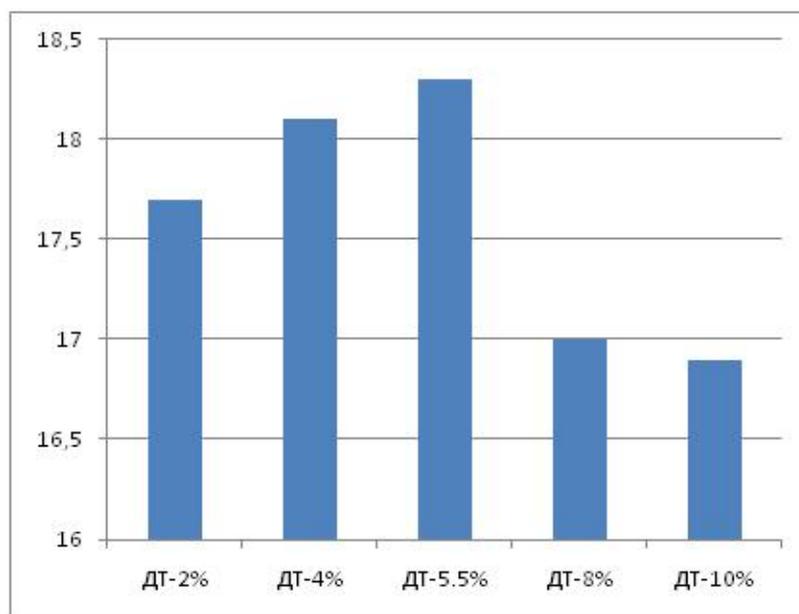


Рисунок 5.5 — Величина обжатия свинцового цилиндра (мм) для состава с различным содержанием ДТ

На рис. 5.5 показаны сравнительные испытания по обжатию свинцового цилиндра для смесевых ВВ с различным содержанием дизельного топлива. Видна четкая зависимость величины обжатия от количества горючего. Наибольшая величина обжатия наблюдается для оптимального состава (95 % —АС; 5.5 % —ДТ), сбалансированного по кислороду.

Изготавливаемые смеси успешно используются на различных горных предприятиях Монголии для заряжания необводненных скважин на открытых работах при взрывании углей, известняков, скальных пород, различных руд, сезонной и многолетней мерзлоты, а также шпуров диаметром 36 мм и более на подземных работах, в частности, при добыче флюорита. Для заряжания увлажненных и частично обводненных скважин используются полиэтиленовые рукава или продукция выпускается в виде патронов.

Принципиальная схема стационарного пункта изготовления аммиачно-селитренных ВВ на горном предприятии показана на рис 5.6.

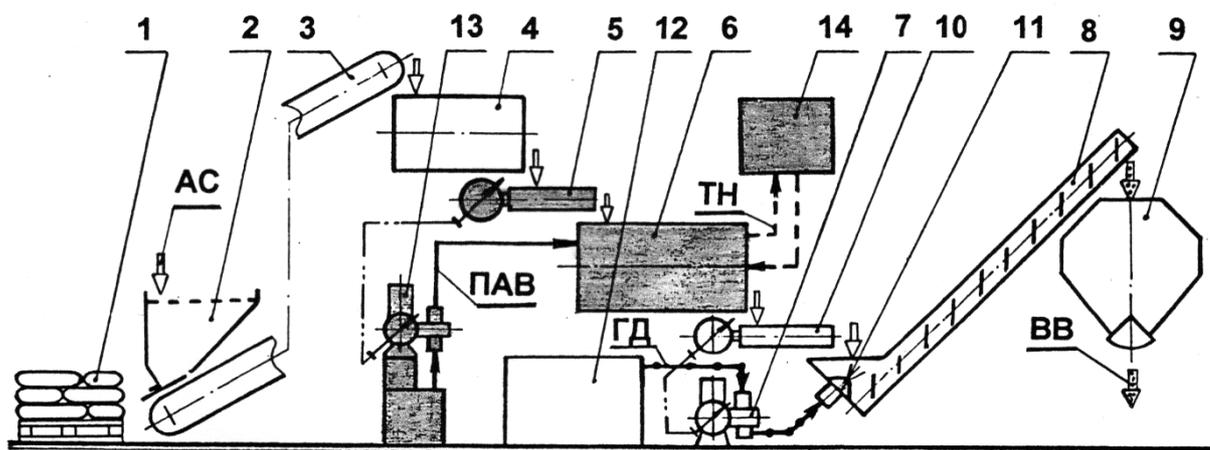


Рисунок 5.6 — Принципиальная схема стационарного пункта изготовления аммиачно-селитренных ВВ на горном предприятии:

1 – АС в упаковке; 2 – узел растаривания; 3 – механизм подачи АС из хранилища; 4 – агрегат рыхления и сепарации АС; 5 – питатель АС с регулируемым приводом; 6 – аппарат термообработки АС; 7 – дозатор АС на смешение с горючей добавкой; 8 – смеситель или транспортной машины; 9 – бункер-накопитель ВВ или бункер зарядной машины; 10 – насос-дозатор; 11 – форсунка-распылитель; 12 – расходная емкость ГД; 13 – насос подачи ПАВ; 14 – источник теплоносителя; АС – аммиачная селитра; ПАВ – поверхностно-активное вещество; ГД – горючая добавка; ТН – теплоноситель; ВВ – готовое взрывчатое вещество

Внешний вид стационарного модульного пункта изготовления смесевых ВВ в условиях угольного разреза Баганур показан на рис.5.7.



Рисунок 5.7 — Общий вид стационарного пункта изготовления ВВ на угольном разрезе «Баганур» в Монголии (Технологический комплекс "БАГАНУР")

Конечным результатом применения описанной технологии является

получение сбалансированных аммиачно-селитренных ВВ, сокращение или даже полное исключение применения тротил-содержащих и других ВВ заводского изготовления на горных предприятиях Монголии.

### **5.3 Основные результаты, полученные при использовании разработанной технологии изготовления аммиачно-селитренных ВВ на угольных разрезах Монголии**

Применение разработанной технологии изготовления промышленных ВВ с использованием аммиачной селитры длительного хранения в резко континентальном климате Монголии позволило избежать аварийных ситуаций, связанных с горением угольных массивов и отвалов, существенно снизить ущерб от самовозгорания угля и обеспечить экологическую безопасность добычи и переработки угля. Внедрение разработанной технологии на угольном разрезе Баганур в 2011 г. позволило получить за пять лет экономию добычи угля не менее 42 млн руб. Эта сумма учитывает отсутствие затрат на ликвидацию аварийной ситуации, транспортирование горящих углей на породные отвалы, складирование, потери угольного сырья и др. Изменение затрат на ликвидацию аварийной ситуации с горевшими углями на разрезе Баганур с 2005 по 2015 гг. показано на рис. 5.8.

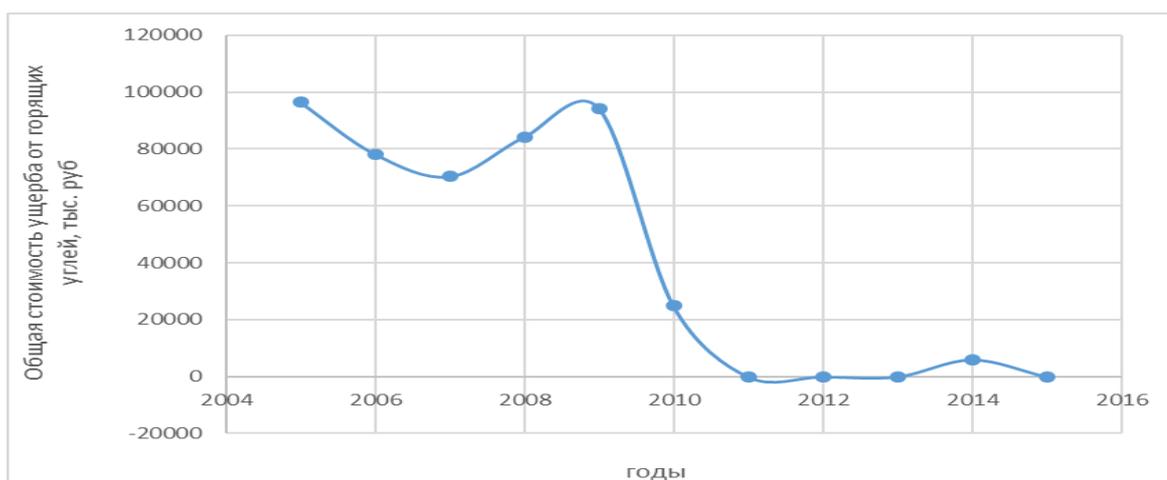


Рисунок 5.8 – Ущерб при ликвидации эндогенных аварий, связанных с возгоранием угля на разрезе Баганур

Из графика (см. рис. 5.8) видно, что внедрение в 2011 г. технологии производства сбалансированных ВВ, разработанной автором, позволило

практически исключить самовозгорание угля на угольном разрезе Баганур и исключить затраты на ликвидацию таких аварий.

Необходимо отметить, что горящие угли существенно нарушают экологическое воздействие горных работ на окружающую среду. Анализ профессиональных заболеваний персонала угольных разрезов Шарынгол и Баганур показаны на рис. 5.9.

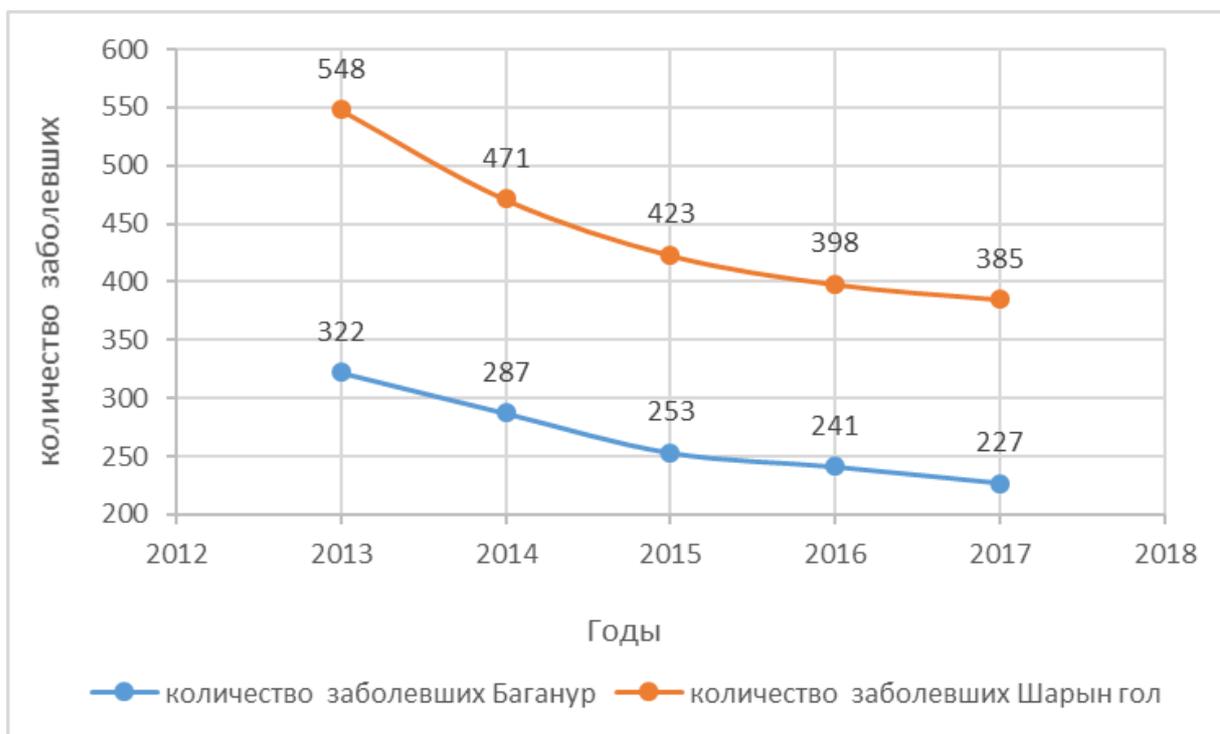


Рисунок 5.9 – Количество профессиональных заболеваний на угольных разрезах Шарынгол и Баганур

Анализ графиков (см.рис. 5.9) 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.

Внедрение разработанных в диссертации способов изготовления смесевых ВВ с использованием компонентов заданного качества при строгом соблюдении их соотношения по технологии, основанной на предварительной подготовке гранулированной аммиачной селитры, подвергнутой деструкции

при хранении в климате Монголии, существенно уменьшает вероятность возгорания угля при рыхлении пород взрывом.

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. За пять лет с 2012 по 2017г. экономический эффект от снижения объемов горящих массивов составил более 35 млн руб. (625 000 дол. США) (приложение 1).

**Выводы:** разработанная технология изготовления сбалансированных аммиачно-селитренных ВВ типа АСДТ позволяет получать эффективные ВВ с заданными характеристиками, обеспечивающие технологическую и экологическую безопасность взрывных работ на угольных разрезах Монголии. Внедрение разработанной технологии позволило снизить профессиональные заболевания в 1,6—1,7 раза и получить экономический эффект более 35млн. руб.

## 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 литературы

1. Геология Монгольской народной Республики в 3-х томах. Под ред. Н.А. Маринова– М.: Недра, 1973- 1977 гг.
2. У.Мавлет, Б.Энэбиш. Монгол Улсын Эрүсийн баялаг (MINERAL RESOURCES of MONGOLIA). —Улан-Батор, 1999. - 459 с.
3. Мельников Н.В. Горная наука. – М.: Недра, 1964. – 154 с.
4. Ржевский В.В. Горные науки. – М.: Недра, 1985. – 94 с.
5. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; под ред. К.Н. Трубецкого. – М.: Издательство Академии горных наук, 1997. – 480 с.
6. Безопасность взрывных работ в промышленности / Под ред. Б.Н. Кутузова. – М.: Недра, 1992. – 544 с.
7. Лангефорс У., Кильстрем Б. Современная техника отбойки горных пород. – М.: Недра. 1968. – 284 с.
8. Барон В.Л., Кантор В.Х. Техника и технология взрывных работ в США. – М.: Недра, 1989. – 376 с.
9. Ишмэнд Б. Оптимизация взрывного дробления, обеспечивающая реализацию ресурсосберегающих технологических процессов добычи и переработки руд с учетом экологии (на примере медно-молибденовых флюоритовых месторождений МНГ). Автореферат дис. д.т.н. —Улан – Батор, 1989. – 28 с.
10. Лайхапсурен Б. Комплексное исследование процесса разрушения трещиноватого массива и разработка оптимальных параметров взрывных работ (на примере месторождении Монголии). Диссертация д.т.н. Улан - Батор. 2001г.
11. 80 лет горной промышленности Монголии). Сб. Статей. — Улан - Батор. «Адмон», 2002. — 306 с.
12. Немдорж Д., Бушев И.Л., Васильченко Ю.Н. Совершенствование буровзрывных работ на руднике СП «Эрдэнэт». — В сб.: Научно-

практическая конференция «Добыча и переработка СиМо руд. — Улан – Батор. — 2001. — С.97-105.

13. Еникеев М.Р., Бушев И.Л. Состояние и совершенствование буровзрывных работ на карьере ГОКа «Эрдэнэт». — В сб.: Новые решения в технике, технологии добычи и переработке руды на СП «Эрдэнэт». Монголия, Эрдэнэт, 1998. —С. 69-72.

14. Жамьян Ж., Кутузов Б.Н., Старшинов А.В. Опыт производства и применения взрывчатых материалов на карьерах Монголии. Горный журнал. — 2000. — № 8. — С. 31-34.

15. Жамьян Ж., Батмунх Ж., Старшинов А.В. Состояние и перспективы развития горных взрывных работ Монголии. ГИАБ. — 2007. — №7. — С. 19-23.

16. Цэдэнбат А. Оптимизация основных параметров буровзрывных работ с дополнительным воздействием на мерзлые включения. // Горный информационно-аналитический бюллетень. —2009. — № 10. — С. 37 - 42.

17. Угольный разрез «Баганур» Технический проект. Л. «Гипрошахт», 1979. — 255 с.

18. Cook M.A. The Science of Industrial Explosives. USA, IRECO Chemicals, 1974. - 400 с.

19. Lu Chunxu “The Application of Surface Active Theory to Energetic Materials – Research of Expansions Ammonium Nitrate Explosives” NTREM, VIII, 2005, p.260.

20. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория ВВ. —М.: Оборонгиз, 1960 — 595 с.

21. Боуден Ф.И., Иоффе А.Ф. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. – М.: НИЛ, – 1955. — 119 с.

22. Апин А.Я., Воскобойников И.М., Соснова Г.С. Протекание реакций в детонационной волне смесевых ВВ. ЖПМТФ. — 1953. — №5. — С. 115-117.

23. Дубнов Л.В., Бахареви́ч Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. — М.: Недра, 1973. — 320 с.
24. Иванов М.Е., Олевский В.М., Поляков Н.Н. и др. Технология аммиачной селитры. — М.: Химия, 1990. — 288 с.
25. Олевский В.М. Технология аммиачной селитры. — М.: Химия, 1978. — 311 с.
26. Химическая энциклопедия. В 5-ти томах. — М.: Советская энциклопедия, 1988 – 1998.
27. Михайлов Ю.М., Колганов Е.В., Соснин В.А. Безопасность аммиачной селитры и её применение в промышленных взрывчатых веществах. — Дзержинск, «Партнёр-плюс», 2008. — 304 с.
28. Авторское свидетельство РФ №1616048.
29. G.D. Kozak, A.V. Starshinov, O.B. Litovka, E. Y. Chugreeva. “Cast porous charges on a base of ammonium nitrate - urea eutectic” NTREM, XI, 2008, p.394 – 401.
30. Галкин В.В., Маслов И.Ю., Буланцев Ю.А. и др. Опыт применения гранулированной аммиачной селитры на предприятиях, ведущих взрывные работы. — В сб.: Взрывное дело.1998. — №91/48. — С.226-230.
31. Старшинов А.В., Овян А.И., Фадеев В.Ю. Некоторые принципиальные основы и технические особенности применения АС в смесевых ВВ. — В сб. Взрывное дело.1998. — №91/48. — С.147-154.
32. В. Zigmunt, D. Buczkovski. Influence of Ammonium Nitrate Prills' Properties on Detonation Velocity of ANFO. Propellants, Explosive, Pyrotechnics 32, No.5, 2007, p. 411 – 414.
33. Понговский В., Серафинович С., Субоч Б. Некоторые особенности польской пористой аммиачной селитры / Материалы VII конференции по БВР. – Киев, ИГТМ, 1982. — С.4-5.
34. Патент Польши № 95331.

35. Жамьян Ж., Кутузов Б.Н., Старшинов А.В. Опыт производства и применения взрывчатых материалов на карьерах Монголии. Горный журнал. — 2000. — №8. — С.31-34.
36. Рубцов В.К. Расчеты заданного выхода крупных и мелких кусков породы на карьерах. — В кн.: Взрывное дело. — М.: Недра, 1967, № 62/19. — С. 84-99.
37. Кутузов Б.Н., Крюков Г.М., Авдеев А.Ф. Модели разрушения отдельностей горных пород в зоне регулируемого дробления при взрыве зарядов ВВ / Известия ВУЗов. Горный журнал. — 1981. — № 7. — С. 74-78.
38. Мосинец В.Н. Деформация горных пород взрывом. —Фрунзе: Илим, 1971. — 188 с.
39. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ — М.: Оборонгиз, 1960. — 595 с.
40. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. — М.: Мир, 1973. — 243 с.
41. Егупов А.А. Использование энергии взрыва при разработке многолетнемерзлых россыпей. — М.: Недра, 1991. — 224 с.
42. Баранов Е.Г., Ведин А.Т., Бондаренко И.Ф. Малоплотные взрывчатые вещества для открытых горных работ. —М.: Недра, 1993. —107 с.
43. Викторов С.Д. Разработка и применение простейших взрывчатых веществ / Отв. редактор К.Н. Трубецкой. — М.: ИПКОН РАН, 1996. — 156 с.
44. Технология приготовления и применения простейших ВВ / Г.И. Тамбиев, А.М. Бейсебаев, В.Ю. Фадеев и др.; под ред. Г.И. Тамбиева. — ИПКОН РАН, 1996. — 166 с.
45. Жученко Е.И. Гранулированные взрывчатые смеси и их применение. — М.: НИЦГП – ИГД им. А.А. Скочинского, 2002. — 96 с.
46. Егупов А.А. Взрывные работы в условиях многолетней мерзлоты. — М.: Недра, 1981. — 103 с.

47. Иоффе В.Б. Научные основы безопасного производства и применения эмульсионных ВВ типа «Сибиритов» на горных предприятиях: дис. докт. техн. наук. — М.: ИПКОН РАН. —349 с.

48. Шаруда В.Г. Совершенствование взрывных работ на горных предприятиях Северо-Востока на основе механизированного применения игданита. Автореферат дисс. к.т.н. — М.: ИПКОН РАН, 1985. —26 с.

49. Головин Г.М., Мирный В.Н. Механизированные комплексы для взрывных работ на карьерах. — Л.: ЛГИ, 1974. — 50 с.

50. Емекеев В.И. Механизация взрывных работ в горной промышленности. — М.: Недра. — 1976. — 182 с.

51. 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.

52. Койшигунов Р.А., Забудкин И.Л., Зильберг Д.Т. и др. Комплексная механизация взрывных работ на горнорудных предприятиях. — М.: ЦНИИцветмет. — 1973. — 73 с.

53. Белин В.А., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Особенности влияния климатических условий Монголии на эффективность применения аммиачно-селитренных взрывчатых веществ. — В сб.: Взрывное дело, 2017, №117/74. — М.: ИПКОН РАН. — С. 99 - 114.

54. Совершенствование буровзрывных работ на основе применения новых видов взрывчатых материалов и зарядной техники. Кутузов Б.Н., Старшинов А.В., Жамьян Ж., Батмунг Ж. — Горный журнал. — 2010. — №6. — С. 61-64.

55. Шведов К.К., Дремин А.Н. Исследование неидеальных режимов детонации конденсированных ВВ.— В сб.: «Взрывное дело», 1966 № 60/17. — М., «Недра». — С. 33-50.

56. Дремин А.Н., Шведов К.К. О детонации промышленных ВВ вблизи критического диаметра / Отказы детонации взрывчатых веществ на открытых разработках. – Киев, «Наукова думка», 1972. — С. 82-86.

57. Melvin, A. Cook, The Science of Industrial Explosives. USA. Graphic Service and Supply inc. 1974г. (В переводе: Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. – М.: Недра 1980. – 453 с.

58. Технология аммиачной селитры / Под ред. Олевского В.М. — М.: Химия 1978. — 311 с.

59. Аничкин В.Н., Осьминин В.Б. Совершенствование складирования гранулированных минеральных удобрений при бестарном хранении. Химия в сельском хозяйстве. — 1980. — № 1. — С. 21-23.

60. 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.

61. Жамьян Ж., Додух В.Г., Сенько Н.В. и др. Особенности структуры ВМ, применяемых на горных предприятиях России, СНГ и Монголии. ГИАБ. — 2002. — №5. — С. 171-174.

62. Додух В.Г., Старшинов А.В., Черниловский А.М., Кантор В.Х., Жамьян Ж., Листопад Г.Г. Влияние типа и свойств аммиачной селитры на взрывчатые характеристики сыпучих смесевых ВВ. Горный журнал. — 2003. — № 4-5. — С. 66-70.

63. Викторов С.Д., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Экспериментальная оценка и сравнение работоспособности смесевых взрывчатых веществ различного состава. — В сб.: Взрывное дело. — 2011. — №105/62. — С.142-149.

64. Старшинов А.В., Костылев С.С., Куприянов И.Ю., Ицкович Н.П., Викторов С.Д., Жамьян Ж. Экспериментальные результаты определения детонационной способности взрывчатых смесей различного состава. — В. сб.: Взрывное дело. — 2013. — №110/67. — С.124-129.

65. Старшинов А.В., Костылев С.С., Куприянов И.Ю., Жамьян Ж., Гильманов Р.А. Влияние структуры частиц аммиачной селитры на детонационную способность смесевых взрывчатых веществ. Горная промышленность. — 2017. — № 5. — С. 69 - 73.

66. Melvin A. Cook. The Science of Industrial Explosives. USA. IRECO Chemicals. 1974.- 465 с.

67. Викторов С.Д., Франтов А.Е., Лапиков И.Н., и др. Влияние микроструктуры гранул нитрата аммония на детонационную способность смесевых вв на его основе — ФГВ, 2016. — Т.52, №6. — С. 119-124.

68. Миниович М.А. Производство аммиачной селитры. —М.: Химия, 1974. – 239 с.

69. Поздняков З.Г., Росси Б.Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. —М.: Недра, 1977. — 253с.

70. Викторов С.Д. Разработка и применение простейших взрывчатых веществ— М.: ИПКОН РАН, 1996. — 156 с.

71. Ассонов В.А. Взрывные работы – М.: Углетехиздат, 1958.—348 с.

72. Бостанжогло К.Ф., Росси Б.Д. Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества. – М.: Оборонгиз, 1940. —134 с.

73. Демидюк Г.П. Направления развития гранулированных и водосодержащих ВВ.— В сб. Взрывное дело. — 1974. —№74/31. – М.: Недра. – С. 5-13.

74. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. — М.: Недра. — 1988. —358 с.

75. Трубецкой К.Н., Старшинов А.В., Жамьян Ж., Батмунг Ж. Современное состояние и перспективы развития горнодобывающей промышленности Монголии.— КМУ (7). —2010. —С. 189-193.

76. Старшинов А.В., Ицкович Н.П, Батмун Ж., Жамьян Ж. Перспективы совершенствования и развития производства смесевых взрывчатых веществ. —КМУ. 2012.— Том 1. — С. 42-46.

77. Melvin A. Cook the Science of Industrial Explosives. USA. Graphic Service and Supply inc. 1974г. (В переводе: Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. – М.: Недра, 1980. – 453 с.
78. Кувшинников И.М. Минеральные удобрения и соли: Свойства и способы их улучшения. – М.: Химия, 1987. – 256 с.
79. Старшинов А.В., Фадеев В.Ю., Жамьян Ж. и др. Изменение свойств аммиачной селитры при транспортировании и хранении в сложных условиях. —В сб.:Взрывное дело.— 2001.— №93/50.—С.212-219.
80. Гидаспов Б.В., Жамьян Ж., Старшинов А.В. и др. Влияние типа и свойств аммиачной селитры на взрывчатые характеристики сыпучих смесевых ВВ. —Информационный бюллетень НОИВ. — 2002. — №3. — С.35-37.
81. Понговский В., Серафинович С., Субоч Б. Некоторые особенности польской пористой аммиачной селитры / Тезисы докладов на VIII Междунар. науч.-техн. конф. по БВР. – Киев, ИГТМ, 1982. – С. 4.
82. Старшинов А.В., Люцюк О.Б., Егутов А.А. Способ изготовления взрывчатого состава. А. С. СССР, №1561481, 1990.
83. Щукин Е.Д. Эффект Ребиндера Наука и человечество: Международный ежегодник. — М.: Знание, 1970.— С. 337—367.
84. Камнева А.И. К вопросу о самовозгорании бурого угля Ирша-Бородинского месторождения Канско-Ачинского бассейна // Химия твердых топлива. — 1971. — № 2. —С. 68-74.
85. Скопинцева О.В., Иляхин С.В., Савельев Д.И., Прокопович А.Ю. Обеспыливающая обработка угольного массива газонаполненными растворами ПАВ. Отд. вып. Горного инф. - анал. Бюллетеня «Аэрология, метан, безопасность». — М.: МГГУ. — 2011. — С. 367-370.
86. Кинетика тепловыделения при низкотемпературной деструкции угля и его окислению кислородом воздуха / Рубцов Ю.И., Казаков А.И., Рафеев В.А. и др. //Химия твердого топлива. —2000. —№2. — С.24-33.
87. Киселев Я. С., Киселев В. Я., Амельчугов С. П. Условия

самовозгорания восточных углей // Пожаровзрывобезопасность.— 1992. — №3. — С. 7-21.

88. Пашковский П.С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П.С. Пашковский. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 791 с.

89. Камнева А.И. К вопросу о самовозгорании бурого угля Ирша-Бородинского месторождения Канско-Ачинского бассейна // Химия твердых топлива. — 1971. — № 2. — С. 68-74.

90. Горшков В.И. Самовозгорание веществ и материалов. – М.: ВНИИПО, 2003. – 446 с.

91. Леонтьев А. В., Фомичева О. А., Проскурнина М. В., Зефирова Н. С. «Современная химия оксида азота». Успехи химии. — 2001. — №70 (2), —С. 107-122.

92. Орленко Л.П. Физика взрыва.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.—832 с.

93. Амелчугов С. П. Влияние диоксида углерода на процесс самовозгорания бурых углей // Пожаровзрывобезопасность. —1992. — №2. — С. 25-27.

94. Белин В.А., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Влияние взрывных работ и различных типов взрывчатых веществ на самовозгорание угольных масс. —В сб.: Взрывное дело. — 2017. — №117/74, —С. 115 -126.

95. Белин В.А., Жамьян Ж., Старшинов А.В. Обеспечение безопасности взрывных работ на угольных разрезах Монголии. Горная промышленность. — 2017. — № 5. — С. 78 - 81.

96. Жамьян Ж., Белин В.А., Старшинов А.В. Особенности возгорания угольных масс на разрезах Монголии при ведении буровзрывных работ. —В сб.: Взрывное дело—2017.— № 118/75.— С.189-196.

97. Старшинов А.В., Костылев С.С., Куприянов И.Ю., Жамьян Ж. Некоторые проблемы и результаты повышения качества смесевых ВВ для различных условий применения. — В сб.: Взрывное дело. — 2016. — № 116/73, — С. 71 - 84.

98. Кутузов Б.Н., Старшинов А.В., Жамьян Ж. Некоторые проблемы

использования смесевых взрывчатых веществ на горных предприятиях Монголии. Горный журнал. — 2017— №1. — С.80-85.

99. Светлов Б. Я., Яременко Н. Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. — М.: Недра, 1973. - 208 с.

100. 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.

101. Мавлет У., Энэбиш Б. Монгол Улсын Эрүсийн баялаг (MINERAL RESOURCES of MONGOLIA). — Улан-Батор. —1999. — 459 с.

102. 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.

103. Улучшение свойств смесей АСДТ технологическими приемами и специальными добавками. Ж. Жамьян, Н.М.Богданов, В.Ю.Фадеев Материалы междунар. конф. «Взрывное дело 99». — М.: МГГУ, 1999. — С. 89-95.

<УТВЕРЖДАЮ>

Директор Разреза <Багануур>

Э.Номинчулуун 2017



## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

на угольном разрезе <Баганур>

результатов работ по диссертации Жижиг Жамъяна

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

На угольном разрезе <Баганур> подготовка горных пород вскрыши и пластов угля к выемке осуществляется с использованием буро-взрывных работ. Угли разреза <Баганур> относятся к категории <опасных> по возможности самовозгорания после рыхления. Вероятность возгорания углей резко возрастает при использовании для их рыхления гранулированных взрывчатых веществ типа Гранулит или <Игданит>.

В результате комплекса наблюдений и экспериментальных работ, выполненных в период с 2001 года по настоящее время под научно-методическим руководством Ж.ЖАМЪЯНА в рамках деятельности Монголо-Российской совместной компании <МонМаг>,

установлено, что вероятность возгорания угля при рыхлении пород взрывным способом уменьшается до естественного уровня при использовании смесевых ВВ типа ANFO, изготовленных с использованием компонентов заданного качества при строгом соблюдении их соотношения по технологии, основанной на предварительной подготовке гранулированной аммиачной селитры с изменением кристаллической структуры- <поризации>. Изготовление таких смесевых ВВ осуществляется на специально созданном стационарном комплексе, расположенном на территории при складе взрывчатых материалов разреза <Баганур>.

Итоговим результатом использования смесевых взрывчатых веществ из невзрывчатых компонентов, изготовленных по рецептуре и технологии, представленным в диссертационной работе Ж.Жамъяна <Обоснование безопасного применения промышленных аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в климатических условиях Монголии>, для рыхления угольных пластов обеспечивает исключение возрастания вероятности самовозгорания углей на угольном разрезе <Баганур> выше естественного уровня и, соответственно, привлечения дополнительных затрат на ликвидацию эндогенных пожаров в пределах рабочего поля разреза. За последние 5 / пять / лет экономический эффект от снижения объемов вывоза горящих масс составил более 1,5 млрд тугриков Монголии, /625000/ долларов США.

Начальник отдела БВР



Хасбаатар