

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи

Куприянов Илья Юрьевич

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ СМЕСЕВЫХ
ПОРОШКООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВВ ДЛЯ ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель: д. т. н., профессор
Викторов С.Д.

Москва 2017

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Краткий анализ современного состояния вопроса и проблем применения смесевых ВВ на основе аммиачной селитры	8
1.1. Общая оценка и краткая историческая справка	8
1.2. Основные виды современных взрывчатых веществ	9
1.3. Характеристики сырья, применяемого для изготовления простейших взрывчатых веществ	16
1.3.1. Разновидности аммиачной селитры, используемой для изготовления промышленных ВВ	16
1.3.2. Основные типы горючих добавок, применяемых в смесевых ВВ	21
1.4. Некоторые характеристики и особенности оборудования для изготовления и переработки смесевых АСВВ	25
1.4.1. Оборудование для переработки смесевых АСВВ, изготовленных на заводах	25
1.4.2. Способы и средства механизированного изготовления смесевых аммиачно-селитренных ВВ в условиях предприятий, ведущих взрывные работы	29
1.4.3. Оборудование со смешивающим устройством в виде смесительного барабана	36
1.5. Выводы по разделу, уточнение цели и задач работы по экспериментальному изучению объекта исследования	44
2. Лабораторно-полигонные испытания физико-химических и взрывчатых свойств простейших ВВ на основе АС	48
2.1. Обоснование методов исследования	48
2.2. Выбор составов для исследования	49
2.3. Определение взрывчатых и физико-химических характеристик выбранных составов	50
2.3.1. Характеристики смесевых ВВ	50

2.3.2. Разработка методики определения слеживаемости простейших АСВВ	51
2.3.3. Определение показателя маслопоглощения различных марок аммиачной селитры по отношению к дизельному топливу.....	67
2.3.4. Измерение скорости и полноты детонации исследуемых составов.....	68
2.3.5. Определение критического диаметра детонации исследуемых составов	75
2.3.6. Определение чувствительности к ударному сдвигу	78
2.3.7. Определения чувствительности к удару.....	81
2.3.8. Определение температуры вспышки исследуемых составов.....	84
3. Эксперименты в условиях горно-добывающих предприятий по взрывному разрушению массивов пород.....	86
3.1. Методика проведения эксперимента	86
3.2. Результаты экспериментов по измерению гранулометрического состава отбитой горной массы.....	86
4. Анализ и оценка полученных результатов.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	94
ПРИЛОЖЕНИЕ	101

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

В настоящее время изготовление ВВ в виде смесей окислителей и горючих для дробления горных пород взрывом на большинстве горных предприятий РФ осуществляется непосредственно на этих предприятиях. Такие ВВ, для которых известно определение - ВВ "местного изготовления", дешевле, изготовленных на специальных заводах, менее опасны в обращении, допускают комплексную механизацию всех работ, связанных с их изготовлением, доставкой в карьер и заряданием взрывных полостей.

Специфика сырьевого обеспечения производства смесевых ВВ в нашей стране на основе аммиачной селитры (АС) в твердом состоянии, а также технологии их изготовления не позволяют получать качественные и стабильные при хранении гранулированные и порошкообразные ВВ, которые по своим взрывчатым и эксплуатационным характеристикам уступают лучшим аналогам, известным из мировой практики и полученным в опытных работах.

В определении "стабильность" объединены две группы взаимосвязанных явлений: изменение структуры ВВ и зарядов из них при образовании агломератов частиц АС или ВВ в результате "слеживания", а также изменение однородности состава смесей АС с жидкими горючими добавками в результате расслоения под действием внешних сил.

Высокая гигроскопичность и тенденция к слеживаемости АС и ВВ на основе АС усложняет их переработку при изготовлении и хранении, а также является причиной "не полных взрывов" или "отказов" зарядов в условиях промышленного применения, что приводит к снижению эффективности и повышению опасности взрывных работ.

Создание и освоение химической промышленностью производства новых типов и разновидностей продуктов синтеза предопределяет возможность выявления веществ в качестве добавок – "антислеживателей" (стабилизаторов состава) смесевых систем на основе АС.

Изучение влияния различных добавок-антислеживателей, которые при этом могут являться горючим компонентом в смесевых ВВ, и самого процесса слеживания ВВ местного изготовления является актуальной задачей.

В представляемой работе обобщены результаты исследований, выполненных автором во время обучения в аспирантуре при ИПКОН РАН, в соответствии с тематикой Федеральной целевой программы Минобрнауки России "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на

2014–2020 гг."; Соглашение № 14.607.21.0027 от 05 июня 2014 г.; уникальный идентификатор - RFMEFI60714X0027.

Цель диссертационной работы - повышение эффективности смесевых порошкообразных и гранулированных аммиачно-селитренных взрывчатых веществ, применяемых в горной промышленности за счет обеспечения их стабильности.

Идея работы - для обеспечения стабильности смесевых гранулированных и порошкообразных аммиачно-селитряных ВВ необходимо комплексное воздействие на компоненты системы в процессе их подготовки и смешения путем изменения исходной структуры и/или введения специально подобранных добавок.

Основные защищаемые положения:

1. Методика определения слеживаемости нитрата аммония (аммиачной селитры) и смесей на основе этого вещества по измерениям усилия разрушения образцов-брикетов, получаемых с помощью разработанного устройства, и не требующая использования специального дорогостоящего оборудования, а также различных химических материалов и реагентов;

2. Повышение стабильности промышленных ВВ на основе аммиачной селитры в порошкообразном состоянии за счет введения композитной добавки-стабилизатора, а гранулированных составов за счет их термической обработки - "поризации";

3. Закономерности изменения показателей слеживаемости составов на основе аммиачной селитры от различных факторов (времени выдержки, величины усилия сжатия, наличия добавок);

4. Экспериментальные данные определения детонационных параметров и взрывной эффективности исследуемых составов повышенной стабильности: скорости детонации, критического диаметра детонации, характеристики чувствительности и результатов дробления горной породы.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ применяемых технических решений по типам и особенностям взрывчатых веществ и средств механизации для их переработки, а также теоретических и экспериментальных исследований по оценке влияния свойств и изменения этих свойств при хранении промышленных ВВ на взрывчатые характеристики и эффективность применения для разрушения горных пород;

2. Выполнить анализ и осуществить доработку методик по оценке слеживаемости аммиачно-селитренных ВВ в условиях горно-добывающих предприятий;

3. Исследовать влияние различных добавок-стабилизаторов на слеживаемость и другие характеристики ВВ на основе аммиачной селитры;

4. Определить возможность и условия разработки новых составов смесевых ВВ с улучшенными эксплуатационными и целевыми характеристиками;

5. Выполнить полигонные и промышленные эксперименты по исследованию свойств разработанных составов ВВ.

Новизна работы:

– разработана методика определения слеживаемости промышленных ВВ на основе аммиачной селитры, доступная для реализации в полигонных (полевых) условиях;

– исследованы закономерности изменения показателей слеживаемости составов на основе аммиачной селитры для различных условий хранения, приближенных к реальным;

– исследованы условия применения в качестве горючих компонентов в составе промышленных взрывчатых веществ твердых низкоплавких добавок (парафина и др.) и способ введения данных видов горючих в состав ВВ с нагревом системы выше температуры плавления добавки;

– разработан способ и устройство по расширению возможностей применения аммиачной селитры, подвергнутой термообработке - "поризации", с осуществлением операции отсева мелких фракций;

Методы исследований - в работе использовался комплексный метод исследований, включающий системный анализ известных технических решений, эксперименты в лабораторных и полигонных условиях, статистический метод обработки и обобщения полученных данных.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается широтой информации, подвергнутой анализу; экспериментальными данными, соответствующими современным представлениям о механизме исследуемых явлений; использованием современных математических методов обработки полученных данных, разработкой технических решений, реализованных на практике.

Практическое значение работы заключается в разработке:

– оригинальной методики определения слеживаемости аммиачной селитры и смесей на её основе, доступной для реализации в полигонных (полевых) условиях;

– нового состава смесевых порошкообразных ВВ повышенной стабильности по фактору слеживаемости с использованием добавки-стабилизатора, обеспечивающей улучшения эксплуатационных и взрывчатых показателей и возможность применения этого ВВ в качестве дополнительных детонаторов (патронов-боевиков) для инициирования зарядов с недостаточной чувствительностью к первичным средствам инициирования;

– способа изготовления гранулированных и порошкообразных смесевых ВВ на основе аммиачной селитры с применением низкоплавких горючих компонентов с нагревом системы выше температуры плавления горючей добавки;

– способа и устройства для расширения области применения аммиачной селитры, подвергнутой термообработке-поризации, для последующего изготовления смесевых ВВ типа АСДТ стабильного состава.

Апробация работы -основные положения и результаты работы докладывались на научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, НИТУ "МИСиС", 2014-2015 гг.), на X-XII Международной научной школе молодых учёных и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, ИПКОН РАН, 2013-2015 гг.), X Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования» (Институт горного дела УрО РАН совместно с Горным институтом КНЦ РАН. 2016г.).

Публикации: по теме диссертационной работы опубликованы: в рекомендованных ВАК РФ изданиях – 4, в прочих печатных изданиях – 4, получен 1 патент.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и выводов, списка использованных источников из 99 наименований, одного приложения и содержит 103 страницы машинописного текста, 42 рисунков и 18 таблиц.

1. Краткий анализ современного состояния вопроса и проблем применения смесевых ВВ на основе аммиачной селитры

1.1. Общая оценка и краткая историческая справка

Вопросы создания, организация производства и применения ВВ с давних пор занимало мысли многих ученых и инженеров. Повышенный интерес к этому вопросу объясняется тем, что ВВ, в отличие от других энергетических источников, являются носителями энергии, не требующими сложных механизмов для ее использования [1-4, 6]. Первое применение ВВ имело место в военном деле и первым, использованным для этих целей, ВВ был черный (дымный) порох. Имена изобретателей пороха и дата его открытия затерялись в глубине веков, и приоритет его изобретения однозначно не установлен [1, 3].

Применение пороха и других ВВ в горном деле для разрушения горных пород стали важнейшей частью знаний и хозяйственной деятельности человечества. Естественно, что развитие этого направления находится во взаимосвязи с другими отраслями промышленности, в частности, горной, металлургической, машиностроения, а также химии и др. Особое место в этом ряду занимают взаимосвязи взрывных работ с созданием способов и средств подготовки взрывных полостей (бурения шпуров, скважин и др.) с которыми в общей системе горных работ и горных наук рассматриваются в едином комплексе - буровзрывные работы (БВР) [10, 29, 56].

Поворотным пунктом в истории развития взрывчатых веществ явилось открытие возможности использования в качестве взрывчатых веществ нитроцеллюлозы и нитроглицерина, а вслед за этим открытие явления детонации и изобретение капсюля-детонатора [4]. Открытие явления детонации ВВ под действием взрывного импульса капсюля-детонатора позволило быстро увеличить число веществ, пригодных к применению в военном деле и для взрывных работ. Особое место в развитии производства и применения взрывчатых веществ стало создание технологии изготовления аммиака, азотной кислоты и нитрата аммония по методам синтеза [18].

Ниже проведен краткий обзор представленного на сегодняшний день ассортимента ВВ на основе нитрата аммония. Предлагаемый обзор не претендует на полноту и призван лишь проиллюстрировать применяемые в различных сферах взрывных работ ВВ. В первой части описываются исследования современного ассортимента ВВ, в частности, в сравнении с современными эмульсионными ВВ и индивидуальными ВВ. Во второй части представлены некоторые данные по характеристикам сырья, применяемого для изготовления смесевых ВВ. В третьей приведены примеры оборудования для изготовления таких ВВ в условиях предприятий, ведущих взрывные работы

1.2. Основные виды современных взрывчатых веществ

Практически все взрывчатые вещества (ВВ), используемые в различных отраслях промышленности, как гражданского, так и специального военного назначения, являются смесевыми системами. К смесевым ВВ относятся все наиболее типичные промышленные ВВ: динамиты, динамоны, аммониты, граммониты, гранулиты, а также водосодержащие ВВ (ВВВ), включая ВВ эмульсионного типа (ЭВВ) [4, 19].

Взрывчатые смеси имеют в своем составе практически всегда компоненты "богатые кислородом" - окислители, например, нитрат аммония (аммиачную селитру), нитраты калия, натрия или кальция, перхлораты, а также компоненты, сгорающие в процессе взрыва частично или полностью за счет первого компонента (окислителя). В числе сгорающих (горючих) компонентов могут быть использованы невзрывчатые вещества (парафин, соляровое масло, древесная мука, алюминий) или ВВ, содержащее недостаточное количество кислорода для полного окисления углерода и водорода входящих в их состав (например тринитротолуол - тротил) [15, 18].

Взрывчатые смеси на основе аммиачной селитры (АС) являются наиболее распространенными промышленными взрывчатыми веществами, используемыми при различных видах взрывных работ. Это объясняется доступностью самой селитры как исходного сырьевого материала, широкой производственной базой ее изготовления, низкой стоимостью аммиачно-селитренных ВВ по сравнению со стоимостью индивидуальных ВВ – нитросоединений (НС), нитроэфиров, нитраминов и др. Обращение с аммиачно-селитренными ВВ (АСВВ) отличается сравнительной безопасностью переработки.

Первые попытки в применении АС для ведения взрывных работ сделаны были еще в XVIII столетии во Франции, но практическое введение ее в практику взрывчатых веществ следует приписать фабрике Koln-Rottweiler в Германии, выпустившей так называемый амидпорох. В Австрии также интересовались вопросом ее применения АС в составе ВВ. В Швеции вопросами применения АС во взрывной технике занимались Ольсон и Норбин, которые впервые установили, что аммиачная селитра в смеси с углем дает сильное взрывчатое вещество. В результате этих работ в 1867 году был предложен "аммиачный порох" на основе смеси селитры с горючими добавками и оформлен патент (Швеция), который признается как первый официальный документ по составам АСВВ [28]. Однако широкое применение ВВ на основе аммиачной селитры ограничивалось в основном ее гигроскопичностью, и они долго не применялись, пока в связи с развитием производства и применения минеральных удобрений не были найдены способы предотвращения ее слеживаемости [13, 20].

Особенно быстрое и широкое развитие порошкообразные ВВ получили в СССР. Были разработаны различные виды аммонитов (на стадиях разработки им присваивались условные номера № 2, 3, 6, 7, 9, 10), в числе которых был создан на основе разработанной водоустойчивой аммиачной селитры марок ЖВ (ЖВГ, ЖВК) аммонит № 6, которые используются до настоящего времени под маркой "аммонит 6ЖВ" [7, 34].

Большая работа по внедрению в горную промышленность ВВ на основе аммиачной селитры взамен динамитов была выполнена коллективом специалистов под руководством Н.В. Мельникова. Уже в 1939 г. объем производства ВВ этого типа, известных под названием "диаммон" в нашей стране составлял около 80 % общего количества промышленных ВВ [3, 61, 62].

Существенные изменения в ассортименте ВВ, применяемых в горной промышленности страны, произошли после освоения азотной промышленностью производства аммиачной селитры в гранулированном виде. На основании большого цикла испытаний в промышленных условиях на открытых и подземных работах было создан взрывчатый состав "ИГДАНИТ", названный так с использованием названия института ИГДАН им А.А. Скочинского [1, 3]. Это взрывчатое вещество допущено к применению в 1959 году и получило широкое распространение благодаря одновременному созданию средств механизированного изготовления и заряжания в условиях горных предприятий.

В других странах коренной поворот в сторону этих безопасных и экономичных ВВ произошел лишь в послевоенные годы, главным образом в связи с развитием ВВ простейшего состава в виде смесей гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом, для которых распространены обозначения АСДТ или ANFO в англоязычной литературе [15, 18].

Большое значение для развития промышленных ВВ имеют теоретические и экспериментальные работы советских и российских ученых и специалистов, в число которых входят Ю.Б. Харитон, А.Ф. Беляев, К.К. Андреев, А.Я. Апин, В.К. Боболев, Н.В. Мельников, Л.И. Барон, Г.П. Демидюк, Б.Д. Росси, Б.Н. Кондриков, Е.Ю. Орлова, К.К. Шведов и др. из предыдущих поколений, а также наши современники: Б.Н. Кутузов, А.В. Дубовик, С.Д. Викторов, Н.Н. Казаков, В.М. Закалинский, В.А. Белин, В.Х. Кантор, В.В. Лавров, А.В. Старшинов и др. [9, 15, 61, 62].

Анализ объемов потребления взрывчатых веществ (ВВ), их ассортимента и распределения по типам показывает, что на современном этапе в Российской Федерации наблюдается выход на показатели, характерные для зарубежных стран: большая часть ВВ представлена смесевыми системами, которые изготавливаются в непосредственной близости от мест потребления на стационарных пунктах горных предприятий [4, 59, 90].

В зависимости от применяемых добавок аммиачно-селитренные ВВ можно разделить на ряд групп.

Смесевые ВВ простейшие. Это определение наиболее корректно может быть применено для смесевых систем, не содержащих в составе взрывчатых компонентов или "индивидуальных" ВВ, таких как нитросоединения и др. К простейшим смесевым ВВ на основе АС в настоящее время относят смеси гранулированной АС с жидкими горючими добавками такими, как дизельное топливо (ДТ), минеральное масло, в том числе отработанное (ММО, МИО) и др. В состав таких ВВ могут входить дополнительные добавки, в частности, в виде горючих порошков металлов, чаще, алюминия и его сплавов, угля различных марок, органической муки из дерева и других растений и т.д. Для этой группы ВВ в настоящее время принято название - гранулит с дополнительными индексами, указывающими на разновидность горючей добавки, например, в литературе для смеси АС и ДТ используется название гранулит АСДТ. Они могут отличаться друг от друга по разновидности (марке и др.) селитры и типу горючего. Простейшие смесевые ВВ обладают малыми или средними показателями мощности. Некоторые характеристики смесевых ВВ представлены в таблице 1.1. Для смесей типа АСДТ на основе разновидностей АС с повышенной плотностью характерен недостаток низкой физической стабильности, что проявляется в разделении смеси на компоненты в результате "стекания" ЖГД (ДТ, НП) с гранул АС, а в итоге, из заряда ВВ под действием сил тяжести. Для улучшения физической стабильности и других эксплуатационных характеристик простейших АСВВ используется нанесение на поверхности гранул порошкообразных горючих веществ, таких как угольный порошок и древесная мука, а также металлов, при этом добавление металлов способствует повышению мощности ВВ и увеличению чувствительности к удару и трению [70].

Смеси АСДТ в зависимости от класса их безопасности применяются как на открытых, так и на подземных горных разработках, причем для гранулированных ВВ зарядание шпуров и скважин производят с помощью пневматических заряжающих устройств.

По сравнению с ранее применявшимися ВВ для простейших взрывчатые смеси в гранулированном виде характерны неоспоримые преимущества:

- широкая распространённость и низкая стоимость сырья - АС и нефтепродукты;
- меньшая опасность в обращении, по сравнению с динамитами и порошкообразными ВВ.

Благодаря малой чувствительности к механическим воздействиям оказалось возможным организовать их крупнотоннажное механизированное производство на местах ведения взрывных работ, а также осуществить их механизированное зарядание.

К недостаткам простейших АСВВ на основе гранулированной АС можно отнести:

- низкую физическую стабильность смесевых ВВ;
- низкую восприимчивость к первичным средствам инициирования (СИ);
- утрату детонационной способности под воздействием воды и невозможность применения в обводненных условиях, которые характерны для значительной части взрывных работ;
- не достаточно высокую объемную концентрацию энергии в силу низкой плотности заряда во взрывной полости (700-900 кг/м³).

Для уменьшения отрицательного проявления названных недостатков необходимо использовать различные приемы улучшения эксплуатационных и взрывчатых характеристик смесей типа АСДТ. Например, недостаточная водостойчивость этих смесей компенсируется использованием сложных методов осушения скважин [25].

Взрывчатые смеси на основе АС, содержащие индивидуальные ВВ

Промышленные ВВ с использованием взрывчатых компонентов-нитросоединений (НС), например, аммониты могут выпускаться в гранулированном, порошкообразном, и патронированном видах. Причем в гранулированном виде могут быть как механические смеси гранул АС и НС, так и технически более сложные в изготовлении – когда плавкое вещество (тротил) покрывает гранулы АС или каплю ее насыщенного раствора. Нитросоединения в таких системах является сенсбилизатором и горючим одновременно. Введение НС в состав смесевых ВВ увеличивает стоимость ВВ, делает невозможным процесс приготовления состава на месте применения, а также очень сильно влияют на характеристики безопасности ведения взрывных работ. Но, несмотря на эти недостатки, смесевые составы, содержащие мощные индивидуальные ВВ, имеют высокие детонационные характеристики и обладают более высокой восприимчивостью к первичным СИ, чем простейшие АСВВ. Повышенные мощностные характеристики таких ПВВ позволяют применять их для взрывных работ по крепким породам. Некоторые характеристики смесевых ВВ этого типа представлены в таблице 1.1.

Металлизированные смеси (АС/горючее/дисперсные металлические порошки).

Добавление металлических горючих, таких как алюминий (Al), силико-алюминий, ферро-силиций, применяется для повышения энергии взрыва и фугасного (метательного) действия промышленных взрывчатых веществ. Введение металлических порошков сенсбилизует смесевые ВВ и повышает восприимчивость составов к детонационному импульсу, причем она возрастает по мере увеличения содержания добавки. Содержание в составе промышленных ВВ на основе аммиачной селитры алюминиевого порошка и алюминиевых пудр различной дисперсности приводит к снижению слеживаемости ВВ, и

увеличивается удерживающая способность системы по отношению к дизельному топливу, за счет опудривания гранул АС металлическими порошками. Одним из преимуществ ВВ данного типа является возможность механизированного заряжания, однако, при пневмозаряжании существует необходимость использования комплексных мер для снижения проявлений статического электричества [4, 15]. К недостаткам промышленных ВВ, в которых в качестве сенсibilизатора и одновременно горючего используются металлические порошки, можно отнести высокую стоимость металлических порошков. Некоторые характеристики смесевых ВВ этого типа представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Составы и основные характеристики некоторых смесевых ВВ [19, 34, 98].

Таблица 1.1.

Показатели	Гранул ит- Игдани т	Гранул ит Д-5	Аммон ит БЖВ	Аквато л М-15	Аммонит ДНН (Динафтали т)	Аммонал скальны й № 3	Саянит- Н
Состав, %							
-АС _{гран.}	94,5	94,0	-	58,5	-	72,0	73,0
-АС _{порошкообр.}	-	-	79,0	-	88,0	-	-
-ДТ	5,5	2,0	-	-	-	-	1,8
-УП	-	4,0	-	-	-	-	-
-ТНТ	-	-	21,0	25,0	-	6,0	-
-ДНН	-	-	-	-	11,6	-	-
-Парафин	-	-	-	-	0,1-0,4	-	-
-Алюминий	-	-	-	15,0	-	8,0	-
-Гексоген	-	-	-	-	-	1,5	-
-Вода	-	-	-	-	-	-	15,0
-Эмульгатор	-	-	-	-	-	-	1,5
-Нитрит натрия	-	-	-	-	-	-	9,3
-Этиленгликоль	-	-	-	-	-	-	0,075
-Загуститель	-	-	-	1,5	-	-	-
-Мин. масло	-	-	-	1,0	-	-	-
-Натриевая селитра	-	-	-	-	-	-	5,6
- Кислота	-	-	-	-	-	-	1,0
Кислородный баланс (КБ), %	0,12	1,2	-0,53	0,02	0,3	-0,78	-5,6
Теплота взрыва, Q_g кДж/кг	3760	3415	4330	4291	4080	5710	2717
Объем продуктов взрыва, V_0 л/кг	980	980	895	800	920	810	1046
Скор. дет, D км/с	2,2-2,8	3,3	3,6-4,8	3,2-3,6	3,5-4,6	4,67	5,9

Критич. диам. $d_{кр}$, мм: - В бум.обол. - В ст. обол.	120-150 25-30	120 40	10-13 4-6	40-60 10-15	13-14 5-6	- -	- -
Насыпная плотность, г/см ³	0,8-0,9	0,8-0,9	0,9	0,85 - 0,9	0,85-0,9	-	-
Чувств.: - К удару, % - К трению, с примесью 5% песка, МПа.	0 300	0-12 500	16,32 233,5	4-12 240	12-14 3000	40-44 132	0 -

Водосодержащие ВВ

К данной группе ВВ относятся смесевые системы, в которых в состав смеси входит вода. Вода вводится в состав ВВ на стадии изготовления, где используется для растворения АС. Соответственно в водонаполненных ВВ (ВВВ) аммиачная селитра или смеси из нескольких селитр (аммиачной, натриевой, кальциевой) находятся в системе не в виде твердых частиц, а в форме достаточно сложных физико-химических образований - капель (глобул) концентрированных и/или пересыщенных растворов, для которых можно принять обобщающее названия - окислительная фаза (ОФ) или водная фаза (ВФ). При этом горючие добавки в ВВВ могут быть различной природы и в различном физическом состоянии, для которых так же можно принять обобщающее название - горючая фаза (ГФ) или масляная фаза (МФ).

В зависимости от формы существования горючей добавки и взаимного распределения ОФ и ГФ водонаполненные ВВ подразделяются на две самостоятельные группы:

- ВВ типа "сларри", в которых ГФ в виде дисперсных образований (частиц, капель) распределена в непрерывном массиве ВФ, что в соответствии с терминологией физической химии является суспензией или эмульсией типа "масло в воде";
- системы, в которых непрерывной является МФ, устойчивая к действию воды (не растворимая в воде), а ВФ в виде капель-глобул распределен в МФ с образованием эмульсии типа "вода в масле".

Первая группа ВВВ была создана и широко применялась в горной промышленности в последней трети XX столетия как за рубежом, так и в нашей стране, где наиболее распространенными и применявшимися были ВВВ горячельющиеся с добавкой тротила (ГЛТ). Для придания водоустойчивости по признаку ограничения растворимости в воде в таких системах раствор окислителей (ВФ) подвергался "загущению" с переводом в

состояние "геля" с помощью специальных гелеобразующих добавок (гуаргам, полиакриламид, карбоксиметил целлюлоза и др.). В настоящее время эта разновидность ВВВ применяется в ограниченных объемах и практически полностью заменена на системы в виде эмульсии "вода в масле", для которых общепринятыми являются определения "ВВ эмульсионного типа" или "эмульсионные ВВ" (ЭВВ) [18, 25].

Одной из важнейших особенностей ВВВ является отсутствие пустот заряде ВВ, доступных для заполнения водой из окружающей среды - обводненных горных пород (вода в скважине).

Отсутствие пустот в ВВ в жидком (эмульсионном) состоянии способствует повышению плотности зарядов ВВ и, следовательно, скорости детонации, придает им текучесть, или пластичность и другие структурно-механические свойства. Вода снижает чувствительность составов к внешним воздействиям. При этом появляется возможность механизированной перекачки некоторых низковязких водосодержащих ВВ по трубопроводам и шлангам с помощью насосов. Недостатками воды как наполнителя является ее химическая инертность, поэтому в составах без металлов она служит балластом. Часть тепла, выделяющегося при взрыве, расходуется на прогрев воды и ее испарение. Для повышения детонационной способности эмульсионных и водосодержащих ВВ, таких как эмулиты и акваналы, в составы вводят газовые пузырьки в виде микросфер из полимерных материалов или стекла, а также химическим способом с использованием газообразующих веществ (порофоров). В таком состоянии эмулиты и акваналы становятся чувствительными к взрывному импульсу и имеют сравнительно малые величины критического диаметра. Для повышения энергетических характеристик в некоторые марки эмульсионных ВВ вводят тонкодисперсный алюминий. В этом случае вода по отношению к алюминию является окислителем [15, 30, 31]. Несмотря на эти достоинства водосодержащих промышленных ВВ, не содержащих взрывчатый сенсibilизатор, их применение ограничено в основном из-за низкой детонационной способности и сложной технологии изготовления.

Анализ объемов потребления взрывчатых веществ (ВВ), их ассортимента и распределения по типам показывает, что на современном этапе в Российской Федерации наблюдается выход на показатели, характерные для зарубежных стран: большая часть ВВ промышленного назначения представлена смесевыми системами, которые изготавливаются в непосредственной близости от мест потребления на стационарных пунктах производства (СПП ВВ) горных предприятий. Однако, до сих пор, в отличие от мировой практики, в Российской Федерации наряду с новыми видами эмульсионных ВВ продолжается достаточно широкое использование промышленных взрывчатых веществ с

содержанием индивидуальных ВВ (тротила) [19, 22, 25, 82]. В течение последних десятилетий в Российской Федерации рынок промышленных взрывчатых веществ (ВВ) «переживает» процесс перехода на передовые технологии. Спрос на тротилсодержащие ВВ стремительно падает на фоне роста рынка эмульсионных ВВ. Мощности по производству ЭВВ ежегодно увеличиваются.

Эмульсионные ВВ превосходят тротилсодержащие по таким основным характеристикам, как безопасность, меньшее отрицательное воздействие на экосистему и дешевизна, а также возможность изготовления данных ВВ непосредственно на местах применения. Из-за высокой опасности тротил запрещен к использованию в промышленных целях в большинстве стран мира. Однако в странах СНГ, в т. ч. и в России уровень потребления тротилового ВВ остается еще на довольно высоком уровне. При этом существуют прогнозы, что к 2020-му году доля тротилсодержащих ВВ в РФ сократится до 8-10% [82, 85, 86].

Применяемые в настоящее время промышленные взрывчатые вещества далеко не в полной мере удовлетворяют всем предъявленным к ним требованиям, поэтому изыскание новых и более эффективных ВВ является важной задачей специалистов, работающих в этой области. Остается актуальной проблема дальнейшего совершенствования технологии производства ВВ, используемых процессов и аппаратов. Все еще остаются не до конца решенными некоторые вопросы снижения опасности производства на всех его стадиях, повышения производительности и снижения себестоимости продукта [18, 19, 32].

1.3. Характеристики сырья, применяемого для изготовления простейших взрывчатых веществ

1.3.1. Разновидности аммиачной селитры, используемой для изготовления промышленных ВВ

Общая характеристика особенностей и объемов применения

Как уже указывалось выше, аммиачная селитра (нитрат аммония) является основным веществом, используемым для изготовления не только простейших АСВВ, но и всех других: эмульсионных ВВ (ЭВВ), водосодержащих (ВВВ), а также различных ВВ (аммониты, граммониты), содержащих в своем составе индивидуальные ВВ – нитросоединения. Повсеместное использование НА (АС) обусловлено, прежде всего, широкой сырьевой базой, огромными масштабами производства и низкой стоимостью.

Во всем мире выпускается около 23 млн. тонн аммиачной селитры. Из них около 1/3 расходуется на изготовление промышленных взрывчатых веществ. Крупнейшими производителями и потребителями аммиачной селитры для изготовления промышленных

ВВ являются США и Китай где в течение последнего десятилетия объемы производства взрывчатых веществ составили около 3 млн. тонн в год. В числе крупных производителей промышленных ВВ находится РФ, с объемом производства промышленных ВВ около 1,5 млн. тонн в год, Австралии (около 900 тыс. тонн в год), Южная Африка (750 тыс. тонн в год [15, 34, 35]. Азотной промышленностью страны выпускается несколько марок и разновидностей АС [36, 38].

Аммиачная селитра по ГОСТ 2 (ГОСТ 2-2013)

Аммиачная селитра (АС), основу которой составляет химическое соединение нитрат аммония (НА) - NH_4NO_3 , соль азотной кислоты и аммиака, молекулярная масса 80,043, температура плавления $169,6^\circ\text{C}$. По внешнему виду представляет собой кристаллическое вещество белого цвета, не имеющее запаха. Плотность 1690-1725 кг/м³. Содержание элементов в нитрате аммония в массовых процентах: кислорода, О — 60%, азота N — 35% и водорода, H — 5% [14, 16].

Аммиачная селитра обладает высокой гигроскопичностью, склонна к слеживанию. Селитра хорошо растворяется в воде, растворимость в значительной степени зависит от температуры. Растворение селитры в воде происходит со значительным поглощением тепла (0,33 МДж/кг) и понижением температуры системы при растворении

По химическим свойствам аммиачная селитра стойкая в нормальных условиях хранения соль. Кислоты и основания разлагают АС. За счет положительного кислородного баланса (КБ=+20%) аммиачная селитра является сильным окислителем. В расплавленном состоянии селитра реагирует со многими металлами (медью, цинком, свинцом) и их сплавами, образуя соответствующие нитраты металлов. Влажная селитра корродирует многие металлы. Расплавленная и твердая влажная селитра не реагирует с алюминием и его сплавами, сталью с присадками хрома и никеля, как с конструкционными материалами, но в порошкообразном виде алюминий и железо реагирует с АС [20].

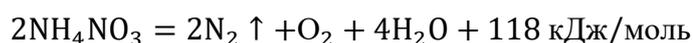
Термическое разложение нитрата аммония может происходить по-разному, в зависимости от температуры: при температуре $+110^\circ\text{C}$, постепенно происходит эндотермическая диссоциация аммиачной селитры на аммиак и азотную кислоту:



С повышением температуры до 200-270 °С, скорость разложения селитры возрастает с образованием в продуктах разложения значительного количества высокотоксичной закиси азота.



При температуре выше 270 °С, АС разлагается по следующему уравнению:



Это уравнение в отечественной литературе принимается за уравнение взрывчатого разложения АС [14, 15]. В зарубежной литературе [25] взрывчатое превращение АС описывается уравнением вида:



Нитрат аммония является слабым взрывчатым веществом. АС мало чувствительна к механическим воздействиям, её чувствительность возрастает при повышении температуры и наличии органических примесей. АС имеет максимальную чувствительность к механическим воздействиям и детонационному импульсу при содержании в ней органических примесей 0,2 % масс. Скорость детонации 1500м/с при плотности 1.0 г/см³, фугасность 180-220 мл, теплота взрыва 2.62МДж/кг, объем продуктов взрыва 980мл [13].

В промышленности нитрат аммония выпускается как в порошкообразном, так и в гранулированном виде. Основными областями использования АС в мировой практике является изготовление минеральных удобрений для сельского хозяйства и производство аммиачно-селитренных ВВ. По физико-химическим показателям АС по ГОСТ 2 должна соответствовать нормам, указанным в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Физико-химические показатели АС по ГОСТ 2-2013

Таблица 1.2.

Наименование показателя	Значение показателя для разновидности АС	
	Марка А ГОСТ 2-2013	Марка Б ГОСТ 2-2013
Внешний вид	Гранулы белого цвета	Гранулы белого цвета
Содержание основного вещества	98	98
Влажность, % не более	0,2	0,2
Насыпная плотность, г/см ³	0,85-0,90	0,85-0,90
рН 10% водного р-ра, не менее	5,0	5,0
Рассыпчатость, % не менее	100	100
Гран-й состав: от 1мм до 3 мм, менее 1мм и более 3 мм, менее 1мм, %, не более	93	Не норм.
	Не норм. 4	80 3
Статическая проч-ть гранул, Н/гранулу (кг/гранулу), не менее	5	8
	0,5	0,8

Выпускаемая селитра ГОСТ 2-2013 имеет малую пористость гранул, поэтому дизельное топливо не проникает в массив гранулы, а находится на поверхности гранул. Скважинный заряд из такого ВВ. расслаивается в течение 2-3 часов, дизельное топливо стекает в донную часть, где массовая доля его достигает 10 % (при исходном 5-6%), а в верхней части заряда всего 2-2,5 % [42, 53]. В результате ухудшается качество взрыва ухудшается по сравнению с ожидаемыми или расчетными показателями, наблюдается отклонения в проработке подошвы уступа, образуется большое количество кусков породы с завышенными габаритами ("негабариты") и т.д.

Пористая аммиачная селитра (ПАС)

Для улучшения детонационной способности смесей типа АСДТ применяют специально разработанные марки пористой селитры. Такая селитра имеет внутренние поры, в которые проникает необходимое для образования смеси стехиометрического состава количество (около 5, 6 % по массе) дизельного топлива (ДТ) [13, 15].

Производство АС марок пористая освоено азотными заводами РФ в конце XX столетия. Основными показателями, характеризующими качество такой пористой селитры, являются впитывающая и поглотительная (удерживающая) способность, механическая прочность и рассыпчатость (слеживаемость) гранул. Выпускавшаяся до 1990 г. пористая селитра не удовлетворяла техническим требованиям для получения на ее основе промышленных ВВ [13, 38].

Проблема серийного выпуска качественной пористой селитры была решена в АО «Акрон», где было освоено производство АС маркой "пористая" по ТУ 113-03-00203789-16-93 (ПАС, или с уточнение производителя ПАС-А). В результате комплекса испытаний была показана эффективность применения ПАС (ПАС-А) при изготовлении смесей АСДТ и использовании их при добыче полезных ископаемых. в последующие годы производство ПАС было освоено еще на нескольких азотных заводах РФ. Исследовались физико-химические показатели ПАС от азотных заводов из Новгорода (ПАС-Н), Березняков (ПАС-ББ, ПАС-БЖ), Ангарска Иркутской области (ПАС-И), Кирово-Чепецка (ПАС-КЧ). По основным показателям отечественная пористая селитра этих предприятий несколько уступает зарубежным аналогам, по другим по основным физико-химическим характеристикам близка к селитре фирмы «HYDRO» (таблица 1.3.).

Таблица 1.3.– Характеристики пористой аммиачной селитры нескольких разновидностей

Таблица 1.3.

Наименование характеристики	Результаты анализа селитры
-----------------------------	----------------------------

	HYDRO	Новгород		Новомосковск	Березники
Насыпная плотность, г/см ³	0,79	0,79	Мини прилят 0,78	0,67-0,83	0,60-0,84
Массовая доля воды, %	0,1	0,51	0,4	0,47	0,50
Статическая прочность гранул, г/гранулу	Нет данных	520	500	460	477
Массовая доля гранул, % размером					
- 1-3 мм,	-	88	-	94,5	95,0
- 1-2 мм	80	56	82	-	-
Менее 1 мм и более 3 мм, % суммарно	3	11	-	5,5	5
Впитывающая способность по ДТ, %	До 16	14	6,1	13,5	12,0
Удерживающая способность по ДТ, %	До 9	6,5	5,7	6,5	6,1

Следует отметить качество и прогрессивную технологию изготовления пористой селитры марки МП (ПАС-МП) в АО «Акрон», которая позволяет в процессе получения изменять насыпной вес селитры от 0,84 до 0,74 г/см³, исключить стадию сенсibilизации, использовать селитру с более высоким насыпным весом для гранулированных составов ВВ с целью повышения плотности заряжения и эффекта взрыва, а селитру с меньшей плотностью – для эмульсионных ВВ для снижения плотности эмульсионной матрицы [15, 24].

Поризованная (термообработанная) аммиачная селитра

Обработка готовых гранул, с доведением температуры продукта выше (ниже) температуры фазового перехода – «поризация». Циклы термообработки могут выполняться однократно или несколько раз (два и более). Эффективность поризации повышается при совместном использовании термообработки и кондиционирующих добавок, а также воды и/или водосодержащих композиций на основе карбонатов щелочных металлов (натрия) и других веществ (например, карбамида).

Гранулы сохраняют форму и основные признаки гранул исходного материала.. На поверхности увеличивается количество трещин и степень их раскрытости. Наблюдается смещение кристаллитных блоков «по высоте» с образованной уступов и шероховатостей, что приводит к нарушению «стекловидности» поверхности

Внутренняя структура так же остается подобной таковой в исходных гранулах но кристаллические образования имеют нарушения сплошности в виде раскрытых трещин, которые распространяются по всему массиву и соединяют поверхность гранулы с полостями усадочной раковины (газовых включений).

Качество продукта определяется типом исходного сырья, и интенсивностью процесса обработки – «поризации» с реализацией одного или нескольких фазовых переходов, а также наличия и типа ПАВ [44, 51, 60].

При использовании АС по ГОСТ 2-2013 продукт хорошего качества получается при двукратном цикле нагрева-охлаждения и использовании ПАВ или водорастворимых активирующих добавок.

Для селитры марок «пористая» продукт хорошего качества получается при однократном переходе IV-III-IV в присутствии ПАВ и/или водорастворимых активных добавок.

Для селитры марки ЖВГ продукт хорошего качества получается при осуществлении однократного перехода IV-III-IV и ПАВ из ЖВГ

1.3.2. Основные типы горючих добавок, применяемых в смесевых ВВ

Нефтепродукты

В составе простейших АСВВ, изготавливаемых непосредственно на местах применения, чаще всего используют жидкие горючие добавки (ЖГД) из числа нефтепродуктов (НП). Нефтепродукты, соответствующие требованиям стандартов, практически не содержат механических примесей, воды, свободных кислот и щелочей. Плотность НП составляет 0,82-0,93 г/см³ [19, 43].

Таблица 1.4. Характеристики нефтепродуктов, используемых при изготовлении простейших взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Нефтепродукт		Вязкость, сСт	Температура, °С	
Название	Марка		вспышка в открытом тигле	застывание
Дизельное топливо	АЗЛ	1,5-4,0 при 20°С	плюс 30-35	минус 55-60
		3,0-6,0 при 20°С	плюс 35-50	минус 35-45
		3,0-6,0 при 20°С	плюс 40-65	минус 10-15
Масло промышленное	И-8А	6,0-8,0	плюс 130	минус 20

Динитротолуол

Химическая формула динитротолуола (ДНТ) - $C_7H_6(NO_2)_2$ молекулярная масса 182,14. Кристаллическое, маслянистое вещество белого или светло-желтого цвета, получаемое при нитровании толуола или нитротолуола серно-азотными кислотными смесями. Образуется в виде смеси изомеров примерного состава: 2,4-ДНТ ~ 75%; 2,6-ДНТ ~ 20%; 3,4-, 2,3-, 2,5-, и 3,5- ~ остальное, около 5%. Некоторые физико-химические свойства изомеров ДНТ представлены в таблице 1.5 [5, 11].

Таблица 1.5. Некоторые физико-химические свойства изомеров динитротолуола

Таблица 1.5.

Свойства	Изомер ДНТ					
	2,3-	2,4-	2,5-	2,6-	3,4-	3,5-
Температура плавления, °С	59,5	71	66	66	58,3	93
	59,2	70	65,1	65,1	59,3	92
	63	71	65,5	65,5	60	91
Плотность, g/cm^3 при температуре, °С	1,2625	1,521	1,28	1,2833	,2594	1,2722
	111	111	111	111	111	111
Теплота сгорания, Q_v кДж/моль	3597	3568	3578	3575	3598	3569
Энтальпия образования, кДж/моль	-15,9	-68,1	-34,3	-43,9 -49,7	-14,6	-43,5

Динитротолуол практически не растворим в воде, хорошо растворим в таких органических растворителях как ацетон, пиридин, хлороформ, бензол, толуол, умеренно растворим в спиртах, четыреххлористом углероде, сероуглероде, а также в концентрированной серной и азотной кислотах. При повышенных температурах эти кислоты окисляют ДНТ. Динитротолуол достаточно инертен в химическом отношении, но склонен к химическим реакциям комплексообразования, легко взаимодействует с основаниями и другими нуклеофильными реагентами. В определенных условиях способен участвовать в химических реакциях замещения в ядро, по метильной группе, а также может реагировать с участием нитрогруппы. Высокие температуры кипения изомеров ДНТ (около 300°С,) свидетельствуют о достаточно высокой термической стойкости ДНТ.

Промышленностью выпускается 2,4- изомер ДНТ и технический ДНТ. Крупнейшим потребителем динитротолуола является производство толуилендиизоцианатов (ТДИ) 2,6-изомер ДНТ используется в лекарственных и биологически активных веществ.

В зависимости от назначения технический ДНТ выпускается промышленностью в соответствии с различными техническими требованиями к нему. Нормы физико-химических показателей ДНТ различного назначения представлены в таблице 1.5.

Динитротолуол - является относительно слабым бризантным взрывчатым веществом с работоспособностью около 190 см^3 (расширение в бомбе Трауцля) (около 63% работоспособности ТНТ) и скоростью детонации 3850 м/с при плотности $\rho=1,1 \text{ г/см}^3$ (для 2,4-изомера), в качестве индивидуального ВВ не используется. Крайне низкая восприимчивость ДНТ к детонации в сочетании со значительным критическим диаметром не позволяют получать в экспериментах с малыми зарядами стационарный режим детонации. Температура вспышки 160°C , кислородный баланс - 114,3% [5].

Из-за недостаточной мощности и восприимчивости к начальному импульсу не используется как индивидуальное ВВ, но может использоваться в промышленности как компонент смесевых взрывчатых веществ, преимущественно с аммиачной селитрой. Также используется в качестве пластификатора для баллистических порохов, в которых он заменил инертные добавки [5, 17].

В нашей работе для изготовления смесового ВВ, использовался ДНТ, полученный нами в лаборатории [17], с температурой затвердевания $58,8^\circ\text{C}$, а также образцы технического ДНТ, используемого в качестве пластификатора БП, состава: МНТ-1%, ДНТ-75%, ТНТ-24%.

Твердые порошкообразные добавки в составе АСВВ

Угольный порошок

Уголь для производства промышленных ВВ применяется гранулированный и пылевидный или другой, аналогичный по основным показателям, гранулометрический состав следующий [34, 88]:

- содержание фракции до 1,0 мм - не менее 70%,
- содержание фракции от 1,0 до 3,0 мм - не более 30%.

Основные показатели угольного порошка по ГОСТ Р 51591-2000 приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6. Характеристики угля по ГОСТ Р 51591-2000.

Таблица 1.6.

Наименование показателя	Ед. изм.	Норма
Зольность	%	25,80
Выход летучих веществ	%	49,50
Теплота сгорания	ккал/кг	4336
Массовая доля общей серы	%	2,34
Массовая доля общей влаги	%	13,50

Порошки металлов и сплавов

Для производства простейших смесевых взрывчатых веществ применяются:

Порошки алюминиевые:

- ПА-0, ПА-1, ПА-2, ПА-3, ПА-4 по ГОСТ 6058;
- АПЖ по ТУ 1791-99-024;

Порошок алюминиевый вторичный:

- АПВ по ТУ 48-5-152;

Крупка алюминиевая первичная АКП по ТУ 48-5-38;

Силико-алюминий дисперсный (порошки марок):

- САС-1-50, САС-1-300, САС-1-400 по ТУ 48-0107-42.

Алюминиевые порошки имеют серый цвет с металлическим блеском, во взвешенном состоянии в атмосфере воздуха (аэрозоль) взрывоопасен, а в насыпном состоянии (аэрогель) пожароопасен. При наличии инициирования воспламенения (горящие или раскаленные тела, электрические разряды и т.д.) аэрозоль алюминиевой пыли при концентрации выше нижнего концентрационного предела воспламенения (НКВП) взрывается. НКВП алюминиевой пыли - 40 г/м^3 . Температура самовоспламенения аэрозоля 540°C , аэрогеля - 470°C . При попадании в порошок воды не исключено его самовозгорание, при длительном процессе саморазогрева увлажненного материала. Опасность возрастает по мере увеличения дисперсности порошка [28, 31]. Характеристика порошков алюминия по ГОСТ 6058-73 представлена в табл. 1.7.

Таблица 1.8. Характеристики порошков алюминия

Таблица 1.7

Наименование показателей	АПВ	Порошки алюминиевые, марки					Крупка АП
		ПА-0	ПА-1	ПА-2	ПА-3	ПА-4	
Массовая доля активного алюминия, %	85	98	99	99	98	98	97
Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	0,015	0,016	0,035	0,044	0,070	0,1	0,01
Насыпная плотность, г/см^3	-	-	0,96	0,96	0,96	0,96	
Влага, не более, %	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Размеры частиц, мкм	500-	500-	260-	125-	90-	80-	500-
- в пределах	1000	1000	400	280	220	120	1250
- в среднем	700	720	250	180	140	100	850

При вдыхании пыль алюминия поражает легкие. Возможно раздражение слизистых оболочек глаз, носа, рта, кожи. Алюминиевая пыль попадает в организм при вдыхании и заглатывается. В кишечнике соли алюминия всасываются плохо.

Предельно допустимая концентрация алюминиевой пыли в воздухе рабочей зоны – 2 мг/м³ по ГОСТ 12.1.005. В соответствии с ГОСТ 12.1.007, алюминиевый порошок по степени воздействия на организм человека относится к 3-му классу опасности.

Порошок САС-1 (ТУ 48-0107-42-80) из алюминиево-кремниевно-никелевого сплава выпускается двух марок САС-1-400 и САС-1-50 в зависимости от химического и гранулометрического состава, данные по которым представлены в табл. 1.8 и 1.9.

Таблица 1.8. Химический состав алюминиево-кремниевно-никелевого сплава.

Таблица 1.8

Марка порошка	Код ОКП	Содержание компонентов, %				
		кремний	никель	железо, не более	окись алюминия, не более	алюминий
САС-1-400	17 9111 0062	25-30	5-7	0,6	-	остальное
САС-1-50	17 9111 0062	25-30	5-7	0,6	3,5	остальное

Таблица 1.9. Гранулометрический состав кремниевно-алюминиевых порошков.

Таблица 1.9

Марка порошка	Остаток на сите, %, не более				Проход через сито, %		
	Номера сеток по ГОСТ 3584-73						
	0,4	0,315	0,08	0,05	0,4	0,08	0,05
САС-1-400	0,3	1	-	-	полный	-	35-55
САС-1-50	-	-	0,3	2	-	полный	-

1.4. Некоторые характеристики и особенности оборудования для изготовления и переработки смесевых АСВВ

1.4.1. Оборудование для переработки смесевых АСВВ, изготовленных на заводах

Особенность обеспечения взрывных работ (ВР) в горной промышленности взрывчатыми материалами (ВМ), практически до конца XX столетия, сориентированная на применение ВВ "заводского" изготовления определяла как преимуществ так и недостатки в данном направлении.

При изготовлении ВВ на специализированных заводах осуществляется строгий контроль за качеством сырья, поступающего в производство. Технологические процессы изготовления ВВ (смесей) так же строго регламентированы. В общем числе требований к условиям изготовления смесевых ВВ следует выделить обязательные операции восстановления сыпучести и просеивания через сита с заданным размером ячеек всех твердых дисперсных компонентов. Другой важной составляющей таких процессов является

упаковка ВВ в тару (мешки) с повышенным уровнем надежности, герметичности и влагостойкости. Готовое ВВ, относящееся к классу опасных (класс 1 в соответствии с рекомендациями ООН), должно храниться в специальных складских помещениях, обеспечивающих защиту ВВ от прямого воздействия внешних климатических факторов (осадки, солнечная радиация). При этом упаковки с ВВ подлежат хранению только на поддонах или стеллажах, исключающих увлажнение продукта при контакте с полом хранилища. Однако, даже при выполнении всех перечисленных выше и других требований наблюдалось изменение свойств ВВ, в первую очередь из-за слеживаемости. Серьезному влиянию этого фактора подвержены ВВ типа "Гранулит", не содержащие взрывчатых компонентов. Еще большему негативному воздействию слеживаемости с утрате сыпучести и ухудшением взрывчатых характеристик подвержены ВВ в виде порошков, в частности, аммонит 6ЖВ. Для устранения этого недостатка на складах ВМ предусматривались специальные помещения в которых производилось раздавливание (рыхление разминанием) патронов и даже переупаковка их в новые оболочки.

Для работы с ВВ, поступающими на места ведения взрывных работ в мешках создавались специальные машины и механизмы растаривания, в которых осуществлялось рыхление возможных образований агломератов ВВ в результате слеживания. Такое решение можно признать как один из косвенных методов устранения последствий слеживаемости ВВ. Как правило такие машины были сложными по конструкции, оснащались мощными приводными станциями и являлись источником повышенной опасности. Ниже, в качестве исторической справки, приведены примеры нескольких устройств для переработки ВВ на горных предприятиях на пунктах подготовки ВВ при складах ВМ [59].

Установка растаривания качающаяся (УРК), схема которой представлена на рисунке 1 состоит из рамы 7, подвижного 1 и неподвижного 8 бункеров, дробильного устройства 10, опорных подшипников 6 эксцентрикового 2 и промежуточного 5 валов, амортизаторов 9, ограничительной стойки 12, натяжного устройства 4, электродвигателя во взрывобезопасном исполнении 3. Подвижный бункер состоит из корпуса, направляющей и наклонной сеток; он крепится к раме посредством амортизаторов, опорных подшипников и эксцентрикового привода, который сообщает бункеру колебательные движения [55].

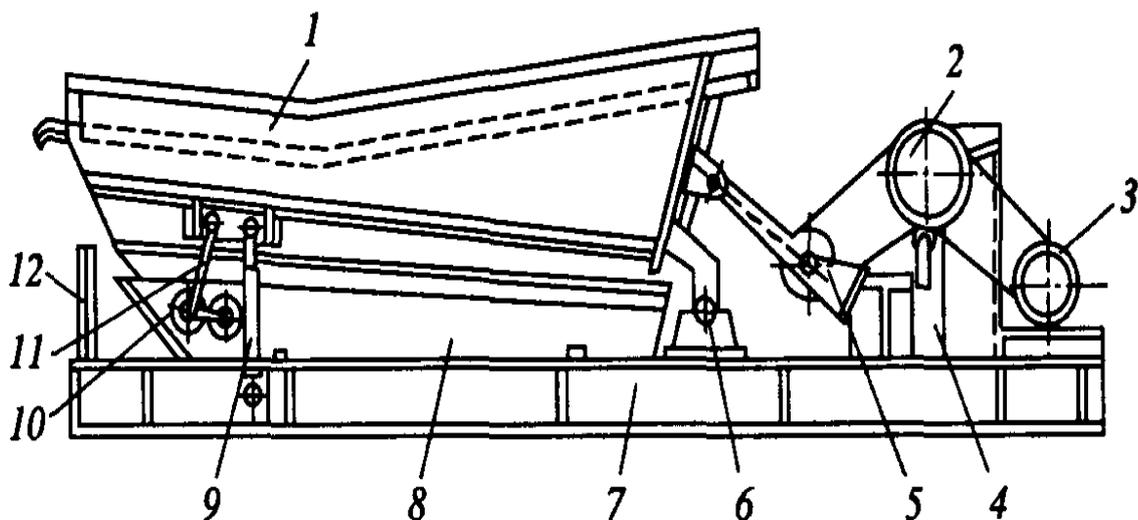


Рисунок 1 - установка растаривания качающаяся.

Вращение от электродвигателя посредством ременной передачи поступает на эксцентриковый привод, преобразующий вращательное движение в возвратно-поступательные перемещения подвижного бункера. Из разрезанного мешка, передвигающегося по направлениям подвижного бункера, за счет качающихся движений высыпается гранулированное ВВ, которое проходит сетку и направляется в бункер-накопитель. Крупные куски, не прошедшие через наклонную сетку, направляются в дробильное устройство, а затем в бункер-накопитель [45].

Установка растаривания вибрационная (УРВ-2), схема которой показана на рис 2, отличается от УРК по характеру работы подвижной части установки в режиме вибрации.

Мешок с ВВ, попадая на лоток 1 под действием вибрационных направленных колебаний, движется через нож 2 и разрезается. ВВ или аммиачная селитра высыпается на сито 4. Мелкая фракция, пройдя сито, попадает в бункер-накопитель. Крупные куски попадают в дробилку 5, 6, а оттуда в бункер-накопитель [45, 55].

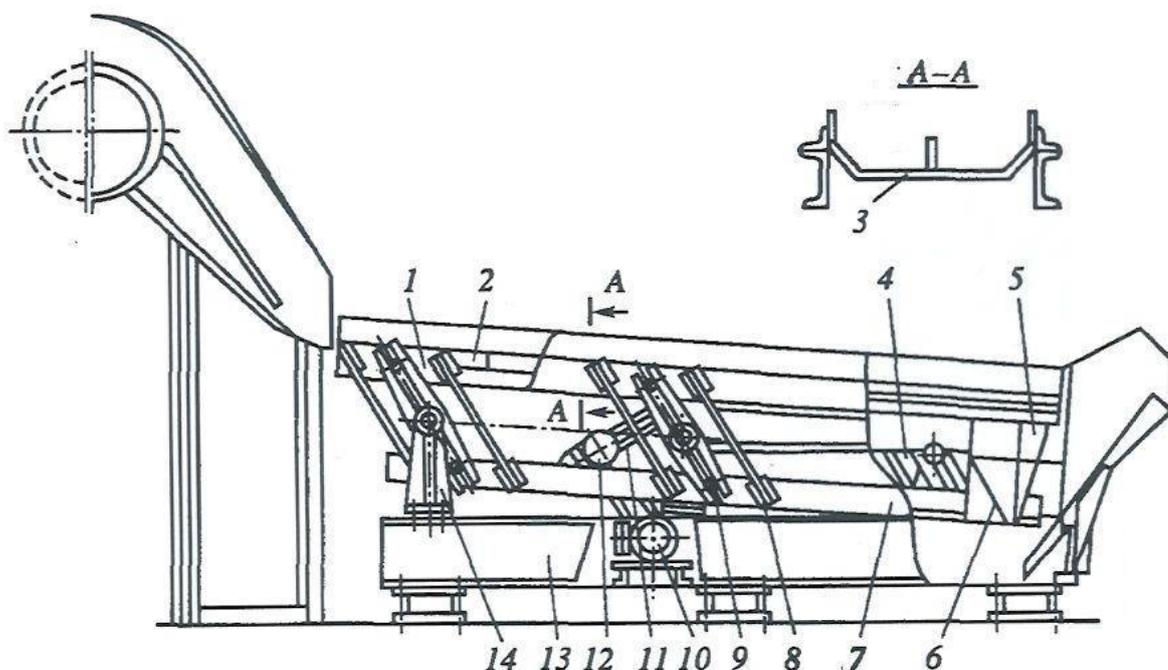


Рисунок 2 –Установка растаривания вибрационная.

Установка погрузочно-растаривающая (УПР), схема которой приведена на рис 11, отличалась от предыдущих тем, что размещалась не в стационарных пунктах подготовки ВВ (СПП), а устанавливалась на подвижные средства (шасси). На установке УПР осуществлялась растаривание гранулированных ВВ, находящихся в бумажной мешкотаре, накопление ВВ в бункере-накопителе или производилась загрузка ВВ в машину транспортно-зарядную (МЗ).

Мешки с ВВ с помощью конвейера поступают в приемный лоток растаривающего устройства, под действием силы тяжести они скользят по направляющей на вращающийся барабан. Захваченный шипами мешок разрезается ножом и гранулированные ВВ самотеком через решетку и патрубок поступают в бункер-накопитель. Порожние мешки лопастями отсекавателя выбрасываются на сетку воронки, а затем по наклонному лотку направляются в бункер мешкотары. Число мешков, поступающих на конвейер, фиксируют счетчиком [55].

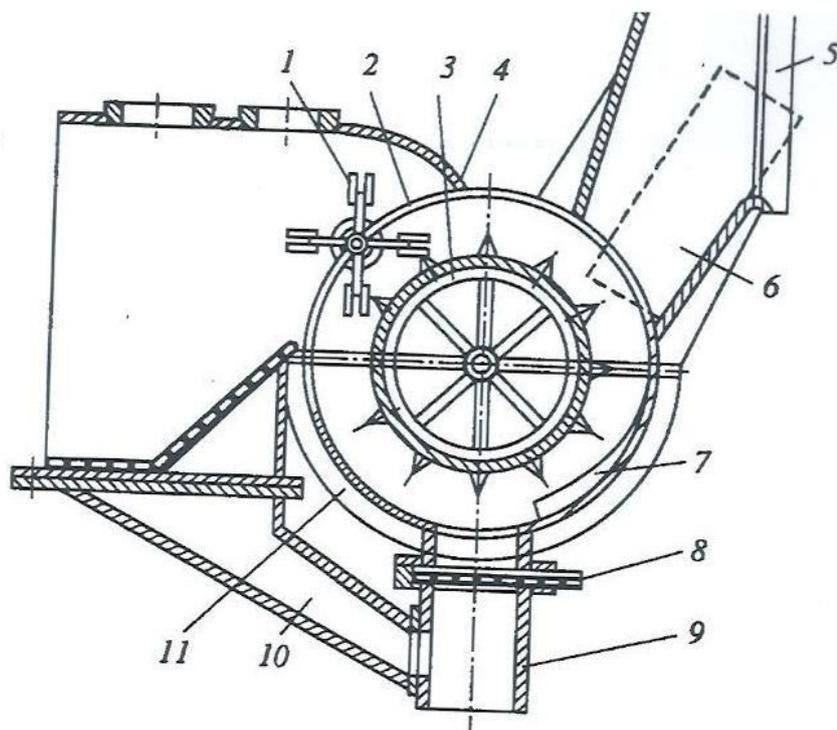


Рисунок 3 - Схема рабочего органа установка погрузочно-растаривающей (УПР).

1.4.2. Способы и средства механизированного изготовления смесевых аммиачно-селитренных ВВ в условиях предприятий, ведущих взрывные работы

Общая оценка состояния вопроса

Анализа современного состояния производства простейших промышленных взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры показывает, что в Российской Федерации и странах ближнего зарубежья (СНГ) используется несколько основных типов оборудования для производства данных ВВ [45]. После предварительной подготовки компоненты промышленных ВВ дозируются весовыми или объемными способами в различные по конструкции смесительные аппараты периодического или непрерывного действия. В результате технологического процесса смешения отдельные компоненты образуют однородную смесевую композицию промышленного ВВ [45].

Промышленные ВВ отличаются по составу, физическому состоянию и назначению. Вместе с тем в производстве промышленных взрывчатых веществ существует общая последовательность технологических операций. В подавляющем большинстве случаев технологию производства промышленных ВВ можно разделить на следующие фазы:

- прием компонентов и размещение их в хранилищах;
- подготовка основных компонентов и вспомогательных материалов;
- дозирование в заданном соотношении;
- смешение компонентов;

- загрузка изготовленного ВВ в транспортные (транспортно-зарядные) устройства или упаковка в мешки (патроны);

- складирование готовой продукции для временного хранения;

- доставка ВВ к месту использования и зарядание взрывных полостей.

Каждая из перечисленных фаз включает целый ряд операций, связанных с выполнением разнообразных технологических процессов [55].

В зависимости от состава и назначения промышленных ВВ в типовых процессах их получения и переработки могут быть некоторые отклонения в практическом оформлении отдельных операций и последовательности их выполнения.

Фаза складирования включает операции по приему сырья и материалов и контролю соответствия их качественных показателей паспортным данным, обеспечению сохранности, как в процессе хранения, так и подачи в производственный цикл [55].

Стадия подготовки компонентов промышленных обычно сводится к извлечению из тары (растариванию) рыхлению (измельчению) слеживающихся материалов, в частности, таких как АС и натриевая селитра, просеиванию измельченных компонентов. При необходимости проводится сушка просеянных компонентов. Подготовка жидких компонентов обычно сводится к растариванию и фильтрации от примесей.

Одной из основных особенностей производства любого ВВ, и промышленного в частности, по сравнению с предприятиями других отраслей, является угроза воспламенения или взрыва, при реальной возможности которого происходит работа. Поэтому технике безопасности в производстве ВВ уделяется особое внимание.

Соблюдение мер безопасности является одним из решающих факторов при выборе способа осуществления той или иной операции, типа и конструкции технологического оборудования, транспорта материальных потоков, систем энерго- и водоснабжения, конструкции производственных зданий и безопасного взаимного расположения в них аппаратов, машин и агрегатов, а также систем автоматизированного контроля и управления [50, 56].

Здесь важно отметить, что несмотря на наличие норм и правил, определяющих требования к технологическим процессам и аппаратам для изготовления смесевых ВВ, в условиях горных предприятий подходы к выполнению этих правил оказываются менее "жесткими" по сравнению с условиями изготовления ВВ на заводах. Такая ситуация приводит к отличию качества ВВ "местного изготовления" от ВВ заводских.

Технологическое оборудование, применяемого для изготовления промышленных ВВ подразделяется на традиционные группы по способу работы:

- циклического (периодического) действия;

- непрерывные, которые более корректно могут быть определены как дискретно непрерывные.

В соответствии с этим представляется возможным все разновидности оборудования для производства промышленных АСВВ разделить на ряд групп:

- с механическим смешивающим органом, в качестве которого, чаще всего, используются шнек или каскад шнеков;
- со смешивающим устройством в виде барабана - устройства типа СБ или "бетоносмеситель".

Измельчитель-смеситель игданита ИСИ-II создан в производственном объединении "Северовостокзолото" (ПО "СВЗ", г Магадан) для изготовления смесевых ВВ типа "Гранулит" (в частности, первого в стране ВВ такого типа - "Игданит") в условиях горных предприятий Северо Востока и страны. Соответственно, исполнение аппарата "арктическое" и отличается повышенной надежностью работы в экстремальных климатических условиях при температурах до минус 50°С. Схема смесителя игданита ИСИ-II показана на рис.4.

Аммиачную селитру, поступающую на производство в мягкой упаковке (мешки, контейнеры типа МКР и др.), растаривают и загружают в приемный бункер 1, где слежавшиеся куски рыхлят фрезами вращающейся тарели 2. Далее через сито тарели АС поступает в камеру смешивания 3, где шнеком 4 перемешивается с дизельным топливом. Шнек и шестеренчатый насос 5 для подачи дизельного топлива приводятся во вращение одним электродвигателем, что обеспечивает их синхронную работу [45]. Важно отметить, что смеситель ИСИ-II, является устройством, наиболее соответствующим требованиям, предъявляемым к механизмам для изготовления ВВ: все узлы аппарата в тракте прохождения ВВ выполнены из коррозионостойкой стали и из сплавов алюминия, аппарат обеспечивает переработку АС в любом состоянии по слежалости и "смерзанию", прочность агломератов при котором в несколько раз выше таковых при слеживании при температуре выше минус 17°С (*диссертационная работа В.Г. Шаруды, ИПКОН РАН*), конструкция дискового рыхлителя (тарели) практически полностью исключают проникновение не измельченных образований в камеру смешивания.

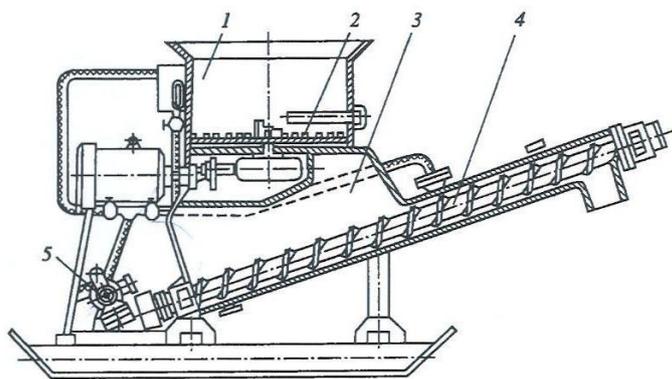


Рисунок 4- Измельчитель-смеситель игданита (ИСИИ-П) разработки производственного объединения «Северовостокзолото» (г. Магадан) с рыхлительно-сепарирующим органом в виде горизонтального вращающегося диска (тарели) с отверстиями (на фото справа)

Технические характеристики ИСИИ-П:

Производительность, т/ч:

при циклической работе	0,6
при непрерывной работе	4

Вместимость, л:

приемного бункера	300
смесителя	400
дозатора дизельного топлива	7

Частота вращения шнека, с⁻¹

1,87

Мощность привода, кВт, в т.ч.: суммарная

11,5

измельчителя

7,5

смесителя

4

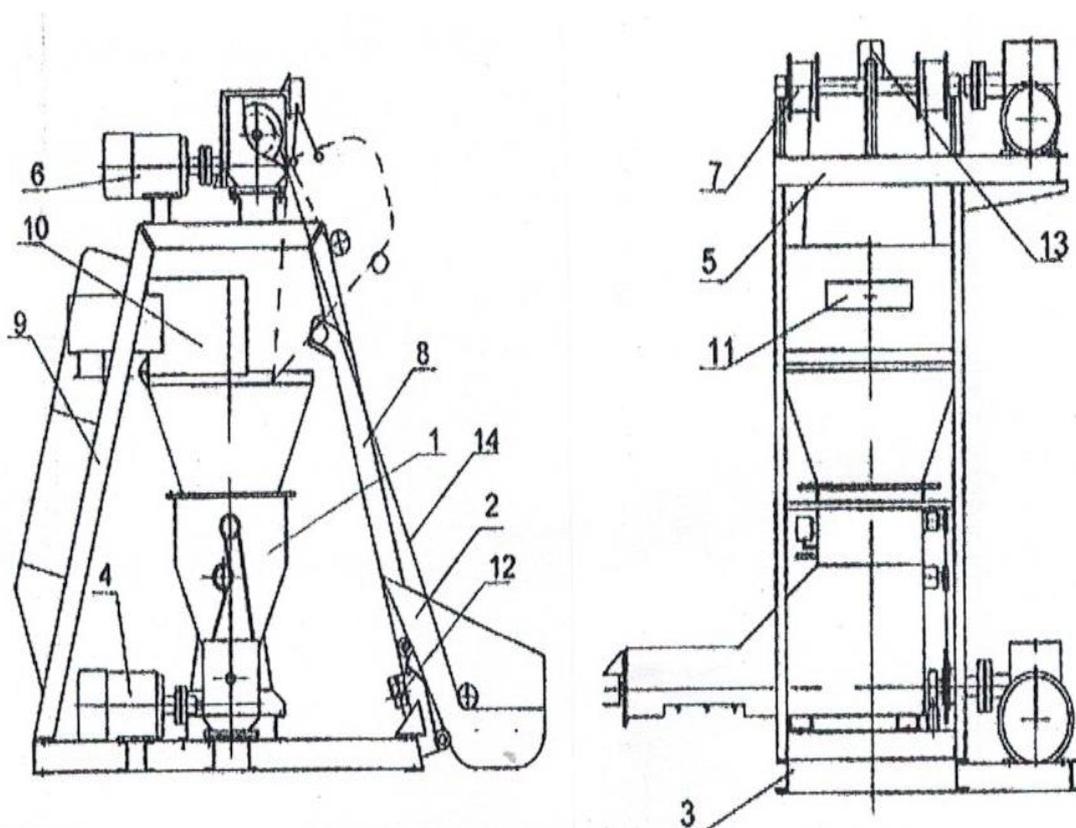
Масса, кг

1360

Смесительная установка УИ-2 предназначена для изготовления взрывчатых веществ типа Гранулит (гранулит А6, гранулит ЭТ и др.) методом холодного смешения составляющих компонентов в требуемой пропорции. Схема УИ-2 приведена на рис.5.

Установка состоит из трех узлов: дозирования, смешивания и упаковки готового продукта. Узел дозирования включает емкости-дозаторы для твердых и жидких компонентов. Узел смешивания - смеситель шнекового типа циклического действия с реверсивным вращением. В приемном бункере смесителя установлен узел измельчения в виде конуса. На поверхности конуса и охватывающего его цилиндра установлены по три

пластины с зазором 8-15 мм от корпуса, равноудаленные друг от друга, под углом 30-45 градусов к оси барабана. Такая конструкция обеспечивает рыхление агломератов АС до состояния пластин толщиной, соответствующей зазору, но без определенных размеров пластин по плоскости Узел упаковки готового продукта включает приемный разгрузочный бункер, соединенные с ним мерные емкости, калибровочные вставки, оснащенные шиберами.



1 - смеситель, 2 - скип, 3 - основание, 4 - привод вращения шнеков, 5 - рама, 6 - привод подъема скипа, 7 - барабаны, 8 - направляющие (горка), 9 - лестница, 10 - вытяжка, 11 - фильтр зернистый, 12 - выключатели концевые, 13 - кронштейн, 14 - трос.

Рисунок 5а – Установка изготовления ВВ типа АСДТ (УИ-2) разработки Казахского политехнического института (правопреемник – НПП «ИНТЕРРИН») с измельчающим органом в виде конуса (на фото внизу, конус показан извлеченным из корпуса).



Рисунок 5б – Установка изготовления ВВ типа АСДТ (УИ-2) разработки Казахского политехнического института (правопреемник – НПП «ИНТЕРРИН») с измельчающим органом в виде конуса (конус показан извлеченным из корпуса).

Особенности смесительной установки УИ-2:

- возможность применения в составе изготавливаемых промышленных ВВ различных видов нитрата аммония (ГОСТ 2-2013, ПАС по ТУ завода изготовителя);
- возможность изготовления многокомпонентных составов промышленных ВВ;
- простота обслуживания установки.

Недостатки смесительной установки УИ-2:

- малая производительность;
- низкое качество смешения компонентов.

Смеситель ANFO 1000 ТУ 3647-01-867300570-2008 (производства Компании «Яра АБ» - Швеция) предназначен для механизированного изготовления простейших смесевых взрывчатых веществ, в том числе и водосодержащих.

Работа данного смесителя по производству и транспортировке ВВ – непрерывная.

Изготовление ВВ осуществляется путем транспортировки по шнеку аммиачной селитры с непрерывной подачей в нее нефтепродукта при помощи топливной системы и дополнительного компонента из дополнительного бункера при помощи малого

горизонтального шнека [66]. На рисунке 6 представлен вид смесительной установки ANFO 1000.

Смеситель состоит из следующих частей:

- 1 – приемный бункер;
- 2 – шнек;
- 3 – топливная система;
- 4 – бункер дополнительного компонента с горизонтальным шнеком;
- 5 - панель управления.

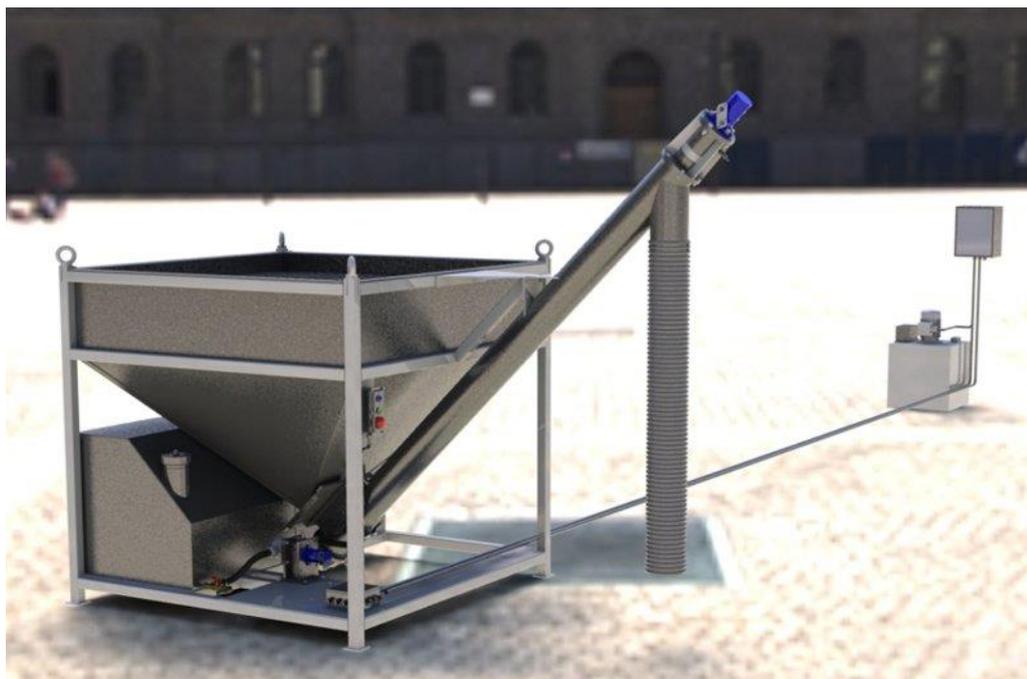


Рисунок 5в – смесительная установка ANFO 1000.

Загрузка АС, в мешках массой до 50 кг производится через боковую дверь приемного бункера. Для удобства работы приемный бункер оборудован неподвижной (фиксированной) решеткой с размером ячеек 10x10 мм для предотвращения попадания больших комков АС или посторонних предметов к смесительному винту. Эту решетку так же используют как рабочую поверхность при загрузке из мешков с АС.

Загрузка АС из контейнеров типа МКР ("Big Bag") производится через верх приемного бункера.

Дополнительный компонент загружается в бункер перед началом работы, откуда самотеком через течку бункера поступает на горизонтальный шнек с электрическим приводом. Из горизонтального шнека дополнительный компонент поступает в основной шнек.

1.4.3. Оборудование со смешивающим устройством в виде смесительного барабана

Оборудование данного типа в основном представлено рядом гравитационных смесителей, с различной производительностью и комплектностью поставки. Аппараты со смесителем барабанного типа имеют широкое распространение в промышленности в силу высокой эффективности смешивания систем из компонентов в различном агрегатном состоянии. Наглядным доказательством этого являются установки "бетоносмеситель".

Наиболее распространенными в РФ аппаратами барабанного типа (смесители БС) являются смеситель СВВ по ТУ 7276-006-11692478-99 (Рисунок 6) и смеситель ОСГ по ТУ 4826-026-17131060-2003 (Рисунок 7) [50, 94]. Эти смесители позволяют изготавливать практически все применяемые в РФ типы АСВВ, включая смеси с добавками дисперсных твердых компонентов. Одним из недостатков технического характера для устройств БС с изменяемым в рабочем цикле положением оси вращения является сложность выполнения операции опрокидывания барабана в силу проявления эффекта гироскопа.

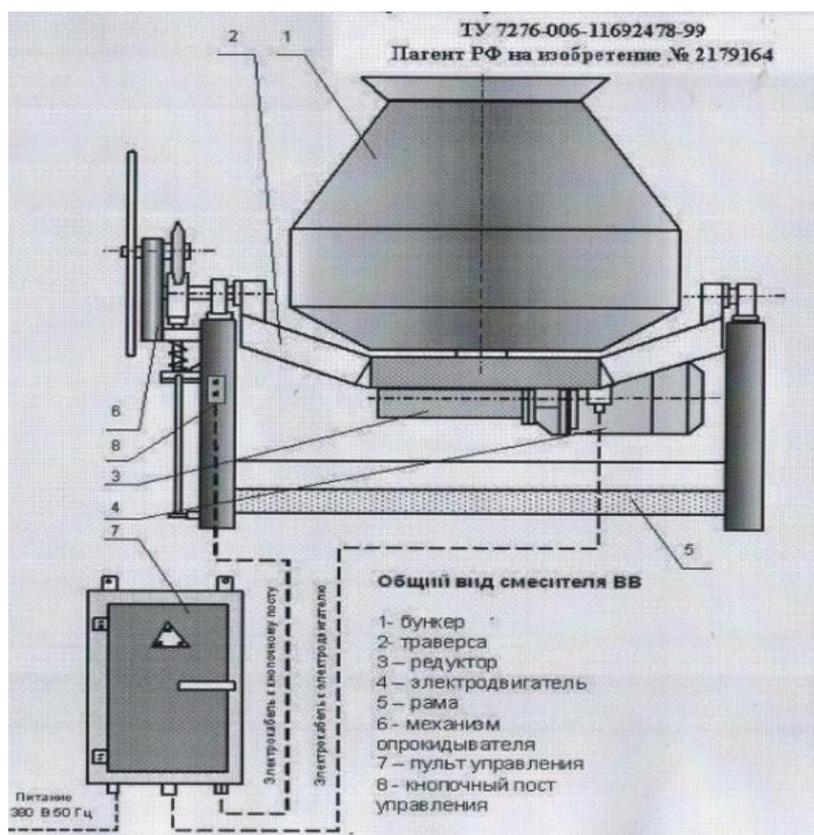


Рисунок 6 - Схема смесителя барабанного типа разработки НТФ. "Взрывтехнология" [Информационные материалы предприятия]

Объемный смеситель гравитационный (ОСГ) предназначен для изготовления простейших взрывчатых веществ, а также водосодержащих на месте применения – в условиях горно-добывающих предприятий [90].

В зависимости от объема смесителя, возможная производительность 8-ми часовой рабочей смены, варьируется в следующих пределах: 8-16 тонн.

Гравитационный смеситель содержит цилиндрический корпус с коническим днищем, патрубки для загрузки и выгрузки продукта. Внутри корпуса по центру установлен вертикальный трубопровод, на котором с определенным шагом располагаются тангенциально гидравлические форсунки. Между трубопроводом и корпусом жестко закреплена одинарная прерывистая ленточная спираль. Под последним витком прерывистой ленточной спирали расположено наклонное ситовое днище с резиновым компенсатором [48, 94].

Работа установки ОСГ — цикличная, с остановками для загрузки компонентов и выгрузки готового ВВ; средняя продолжительность одного полного технологического цикла — 5 минут.



Рисунок 7 - Внешний вид (фото) смесителя ОСГ.

Достоинствами данного смесителя являются:

- низкая стоимость изготовления и обслуживания оборудования;
- простота конструкции смесителя;

- высокая мобильность установки;

Недостатки объемного смесителя гравитационного:

- малая производительность (при увеличении количества смесителей, от данного недостатка можно избавиться);

- при увеличении числа смесителей увеличивается штат обслуживающего персонала, что в свою очередь повлияет на себестоимость изготовления ВВ;

- низкая автоматизация процесса приготовления ВВ;

- сложность точной дозировки компонентов производимого ВВ.

Модульный пункт производства смесевых взрывчатых веществ (МППСВВ) в качестве основного аппарата содержит смеситель барабанный (СБС) с сепарирующим вкладышем во внутренней полости. В зависимости от типа ВВ, подлежащего изготовлению основной аппарат СБС оснащается дополнительными агрегатами для подготовки и дозирования компонентов различных видов: жидких нефтепродуктов, порошка угля, дисперсного алюминия, добавок в виде эмульсии и т.д.

МППСВВ представляет собой автономные модули – 20 или 40 - футовые универсальные контейнеры (или другие защитные корпуса), в которых размещено технологическое оборудование. МППСВВ, является аналогом устройств на основе гравитационных смесителей типа смеситель барабанный (СБ) или «бетоносмеситель», применяемых для изготовления смесевых ВВ в различных условиях, включая подземные выработки. Отличие состоит в использовании СБ увеличенной вместимости, а также в повышенной мобильности при высоком уровне механизации всех основных технологических процессов и вспомогательных операций за счёт применения переставных универсальных бункеров-контейнеров (УБК) специальных блоков и универсальных грузоподъёмных средств [49].

На рисунке 8 представлена принципиальная технологическая схема МППСВВ в полной комплектации. При необходимости в состав МППСВВ может быть введен комплекс аппаратов для предварительной подготовки - поризации АС.

С помощью МППСВВ возможно изготовление смесевых взрывчатых веществ типа гранулитов из невзрывчатых компонентов, допущенных в установленном порядке к изготовлению, а также композиционные ВВ, типа «тяжелые ANFO».

Потенциально возможная производительность модульного пункта до 50 т/смену - нефасованных ВВ, 30 т/смену – фасованных, при использовании одного дозатора, и до 50 т/смена – при использовании двух дозаторов для упаковки ВВ в мешки.

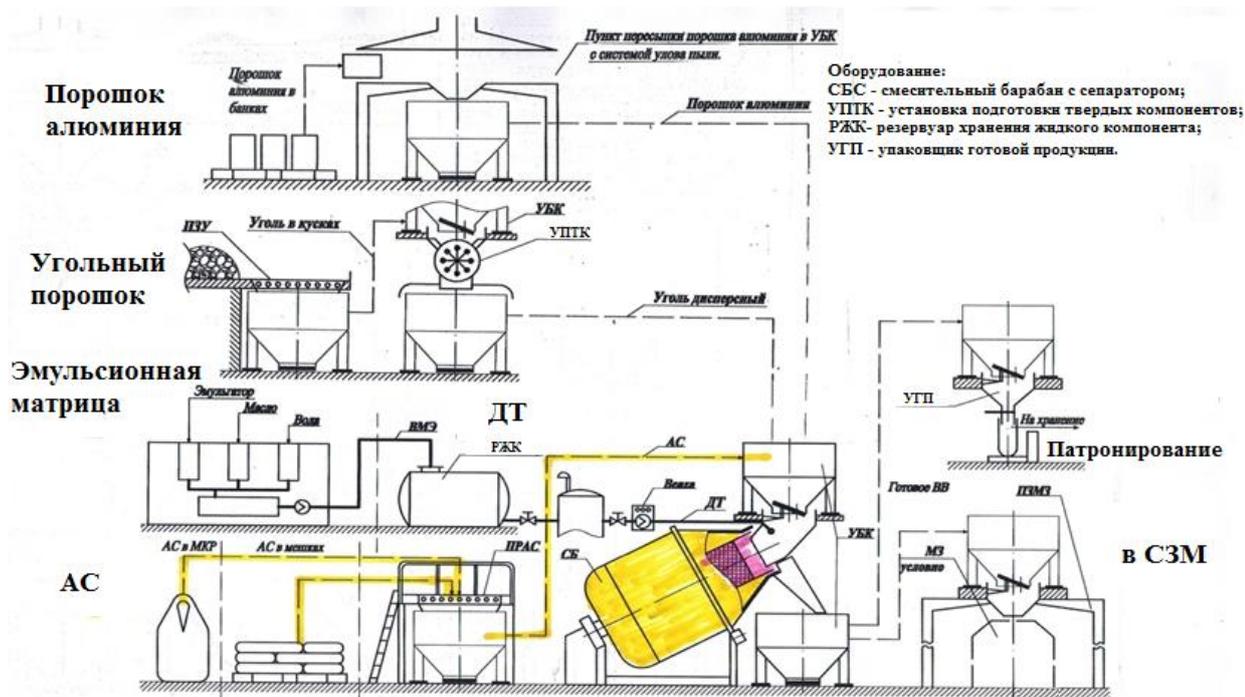


Рисунок 8 - Схема технологического комплекса МППСВВ по изготовлению смешанных аммиачно-селитренных ВВ с использованием смесителя барабанного типа (СБ) увеличенной вместимости с рыхлительно-сепарирующим вкладышем во внутренней полости (смеситель СБС). Приведена полная базовая комплектация оборудования для подготовки горбчих различной природы: жидких (ДТ, НП, МИО, ММО), в виде эмульсий ("прямых", "обратных"), порошкообразных (уголь, торф, мка органическая и др.), дисперсных металлов (алюминий и сплавы). Отгрузка готового ВВ может осуществляться по нескольким вариантам: в патронах, в мягкой упаковке (мешки, контейнеры типа МКР), в зарядные машины (МЗ, СЗМ)

Достоинствами МППСВВ:

- не требует устройства капитальных зданий для организации производства;- простота конструкции смесителя;
- высокая мобильность установки;
- высокая производительность;
- малое количество обслуживающего персонала;
- широкий ассортимент изготавливаемых ВВ.

В качестве недостатков МППСВВ можно выделить

- достаточно высокая стоимость (компенсируется производительностью).

Для дозировки жидкого компонента ЖК используется блок дозирования, состоящий из системы емкостей, трубопроводов, насосов, запорной арматуры и измерителей величины

порции ЖГД объемным методом. Основу дозирования ЖК составляет электронасосный блок для перекачки и раздачи топлива.

Расходный запас ЖК хранится в емкости соответствующей требованиям устройства подобных объектов на автозаправочных станциях переработки горюче – смазочных материалов (ГСМ). Вместимость емкости выбирается исходя из условия обеспечения бесперебойной работы МППСВВ в течение не менее 5 дней.

Управление работой смесителя и элементов МППСВВ осуществляется с пульта управления, рабочая поверхность которого и органы управления вынесены на панель в нише в стенке кожуха – контейнера. При этом наиболее важные и аварийные органы управления выполнены с дублированием на рабочем месте [49].

Принципиальным отличием МППСВВ является применение для дозирования и загрузки сыпучих компонентов и межоперационного транспортирования универсальных бункеров-контейнеров (УБК), представленных на рисунке 9.



Рисунок 9 – универсальный бункер контейнер.

УБК - сменно возвратное устройство для накопления, хранения и межоперационного транспортирования всех продуктов и ВВ в твердом (сыпучем) состоянии. Днище УБК - пирамидальной (или конической) формы с углами наклона поверхностей, исключающими зависание перерабатываемых продуктов.

Разгрузочный люк - поворотная пластина с осью, смещенной от осевой линии люка (открывается только после установки УБК в заданную позицию на внешнем приемнике).

На рисунке 10 – представлен модуль смесительного барабана и узел дозирования компонентов МППСВВ в контейнере с дополнительной защитной крышей из прозрачного материала.



Рисунок 10 – модуль смесительного барабана комплекса МППСВВ

Основные параметры и технические характеристики оборудования МППСВВ представлены в таблице 1.10.

Таблица 1.10.

№	Наименование показателя	Величина показателя
1	Геометрический объём барабана, м ³	До 10,0
2	Длина, мм	6100
3	Ширина, мм	2340
4	Высота, мм	2340
5	Масса комплекса (брутто), кг	не более 10000
6	Частота вращения смесительного барабана, об/мин.:	при загрузке и перемешивании 7 - 14
		при разгрузке: 7 - 10

Технологическое оборудование подготовки и термообработки аммиачной селитры в гранулированном состоянии предназначено для улучшения качества АС по показателям пористости и/или маслопоглощения, в итоге, повышения физической стабильности получаемого АСВВ с жидкими горючими компонентами (НП, ДТ). Термообработка АС осуществляется по принципу кондуктивного нагрева, АС от разделительных стенок барабана, обогреваемых горячей водой. Схема барабанного

аппарата нагрева (БАН) по патенту РФ на изобретение № 2452719 (2010 г.) с несколькими рабочими полостями в виде разреза по плоскости оси вращения показана на рис.11, а внешний вид устройства с системой загрузки АС и вентиляции - на рис. 12. [51, 52]

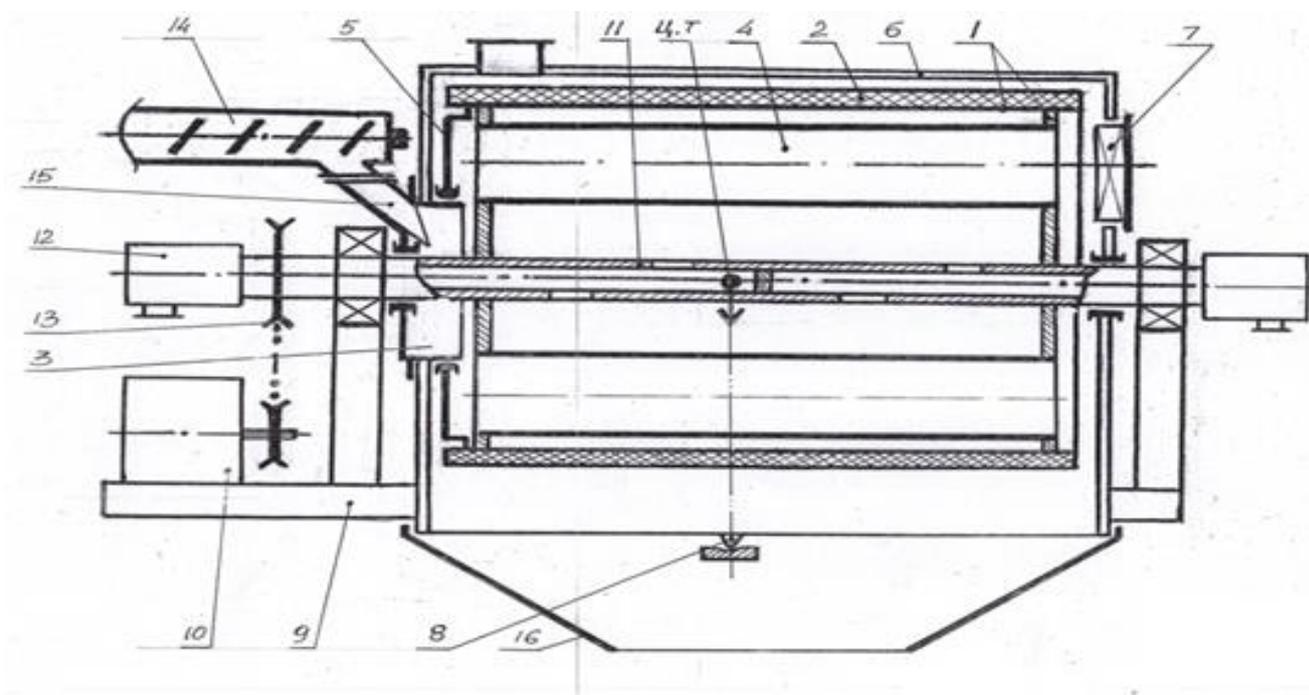


Рисунок 11 - схема барабанного аппарата нагрева (БАН) с шестью рабочими полостями (поз.4), обогреваемыми водой, которая подается в полый вал (11) через муфты ввода потока (12) .

Обогревающая вода в барабанный аппарат нагрева (БАН) подается с помощью специальных муфт ввода теплоносителя (МВТ) во вращающийся полый вал устройства.

Температура АС контролируется с помощью датчика температуры, который размещается в разгрузочной горловине в днище БАН.

Термообработанная АС из БАН в режиме самотечного потока загружается в универсальный бункер-контейнер (УБК). В УБК термообработанная АС с помощью вилочного автопогрузчика или другого грузоподъемного механизма (крана) могут быть транспортированы к месту хранения или использования для производства ВВ [51]. Как указывалось выше, набор аппаратов для поризации АС может быть включен в состав любого технологического комплекса по изготовлению смесевых ВВ в условиях горных предприятий, например, МППСВВ.



Рисунок 11а – барабанный аппарат нагрева АС с бункером питателем (на фото - справа вверху) и системой вентиляции с зонтом над зоной выгрузки

Технологический цикл подготовки и обработки включает:

- прием АС в мягкой штучной таре (мешки, контейнеры типа МКР и др.);
- выгрузку АС из упаковок (растаривание) на приемную решетку аппарата рыхления;
- восстановление сыпучести и сепарация от посторонних включений в барабанном аппарате рыхления (БАРС);
- перегрузка сыпучей АС с помощью каскада шнековых транспортеров (ТШ) в промежуточный бункер (БАС) с шиберным затвором в виде поворотного сектора;
- выдачу АС в виде регулируемого потока, задаваемого дозатором шнекового типа (ШД), на операцию термообработки;
- термообработку АС путем кондуктивного нагрева в аппарате барабанного типа (БАН);
- прием и накопление термообработанной («поризованной») АС (ПАС) в переставном универсальном бункере-контейнере (УБК);

-транспортировку УБК с ПАС с помощью вилочного погрузчика к месту последующего применения;

-выгрузку ПАС из УБК через разгрузочную платформу в бункер смесительного или смесительно-зарядного устройства (машины) [49, 52].

Технические характеристики барабанного аппарата нагрева представлены в таблице 1.11.

Таблица 1.11.

БАН Техническая характеристика	Норма показателя
Производительность при односменном режиме работы	3 т/ч
Потребляемая электрическая мощность	Не более 25 кВт
Водопотребление	t=98°C; 15 м ³ /ч.

В качестве транспортных устройств для межоперационного транспортирования разрыхленной АС использованы транспортеры шнековые (ТШ). В технологии используется каскад из нескольких ТШ. Шнеки имеют одинаковую конструкцию и различаются только по длине рабочего участка шнеков. Корпуса шнеков выполнены в виде желобов с цилиндрическим днищем и вертикальными стенками выше диаметрального сечения с открывающимися верхними плоскими крышками [52].

1.5. Выводы по разделу, уточнение цели и задач работы по экспериментальному изучению объекта исследования

На основании выполненного анализа состояния вопроса и проблем применения взрывчатых веществ в промышленности, в первую очередь, в горном деле для разрушения массивов горных пород при подготовке их к выемке установлено:

- основная масса взрывчатых веществ (ВВ), применяемых в промышленности для разрушения массивов горных пород и других целей являются системами смесевыми и гетерогенными. Эти системы могут состояться из веществ различной химической природы и физического состояния с присущими этим веществам целевыми, эксплуатационными и другими особенностями;

-начиная со второй половины XIX столетия наибольшее развитие и распространение получили смеси на основе нитрата аммония (НА), известного под тривиальным названием - аммиачная селитра (АС) [57]. В истории развития таких смесей можно выделить несколько временных периодов и соответствующие им группы (классы)

ВВ: динамиты, динамоны, аммониты, граммониты, гранулиты, водосодержащие ВВ (ВВВ) и, на текущий момент времени, ВВ эмульсионного типа (ЭВВ) [25];

- применявшиеся до промышленного освоения производства АС в гранулированном состоянии смеси в виде порошков, в частности, динамоны и аммониты обладают высокими показателями детонационной способности, которую наиболее рационально оценивать по величине критического диаметра детонации (d_k) и восприимчивости к инициирующему взрывному импульсу, а также по скорости детонации (D);

- смеси на основе АС в виде порошка были разработаны в нашей стране и эффективно применялись для разрушения массивов горных пород различной крепости, например, аммонит БЖВ до настоящего времени принимается в качестве эталона при оценке сравнительной взрывной эффективности ВВ;

-одним из неоспоримых преимуществ смесей на основе порошков АС с высокой дисперсностью является повышенная восприимчивость к взрывному импульсу и возможность возбуждения взрыва с помощью первичных средств инициирования (СИ) без промежуточного (дополнительного) детонатора (ПД, ДД, ДП), соответственно, заряды из таких ВВ могут иметь самостоятельное применение, например, в качестве ПД, для разрушения негабаритов и других объектов;

- применение ВВ в виде порошков было сопряжено с проявлением существенного недостатка, задаваемого особенностями свойств основного компонента (АС) , отличающегося повышенной гигроскопичностью и склонностью к "слеживанию" , что привело практически к полному отказу от использования композиций типа "динамон" с добавками невзрывчатых компонентов в первой половине XX столетия, когда было создано производство АС в виде гранул;

- в смесевых ВВ на основе АС в гранулированном состоянии с горючими добавками в виде жидких нефтепродуктов (НП), в частности, дизельного топлива (ДТ), отрицательное влияние эффекта слеживаемости проявляется в меньшей степени по сравнению с порошками, но существенное значение приобретает фактор недостаточной физической стабильности по перераспределению компонентов;

- фактор не достаточной наибольшей степени проявляется при использовании гранул АС с повышенной плотностью;

-одной из причин недостаточной физической стабильности смесей типа АСДТ можно признать отсутствие "химического сродства" смешиваемых компонентов;

-следует признать, что термины "физическая стабильность" или "недостаточная физическая стабильность", которые обозначают изменение физических (физико-механических) параметров системы во времени, применимы для определения обоих

названных недостатков: "перераспределения компонентов" с изменением однородности смеси и "слеживания" с изменениями в показателях "дисперсность" и "рассыпчатость" - особенности сырьевого обеспечения производства смесевых ВВ в РФ в течение нескольких десятилетий определили поиски и разработку различных способов повышения физической стабильности смесей типа АСДТ по фактору перераспределения компонентов в результате "стекания" НП (ДТ) под действием сил тяжести [53, 77];

-из большого разнообразия этих способов можно выделить решения, как наиболее рациональные и эффективные, основанные на введении в ДТ (НП) поверхностно активных веществ (ПАВ), добавок со структурирующим эффектом (структурообразователи битумные) [6], твердых дисперсных добавок, способных к частичному растворению - набуханию в ДТ (порошки бурых углей) или обладающих повышенной поглотительной способностью по отношению к ДТ (порошки торфа, коры хвойных деревьев, муки органического происхождения и др.);

-в соответствии с особенностями сырья, доступного для изготовления смесевых ВВ, в частности, товарных форм АС создавались различные средства и машины для переработки и зарядки ВВ во взрывные полости на (скважины, шпуры) горных объектах [77];

-специфика подходов обеспечения взрывных работ взрывчатыми материалами в нашей стране привела к затягиванию сроков использования для этих целей ВВ, изготавливаемых на специальных заводах с применением в качестве компонентов смеси индивидуальных (молекулярных) ВВ, для которых требовалось создание специальных складов-хранилищ, обеспечивающих сохранность ВВ;

-возможности механизированной переработки ВВ ограничивалась повышенной опасностью, обусловленной использованием в состав взрывчатых компонентов, и сводилась к созданию машин для растаривания (мешков);

-за последние два десятилетия ситуация изменилась и развивается в соответствии с мировыми тенденциями, где основная масса смесевых ВВ на основе аммиачной селитры изготавливается в непосредственной близости от мест применения на предприятиях, ведущих взрывные работы;

- такой подход позволяет механизировать весь цикл работ по приему компонентов, изготовлению смесей и их зарядке на взрывных блоках;

-в нашей стране одновременно с созданием простейшего смесевых ВВ "Игданит" в конце 50-х годов XX столетия были созданы механизмы, машины и технологические комплексы для изготовления смесевых ВВ различных типов (разновидностей) типа гранулит (АСДТ, ANFO);

-из общего числа устройств для изготовления ВВ на основе АС в твердом состоянии можно выделить созданные в стране смесители с рабочими органами в виде шнека (ИСИ-II, УИ-2) и смесители барабанные (СВ, ОСГ, СБС);

-наиболее полно специфике сырьевого обеспечения производства смесевых ВВ и климатических условий в стране, включая отдаленные регионы Севера соответствуют смесители ИСИ-II и СБС, в которых осуществляется измельчение-рыхление агломератов АС, образующихся в результате слеживания и/или смерзания и полную сепарацию подготовленной АС от посторонних не измельчаемых включений;

-одним из перспективных направлений по повышению стабильности состава смесей типа АСДТ по фактору разделения (стекания) компонентов под действием сил тяжести при использовании АС в виде высокоплотных частиц гранул или кристаллических образований при хранении в течение длительных сроков следует признать способ термической обработки-поризации АС;

- несмотря на наличие большого числа способов и приемов изготовления ВВ на основе АС в твердом состоянии технических решений по устранению отрицательного влияния слеживаемости и недостаточной физической стабильности смесей до настоящего времени не найдено, что подтверждает актуальность выбранной темы работы, цели и задачи исследований, что перечислено в начале настоящего материала.

2. Лабораторно-полигонные испытания физико-химических и взрывчатых свойств простейших ВВ на основе АС

2.1. Обоснование методов исследования

Процесс исследования эксплуатационных и взрывчатых характеристик промышленных ВВ на основе АС довольно сложен из-за наличия многокомпонентных рецептур, а также за счет разнообразия марок аммиачной селитры и сложности оценки характеристик в лабораторных условиях в силу своей трудоемкости [6, 28].

Необходимыми условиями применения промышленных ВВ является их безопасность и эффективность при ведении взрывных работ [73]. Эффективность промышленных взрывчатых веществ предусматривает безотказное срабатывание от существующих средств инициирования с оптимальными характеристиками и качественное дробление е пород, а безопасность должна исключать самопроизвольное взрывание от случайных внешних воздействий при изготовлении, хранении, перевозке и применении. Для оценки эффективности и безопасности разработаны различные схемы и методики испытаний, которые позволяют определить физико-химические и взрывчатые характеристики, а также показатели безопасности [16, 19, 58, 74].

Анализ имеющихся данных показывает, что основными направлениями исследований во многих работах является оценка влияния отдельных параметров на стабильность простейших порошкообразных АСДТ при хранении, и изменение взрывчатых свойств от условий и времени хранения. На практике известны несколько видов нестабильности простейших АСВВ, которые могут привести к частичной или полной потери детонационных свойств ВВ данного вида: слеживаемость, расслоение состава [18, 37, 38].

Однако на сегодняшний день острее всего стоит проблема слеживаемости порошкообразных промышленных ВВ на основе нитрата аммония, так как эта проблема, указанных выше ВВ ведет не только к потере детонационных свойств, и вследствие чего возникновению отказов, при ведении взрывных работ, на территории различных горно-добывающих предприятий, что в свою очередь ведет к уменьшению коэффициента использования шпура (КИШ),а также к нарушению технологического цикла ведения взрывных работ. При этом на взрываеом блоке, где обнаружен отказ, останавливается ведение взрывных работ, и принимаются меры к его ликвидации [79, 87].

Методики и приборы для определения физико-химических и взрывчатых характеристик описаны в различных учебниках, справочниках, ГОСТах и т.д. [37, 40, 70, 80, 83, 84].

2.2. Выбор составов для исследования

В экспериментах испытывали смесевые ВВ: специально приготовленные смеси заданного состава в соответствии с конкретными техническими условиями и целями исследования:

1. АС ГОСТ 2-2013/ДТ – 94,5/5,5 (эталон для сравнения);
2. АС ПАС/ДТ - 94,5/5,5 (состав использовался как эталон для сравнения);
3. АС ГОСТ 2-2013 (порошок с размером частиц $\leq 0,5\text{мм}$)/ДТ/Добавка антислеживатель (в количестве 5 % сверх 100%) – 94,5/5,5;
4. Поризованная АС ГОСТ 2-2013/ДТ – 94,5/5,5;
5. АС ГОСТ 2-2013/ПТ
6. АС ГОСТ 2-2013/ДНТ (технический);
7. Поризованная АС ГОСТ 2-2013 /ДНТ (технический).

Изготовление данных составов смесевых ВВ в испытательных целях производили путем перемешивания всех компонентов смеси в течение 3-5 минут в пластиковой емкости. Для равномерного распределения дизельного топлива при смешении использовали пластмассовую емкость в виде лейки. Необходимые порции компонентов определяли взвешиванием – «задавали по массе».

Для изготовления смесей использовали АС двух наиболее применяемых широко распространенных на сегодняшний день марок: производства ААТЗ ПАС и ГОСТ 2-2013 [14], а также АС подвергнутую термообработке (поризации).

В данной работе испытываемые образцы ВВ были подвергнуты следующим испытаниям:

- слеживаемость;
- скорость детонации;
- критический диаметр детонации;
- чувствительность к удару;
- чувствительность к трению;
- чувствительность к лучу огня;
- температура вспышки, а для компонентов, в частности для АС, определялся ряд физико – механических характеристик:
- гранулометрический состав;
- слеживаемость.

2.3. Определение взрывчатых и физико-химических характеристик выбранных составов

2.3.1. Характеристики смесевых ВВ

Определение теплоты взрыва, скорости детонации, критического диаметра детонации и др. важнейших с точки зрения теории взрывчатых веществ, физико-химических характеристик зарядов современных промышленных ВВ, сопровождается большими сложностями, так как они не взрываются в малых объемах [41, 69, 74].

В полигонных условиях определяют критический диаметр, полноту детонации в трубах, и реже среднюю скорость детонации по базе измерения. Но трубы короткие, диаметр их обычно меньше диаметра скважин. Условия детонации зарядов в трубах сильно отличаются от условий их взрывания в скважинах. Поэтому результаты полигонных определений этих параметров недостаточно надежны.

В настоящее время существуют различные способы определения слеживаемости порошкообразных материалов, в т.ч. и удобрений [93, 95, 96], однако стандартизированных методов определения слеживаемости аммиачно-селитряных ВВ не существует [34, 36, 93].

Слеживаемостью называют склонность порошкообразных и гранулированных ВВ и других различных материалов терять при хранении сыпучесть.

Часто с этой целью используют разработанный Н.Е. Пестовым метод для определения слеживаемости удобрений [97], который заключается в следующем: Подготовленные образцы увлажняются при относительной влажности воздуха 90% (увлажнение над 16-ным раствором серной кислоты) в течение суток, а затем подсушиваются при 50% относительной влажности воздуха (подсушивание над 43-ным раствором серной кислоты) сначала под нагрузкой в течение 5 суток, а затем без нагрузки в течение 6 суток. Мерой слеживаемости служит прочность полученного конгломерата, определяемая усилием раздавливания образца на прессе. Однако данный способ не учитывает влияния на слеживаемость модификационных переходов аммиачной селитры, не дает представления о слеживаемости образцов во времени.

Другой способ учитывающий влияние естественных условий хранения, требует много времени и зависит от случайных климатических условий.

Рассмотренные способы оценки слеживаемости аммиачной селитры и промышленных ВВ на ее основе, основываются на приложении усилий к различным частям сформированного агломерата, с последующим измерением и фиксацией результата. Однако все указанные выше способы измерения слеживаемости очень трудо- и материально затратные. Также описанные методы в большинстве случаев требуют применения дорогостоящего оборудования (например, тензвесы) и использования в опыте

различных химических материалов и реагентов, которые в свою очередь требуют наличия хорошо оснащенной, современной лаборатории [95, 96, 97].

Данные недостатки не позволяют проводить анализ слеживаемости порошкообразных АСВВ в условиях мало оснащенных лабораторий, а также в условиях длительных полигонных испытаний.

2.3.2. Разработка методики определения слеживаемости простейших АСВВ

Разработанная методика проведения оценки слеживаемости составов на основе АС доработана с учетом известных способов определения этого показателя, и в первую очередь, с учетом современных представлений о механизме явления слеживания гигроскопичных веществ под действием сжатия (внешнего нагружения) и перекристаллизации вещества из раствора, образующегося на поверхности частиц при изменении влажности окружающего этапа.

Методика разработана так же с учетом необходимости и возможности проведения экспериментов в лабораторно-полигонных (полевых) условиях с ограниченным техническим оснащением испытательной базы.

Сущность разработанной методики состоит в том, что образец испытуемого вещества (аммиачная селитра, смеси её с различными добавками и т.д.) в исходном состоянии по показателям влажности, а также дисперсности и др. вводится в герметичный влагонепроницаемый пакет из полимерной пленки. Горловина пакета заделывается так же герметично - запаивается, заклеивается липкой лентой или другим способом. При этом размеры пакета превосходят объем, занимаемый навеской вещества не менее чем в 2 раза (по объему). Схема элементов сборки для оценки слеживаемости приведена на рис. 12а, 12б, 12в.

Для формирования брикета используется поддон квадратного сечения в плане с бортиками, по высоте превышающими толщину слоя испытуемого образца. Пакет с навеской вещества укладывается в поддон таким образом, чтобы превышающая часть пакета по всему периметру располагалась на бортиках поддона. Вещество в поддоне через оболочку пакета разравнивается до плоского состояния путем встряхивания или другим способом. На навеску вещества в поддоне укладывается брусок-пуансон так же квадратного сечения, но с размерами несколько меньшими по сравнению с внутренними размерами поддона.

Подготовленная сборка устанавливается на горизонтальную поверхность и нагружается грузом (гирей) известной массы. При этом может быть сформирована колонка из нескольких испытуемыхборок со своими грузами, что позволяет в единой постановке

опыта одновременно провести подготовку нескольких образцов с различными усилиями сжатия. Схема и вид сборки (фото) колонки из нескольких образцов приведены на рис.13.

Усилие сжатия (P_{CT}) на отдельный самостоятельный образец P_{CT1} задается массой груза (M_1 , кг) и массой пуансона (m_1 , кг):

$$P_{CT1} = (M_1 + m_1) g, \text{ Н, где } g \text{ - ускорение свободного падения.}$$

При испытаниях в составе сборки, состоящей из N образцов с одинаковой массой поддона, испытуемого образца (m_0) нагрузка на нижний образец будет определяться суммой масс элементов, расположенных выше него:

$$P_{CTN} = [M * N + (m + m_0)(n - 1)] * g$$

После выдержки в течение заданного времени, которое может достигать нескольких месяцев (десятки суток) колонка образцов разбирается и производится оценка состояния вещества в поддонах: первоначально визуально по факту образования агломерата-брикета, а затем с определением усилия, приводящего к его разлому по направлению перпендикулярному опорной плоскости.

Особенности и возможности разработанного метода оценки слеживаемости гигроскопичных веществ;

-испытаниям может подвергаться любое вещество в твердом сыпучем состоянии с различным дисперсным составом, что задается целью проводимого эксперимента;

-образец вещества находится в исходном состоянии по показателям влажности, а также содержания других летучих веществ в течение всего периода испытания, после которого эти показатели могут быть повторно измерены и сопоставлены с исходными;

-одновременно, соответственно, в идентичных условиях может быть испытано большое количество образцов одинакового или различного состава, включая "образец сравнения" (эталон, базовый образец).

Вид и состояние образца вещества (смеси) испытателем в соответствии с выбранной целью. При работе с аммиачной селитрой и/или смесями на её основе АС может быть в любом необходимом состоянии: порошок, гранулы, их композиция и др.

Разработанная методика проведения оценки слеживаемости составов на основе АС заключается в следующем:

1. Подготовительный этап – этап формирования брикета.

Аммиачная селитра измельчалась на шаровой мельнице. От измельченной АС отбиралась фракция с размером частиц не более заданной величины, как правило, не более 0,5 мм. В основной массе опытов использовался полидисперсный порошок без ограничений «меньшей» крупности.

На рисунке 12а, представлено изображение подготовительного этапа, созданной методики по определению слеживаемости – этап формирования брикета исследуемого образца. Использование описанного метода позволяет получать данные по которым могут строиться графические зависимости прочности образующихся брикетов, в качестве исходной меры которой является усилие (Q), приводящее к разлому брикета от усилия сжатия ($P_{ст}$) при выдержке. При различных прочих условиях эксперимента.

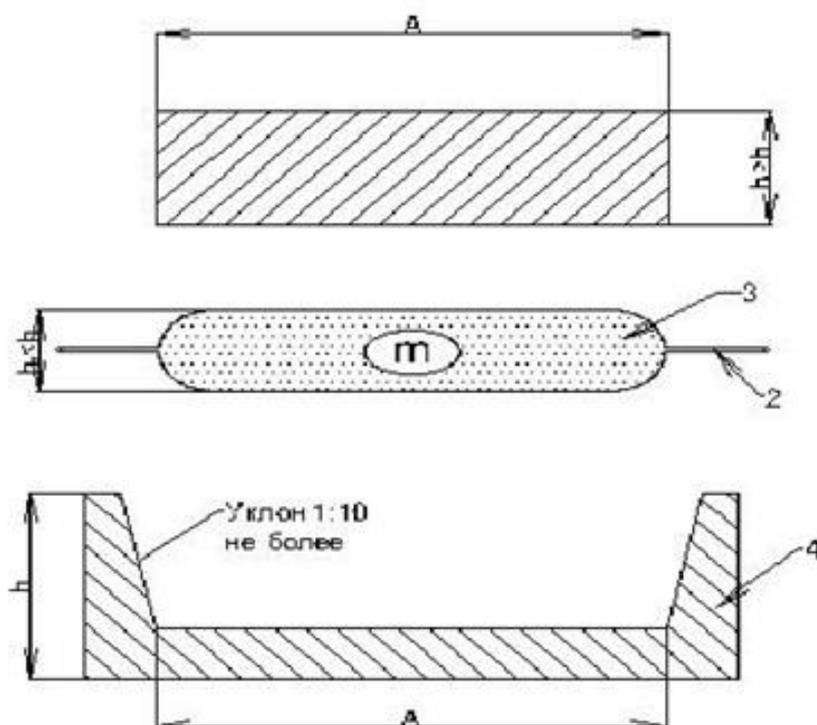


Рисунок 12а – Схема элементов сборки для оценки слеживаемости гигроскопичных материалов при сжатии "сдавливанием".

2. Далее навеска порошка АС заданной массы в «чистом» состоянии или с добавлением исследуемых добавок упаковывалась в герметичный пакет из полимерной пленки, с заполнением пакета не более половины его вместимости, продукт в пакете разравнивается в плоское состояние, затем пакет укладывается в поддон квадратного сечения в плане с бортиками, по высоте превышающими толщину слоя испытуемого образца. На образец в поддоне устанавливается крышка-пуансон так же квадратного сечения, но с меньшим на 2-3 мм размером по сравнению с полостью поддона. Затем на поддон устанавливается груз заданной массы (M) и сборка переносится к месту выдержки. Время выдержки может быть любым, вплоть до нескольких месяцев. Такая схема позволяет

устанавливать сборки друг на друга "в колонку", что позволяет в едином цикле и при одинаковых прочих условиях определить зависимость слеживаемости от величины сжимающей нагрузки. При этом нагрузка на нижележащую сборку определяется по сумме масс всех грузов иборок над ней. Образцы продукта для испытаний могут быть любыми по дисперсности, влажности, содержанию добавок и др., а использование герметичного пакета обеспечивает сохранность всех компонентов, даже легко испаряющихся и летучих, в образце. На рисунке 12б, представлена схема выдержки исследуемых образцов в нагруженном состоянии. Исследуемый состав формируется в брикет в виде параллелепипеда.

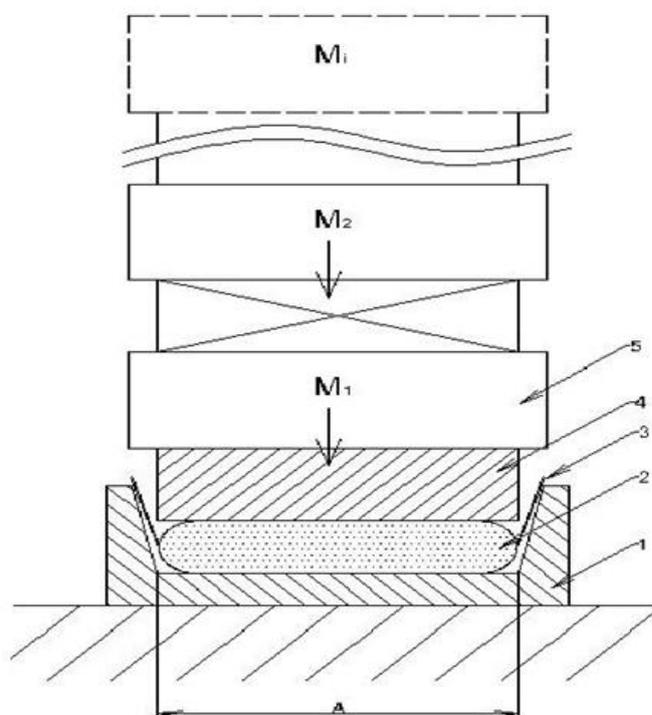


Рисунок 12б – схема сборки в процессе выдержки под нагрузкой в колонке

В состав установки входят следующие элементы:

- 1 Поддон квадратного сечения в плане; 2. Навеска исследуемого вещества заданной массы;
3. Герметичный пакет из полимерной пленки; 4. Крышка-пуансон; 5. Груз заданной массы;
6. Опорная платформа с прямоугольной кромкой;

3. После выдержки производится оценка состояния образца, при слежалости которого производится разрушение его путем разлома по срединному вертикальному сечению с фиксацией усилия разлома.

4. Время выдержки может быть любым, вплоть до нескольких месяцев. Такая схема позволяет устанавливать сборки друг на друга "в колонку", что позволяет в едином цикле и при одинаковых прочих условиях определить зависимость слеживаемости от величины сдавливающей нагрузки. При этом нагрузка на нижележащую сборку определяется по сумме масс всех грузов иборок над ней. Образцы продукта для испытаний могут быть любыми по дисперсности, влажности, содержанию добавок и др., а использование герметичного пакета обеспечивает сохранность всех компонентов, даже легко испаряющихся и летучих, в образце.

5. Условия проведения испытаний: влажность АС-0,4-06%; Т—10+28°С; время выдержки – 30-90 суток.

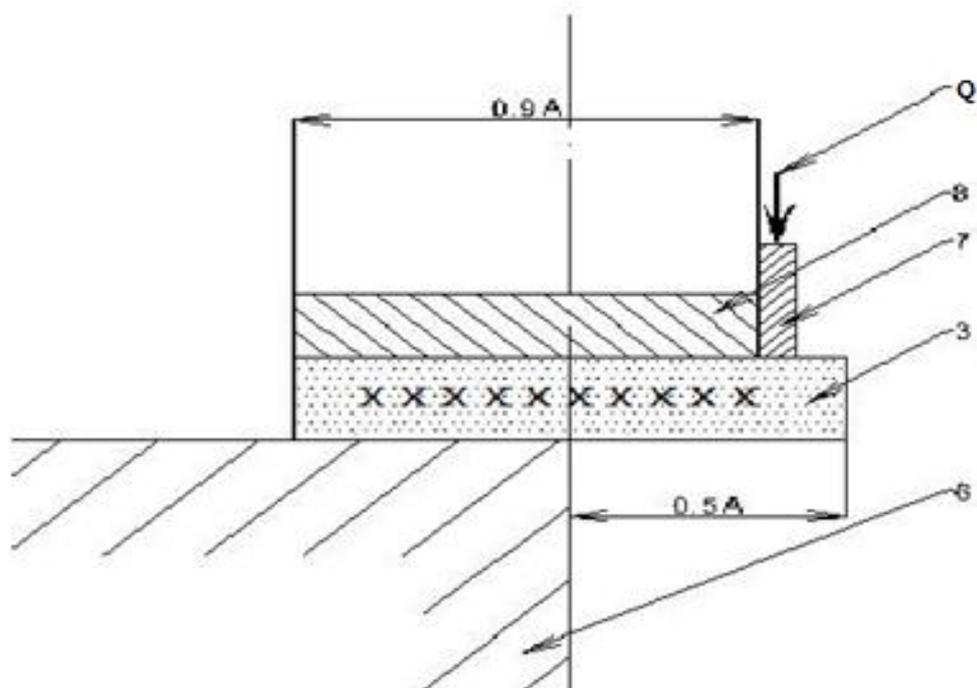


Рисунок 12в – Схема установки по определению слеживаемости в режиме разлома.

Элементы сборки (дополнительно к тис 12б): 3- испытуемый образец (брикет), 6. Плита опорная с прямолинейной кромкой; 7. Коромысло (рейка нагрузочная); 8. Пластина фиксирующая. Q - усилие для разрушения (разлома) брикета, A - размер брикета

Использование описанного метода позволяет получать данные, по которым могут строиться графические зависимости прочности образующихся брикетов, в качестве исходной меры которой является усилие (P), приводящее к разлому брикета от усилия сжатия ($Q = M \cdot g$) при выдержке при различных прочих условиях эксперимента.



Рисунок 13 – Внешний вид (фото) сборки для определения слеживаемости смесей на основе аммиачной селитры в лабораторно-полигонных (полевых) условиях

Аммиачная селитра или ее смеси подвергающиеся в процессе хранения (склады ВМ) сдавливанию, слеживаются в значительно большей степени, чем находящиеся в свободном состоянии. Сдавливание способствует сближению частиц и увеличению площади их соприкосновения, а также улучшает условия сцепления частиц с образующимися новыми кристаллами при подсыхании или охлаждении вещества.

Расхождения между параллельными определениями не должны превышать $\pm 5\%$ от установленного в опытах значения усилия разрушения (Q).

В экспериментах использована АС общетехнического назначения (АС по ГОСТ 2-2013), пористая АС по ТУ предприятий, а также термообработанная АС) в виде гранул, которые подвергались измельчению.

Результаты экспериментов по исследованию слеживаемости промышленных ВВ на основе нитрата аммония, представлены на рис. 14 – 25.

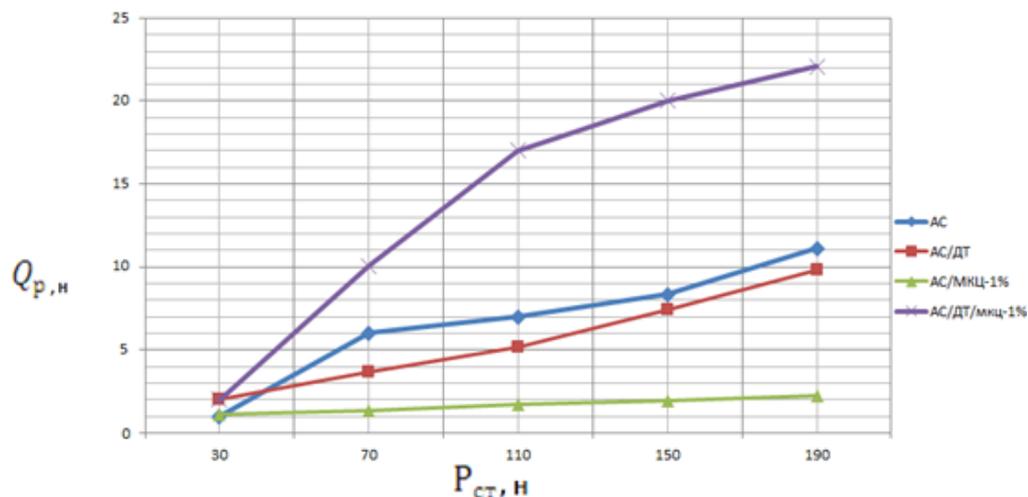


Рисунок 14 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением микрокристаллической целлюлозы (МКЦ).

Составы АС/ДТ/МКЦ-3% и АС/ДТ/МКЦ-5% выдерживают усилие на излом порядка 50-70 Н, соответственно, они выходят за рамки принятого масштаба рисунка и не показаны

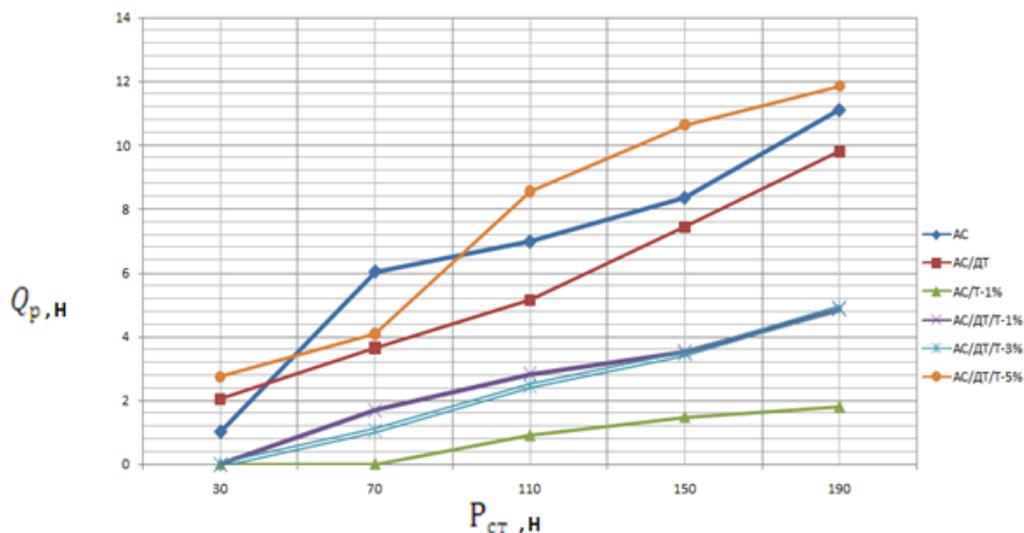


Рисунок 15 – Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для зависимости слеживаемости нитрата аммония с применением технического тамаринда.

Одно из возможных объяснение полученного результата с добавками МКЦ и Тамаринда - блокировка "активного" эффекта влагопоглощения добавок нефтепродуктом (ДТ). Это предположение требует дополнительного исследования, но оно выходит за рамки рассматриваемой работы.

Исследование свойств смесей АС с легкоплавкими добавками

Одним из направлений уменьшения слеживаемости АСВВ является покрытие частиц-гранул АС веществами, твердыми в обычном состоянии и вводимыми в состав смеси в виде расплава, например, парафинов или нитросоединений (тринитротолуол или динитротолуол) [5].

При выполнении исследований со смесями АС с динитротолуолом (ДНТ) [17, 26] был разработан способ совмещения компонентов с нагревом - "поризацией" АС. В основу способа заложены особенности самих компонентов: наличие фазового перехода в кристаллической структуре АС, который в реальных условиях происходит в интервале температур 32-50°C, и температура плавления ДНТ или технических смесей на его основе, которая находится в том же интервале. При изготовлении смесей АС-ДНТ вся система нагревается до температуры выше температуры плавления ДНТ и интенсивно перемешивается, в результате чего ДНТ в жидком состоянии впитывается в "поризованные" гранулы АС в силу высокого химического сродства этих веществ. Получаемый продукт представлен гранулами с шероховатой поверхностью с признаками желтого окрашивания. При использовании ДНТ без примесей тринитротолуола (ТНТ) и соотношении компонентов, соответствующих нулевому кислородному балансу ($K.б = 0$), смесь получается сыпучей и не слеживается при хранении (см. рис.1). При использовании ДНТ с примесями ТНТ, а также технических продуктов, используемых в качестве пластификаторов при производстве баллистических порохов, может происходить не полное впитывания добавки с образованием пленки на поверхности гранул АС. Для устранения этой особенности, приводящей к проявлению дополнительных не желательных эффектов флегматизации и слипания гранул, смесь подвергали обработке опудривающими добавками, например, порошком угля (УП). По внешнему виду гранулы приготовленных смесей представляют собой: для двойных смесей АС/ДНТ – сухие на ощупь гранулы от светло-желтого до темно-желтого цвета (в зависимости от вида ДНТ). Для тройных смесей АС/ДНТ/УП – гранулы темно-серого цвета с вкраплениями отдельных частиц угольного порошка. На рисунке 16 представлен вид гранул АС/ДНТ = 85/15.

Здесь следует особо выделить, что возможности промышленного освоения производства смесей АС с ДНТ ограничены в силу отсутствия ДНТ в достаточных для коммерческих целей количествах. Изложенные выше результаты могут быть рекомендованы для использования при изготовлении смесевых ВВ "Седитол" [6].



Рисунок 16 – вид гранул АС/ДНТ = 85/15.

Таблица 2.3 – Экспериментальные характеристики смесей аммиачной селитры гранулированной и плавких добавок на основе динитротолуола и парафина.

Таблица 2.3

Состав смеси, %	Смесь №1 АС/ДНТ АС-85±1% ДНТ- 15±1%	Смесь №2 АС/ДНТ/УП АС – 88,5±0,5 % ДНТ – 8,5±0,5% УП – 3±0,5%	Смесь №3 АС/ДНТ*/УП АС – 88±1% ДНТ* – 9±1% УП – 3±1%	Смесь №4 АС/ДНТ* АС – 86±1% ДНТ – 14±1%	Смесь №5 АС/ПТ АС – 94,5±1% ПТ – 5,5±1%
Характеристики добавки на основе динитротолуола и парафина					
Темп-ра вспышки, °С	220	225	230	215	250
Температура плавления, °С	56	56	58,8	58,8	52
Экспериментальные характеристики смесей					
Чувств.к удару (h=25 см, m=10 кг), %	0	0	0	0	0
Чувств.к трению, кгс/см ² с добавлением 5% песка, кгс/см ²	>6700 5600	>6700 5600	>6700 4700	>6700 5600	>6700 5600
Угол естественного откоса (сыпучесть), °	32	27	27	32	29

В целях расширения возможностей по сырьевому обеспечению испытания продолжены с использованием в качестве добавок к АС твердых парафинов (ПТ) с низкой температурой плавления, а также парафинов с добавками маслорастворимых ПАВ из числа веществ, используемых в качестве эмульгаторов при изготовлении ВВ эмульсионного типа (ЭВВ).

Процесс приготовления состава АС/ПТ = 94,5/5,5 складывается из следующих операций:

1. Дробление аммиачной селитры и последующий рассев на фракции. Для испытания выбираем фракцию 0,5 мм;
2. Измельчение парафина марки П-2 (температурой плавления 52°C) до частиц размером около 0,5мм
3. Смешивание измельченного парафина с порошком аммиачной селитрой в стехиометрическом соотношении 94,5/5,5 при комнатной температуре
4. Нагрев предварительной смеси в сосуде в водяной бане с температурой 60-65°C с перемешиванием до полного поглощения парафина аммиачной селитрой (контроль визуально);
5. Охлаждение готовой смеси с перемешиванием.

Эффект поглощения расплавленных добавок частицами АС при нагреве до температуры около 60°C может быть объяснен с учетом протекания модификационного фазового перехода IV-III-IV в кристаллической структуре АС (НА). Процесс фазового перехода происходит с изменением параметров кристаллической решетки АС, в частности, её объёма, что хорошо известно из литературы. Внешне это проявляется в образовании трещин в частицах АС, что подробно описано в публикациях по приготовлению "поризованной" АС по способу термообработки, включая соответствующий раздел и патент РФ по настоящей работе. Более высокая способность поглощения частицами АС динитротолуола, по-видимому, связана с химической природой совмещаемых веществ (АС и ДНТ) для которых характерно проявление признака "химическое сродство" (по терминологии химии).

Данная смесь по водоустойчивости, а также по мощностным характеристикам не должна уступать смеси АС/ДНТ, однако имеет неоспоримые преимущества по сравнению с последней в силу доступности парафина и отсутствию его токсичности.

Применительно к задачам рассматриваемой работы использование низкоплавких добавок приводит к уменьшению слеживаемости, что показано на рис. 16а. При этом проявляется ряд других эффектов, приводящих к улучшению эксплуатационных и взрывчатых характеристик смеси на основе АС: проявляются признаки повышения

водоустойчивости (гидрофобности) смеси, наблюдается увеличение скорости детонации и уменьшение критического диаметра без заметного изменения чувствительности системы к механическим воздействиям. Примеры полученных результатов показаны далее по тексту работы.

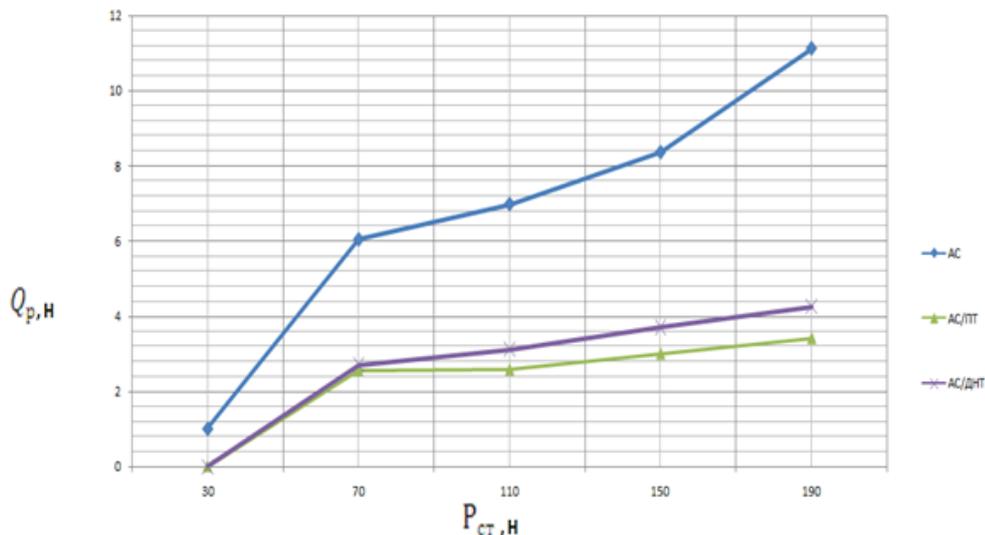


Рисунок 16а - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для порошков аммиачной селитры и смесей АС с добавкой парафина и динитротолуола при нагревании системы выше температуры плавления.

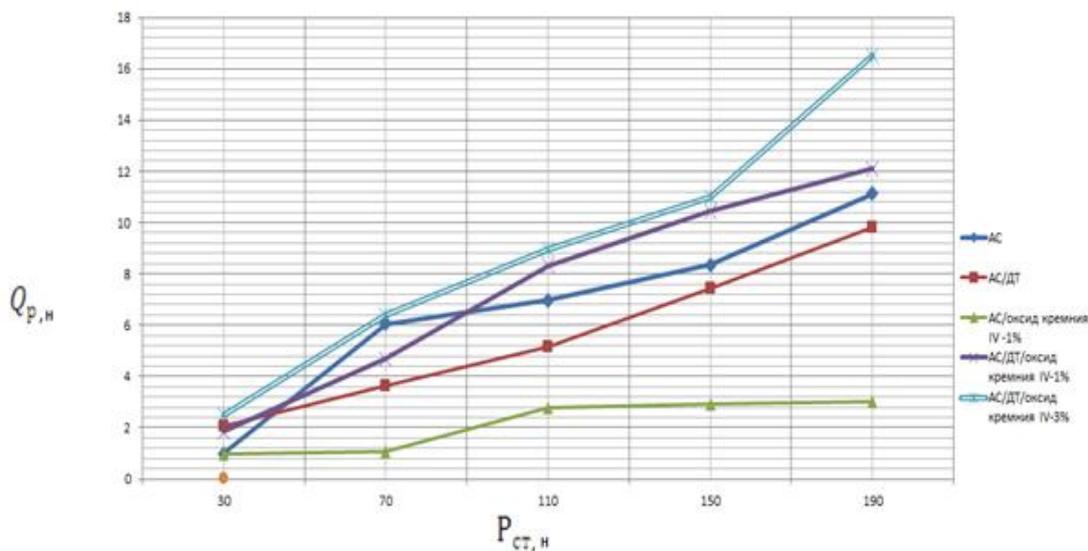


Рисунок 17 – Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для слеживаемости нитрата аммония с применением оксида кремния.

Состав АС/ДТ/оксид кремния-5% выдерживает усилие на излом порядка 50-70 Н, таким образом, он на представленном рис. не показан.

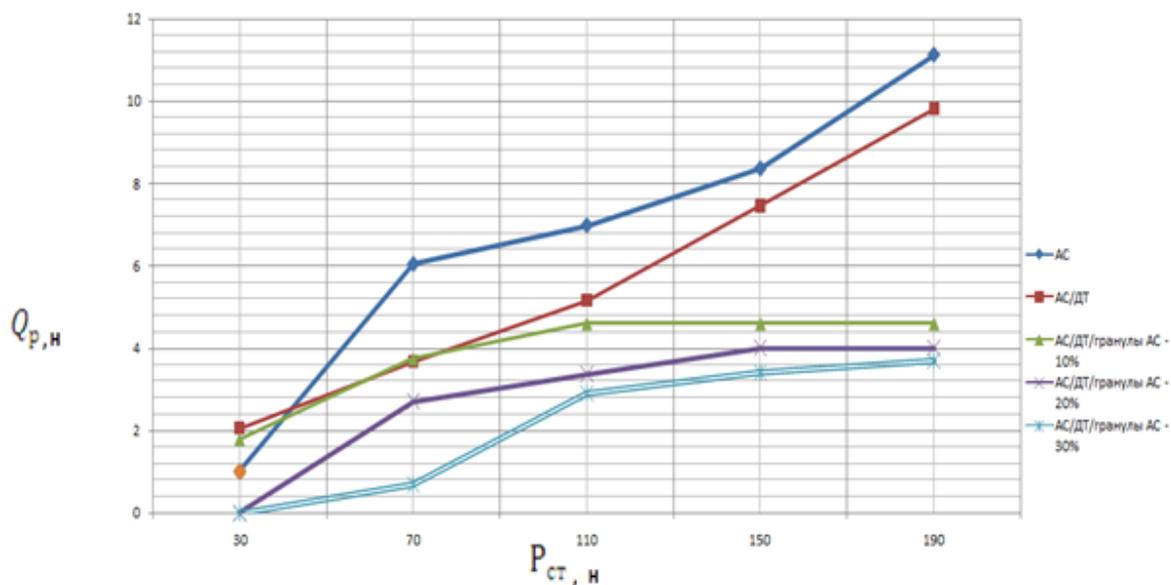


Рисунок 18 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением гранулированной аммиачной селитры по ГОСТ 2-2013.

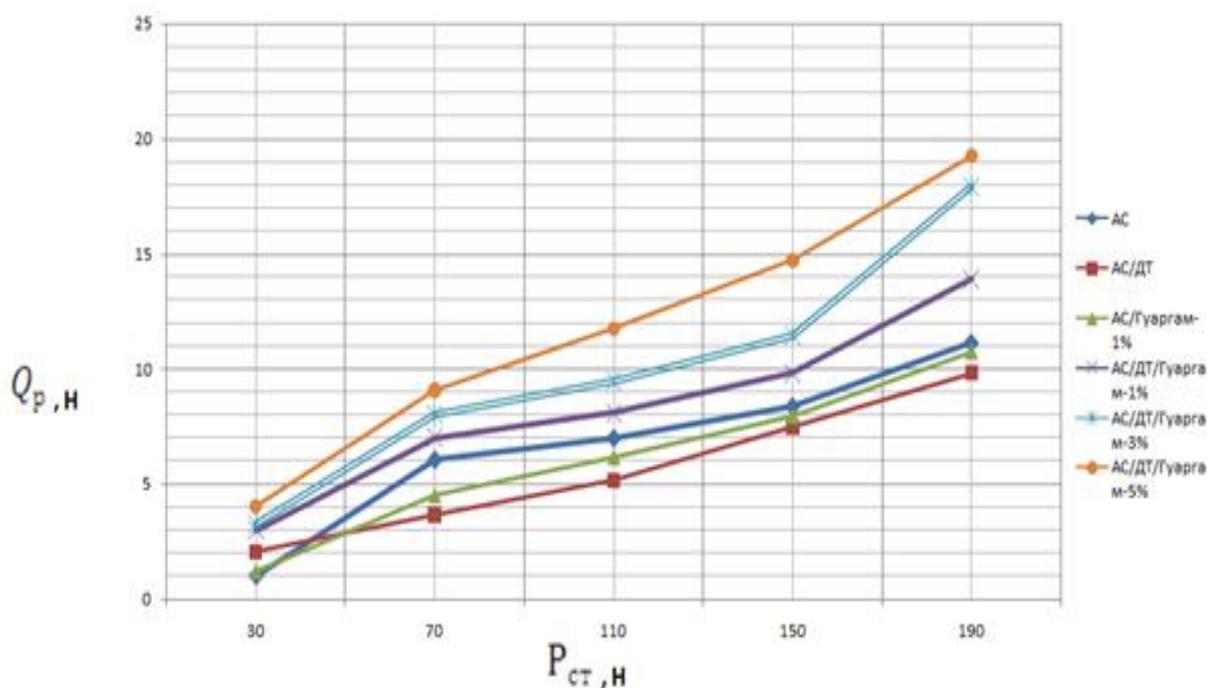


Рисунок 19 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением гуаргама.

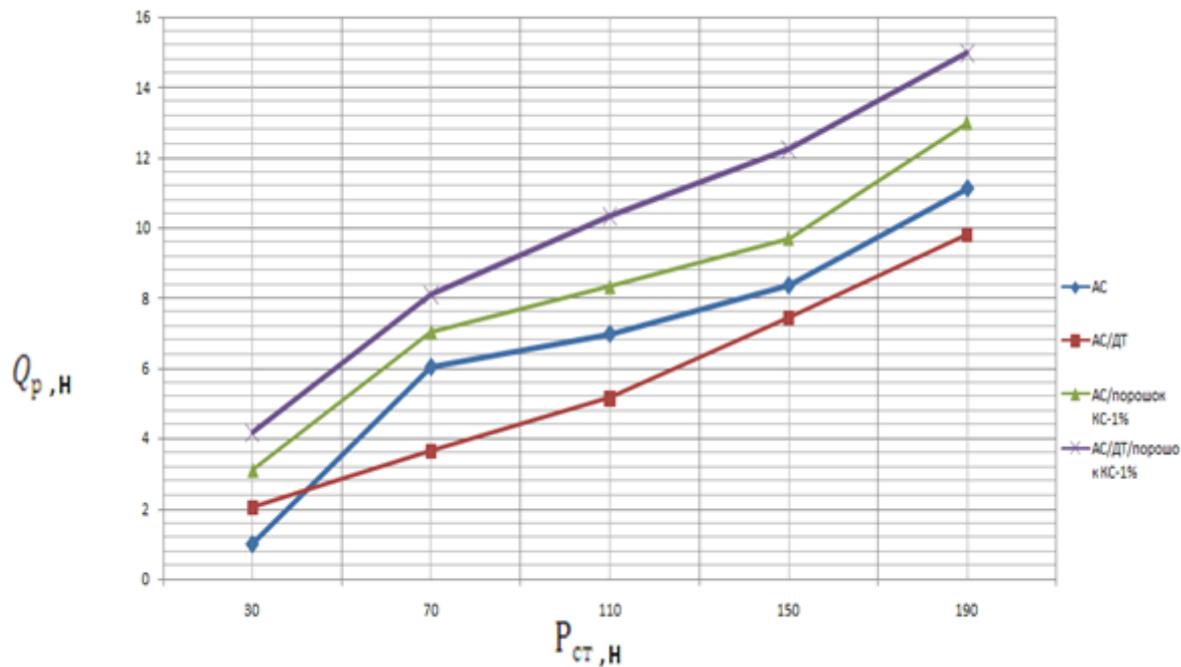


Рисунок 20 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с порошкообразной кальциевой селитры.

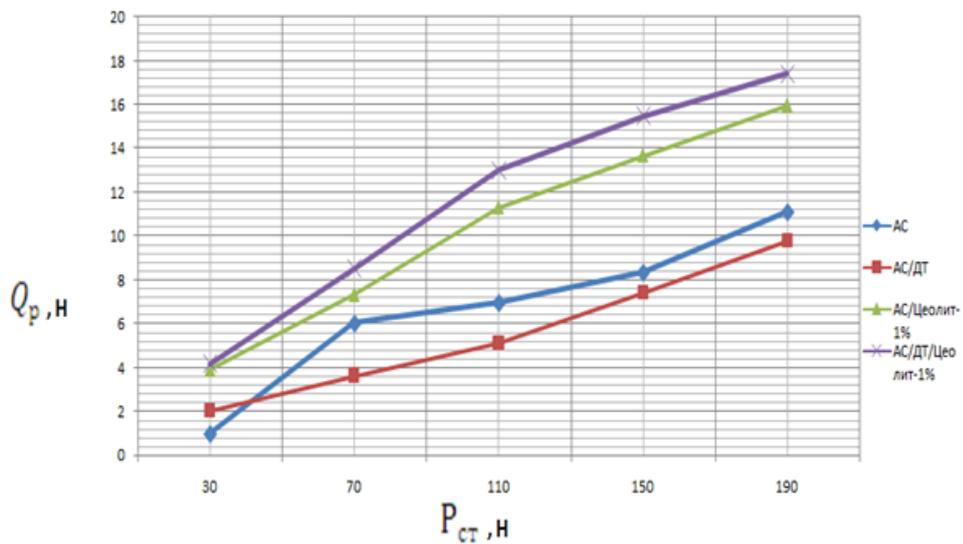


Рисунок 21 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением цеолита натрия.

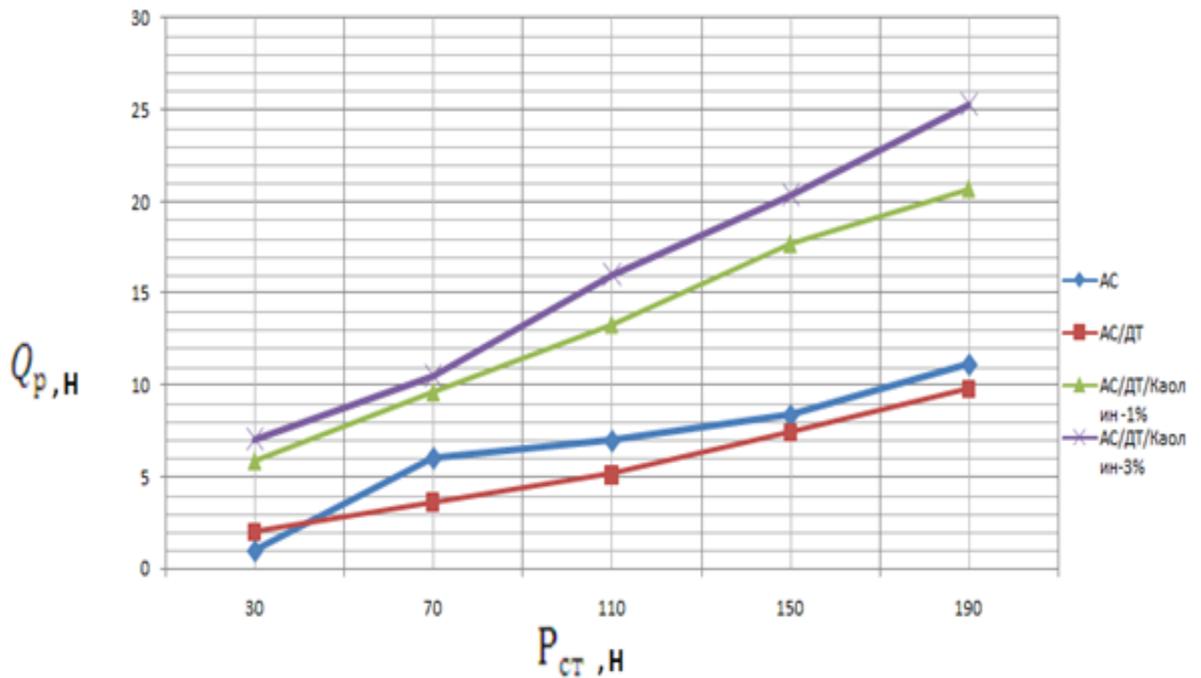


Рисунок 22 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением каолина.

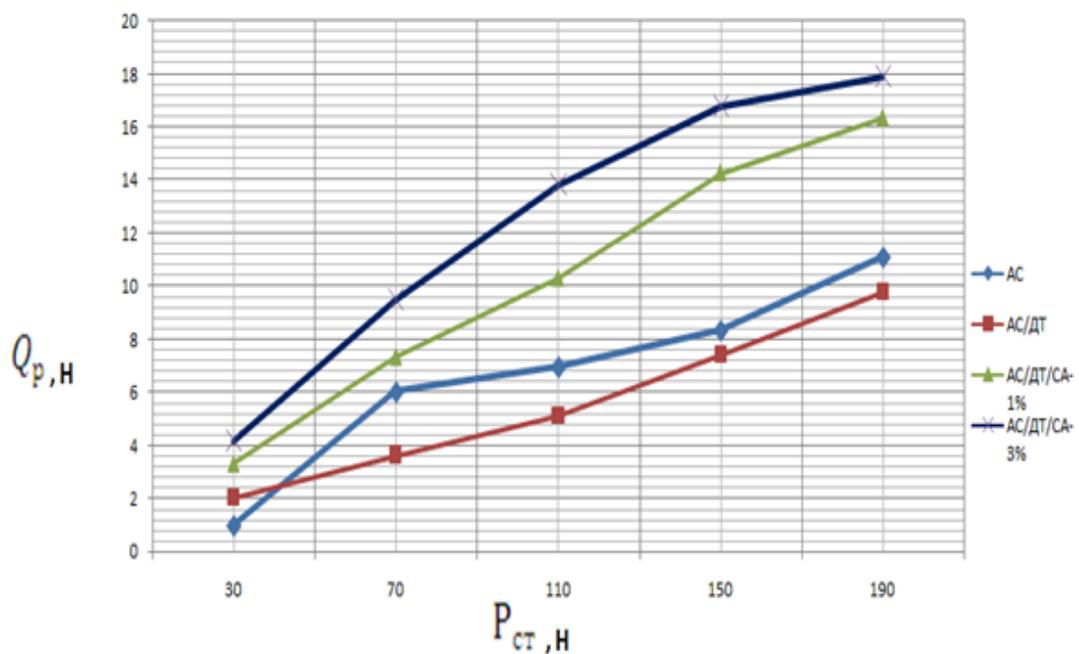


Рисунок 23 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением сульфата аммония

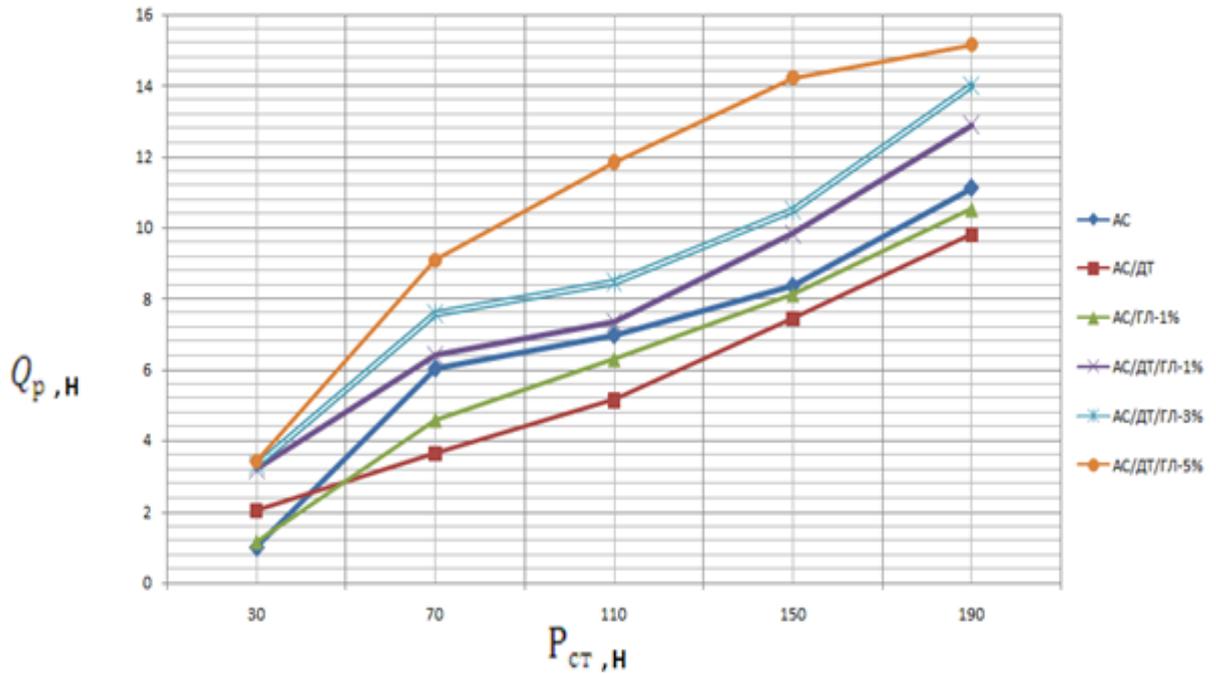


Рисунок 24 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением гидролизного лигнина (ГЛ).

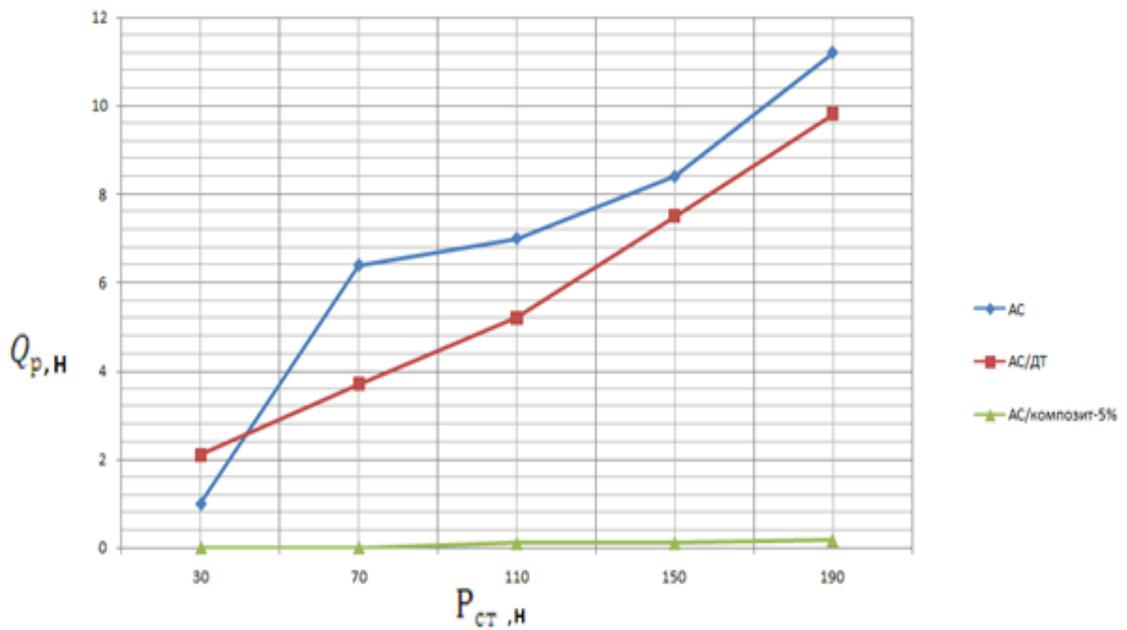


Рисунок 25 - Графики зависимости усилия разрушения брикетов от величины сжатия при выдержке для нитрата аммония с применением композитного материала.

Добавки минеральных солей (селитра кальциевая и сульфат аммония) не приводят к заметному уменьшению слеживаемости порошков АС и АСДТ. Эффект снижения слеживаемости с уменьшением прочности образующихся брикетов, получаемых по рассмотренной выше методике, в полтора - два раза. Пример полученных зависимостей для смесей с добавками каолина приведен на рис. 22.

Наибольший эффект по уменьшению слеживаемости систем на основе порошков АС получен при использовании в качестве разрыхляющих добавок полимерных материалов в виде высокодисперсных порошков, получаемых при переработке отходов изделий из пластмасс. Эти порошки изготавливаются из полимеров различного состава с применением дополнительных технологических присадок и в рамках рассматриваемой работы под обобщенным названием "добавка композитная" (ДК).

Определение слеживаемости выбранных составов по предложенной методике показало хорошую воспроизводимость результатов измерений. Несмотря на отсутствие контроля за плотностью аммиачной селитры разброс значений от среднего в любом из опытов не превысил 0,10-0,20 Н. На основании полученных результатов испытаний можно сделать вывод, что сконструированная нами установка позволяет проводить измерения с хорошей точностью.

Полученные экспериментальные зависимости позволяют оценить степень слеживаемости АСВВ во времени, а также от величины усилия сжатия нагружения приготавливаемых образцов и применяемых стабилизирующих добавок, что в свою очередь, позволяет выбрать в качестве стабилизатора наиболее рациональную добавку.

По итогам выполненной работы в качестве добавки, уменьшающей слеживаемость смесевых ВВ на основе АС в виде порошка выбрана композитная добавка, состоящая из высокодисперсного полимерного материала с технологическими добавками из числа поверхностно активных веществ. Эта добавка рекомендуется для изготовления порошкообразных ВВ и зарядов (патронов) из них диаметром для использования в виде самостоятельных зарядов и в качестве дополнительных детонаторов (боевиков) для инициирования ВВ, не чувствительных к первичным средствам инициирования. Предлагаемый стабильный состав ВВ подвергнут дальнейшим испытаниям с определением взрывчатых характеристик и взрывной эффективности при разрушении массивов горных пород

2.3.3. Определение показателя маслопоглощения различных марок аммиачной селитры по отношению к дизельному топливу

Измерения проводили по наиболее распространенной и применяемой в стране методике определения остатка жидкого горючего (в частности, ДТ) в смеси с АС под действием сил тяжести - статический метод, или метод "делительной воронки

Пробы АС массой 50 г засыпались в делительную воронку вместимостью 200 мл, установленную в штатив в вертикальном положении, начиная с 5-6 наиболее крупных гранул селитры для предотвращения закупорки отверстия в кране воронки мелкими гранулами.

Навеску ДТ массой 30-35 г наливали в химический стакан и переносили в воронку так, чтобы жидкость равномерно смочила все гранулы (с закрытым краном) по высоте воронки и верхний ее уровень был выше уровня АС. Стакан с оставшимся ДТ устанавливался под закрытый кран воронки. Пропитка гранул продолжалась в течение 20 мин, после чего кран воронки открывался и не впитавшееся в гранулы ДТ свободно стекало из воронки в стакан в течение 1 часа. Затем кран воронки закрывался и стакан с ДТ взвешивался.

Результаты определения маслопоглощения исследуемых видов АС, по отношению к ДТ, приведены в таблице 2.1. В таблице представлены значения, рассчитанные как среднее арифметическое нескольких (не менее двух) определений удерживающей способности (в зависимости от метода).

Таблиц 2. 1 – Характеристики аммиачной селитры различных марок по показателю «маслопоглощение» (C_{MC}), определенному по методу "делительной воронки".

№	Разновидность АС	C_{MC} , %
1	АС по ГОСТ 2-2013 производства Ангарского АТЗ (АС-И)	3,87
2	АС по ГОСТ 2-2013, подвергнутая «поризации» при нагреве до температуры +60°C (ПорАС)	5,12
3	То же с отсевом фракции менее 1 мм (ПорАС «-»)	5,06
4	АС марки пористая по ТУ 2143-639-002090236-99 Ангарского АТЗ (ПАС-И)	10,54

Маслопоглощение ,в %, вычислялось по формуле:

$$X = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m + (m_1 - m_2)}, \text{ где}$$

m_1 – масса ДТ до пропитки гранул, г

m_2 – масса ДТ после пропитки гранул, г

m – масса навески АС, г

Наличие топлива на поверхности гранул было видно невооруженным взглядом. Масляные пятна оставались на стенках делительной воронки и стакана для взвешивания после проведения определения. При перенесении образца после испытания на фильтровальную бумагу, на ней оставались ярко выраженные масляные следы. Данный метод дает завышенные результаты. Показатель впитывающей способности (Св) не является корректным, т.к. в большей степени характеризует измерительную систему, а не исследуемое вещество. В статических условиях проведения испытаний ДТ может оставаться в виде пленки на поверхности гранул, в менисках, в зонах контакта гранул между собой и со стенками измерительного сосуда.

2.3.4. Измерение скорости и полноты детонации исследуемых составов

Экспериментальные работы по измерению скорости детонации в образцах зарядов ВВ проводили с целью сравнения мощностных характеристик выбранных составов, а также выбора пригодной измерительной аппаратуры, отработки отдельных методов и приемов, выполнения экспериментальных работ, которые в дальнейшем облегчат проведение аналогичных экспериментов непосредственно в условиях горных предприятий. Эксперименты проводили в условиях лаборатории: Сибирского Государственного Технологического Университета (СибГТУ), кафедра спецхимии; а также испытательных полигонов: Площадка для испытания и уничтожения ВМ, на базисном складе ВМ, филиала разрез «Черемховуголь» ОАО компания «Востсибуголь» г. Черемхово; Базисный склад ВМ филиала ОАО «СУЭК-Красноярск» «Разрез Бородинский» г. Бородино.

Известно и применяется несколько групп методов измерения скорости детонации (D) [4, 15, 80, 81, 83 и др.]. Все методы основаны на регистрации изменений состояния ВВ в детонационной волне (ДВ) и времени перемещения волны по заряду ВВ (по длине или по другому размеру). При измерениях D чаще используются явления свечения и повышенной электропроводности, возникающие в результате разогрева и ионизации вещества в ДВ. методы измерения D подразделяются на оптические, ионизационные и др.

При выполнении настоящей работы для определения скорости детонации использовался:

- ионизационный метод с размещением датчиков «на замыкание/размыкание» в заданных точках на заданных расстояниях-базах (L) друг от друга;

При ионизационном методе измерения D практически во всех случаях использовались датчики из двух, свитых между собой, проводов с лаковой изоляцией (провод, используемый в обмотках электрических машин, рисунок 26).

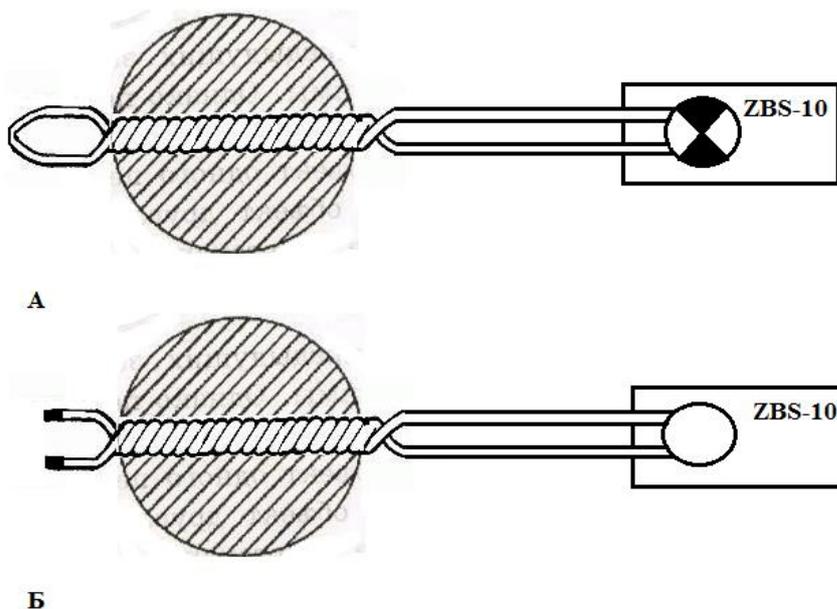


Рисунок 26 – схема датчика «ионизационного типа» и его состояния в различных режимах работы измерительной системы: А – проверка цепи на целостность (сигнальная лампа на приборе горит); Б – режим готов (лампа выключена).

Для регистрации временных интервалов использовался измеритель интервалов времени с условием обеспечения разрешающей способности ZBS-10, обладающий широкими возможностями измерения времени прохождения процессов между датчиками на 10 базах и предназначенного для эксплуатации в полевых условиях с индивидуальным источником питания (батареей).

В основной массе опытов измерения D осуществлялись на четырех базовых расстояниях.

Измерение скорости детонации проводили с помощью метода ионизационных датчиков [19, 42], которые были расположены на четырех последовательных базовых расстояниях $L_1, L_2, L_3,$ и L_4 . При этом первый датчик располагали на расстоянии около $2d$ (d - диаметр заряда) от границы раздела испытуемого заряда и дополнительного детонатора,

для исключения влияния скорости детонации от промежуточного детонатора. Иницирование заряда проводилось с помощью систем неэлектрического иницирования ИСКРА.

В качестве дополнительного детонатора использовались три промежуточных детонатора:

1. Детонатор промежуточный, малогабаритный ступенчатый (ДПМС-1), масса взрывчатого вещества (пентолит) 30г, "Новосибирский механический завод "Искра" [67];
2. Детонатор промежуточный 27 гр. (аммонит 6ЖВ) ДП-1;
3. Половина патрона аммонита 6 ЖВ массой 110-130 гр, вставленная в оболочку основного заряда.

Заряд устанавливали на стальную пластину свидетель, толщиной 0,1d. Испытания проводились при температуре окружающей среды в пределах от – 10 до +25°С.



Рисунок 27 - Измеритель интервалов времени многоканальный с функцией контроля целостности измерительных цепей (прибор типа ZBS – 10).

Основные характеристики прибора ZBS-10 :

- база измерений от 0,1 мм до 999,9 мм;
- несущая частота 10 МГц, точность задания частоты: $4 \cdot 10^{-5}$;
- измеряемый временной диапазон при исследовании детонационных процессов от 0,1 μ s до 6553,5 μ s;
- два способа срабатывания датчиков: за счет замыкания и за счет размыкания.

Целью лабораторно-полигонных работ было решение следующих задач:

– освоение прибора ZBS-10, отработка методики измерений;

– проверка работоспособности прибора при использовании:

а) многожильного провода, типа «витая пара» длиной 100 м;

б) экранированного кабеля длиной 250 м.

– проверка работоспособности прибора при использовании «проволочных» датчиков лабораторного изготовления;

Измеритель может работать от сети постоянного и переменного тока, что позволяет использовать его, как в лабораторных, так и в промышленных условиях.

Результаты опытов определяли по показаниям измерителя временных интервалов и по характеру деформации оболочки и стальной плиты – свидетеля.

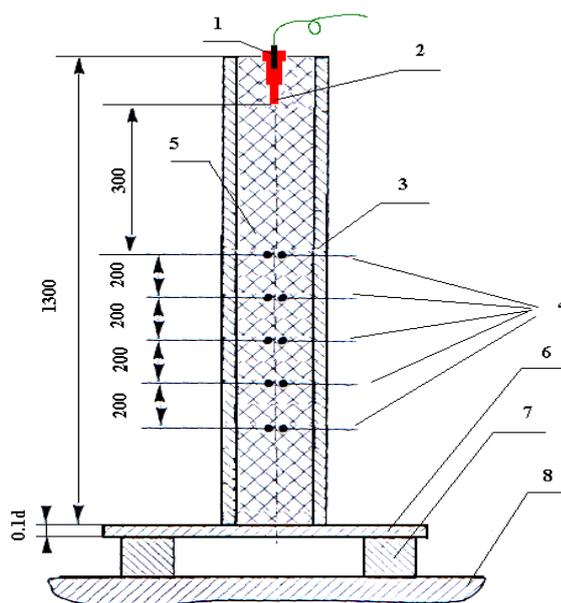


Рисунок 28 - Схема заряда для одновременного определения скорости детонации на нескольких дискретных базах, а также оценки полноты детонации и сравнительной эффективности по деформации металлической плиты-свидетеля: 1-капсюль-детонатор (КД-8, ЭД-8, неэлектрические системы, например "ИСКРА"); 2-детонатор промежуточный, заведомо достаточный для надежного инициирования взрыва испытуемого ВВ; 3-оболочка заряда (труба) обеспечивающая форму и устойчивость заряда; 4-датчики для измерения скорости детонации; 5-заряд исследуемого состава; 6-плита свидетель (рекомендуемая толщина плиты из стали - 0,1d; 7-подставка высотой не менее 0,5d, исключая "удар" прогибаемой плиты о преграду; 8-поверхность площадки (горизонтальная поверхность с любым покрытием, предпочтительно - песок).



Рисунок 29 - Внешний вид заряда (фото) в оболочке из ПВХ трубы диаметром 100 мм (заряд, для уменьшения интенсивности ударной волны, установлен в воронке в грунте от предыдущего опыта)



Рисунок 30 - Вид плиты-свидетеля со стороны, обратной расположению заряда, после опыта (сквозное пробитие плиты с выбросом "пятак" в грунт и разрывом кромок отверстия - детонация испытуемого заряда "полная")

Если скорости детонации одинаковы на всех измеряемых базах, процесс стабилен. Если скорость детонации на второй или следующих базах больше, чем на первой, процесс ускоряется. В том случае, если скорость детонации на второй и следующих базах меньше, чем на первой, имеется тенденция к затуханию процесса.

В работе проанализировано влияние термической обработки аммиачной селитры по ГОСТ 2-2013 на физико-химические свойства приготавливаемых ВВ.

Термическая обработка проводилась с целью повышения пористости селитры. В таблице 2.2. представлены результаты опытов для смесей АСДТ на основе термически обработанной и не обработанной селитры предприятия «ААТЗ» г. Ангарск.

Таблица 2.2 - Результаты измерений скорости детонации исследуемых составов.

Таблица 2.2.

Разновидность АСДТ	D, м/с при Ø оболочки 50 мм.	D, м/с при Ø оболочки 75 мм.	D, м/с при Ø оболочки 100 мм.	Примечание
ПАС/ДТ	1. - 2. - 3. - 4. -	1. 2540 2. 2500 3. 2540 4. 2530	1. 3120 2. 3100 3. 3190 4. 3090	При Ø оболочки 50 мм, детонация затухает
ГОСТ 2-2013/ДТ	1. - 2. - 3. - 4. -	1. - 2. - 3. - 4. -	1. 2600 2. 2610 3. 2650 4. 2600	При Ø оболочки 50 мм, детонация затухает
ТермообработГОСТ 2-2013/ДТ	1. 2. 3. 4.	1. 2810 2. 2800 3. 2820 4. 2800	1. 3375 2. 3375 3. 3280 4. 3300	При Ø оболочки 50 мм, детонация затухает
АС ГОСТ 2-2013/ПТ	1. 2730 2. 2700 3. 2700 4. 2700	1. 3230 2. 3230 3. 3300 4. 3250	1. 3780 2. 3700 3. 3750 4. 3750	
Порошкообразная АС, фракция ≤ 0,5 мм/ДТ	1. 2410 2. 2700 3. 2700 4. 2700	1. 2730 2. 2700 3. 2700 4. 2700	1. 3110 2. 3080 3. 3100 4. 2980	
АС ГОСТ 2-2013/ДНТ (технический);	1. 2360 2. 2310 3. 2400 4. 2370	1. 2900 2. 2810 3. 2830 4. 2870	1. (4000)* 2. 3350 3. 3300 4. 3680	Предположительно на скорость детонации повлиял промежуточный детонатор.
Поризованная АС ГОСТ 2-2013 /ДНТ (технический).	1. 2830 2. 2810 3. 2800 4. 2850	1. 3230 2. 3270 3. 3260 4. 3300	1. 3830 2. 3750 3. 3900 4. 3870	

Как видно, результаты для смесей АСДТ на основе термически обработанной селитре лежат выше, даже для опытов в оболочке меньшего диаметра, чем для смесей АСДТ на основе селитры, примененной в исходном (необработанном) состоянии. Следовательно, термическая обработка несколько улучшает детонационные свойства аммиачной селитры.

По результатам проведенных опытов можно заключить следующее:

- Термическая обработка АС по ГОСТ 2-2013, а также ПАС различных марок, основанная на последовательном нагревании образцов выше температуры фазового перехода IV – III (для чистой аммиачной селитры 32,2 °С) с последующим охлаждением, детонационные характеристики смесей АСДТ улучшаются. При этом после термической обработки насыпная плотность ПАС и смесей на её основе, по сравнению с не поризованными (термообработанными) образцами селитр, уменьшается, а D – увеличивается.

- По взрывчатым характеристикам смеси АСДТ на основе порошкообразной АС превосходят аналоги на основе гранулированных видов АС/ПАС: скорость детонации смесей меньше, а критический диаметр больше.

-При проведении измерений на полигонах разных предприятий прибор показал надёжную работу. Величина скорости детонации во всех опытах соответствовала нормативным требованиям технической документации.

На основании данных полученных в опытах можно сделать вывод, что прибор ZBS-10 позволяет проводить измерения с хорошей точностью.

Измерения скорости детонации в удлинённом заряде чешуированного тротила в стальной оболочке показали надёжную работу ZBS-10 с большим количеством датчиков, установленных в металлической оболочке, в т.ч. при низких скоростях фронта, которые наиболее часто встречаются при определении критического диаметра детонации промышленных ВВ и при недостаточно эффективном инициировании ПВВ с низкой ударно-волновой чувствительностью.

В результате опытов проведённых на полигонах: Площадка для испытания и уничтожения ВМ, на базисном складе ВМ, филиала разрез «Черемховуголь» ОАО компания «Востсибуголь» г. Черемхово; Базисный склад ВМ филиала ОАО «СУЭК-Красноярск» «Разрез Бородинский» г. Бородино, отработана методика определения скорости детонации с использованием прибора ZBS-10. Подтверждена возможность регистрации скорости затухающих процессов и нормальной детонации.

2.3.5. Определение критического диаметра детонации исследуемых составов

Принцип Харитона утверждает следующее: детонация может устойчиво распространяться по заряду, если продолжительность реакции в волне (τ) меньше времени разброса вещества в радиальном направлении (Θ). Исходя из этого, можно найти такой минимальный диаметр заряда, при котором еще возможно устойчивое распространение детонации, т.е. найти критический диаметр заряда ВВ [4, 33, 69, 89].

Детонация может устойчиво распространяться по заряду ВВ без прочной оболочки только в том случае, если наименьший его диаметр больше некоторого критического значения. Критический диаметр является важнейшей характеристикой детонационной способности ВВ. В зависимости от его значения определяют в зарядах какого диаметра данное ВВ можно применять при взрывных работах.

Определение критического диаметра осуществляется методом конических зарядов. Для чего подготавливают бумажные оболочки в виде конусов с углом при вершине 8–12°, в которые помещен испытуемый состав.

Для того чтобы исключить ошибку, связанную с тем, что в конусном заряде детонация может распространяться на затухающем режиме несколько дольше, чем до диаметра, соответствующего критическому, приготовленный заряд крепился к медной трубке – свидетелю ($d=5\text{мм}$), на которой отмечают положение концов заряда [53].

После подрыва заряда измеряют расстояние от вершины до того места, где кончается след механического действия продуктов детонации.

Зная размеры конуса до опыта, по измеренному расстоянию, вычисляют диаметр заряда в том месте, где прекратилась детонация. Этот диаметр считается критическим.

После определения критического диаметра, делают два опыта: на 25 мм справа и слева от метки на пластине свидетеле.

Контрольный опыт с зарядом, который еще взорвался в ПВХ трубе, повторяют с зарядом в оболочке из бумаги, но при этом очень строго следят за сохранением цилиндричности заряда.

$$D_{\text{критический}} = T_g \cdot a \cdot L_{\text{сденори}} + D_{\text{мал}} = d_{\text{кр}} \text{ мм.}$$

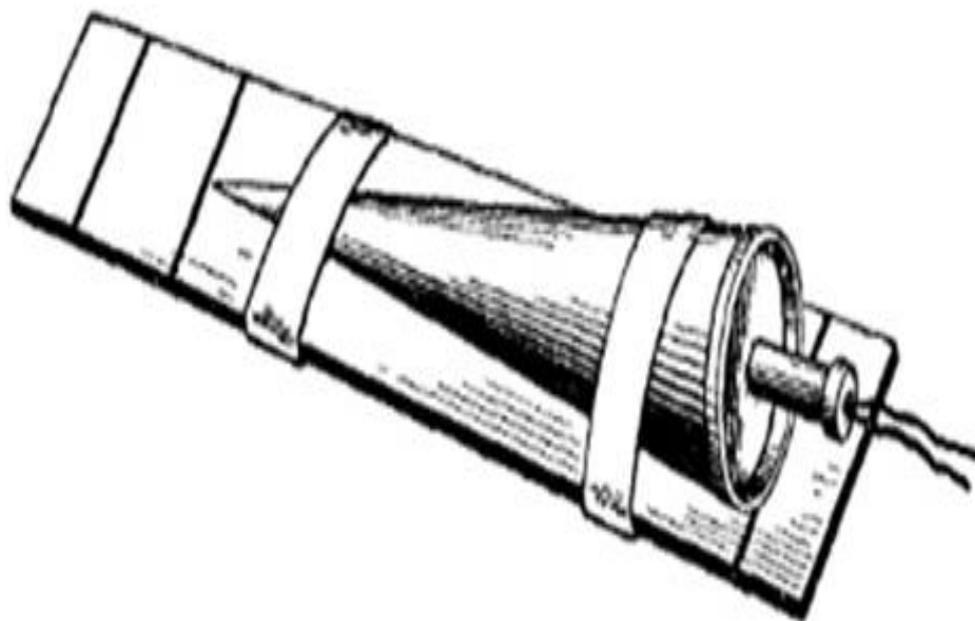


Рисунок 31 – Общий вид заряда для определения критического диаметра детонации (воспроизведена "классическая" схема из книги К.К. Андреева).

Смеси АСДТ на основе общетехнической АС (ГОСТ 2-2013) представляют собой сильно омасленную систему гранул, ДТ из которой начинает выделяться (стекать) уже в процессе смешивания. Такие смеси обладают низкой детонационной способностью ($d_k=100-150$ мм).

Смеси АСДТ на основе ПАС также характеризуются наличием масляной пленки на гранулах, однако ярко выраженного стекания ДТ из системы не наблюдается, а омасливание проявляется в загрязнении тары, стенок емкостей, рабочих инструментов и одежды работающих.

Критический диаметр d_k таких смесей около 75-100 мм. Составы на основе термообработанной (поризованной) аммиачной селитры, показали увеличение маслопоглощения по отношению к ДТ, а критический диаметр данных смесей составляет 60-70 мм.

Для составов АСДТ на основе порошка АС d_k составил 45-55 мм.

Образцы в составе которых в качестве горючего использовались твердые горючие добавки не имеют следов стекания и/или непропитанных гранул. Критический диаметр данных смесей составляет 25-60 мм.

Таблица 2.3 – результаты определения критического диаметра детонации исследуемых составов.

Таблица 2.3.

Разновидность АСДТ	Критический диаметр, мм
ПАС/ДТ	1. 76
	2. 79
	3. 76
ГОСТ 2-2013/ДТ	1. 115
	2. 120
	3. 111
Термообработанная поризованная), исходная АС по ГОСТ 2-2013/ДТ	1. 65,5
	2. 60
	3. 61,3
Порошкообразная АС, фракция ≤ 0,5 мм/ДТ	1. 47,2
	2. 50,4
	3. 50,7
АС ГОСТ 2-2013/ПТ	1. 50
	2. 50,5
	3. 50
АС ГОСТ 2-2013/ДНТ (технический)	1. 25,5
	2. 27,3
	3. 29
Поризованная АС ГОСТ 2-2013 /ДНТ (технический).	1. 46
	2. 47,2
	3. 46,5

2.3.6. Определение чувствительности к ударному сдвигу

Существующие методы определения чувствительности к трению не отличаются большой точностью и не дают оснований для строгой количественной характеристики взрывчатых веществ в отношении их чувствительности к этому импульсу. Испытания предназначены для определения относительной чувствительности при ударном сдвиге на приборе К-44-III порошкообразных, гранулированных, эластичных, литых, прессованных, пастообразных ВВ. [68, 69, 72]. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 50835-95 испытания дают количественные результаты в виде нижнего предела чувствительности и частоты взрывов ВВ, которые можно использовать для ответа на вопрос, является ли ВВ опасным для перевозки в том виде, в каком оно испытывается.

Нижний предел чувствительности к трению – максимальное давление прижатия, при котором не происходит взрыва навески ВВ массой 0,02 г, находящейся между стальными роликами Ø10 мм при ударном сдвиге одного ролика относительно другого на 1,5 мм в 25 испытаниях. Частота взрывов – количество взрывов в процентах из 25 испытаний при заданном давлении прижатия навески ВВ [70].

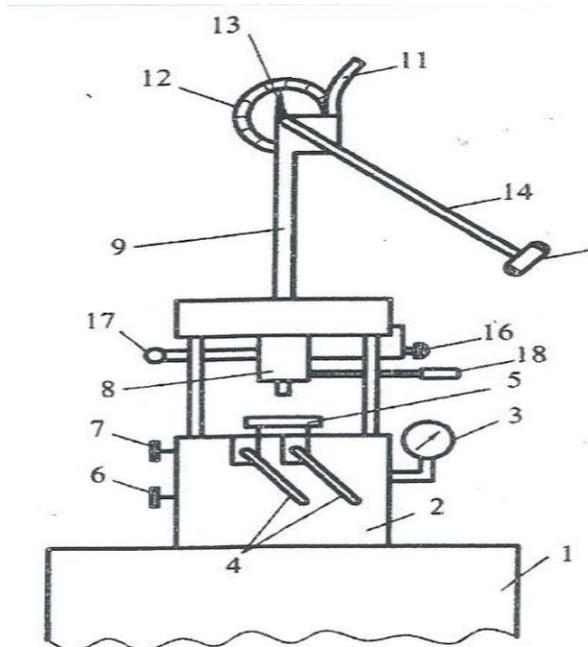


Рисунок 32 - Схема маятникового копра К-44-III.

В состав маятникового копра входят следующие элементы: 1. Фундамент; 2. Гидравлический пресс; 3. Манометр; 4. Гидравлические насосы с рычагами; 5. Плунжер прессы; 6. Клапан сброса давления; 7. Клапан удаления воздуха; 8. Узел корпуса прибора; 9. Стойка; 10. Маятничодержатель; 11. Спусковой крючок; 12. Установочный диск; 13. Указатель угла падения груза; 14. Рычаг маятника; 15. Груз; 16. Ударник; 17. Выталкиватель муфт; 18. Рукоятка съема.

Испытание проводят на маятниковом копре К-44-III. (рис. 32.) Навеска испытуемого ВВ массой 3,0 г сжимается между стальными трущимися поверхностями до 200 кгс/см² с помощью гидравлического пресса. Рабочий узел копра схематически представлен на рис. 33. При боковом ударе падающего груза маятника по головке стержня верхний ролик сдвигается относительно нижнего, подвергая навеску ВВ действию трущегося сдвига. Вероятность взрыва зависит от величины сжатия навески между роликами. Изменяя эту величину, находят нижний, средний и верхний пределы чувствительности испытуемого ВВ, т. е. такие значения давлений, при которых частота взрывов равна 0, 50 и 100%. Упрощенно определяют процент взрывов из 25 опытов под определенной сдавливающей нагрузкой, который и служит характеристикой чувствительности по сравнению с чувствительностью эталонного ВВ в таких условиях испытаний [68]. Результаты испытаний отражены в таблице 2.4.

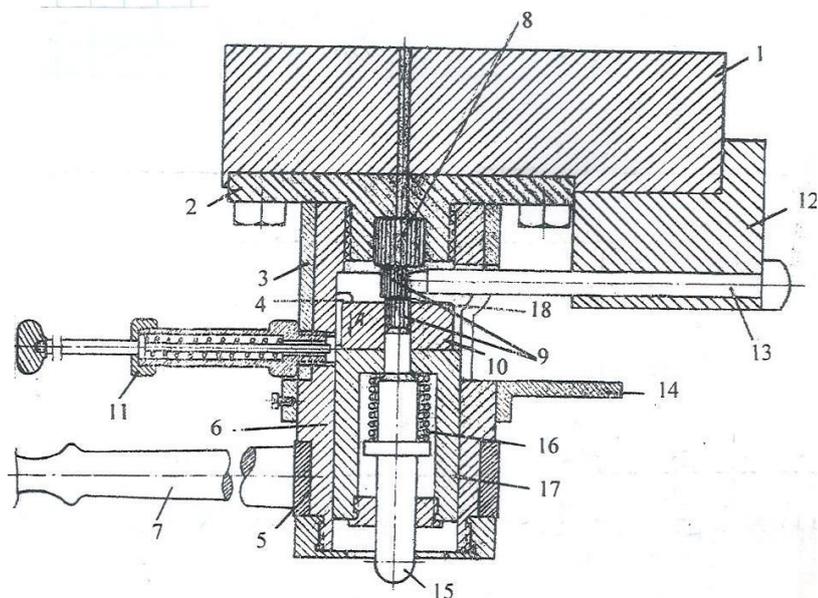


Рисунок 33 - Узел рабочей сборки прибора К-44-III в положении после удара.

1. Верхняя подушка; 2. Крепежный фланец прибора; 3. Рубашка прибора; 4. Лапка съемца; 5. Кольцо съемца; 6. Корпус прибора; 7. Рукоятка съемца; 8. Верхний упорный ролик; 9. Ролики; 10. Муфта; 11. Выталкиватель муфт; 12. Направляющая ударника; 13. Ударник; 14. Полочка; 15. Пуансон; 16. Пружина пуансона; 17. Подаватель муфт; 18. Навеска ВВ.

Таблица 2.4. – Результаты испытаний составов на копре К-44-III.

Таблица 2.4.

Исследуемый состав	Результат опыта	
	Нижний предел чувствительности, кгс/см ²	с добавлением 5% песка, кгс/см ²
ПАС/ДТ	>6700	5500
ГОСТ 2-2013/ДТ	>6700	5500
Термообработанная АС (ГОСТ 2-2013)/ДТ	>6700	5500
Порошкообразная АС (≤0,5 мм)/ДТ	>6300	5500
АС ГОСТ 2-2013/ПТ	>6000	5100
АС ГОСТ 2-2013/ДНТ технический	>6000	5000
Термообработанная АС (ГОСТ 2-2013)/ ДНТ технический	>6000	4700

2.3.7. Определения чувствительности к удару

Испытания на чувствительность к трению производятся на приборе К-44-П. Гранулы смесей перед опытами измельчались в фарфоровой чашке тefлоновым шпателем до порошкообразного состояния.

Так как промышленные ВВ обладают пониженной чувствительностью к механическим воздействиям, для определения чувствительности к трению к порошкообразным образцам добавляли 5% песка. Результаты испытаний исследуемых образцов приведены в таблице 2.4.

Испытание на чувствительность к удару основано на действии удара груза определенной массы, падающего с некоторой высоты на слой ВВ определенных размеров, заключенный между стальными поверхностями. Мерой чувствительности служит энергия удара, необходимая для возбуждения взрыва. Испытания выполняют на копре Каста (рис. 1) состоит из массивной наковальни 1, укрепленной на фундаменте, на которую устанавливают роликовый приборчик 2 с навеской испытуемого ВВ. Падающий груз 3 копра специальным держателем 4 может быть закреплен на необходимой высоте между двумя направляющими рейками 5, измеренной с помощью градуированной планки 6. При дергании за рукоятку троса груз соскальзывает с держателя и, свободно падая по направляющим, производит удар по навеске ВВ, находящейся между роликами приборчика. Для улавливания груза при отскоке на копре имеется зубчатая рейка, а на грузе зуб, которым он закрепляется за рейку [69, 71].

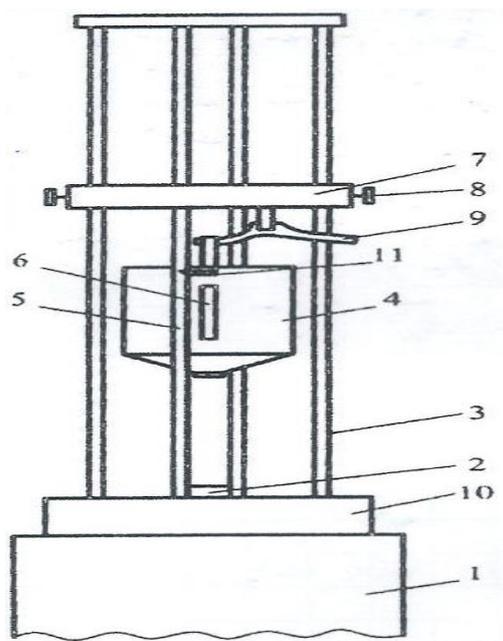


Рисунок 34 - Копер для определения чувствительности ВВ к удару.

Роликовый приборчик (рис. 35) состоит из направляющей муфты I с гладкими внутренними стенками, поддона 2 и двух роликов 3 со снятыми фасками, отличающихся постоянством своих механических свойств и точностью размеров. Ролики свободно скользят внутри муфты. Все детали приборчика изготовлены из высококачественной стали. Ролики, выполняющие функцию наковальни и бойка для навески ВВ 4, по термической обработке должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к роликоподшипникам. Иногда применяют ролики из подшипников. Ролики имеют диаметр $10 \pm 0,036$ мм, высоту 9,5 мм. Внутренний диаметр муфты $9,98 \pm 0,03$ мм, высота 16 мм. Качество обработки скользящих поверхностей должно соответствовать V8. Каждую партию роликов для допуска к испытаниям проверяют на эталонном ВВ — тетриле, который должен дать частоту взрывов $48 \pm 8\%$ из 100 опытов при высоте падения груза 25 см массой 10 кг. При подготовке к испытанию особое внимание уделяют чистоте торцевых поверхностей роликов. После каждого испытания их тщательно очищают от остатков ВВ и копоти.

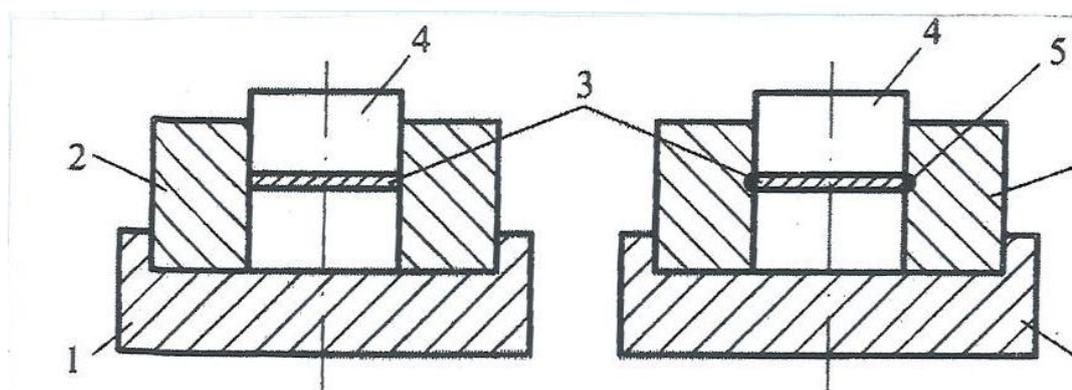


Рисунок 35 -Схема испытательных сборок (приборчиков) для определения чувствительности ВВ к удару на копре (К-44-Пилы копер Каста). Справа показан приборчик с кольцевой проточкой в зоне расположения ВВ

Существует несколько критериев оценки чувствительности ВВ к удару на копре. Наиболее распространен метод, по которому определяется частота взрывов в процентах из 25, 50 или 100 испытаний при падении груза массой 10 кг с высоты 25 см.

Этот метод, однако, затрудняет оценку чувствительности в тех случаях, когда частота взрывов равна 0 или 100%. Поэтому для более полной оценки полезно строить полную S-образную кривую зависимости чувствительности от высоты падения груза. К такому методу иногда прибегают в исследовательской практике. Обычно же ограничиваются частотой взрывов из 25 опытов или дополнительно находят нижний предел чувствительности, за который принимают ту минимальную высоту падения груза, при которой хотя бы в одном из 10 или 25 опытов произошел взрыв. Нижний предел

является главной характеристикой чувствительности, а частота взрывов — вспомогательной.

Таблица 2.5 - Результаты испытания исследуемых составов на чувствительность к удару.

Таблица 2.5.

Разновидность ВВ по типу АС и горючей добавки	Нижний предел чувствительности, мм	Частота взрывов в приборе № 1, %
АС марки пористая производства Ангарского АТЗ (ПАС-И) + ДТ	250	0
АС по ГОСТ 2-2013 (АС-И) + ДТ	250	0
АС термообработанная ("поризованная") из исходной АС по ГОСТ - 2 (АС-И) + ДТ	240	0 - 4
Порошкообразная АС (АС-И), фракция ≤ 0,5 мм + ДТ	230-240	0 - 4
АС ГОСТ 2-2013 (АС-И) + парафин (ПТ)	230-240	0 - 4
АС ГОСТ 2-2013 (АС-И) + динитротолуол технический (ДНТ)	230-240	0 - 4
Термообработанная АС (ГОСТ 2-2013) + ДНТ технический	230-240	0 - 4

2.3.8. Определение температуры вспышки исследуемых составов

Устройство для определения температуры вспышки исследуемых составов представлено на рисунке 36 [68, 69]. Определение температуры вспышки проводят следующим образом:

При достижении в нагревательном приборе температуры 100°C в отверстие (13) крышки осторожно с помощью тигельных щипцов вставляют одну из гильз с навеской. Навеска и измерительный конец термопары (термометра) в гильзе по должны находиться на одном уровне. Нагревание продолжают до воспламенения навески и в момент воспламенения фиксируют температуру прибора.

Продолжают нагревать сплав до температуры на $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$ выше наблюдаемой для каждого испытуемого образца температуры.

В нагретый до выбранной постоянной температуры прибор вводят очередную гильзу с навеской, одновременно включают секундомер.

В момент воспламенения образца секундомер выключают.

В журнал записей заносят температуру прибора и время задержки воспламенения.

При каждой температуре испытывают от трех до пяти гильз.

Расхождения между параллельными определениями не должны превышать 1 с.

Результат определения температуры вспышки исследуемых составов указаны в таблице 2.6.

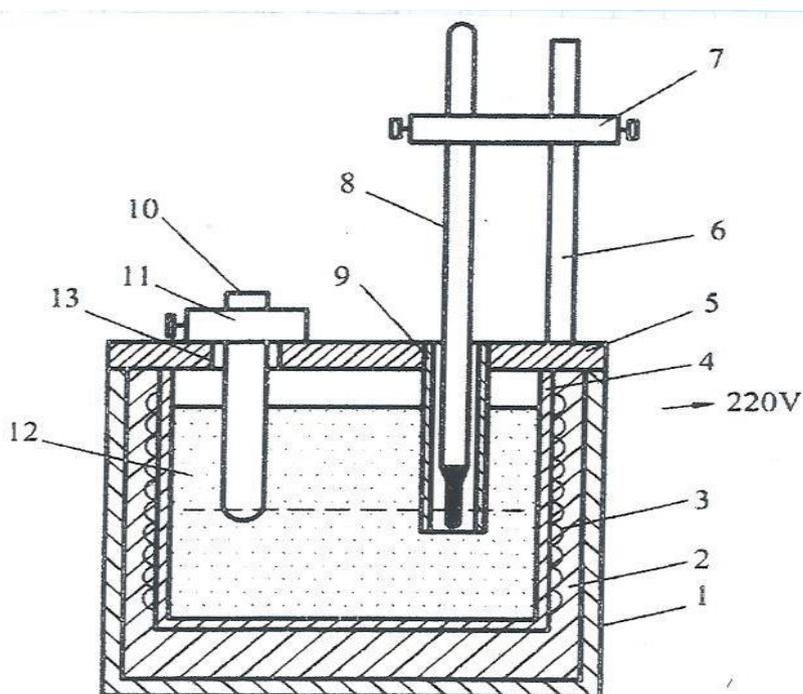


Рисунок 36 - Устройство прибора для определения температуры вспышки.

В состав установки входят следующие части:

1. Корпус;
2. Теплоизоляционный материал;
3. Нагревательный элемент;
4. Внутренний стакан;
5. Крышка прибора;
6. Стойка;
7. Держатель термометра;
8. Термометр;
9. Защитная трубка термометра;
10. Гильза капсуля-детонатора;
11. Установочное кольцо;
12. Сплав Вуда;
13. Отверстие для погружения гильзы капсуля-детонатора.

Таблица 2.6. - Результаты определения температуры вспышки исследуемых составов.

Таблица 2.6.

Разновидность АСДТ	Температура вспышки при времени задержки вспышки 60 сек, °С
ПАС/ДТ	250
ГОСТ 2-2013/ДТ	250
Термообраб. ГОСТ 2-2013/ДТ	247
Порошкообразная АС, фракция ≤ 0,5 мм/ДТ	245
АС ГОСТ 2-2013/ПТ	235
АС ГОСТ 2-2013/ДНТ технический	220
Термообработанная АС (ГОСТ 2-2013)/ ДНТ технический	212

3. Эксперименты в условиях горно-добывающих предприятий по взрывному разрушению массивов пород

3.1. Методика проведения эксперимента

На действующем горном предприятии были выбраны опытные блоки, которые условно разделялись на две части. Одна часть блока заряжалась принятым на горном предприятии взрывчатым веществом и принималась за базу сравнения, другая часть заряжалась испытуемым ВВ. Все другие параметры подготовки блока к взрыву: диаметр скважин, сетка скважин, глубина скважин, последовательность взрывания зарядов и др. принимались одинаковыми для всего блока.

После взрыва оценивалось качество дробления горной массы с фотографической регистрацией поверхности развала. При выемке взорванной горной массы проводились наблюдения за работой экскаватора и наличием негабаритных кусков (негабаритов) во взорванной массе.

Пример проекта на буровзрывные работы с выделением экспериментальных участков приведен в приложении в виде отдельного листа.

3.2. Результаты экспериментов по измерению гранулометрического состава отбитой горной массы

Для оценки эффективности дробления горных пород с применением разработанных конструкций промежуточных детонаторов применяли компьютерно-фотопланиметрический метод определения гранулометрического состава раздробленной горной массы, разработанный в ИПКОН РАН группой ученых, возглавляемой профессором С.Д. Викторовым [99].

В соответствии с применяемым методом было выполнено 6 серий опытно-промышленных замеров грансостава отбитой горной массы.

Для получения грансостава отбитой горной массы по каждому развалу была выполнена серия из 5 замеров, каждый из которых обработан с применением компьютерной программы «Грансостав-2008».

Таблица 3.1. - Гранулометрический состав взорванной горной массы, полученной с применением предложенного состава порошкообразного ВВ.

Таблица 3.1.

Фотопанограммы	Классы крупности грансостава			
	0-300 мм	300-700 мм	700-900 мм	Более 900 мм
1	98.7	1.3	0.0	0.0
2	97.9	1.6	0.5	0.0
3	98.1	1.2	0.7	0.0
4	98.9	1.1	0.0	0.0
5	98.4	1.4	0.2	0.0
Среднее	98,4	1.3	0.3	0.0

Две серии замеров были выполнены для определения грансостава отбитой горной массы взорванной с применением стандартных для предприятия взрывчатых веществ (Гранулит Д-5). Остальные две серии с применением предложенного состава порошкообразного ВВ.

Результаты проведенных сравнительных опытно-промышленных испытаний приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. - Результаты опытно-промышленных исследований.

Таблица 3.2.

Серии замеров	Классы крупности грансостава, %			
	Гранулит Д-5 (используемое ВВ, база сравнения)			
	0-300 мм	300-700 мм	700-900 мм	Более 900 мм
1	96,6	1,6	1,1	0,7
2	97,1	0,3	0,6	1,9
	Порошкообразное ВВ нового состава (предложенное ВВ)			
1	98,8	1,2	0	0
2	99,8	0,2	0	0

В табл. 3.2. приведены итоговые значения расчетов грансостава четырех опытно-промышленных экспериментов. Из таблицы видно, что при использовании предложенного состава порошкообразного ВВ выход крупных фракций (700-900, а также более 900 мм) значительно снижается (табл. 3.2).

4. Анализ и оценка полученных результатов

В настоящее время в РФ и практически во всех странах использующих промышленные взрывчатые вещества на основе нитрата аммония имеют ограниченное применение вследствие недостатков, главными из которых являются склонность к слеживаемости, особенно, для смесей на основе аммиачной селитры в состоянии порошка, и разделение смесей АС в виде гранул с жидкими горючими добавками (ЖГД) - нефтепродуктами (ДТ, масла, МИО, ММО) в результате стекания ЖГД под действием сил тяжести

Гранулированные, в особенности порошкообразные ВВ, упакованные в мешкотару, при длительном хранении слеживаются в весьма прочные агломераты, и вследствие этого теряют свою сыпучесть, что приводит к усложнению работ с такими ВВ, а также к ухудшению детонационной способности системы, вплоть до затухания взрыва ("отказа") в зарядах реально применяемых размеров - диаметра зарядов. В РФ и за границей был выполнен ряд работ по изучению процесса слеживания и изысканию способов борьбы с ним. Однако во всех этих работах не было найдено достаточно приемлемых технических решений требуемых для преодоления данной проблемы.

В данной работе для снижения слеживаемости мы использовано несколько методов:

Комбинированный метод, включающий в себя метод разъединения гранул ВВ с помощью сыпучих материалов, а также метод водоотнимающих добавок

Суть метода заключается в том, что взрывчатое вещество состав АС/ДТ – 94,5/5,5 смешивают с некоторым количеством тонкораздробленных гидрофильных материалов (гуаргам, тамаринд, оксид кремния, МКЦ, порошкообразная кальциевая селитра). Данные вещества обладают меньшей гигроскопичностью по сравнению с нитратом аммония. При использовании данного метода снижения слеживаемости предполагалось, что тонкоизмельченная добавка антислеживатель будет равномерно распределяться в межгранульном пространстве АСВВ, тем самым исключит контакт гранул ВВ между собой. Однако как показано на графиках при использовании данного метода гигроскопичность и слеживаемость исследуемых образцов не только не уменьшалась, а наоборот существенно увеличивалась. Интересным результатом в данном методе снижения слеживаемости как самой аммиачной селитры так и ВВ на ее основе, является то, что использованные вещества в значительной мере ухудшали показатели слеживаемости АСВВ, а с исходной АС результаты оказывались диаметрально противоположными. Существенным недостатком комбинированного метода защиты АСВВ является, тот факт, что при хранении ВВ в негерметичной таре будет происходить смачивание припудренного слоя за счет вновь образованного маточного раствора, при поглощении влаги из воздуха. Но при данном

недостатке, комбинированный метод защиты АСВВ требует продолжения изучения и подбора еще не исследованных тонкоизмельченных не смачиваемых веществ антислеживателей.

Метод индивидуальной изоляции частиц АС

Метод заключается в том, что в прогретую, до температуры плавления вносимой добавки порошкообразную АС, вводят расплав отходов нефтепереработки (парафин) или других твердых легко плавких горючих. Данная добавка снижает скорость поглощения влаги аммиачной селитрой из воздуха. Также в качестве гидрофобного покрытия, а также, что не маловажно отличным горючим и отличным сенсibilизатором будет являться динитротолуол. Механизм метода индивидуальной изоляции гранул, под действием гидрофобных покрытий, введенных в состав путем смешивания нагретых до определённых температур компонентов, состоит не только в том, что данные покрытия разобщают непосредственный контакт между частицами ВВ. Однако также введение низкоплавких смесей тяжелых и легких углеводородов и нитросоединений, снижают скорость поглощения пара из воздуха и тем самым препятствует появлению в гранулах маточного раствора, и что очень важно эти гидрофобные добавки не позволяют маточному раствору уже образовавшемуся в теле гранулы АС мигрировать к поверхности гранул.

В результате, прочные связи между отдельными гранулами не образуются.

Данный метод характеризуют следующие положительные моменты:

- Высокая водостойчивость;
- Повышенная мощность;
- Утилизация запасов ДНТ и др. различных легкоплавких нитросоединений, не востребованных в данное время, в связи с переменной направления развития данного вида ВВ и соответственно требующих переработки;
- Высокие значения чувствительности к механическим нагрузкам, и следовательно достаточно высокая безопасность применения

Метод индивидуальной изоляции частиц АС, можно порекомендовать для изготовления как порошкообразных, так и гранулированных ВВ на аммиачной селитре различных типов (ГОСТ, ПАС, ЖВГ, «поризованная»). ВВ изготовленные с применением в качестве гидрофобных покрытий легкоплавких углеводородов (парафин, различные смеси восков), а также динитротолуола и других различных производных тротила, являются не только взрывчатыми веществами повышенной мощности (особенно порошкообразные, с применением в качестве горючего ДНТ), но и высоко водостойчивыми ВВ.

К недостаткам данного метода можно отнести:

- Достаточная трудность приготовления, в связи с необходимостью прогрева ДНТ/ПТ и аммиачной селитры, с последующим перемешиванием при медленном охлаждении, требующая определённого оборудования на пунктах изготовления ВВ;
- Токсичность ДНТ;
- Более высокая стоимость ДНТ по сравнению с общераспространёнными горючими АСДТ, такими как ДТ, торф и т.д.;
- Сложность изготовления данного ВВ в СЗМ;
- Достаточная трудоемкость контроля равномерности распределения горючей добавки по объему окислителя.

В работе были определены критический диаметр и скорость детонации следующих составов:

1. АС ГОСТ 2-2013/ДТ – 94,5/5,5;
2. АС ПАС/ДТ - 94,5/5,5;
3. АС ГОСТ 2-2013 (порошок с размером частиц $\leq 0,5\text{мм}$)/ДТ/Добавка антислеживатель (5 % сверх 100%) – 94,5/5,5;
4. Поризованная АС ГОСТ 2-2013/ДТ – 94,5/5,5;
5. АС ГОСТ 2-2013/ПТ
6. АС ГОСТ 2-2013/ДНТ (технический);
7. Поризованная АС ГОСТ 2-2013 (с рассевом на фракции) /ДНТ (технический).

По известным методикам [15] были выполнены расчеты кислородных балансов (КБ) исходных компонентов и составов двойных и тройных смесей этих компонентов.

Определение критического диаметра проводили методом цилиндрических зарядов. Для определения критического диаметра детонации заряды различного диаметра крепили к металлической пластине – свидетелю, которую в свою очередь укладывали на массивную стальную плиту-основание.

Критический диаметр детонации измерен для зарядов плотностью $0,8 - 0,9 \text{ г/см}^3$ для составов на основе гранулированной, пористой и термообработанной аммиачной селитры и $0,9 - 1,1 \text{ г/см}^3$ для составов на порошкообразной селитре соответственно.

Для оценки безопасности применения предложенных составов АС ГОСТ 2-2013/ПТ, АС ГОСТ 2-2013/ДНТ (технический) и Поризованная АС ГОСТ 2-2013 (с рассевом на фракции) /ДНТ (технический) проанализировано поведения исследуемых составов при нагревании в воздушном термостате. При нагревании смеси до температуры $210 \text{ }^\circ\text{C}$ экзотермических реакций не наблюдалось. Устойчивое горение смесей в порошкообразном состоянии при атмосферном давлении получить не удалось.

Дополнительно в данной работе изучались и другие важные физико-химические характеристики АСВВ, играющие важную роль в при производстве и хранении промышленных ВВ на горнодобывающих предприятиях. Показатель впитывающей способности не является корректным, т.к. в большей степени характеризует измерительную систему, а не вещество (гранулы ПАС). В статических условиях проведения испытаний ДТ может оставаться в виде пленки на поверхности гранул, в менисках, в зонах контакта гранул между собой и со стенками измерительного сосуда.

Смеси АСДТ на основе АС (ГОСТ 2-2013) представляют собой сильно омасленную систему гранул, в процессе смешения дизельное топливо стекает с гранул АС, не попадая глубоко во внутригранульное пространство, тем самым нарушается стехиометрическое соотношение горючего и окислителя. Данные смеси обладают низкой детонационной способностью ($d_k = 150$ мм и более).

Смеси АСДТ на основе ПАС российских производителей также характеризуются наличием масляной пленки на гранулах, но явно выраженного стекания ДТ из системы не наблюдается, а омасливание проявляется в загрязнении тары, стенок емкостей, рабочих инструментов и одежды работающих. Показатель d_k таких смесей около 100 мм

В работе определены параметры детонации смесей АСДТ – D и d_k . Определение D осуществлялось методом ионизационных датчиков «на замыкание», расположенных на заданных базовых расстояниях друг от друга. В основной массе опытов измерение D выполнялось на двух последовательно расположенных базовых расстояниях (D_1 и D_2), что позволяло оценивать устойчивость процесса взрыва по длине заряда. опыты проводились в трубах-оболочках из различных материалов (полиэтилен, асбестоцемент, бумага и сталь).

Изучено влияние дополнительной термической обработки селитры на детонационные свойства смесей АСДТ. После термической обработки ПАС российских производителей, основанной на последовательном нагревании образцов выше температуры фазового перехода IV – III (для чистой аммиачной селитры 32,2 °С) с последующим охлаждением, детонационные характеристики смесей АСДТ улучшаются. При этом после термической обработки насыпная плотность ПАС и смесей на её основе, по сравнению с исходными образцами селитр, уменьшается, а D – увеличивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи обоснования методов повышения стабильности смесевых порошкообразных и гранулированных взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры для горной промышленности.

На основании выполненных исследований по анализу и экспериментальной отработке методов повышения стабильности смесевых порошкообразных и гранулированных ВВ получены следующие результаты:

1. Разработана методика оценки слеживаемости аммиачной селитры и взрывчатых веществ на ее основе, не требующая применения дорогостоящего оборудования, а также использования в эксперименте различных химических материалов и реагентов, что позволяет проводить анализ слеживаемости указанных составов, в лабораторно-полигонных условиях с ограниченным уровнем оснащения, а также при проведении длительных испытаний с натурными образцами;

2. Установлено, что повышение стабильности промышленных ВВ на основе аммиачной селитры достигается: для порошкообразных составов за счет введения композитных добавок-разрыхлителей, а для гранулированных составов за счет термической обработки-поризации аммиачной селитры;

3. Выполнены экспериментальные исследования по определению взрывчатых характеристик исследуемых составов повышенной стабильности: скорости детонации, критического диаметра детонации, характеристик чувствительности и эффективности дробления горных пород при промышленном применении.

4. Установлены закономерности изменения слеживаемости от различных факторов и показано, что в зависимости от выбираемых компонентов, условий смешения, хранения и выдержки, слеживаемость взрывчатых веществ местного изготовления существенно изменяется.

5. Предложен новый состав порошкообразного ВВ типа АСДТ, содержащий в составе разработанную при выполнении настоящей работы композитную добавку-стабилизатор, не подверженный слеживаемости. Заряды на его основе рекомендуются для проведения взрывных работ в условиях горнодобывающих предприятий, в том числе в качестве промежуточного детонатора.

6. Предложен способ утилизации технического динитротолуола путем использования его в качестве горючего-сенсibiliзатора для изготовления гранулированных и порошкообразных смесевых ВВ на основе аммиачной селитры с

предварительным смешиванием компонентов в твердом виде и последующим нагревом системы выше температуры плавления горючей добавки. Полученные сыпучие взрывчатые смеси стабильного состава рекомендуются для проведения взрывных работ в специальных условиях, в частности, для "мягкого взрывания" при добыча штучного камня, кристаллосырья и др.

7. Показано, что при термообработке-поризации аммиачной селитры, обеспечивающей повышение стабильности смесевых ВВ типа АСДТ, для уменьшения отрицательного влияния слеживаемости необходимо выполнение операции отсева мелких фракций. Предложенное техническое решение защищено патентом РФ на изобретение и использовано при разработке опытной установки для термообработки селитры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. /Под ред. акад. К. Н. Трубецкого/ - М.: АГН, 1997, 478 с.
2. Трубецкой К.Н. Горная наука в области открытой разработки месторождений за 60 лет СССР. - М.: ИПКОН АН, 1982.
3. Мельников Н.В., Симкин Б.А., Демидюк Г.П. Новые средства бурения и взрывания на открытых разработках. - М.: Госгортехиздат, 1960, 192 с.
4. Андреев К. К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ.- М.: ОБОРОНГИЗ 1960 – 595 с.
5. Орлова Е. Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. - Л.: «Химия», 1973 – 687с.
6. Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатые вещества.- 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Недра, 1988.-358 с.
7. Поздняков З.Г., Роси Б.Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. - М.: Недра, 1977. 253 с.
8. Демидюк Г.П., Бугайский А.Н. Средства механизации и технология взрывных работ с применением гранулированных взрывчатых веществ. М., "Недра", 1975,- 312 с.
9. Викторов С.Д.. Разработка и применение простейших взрывчатых веществ. - М.: ИПКОН РАН, 1996, 156 с.
10. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Части 1 и часть 2. -М.: Горная Книга. 2009 г.
11. Збарский В. Л. , Жилин В. Ф. Толуол и его нитропроизводные: Учебное пособие . М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. М., 1993 – 266с.
12. Пат. 2393138 РФ, М. МПК. С06b21/00. Установка для изготовления промышленного взрывчатого вещества и способ изготовления промышленного взрывчатого вещества
13. Чернышев, А. К., Левин, Б. В., Туголуков, А. В., Огарков, А. А., Ильин, В. А. Аммиачная селитра: свойства, производство, применение. – М.: 2009. – 504с.
14. ГОСТ 2-2013. Селитра аммиачная. Технические условия. Взамен ГОСТ 2-75; Введ. 01.09.1997.-М: ИПК. Издательство стандартов. 14с.
15. Астахов А.М. Бука Э.С. Физико-химические основы использования энергоемких материалов. Лабораторный практикум. Часть 2. Красноярск: 2011.-127с.
16. Справочник азотчика. 2-е изд. перераб.-М.: Химия, 1987. -464 с.

17. Орлова Е. Ю., Шутов Г.М., Жилин В.Ф., Збарский В.Л. Руководство к лабораторному практикуму по получению нитросоединений. – М. 1969г. – 242 с. Типограф. МХТИ им. Д.И. Менделеева.
18. Колганов Е.В., Соснин В.А. Промышленные взрывчатые вещества. – 1-я книга (Составы и свойства).– Дзержинск Нижегородской обл., издательство ГосНИИ «Кристалл», 2010. – с., рис., табл.
19. Колганов Е.В., Соснин В.А. Промышленные взрывчатые вещества. – 2-я книга (Составы и свойства).– Дзержинск Нижегородской обл., издательство ГосНИИ «Кристалл», 2010. – с., рис., табл.
20. Михайлов Ю.М., Колганов Е.В., Соснин В.А. Безопасность аммиачной селитры и ее применение в промышленных взрывчатых веществах. – Дзержинск, ООО «Партнер-плюс, бумага офсетная 80 гр.. 304 п.
21. Кутузов Б.Н. История горного и взрывного дела. - М,6 Горная книга, 2008, - 414 с.
22. Пат. США 4381746 , М. Кл. С 06b 1/04. Взрывчатое вещество. Опубл. 30.07.74, Бюл. №28 .
23. Pat. 5,728,969. United States Patent. Int. Cl6 C06B 21/00/ Preparation of AN-DNT-AL explosive. Inventors: Koichi Otani; Seiichi Yoshida, both of Kitakyushu; Yoshiyuki Ikeda; Hiroyuki Taniguchi, both of Ube, all of Japan. Assignees: Mitsubishi Chemical Corporation; Nippon Kayaku Kabushiki Kaisha, both of Tokyo, Japan. 190423/94. Filed 07.03.1997. Date of patent: 04.17.1998.
24. Тамбиев П.Г. Изготовление взрывчатых веществ из невзрывчатых компонентов и комплексная механизация взрывных работ. - Алматы, 2015. 192 с.
25. Ван Сюйгуан, Эмульсионные взрывчатые вещества. METALURGICAL INDUSTRY PRESS.-China,; 1994-380с.(перевод по заказу ФГУП «Роспромвзрыв»).
26. ГОСТ 10104-75. 2,4- Динитротолуол технический. Технические условия. Взамен ГОСТ 10104-62; Введ. 01.01.1977.-М: ИПК. Издательство стандартов., 23с
27. Бандурин М., Рукин Л. Сборник задач по теории взрывчатых веществ. Оборонгиз. 1959г. 188с.
28. Светлов Б.Я., Яременко Н.Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. – М.: Недра, 1966.
29. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. М.: Недра, 1980
30. Петров Е.А. Промышленные взрывчатые вещества ФНПЦ «Алтай» // Безопасность угольных предприятий. Сб. науч. Трудов. – Кемерово: НЦ Вост НИИ. 2002

31. Поздняков З. Г., Комиссаров А.М., Баширов Р.З. Технология производства промышленных взрывчатых веществ. – М.: Недра, 1973.
32. Поздняков З. Г., Глазунова Л.М. Новые виды гранулированных ВВ. 2Б. Цветная металлургия, вып. 5, 1969
33. Шведов К.К. Некоторые вопросы современного состояния развития промышленных ВВ и методов их испытаний // ФТПРПИ, 1990, №4, с. 93
34. Хмельницкий Л.И. Справочник по взрывчатым веществам. – М., 1961. 416с.
35. Крысин Р.С., Домрычев В.Н. Современные взрывчатые вещества местного приготовления // Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 140 с.
36. Чернышев А.К. Аммиачная селитра: аварии на производстве, при хранении и транспортировке. М., Клуб НТИ при журнале «химия и бизнес», 1999
37. Влияние влаги на модификационные превращения аммиачной селитры / О.С. Новикова, Ю. В. Цеханская, Н.Н. Полякова и др // Азотная промышленность. 1974. №3.
38. Олевский В.М. Технология аммиачной селитры. М.: химия, 1978.
39. Влияние неорганических добавок на скорость поглощения влаги амселитрой / Ю.В. Цеханская и др. // Азотная промышленность. 1974. №3.
40. Исследование влияния добавок полиоксиэтиленгликолей на слеживаемость селитры / Ю.М. Кабанов и др. / Азотная промышленность. 1976. №11.
41. Соснин В.А. простейшие смеси типа АС-ДТ: Анал. Обзор. Дзержинск, 1981
42. Синохара М. Изучение взрывчатых свойств смесей АС-ДТ // J.Inst. ExplosivesSociety/ Japan . 1965. 26, №2
43. Асаери Н. исследование аммиачной селитры для применения в смесях АС-ДТ. // Minnigandmetallurg. Inst. Japan. 1968. № 960
44. Усачев В.А. исследование контакта горючего с окислителем в игданите // Научные сообщения. Вып. 40 /ИГД им. А.А. Скочинского. М.: Недра, 1968
45. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ. М., ИКЦ. «Академкнига». 2004.
46. Есидо Т и др. Исследование смесей АС-ДТ в производственных условиях «Коре каяку кекаиси» // J.Inst. ExplosivesSociety/ Japan. 1964. 25. №2 и 1965.26 №1.
47. Кукиб Б.Н., Лавров В.Р., Шведов К.К. и др. Метод определения критического диаметра и критической скорости детонации промышленных ВВ/ В сб. Методы испытаний низкочувствительных ВВ. Черноголовка, ЧОИХФ. 1991. С.40-49.
48. Свидетельство на полезную модель РФ. Объемный гравитационный смеситель. №13180 (1999).

49. ТУ 3618-001-83044167-2008. Модульный пункт производства смесевых взрывчатых веществ. Технические условия.
50. Пат. 2179164 РФ, М. Кл. С06В21/00. УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ. Кантор В.Х., заявитель и патентообладатель Научно-техническая фирма "Взрывтехнология". – № 2001102553/02. заявл. 30.01.2001, опубл. 10.02.2002.
51. ТУ 3647-002-3820014126-2012. Аппарат подготовки и термообработки аммиачной селитры в гранулированном состоянии.
52. Патент 2452719 РФ, С06В21/00. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОЙ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОЙ ГРАНУЛИРОВАННОЙ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ.– № 2010122452/05. заявл. 02.06.2010, опубл. 10.06.2012.
53. Старшинов А.В., Нейман В.Р., Бакулин В.Н. и др. Результаты испытаний смесей АСДТ на различных видах сырья. В сб. Взрывное дело. №102/59. М.: 2009 С. 145 – 155.
54. ГОСТ 14702-79 Селитра аммиачная водоустойчивая. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3).
55. Нестандартизированное оборудование производств спецхимии: Каталог. – М.: ЦНИИНТИ, 1985.
56. Механизация взрывных работ: Справочное пособие / А.М. Бейсабаев, И.Е. Ерофеев, А.А. Егупов и др. – М.: Недра, 1992.
57. Горст А.Г. пороха и взрывчатые вещества. – М.: Машиностроение, 1972.
58. Взрывчатые вещества, пиротехника, средства инициирования в послевоенный период / Под ред. Н.Г. Пузырева. – СПб.: Гуманистик, 2001.
59. Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в российской Федерации. Сер. 13. Вып. 2 / Кол.авт. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.
60. Работинский Н.И., Сахинов Р.Х, Сосин В.А. новые экологически безопасные и эффективные промышленные ВВ в России и за рубежом // Горный журнал. 1996. № 11-12.
61. Опытно-промышленное внедрение дешевых взрывчатых веществ простейшего состава (ИГДАНИТОВ) / Авторы: Мельников Н.В., Барон Л.И., Демидюк г.п. / М.: Институт горного дела АН СССР, 1960, 186 с..

62. Трубецкой К.Н., Милетенко И.В., Старшинов А.В. и др. Роль Н.В.Мельникова в создании ВВ простейшего состава (игданитам 50 лет: успехи, проблемы и перспективы применения), В сб.: Развитие идей Н.В.Мельникова в области комплексного освоения недр. М.: ИПКОНРАН, 2009.
63. Ассонов В.А.. Взрывные работы. -М.: Углетехиздат. 1958, 352 с.
64. Melvin A. Cook. The Science of Industrial Explosives. USA. IRECO Chemicals. 1974.
65. Техника и технология подготовки многолетне-мерзлых пород к выемке. /Под ред. Емельянова В.И./ - М.: Недра, 1978, 280 с.
66. ТУ 3647-01-867300570-2008. СМЕСИТЕЛЬ YARA ANFO 1000 для механизированного изготовления простейших смесевых ВВ.
67. ТУ 7288-007-79056340-2006. Детонатор промежуточный малогабаритный ступенчатый.
68. Гольбиндер А.И., Лабораторные работы по курсы теория взрывчатых веществ. Росвузиздат. 1963. 142с.
69. Аванесов Д.С. Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ. - М.: Оборонгиз, 1959. - 168 с., ил.
70. Холево Н. А., Чувствительность взрывчатых веществ к удару. Машиностроение. 1974.
71. Дубовик А.В. Чувствительность твёрдых взрывчатых систем к удару. Монография. — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. — 276 с.
72. Рекомендации по перевозке опасных грузов. Испытания и критерии. Нью-Йорк: ООН, 1987.
73. Приказ Ростехнадзора от 16.12.2013 N 605
"Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при взрывных работах"
74. Шведов К.К. Об оценке эффективности современных промышленных взрывчатых веществ. Горный журнал № 12, 2006. – С. 53–56.
75. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т.1 – М., Физматлит, 2004. – 832 с.
76. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виницкий К.Е. и др. Справочник. Открытые горные работы. М., Горное бюро, 1994, – 590 с.
77. Старшинов А.В., Фадеев В.Ю., Богданов Н.М. Влияние физического состояния исходных компонентов на эффективность применения смесевых взрывчатых веществ. Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород. Сб. трудов

Международной конференции 7-11 сентября 1998 г. Москва. ИПКОН РАН, 1999. – С. 244–250.

78. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. М.: Недра, 1978, – 541 с.

79. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. М.: Недра, 1982, – 414 с.

80. Максимова Е.П. Экспериментальные исследования скорости детонации игданитов. В сб. Взрывчатые вещества простейшего состава (ИГДАНИТЫ), М.: Госгортехиздат, 1960. С. 34–41.

81. Лавров В.В., Афанасенков А.Н., Шведов К.К., Кукиб Б.Н. Метод определения критического диаметра и скорости детонации промышленных ВВ. Горный журнал, 1998, № 3, с. – 38.

82. Кутузов Б.Н. Перспективы замены тротилсодержащих на бестропиловые промышленные ВВ гражданского назначения для горных предприятий на земной поверхности // Взрывное дело: Сб. научных трудов. Горного информационно-аналитического бюллетеня, ОВ8. – М.: Мир горной книги. – 2007. – С. 63-68.

83. Козырев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В. Оценка взрывчатых характеристик современных промышленных ВВ. Записки Горного института. Физические проблемы разрушения горных пород. т. 171, 2007. С.195–203.

84. Зельдович Я.Б., Компанеев А.С. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955.

85. Друкованный М.Ф., Гейман Л.М., Комир В.М. Новые методы и перспективы развития взрывных работ на карьерах. М.: Наука, 1966, – 203 с.

86. Державец А.С., Работинский Н.И., Адушкин В.В. Состояние, перспективы и экспертная оценка оптимальных объемов возможного использования промышленных взрывчатых веществ в России. Сб. трудов Второй международной научной конференции. «Физические проблемы разрушения горных пород» 25-29 сентября 2000 г., Санкт-Петербург. Часть 1. – С. 39–45.

87. Кутузов Б.Н. Справочник взрывника. Часть I и часть II. - М.: "Горное дело". 2014 г.

88. Горная энциклопедия, том 4, М.: Советская энциклопедия, 1989. – С. 20–25.

89. Веретенников В.А., Дремин А.Н., Шведов К.К. Детонация пористых ВВ. ФГВ. СО РАН, Новосибирск, изд. «Наука», Т. 5 № 3 сентябрь 1969. с. 338–347.

90. Викторов С.Д. Технология применения на горнодобывающих предприятиях взрывчатых веществ местного изготовления. В сб. "Юбилейная научная сессия по развитию новых направлений и технологий освоения недр Земли". - М.: ИПКОН РАН, 1999. - С.58-61.

91. Беляев А.Ф. Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем. М., Наука, 1968, – 256 с.
92. Патент SU 1430805, G01N3.
93. Зимон А. Д., Андрианов Е. И., Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов, М., 1988.
94. ТУ 4826-026-17131060-2003. Объемный смеситель гравитационный «О С Г».
95. Патент RU 1430805. Способ определения слеживаемости порошков . G01N3 - Исследование прочностных свойств твердых материалов путем приложения к ним механических усилий (G01L 1/00). Авторы патента: Сабельников Е.Ф, Федотов Г.Н.
96. Патент RU2085550. Способ кондиционирования гранулированных минеральных удобрений с целью предотвращения их слеживаемости. Заявитель - Акционерное общество открытого типа "Дорогобуж".
97. Пестов Н.Е., Физико-химические свойства зернистых и порошкообразных химических продуктов. Изд. АН СССР, М.-Л. 1947.
98. Добрынин А.А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность М.: ИД Академии Жуковского, 2014. – 528 с.:
99. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Добрынин И.А. Определение грансостава по фотопланограммам с использованием компьютерной программы // Взрывное дело: Горный информационно-аналитический бюллетень, ОВ8. – М.: Мир горной книги, 2007. – С. 169–173.

ПРИЛОЖЕНИЕ

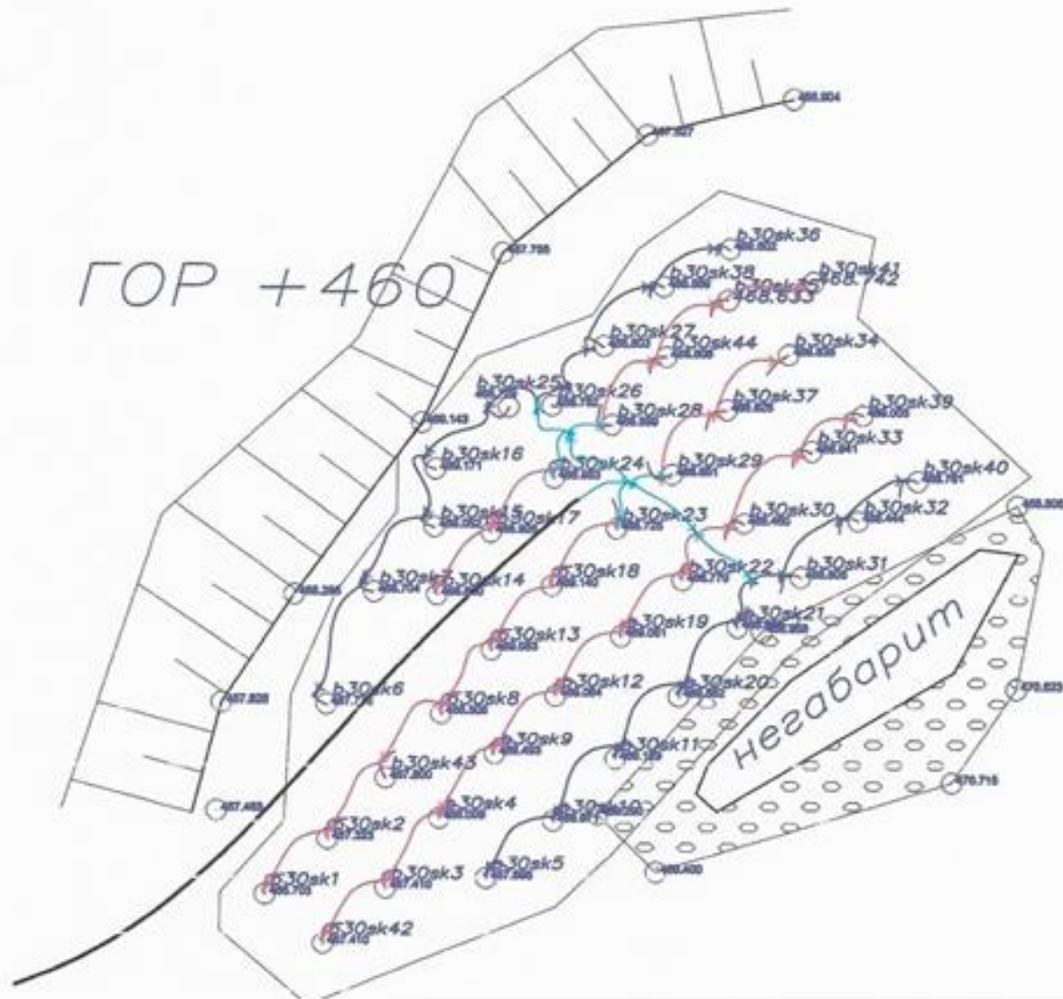


ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫРВНЫХ РАБОТ
Карьер Крутокаменского лобового завода торисит +460 Блж № 31-17 Дата съемки 22.04.2014

№/В скважины	Класс скважины, шт	Диаметр скважины, мм		Высота уступа (скала), м	Длина скважины, м		Глубина пробора, м	Линия СПД, м		Расстояние между скважинами, м		Выход порода от одной скв., м³	Удельный расход ВВ, кг/м³	Масса зарядов в скважине, кг	Масса ВВ в труле (использованная скважина), кг	Вместимость ВВ в скважине, кг									Длина, м						
		Р			Ф			Р		Ф						Р		Ф		Р		Ф		Р		Ф		Р		Ф	
		Р	Ф		Р	Ф		Р	Ф	Р	Ф					Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф
1	225	215	5,00	5,00	4,8	5,0	2,00	2,00	6	6	3	5	183,0	0,23	0,25	49,40	0,00	30	30	3,35	5,31	2,04	2,04								
4	225	215	3,00	3,00	5,0	5,0	2,00	2,00	6	6	3	5	195,0	0,20	0,20	40,40	0,00	30	30	3,01	5,07	2,00	2,00								
2	225	215	4,00	4,00	6,0	6,0	2,00	2,00	6	6	3	5	144,0	0,20	0,20	180,40	0,00	30	30	3,35	5,31	2,05	2,05								
3	225	215	6,00	6,00	8,0	8,0	2,00	2,00	6	6	3	5	215,0	0,24	0,24	160,40	0,00	30	30	5,23	5,31	2,05	2,05								
2	225	215	7,50	7,50	9,5	9,5	2,00	2,00	6	6	3	5	273,0	0,27	0,27	180,40	0,00	30	30	6,01	6,06	3,00	3,00								
2	225	215	8,00	8,00	10,0	10,0	2,00	2,00	6	6	3	5	284,0	0,27	0,27	200,40	0,00	30	30	6,68	6,68	3,32	3,32								
3	225	215	9,50	9,50	11,5	11,5	2,00	2,00	6	6	3	5	343,0	0,29	0,29	240,40	0,00	30	30	8,01	8,07	3,40	3,40								
10	225	215	10,50	10,50	12,5	12,5	2,00	2,00	6	6	3	5	373,0	0,29	0,29	260,40	0,00	30	30	8,88	8,88	3,50	3,50								
3	225	215	11,50	11,50	13,5	13,5	2,00	2,00	6	6	3	5	418,0	0,28	0,28	280,40	0,00	30	30	9,35	9,35	4,15	4,15								
2	225	215	12,00	12,00	14,0	14,0	2,00	2,00	6	6	3	5	433,0	0,29	0,29	300,40	0,00	30	30	10,00	10,00	4,20	4,20								
Итого	418														1458,0																

Оценка качества: *Выполнение работ в соответствии с проектом, качество работ хорошее, затраты экономичны.*

- Примечания:
- Р - расчеты, Ф - фактически измеренные значения
 - Фактические значения указаны на момент окончания работ
 - Оценочные данные могут отличаться от фактических в графе "результаты"
 - При оценке работ учитывались и геологические условия, допускаются отклонения в скважинах группы бурения по глубине, которые предусмотрены для разных зарядов в плане: отклонения по глубине и высоте имеют характерный вид
 - Высота отступа воды в плане соответствует ее фактическому значению при взрывании

Составил: Мастер участка ИВР

Проверил: Директор

