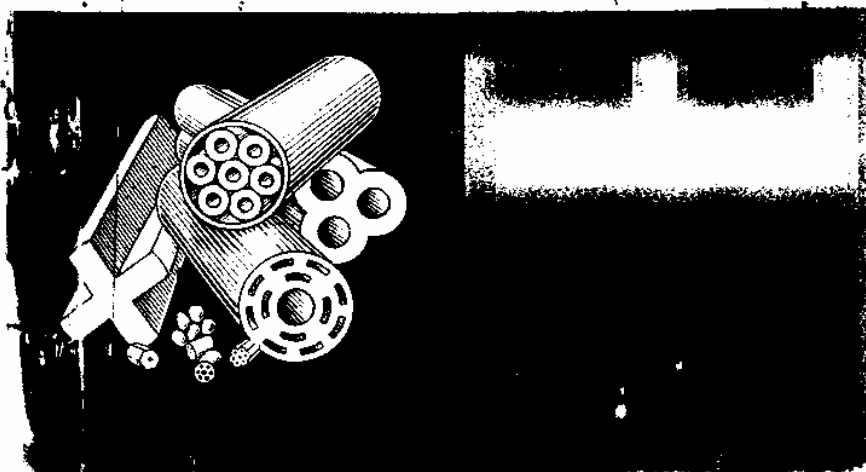


ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ПОРОХА



355.723
Ш15
УДК 623.52

Шагов Ю. В. Ш15 Взрывчатые вещества и пороха. М.,
Воениздат,
1976.

120 с.

В книге содержатся краткие сведения об основных положениях современной теории взрыва и горения, свойствах, методах получения и практическом использовании взрывчатых веществ и порохов. Даются ответы на многие вопросы, возникающие при изучении, служебном обращении и боевом применении боеприпасов ствольной и реактивной артиллерии.

Книга рассчитана на солдат, сержантов, курсантов военных училищ, а также на широкий круг читателей, интересующихся военной техникой.

11204-186 93-76

068(02)-76

355.723

© Воениздат, 1976

ПРЕДИСЛОВИЕ

В современной войне, какой бы характер она не носила, достойное место займет обычное огнестрельное оружие. Массовое применение этого оружия должно базироваться не только на знании материальной части, но и основываться хотя бы на элементарных представлениях об источниках энергии, обеспечивающих его действие.

В предлагаемой читателю книге рассматриваются источники энергии огнестрельного оружия¹ — взрывчатые вещества и пороха.

В доступной форме рассказывается о современных взглядах на природу взрыва и горения, о сложных физико-химических процессах, происходящих при выстреле из огнестрельного оружия, о том, чем обусловлено применение взрывчатых веществ и порохов в качестве источников энергии современного оружия.

Книга знакомит читателя с основными взрывчатыми веществами и порохами, широко применяемыми у нас и за рубежом, их свойствами, методами получения и способами применения.

¹ Огнестрельное оружие подразделяется на стрелковое (револьверы, пистолеты, автоматы, винтовки, карабины, пулеметы) и артиллерийское (пушки, гаубицы, мортиры, минометы, реактивные установки).

Наибольшее внимание уделяется описанию тех свойств взрывчатых веществ и порохов, знание которых поможет при изучении устройства и принципа действия боеприпасов ствольной и реактивной артиллерии, при боевом использовании этих боеприпасов, при организации их хранения и сбережения.

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ПОРОХА — ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННОГО ОРУЖИЯ

1. Область применения взрывчатых веществ и порохов

На протяжении многих веков ВВ состоят на службе у человека. И сегодня существуют области человеческой деятельности, где без взрывчатых веществ обойтись невозможно. Одной из них является военное дело.

Взрывчатыми веществами снаряжаются боеприпасы различных типов: ракеты, снаряды, мины, торпеды, авиационные и глубинные бомбы и др. ВВ являются основным средством, обеспечивающим поражение живой силы, боевой техники и разрушение объектов противника.

Для доставки боеприпасов до цели широко используются метательные ВВ — пороха. Пороховой заряд сообщает боеприпасу скорость, необходимую для его переброски на дальние расстояния или поражения быстро движущихся целей.

Выстрел из артиллерийского орудия с момента удара бойка по капсюльной втулке до разрыва снаряда от действия взрывателя у цели можно представить как связанные друг с другом, чередующиеся в определенной последовательности явления взрывов и горения различных ВВ. От удара бойка взрывается ударный состав в капсюльной втулке. Луч огня от капсюльной втулки передается воспламенителю из дымного пороха и зажигает его. Продукты горения воспламенителя вызывают воспламенение метательного заряда, сопровождающееся образованием большого количества пороховых газов, которые, расширяясь, приводят в движение снаряд.

Снаряд вылетает из ствола орудия и в конце полета разрывается, поражая цель.

Появление новых видов современного оружия не только не снизило значения ВВ и порохов, а, наоборот, расширило область их применения. Они используются в противотанковых и зенитных управляемых ракетах, ракетах оперативно-тактического назначения, авиационных бомбах. Для осуществления взлета современных истребителей применяются пороховые стартовые ускорители.

Даже в ядерном и термоядерном оружии не обошлись без взрывчатых веществ. Чтобы произошел ядерный взрыв, необходимо быстрое соединение нескольких частей ядерного заряда (делящегося вещества), масса которых в отдельности меньше, а в сумме больше критической. Быстрое соединение субкритических масс ядерного заряда достигается взрывом обычного взрывчатого вещества.

ВВ находят применение и в народном хозяйстве. С помощью ВВ выполняются самые разнообразные работы.

При осуществлении грандиозных планов развития народного хозяйства энергия взрыва принята на вооружение советских людей как одно из могучих средств ускорения и значительного снижения трудоемкости горных и земляных работ.

С помощью взрыва почти мгновенно можно получить выемку для прокладки дороги в горах или котлован для устройства какого-либо сооружения. ВВ с успехом применяются при строительстве плотин, каналов, для углубления и расширения рек и водоемов.

Когда на строительстве или при добыче полезных ископаемых требуется раздробить твердые горные породы, взрыв очень часто оказывается единственным средством решения такой задачи.

По применению массовых взрывов в промышленности и строительстве наша страна занимает первое место в мире.

Разрушение каменных строений, предназначенных к сносу, быстро и безопасно производят взрывным способом. Правильный расчет массы и размещения зарядов ВВ исключает повреждение соседних зданий и разлет осколков.

ВВ применяются для уничтожения ледяных заторов на реках, тушения пожаров, осушения болот, разрыхления почвы, корчевки пней.

ВВ используются и при поисках полезных ископаемых. Подземный взрыв может быть источником звуковых или, как их еще называют, сейсмических волн. Направление движения и скорость этих волн зависят от свойств горных пород. Произведя небольшой подземный взрыв и регистрируя на некотором расстоянии от места взрыва с помощью специальных приборов время прибытия сейсмических волн, можно получить данные о расположении невидимых отражающих поверхностей, рассчитать их глубину, угол наклона, а также сделать предположение о структуре пород. Таким способом могут быть открыты полезные ископаемые, залегающие на большой глубине.

С помощью взрыва можно осуществлять резку и сварку металлов.

Взрыв является средством научного исследования. При взрыве имеют место очень высокие температуры, скорости и давления. Это позволяет изучать явления, возникающие при сильном воздействии на вещество, и способствует раскрытию новых свойств материи.

Приведенными примерами не исчерпывается все многообразие случаев практического использования ВВ. Советские ученые и инженеры совершенствуют способы и расширяют области применения взрывчатых веществ.

2. Энергия и мощность взрыва

Применение ВВ в военном деле и народном хозяйстве основано на их использовании в качестве своеобразного источника энергии.

Энергия, выделяющаяся при взрыве, содержится во взрывчатом веществе в скрытой форме. Чтобы понять, каким же образом происходит выделение этой энергии, вспомним, что всякое вещество состоит из молекул, а молекулы из атомов.

Преобразование одного вещества в другое происходит в результате изменения строения молекул. Атомы, входящие в состав молекул, при химических процессах перестраиваются, соединяются по-новому. В результате появляются новые молекулы и вещество изменяется. Перестройка молекул сопровождается выделением или поглощением энергии.

ВВ способно при соответствующих условиях выделять значительную энергию за счет того, что его молекулы превращаются в молекулы газов. Благодаря выделившейся энергии

образовавшиеся газообразные продукты оказываются нагретыми до очень высокой температуры и начинают быстро расширяться. Расширяющиеся газы могут производить механическую работу по перемещению или разрушению окружающих предметов.

Скрытой энергией обладают не только ВВ. Ею обладают дрова, уголь, бензин и другие горючие вещества. Эта энергия может также выделяться при определенных условиях, например при горении.

Почему же для целей разрушения и метания на протяжении многих веков применяются ВВ и до настоящего времени им не могут найти замену?

Казалось бы, можно предположить, что исключительной причиной их применения для этих целей является огромный запас потенциальной энергии. Такое предположение является ошибочным.

Известно, что в 1 кг бензина энергии содержится в 10 раз больше, чем в 1 кг тротила, и в 12 раз больше, чем в пироксилиновом порохе.

Правда, при таком сравнении допускается некоторая неточность.

Вспомним, в каких условиях горит пороховой заряд или взрывается разрывной заряд снаряда. Они мгновенно превращаются в газы в изолированных от внешнего воздуха пространствах зарядной камеры ствола орудия или снаряда.

Бензин или любое другое топливо не может гореть в замкнутом объеме без достаточного количества воздуха или свободного кислорода. Для сгорания 1 кг бензина требуется столько кислорода, сколько его содержится в 15,5 кг воздуха. Поэтому правильнее теплоту горения топлива рассчитывать на 1 кг его смеси с необходимым для горения количеством кислорода.

При таком расчете разница в величинах теплоты горения бензина и теплоты взрыва ВВ стала меньше, однако и в этом случае количество выделяющейся энергии у бензина больше: пироксилиновый порох —

700 ккал/кг¹, тротил — 1000 ккал/кг, смесь 1 кг бензина с кислородом — 2300 ккал/кг.

¹ Здесь и далее числовые значения физических величин будут выражаться в технической системе единиц, до сих пор широко используемой в артиллерийской технике. Для перехода к числовым значениям физических величин в

Следовательно, величина энергии, заключенная во взрывчатых веществах и порохам, не является основной причиной их применения для разрушительных и метательных целей.

Основная причина заключается не в величине энергии, хотя это тоже имеет значение, а в очень быстром ее выделении.

Если сгорание 1 кг бензина в двигателе автомобиля происходит за 5—6 мин, то 1 кг пороха сгорает в камере артиллерийского орудия за несколько тысячных долей секунды, а взрыв 1 кг тротила длится всего лишь 1—2 стотысячные доли секунды.

Энергия при взрыве выделяется в десятки миллионов раз быстрее, чем при сгорании топлив. Этим объясняется колоссальная мощность взрыва. Путем весьма несложных расчетов можно подсчитать мощность взрыва разрывного заряда 100-мм осколочно-фугасного снаряда. Результат получится весьма внушительный — около 20 млн. л. с.

Большая мощность характерна для ВВ и в случае их применения для метательных целей. Мощность порохового заряда артиллерийского выстрела крупного калибра составляет 15 млн. л.с.

Возможности использования энергии взрыва и горения ВВ в настоящее время еще далеко не исчерпаны. Одной из задач современной науки, занимающейся изучением ВВ и их взрывного превращения, является овладение в полной мере умением управлять процессами выделения их энергии в целях получения наибольшего разрушительного или метательного эффекта.

3. Основные типы взрывчатых веществ по составу и классификация их по применению

Взрывчатые вещества весьма разнообразны по своему химическому составу, физическим свойствам и агрегатному состоянию.

Известно много ВВ, представляющих собой твердые тела, менее распространены жидкие, есть и газообразные, например смесь метана с воздухом.

В принципе взрывчатым веществом может быть любая смесь горючего с окислителем. Самое древнее ВВ — дымный порох —

международной системе СИ следует пользоваться соответствующими переходными коэффициентами.

представляет собой смесь двух горючих (уголь и сера) с окислителем (калиевая селитра). Другой вид подобных смесей — оксиликвиты — представляет собой смесь тонкодисперсного горючего (сажа, мох, опилки и т. д.) с жидким кислородом.

Необходимым условием получения ВВ из горючего и окислителя является их тщательное смешение. Однако, как бы тщательно ни были перемешаны составные части взрывчатой смеси, невозможно добиться такой равномерности состава, при которой с каждой молекулой горючего соседствовала бы молекула окислителя. Поэтому в механических смесях скорость химической реакции при взрывном превращении никогда не достигает максимального значения. Такого недостатка не имеют взрывчатые химические соединения, в молекулу которых входят атомы горючего (углерода, водорода) и атомы окислителя (кислорода).

К взрывчатым химическим соединениям, молекула которых содержит атомы горючих элементов и кислорода, относятся сложные азотнокислые эфиры многоатомных спиртов, так называемые нитроэфиры, и нитросоединения ароматических углеводородов.

Наиболее широкое применение нашли следующие нитроэфиры: **глицеринтринитрат** (нитроглицерин) — $C_3H_3(ONO_2)_3$, **пентаэритриттетранитрат** (тэн) — $C(CH_2ONO_2)_4$, **нитраты целлюлозы** (нитроцеллюлоза) — $[C_6H_7O_2(OH)_{3-n}(ONO_2)_n]_x$.

Из нитросоединений в первую очередь следует назвать тринитротолуол (тротил) — $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ и тринитрофенол (пикриновая кислота) — $C_6H_2(NO_2)_3OH$.

Кроме указанных нитросоединений широко применяются нитроамины: **тринитрофенилметилнитроамин** (тетрил) — $C_6H_2(NO_2)_3NCH_2NO_2$, **циклотриметилентри-нитроамин** (гексоген) — $C_3H_6N_6O_6$ и **циклотетраметилен-тетранитроамин** (октоген) — $C_4H_8N_8O_8$.

У нитросоединений и нитроэфиров все, тепло или основная часть тепла при взрыве выделяется в результате окисления горючих элементов кислородом.

Применяют также ВВ, выделяющие тепло при распаде молекул, на образование которых было затрачено большое количество энергии. Примером подобных ВВ является азид свинца — $Pb(N_3)_2$.

Взрывчатые вещества, относящиеся по своей химической структуре к определенному классу соединений, обладают некоторыми общими свойствами.

Однако в пределах одного класса химических соединений различия в свойствах ВВ могут быть значительными, так как ВВ во многом определяются физическими свойствами и структурой вещества. Поэтому классифицировать ВВ по их принадлежности к определенному классу химических соединений довольно трудно. Их классифицируют обычно в зависимости от областей применения.

В соответствии с этой классификацией ВВ делят на три основные группы: инициирующие, бризантные и метательные ВВ (пороха).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗРЫВНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ¹ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

1. Понятие о явлении взрыва

Взрыв — явление довольно широко распространенное в природе и технике. Внешняя картина взрыва многим хорошо известна: одним — по личным наблюдениям, другим — по кинофильмам и художественной литературе. С действием взрыва связаны разрушения. Он обычно сопровождается звуковым эффектом.

При взрыве происходит быстрое физическое, химическое, ядерное или термоядерное превращение вещества, сопровождающееся столь же быстрым переходом возникшей при этом энергии взрыва в энергию сжатия и движения исходного вещества или продуктов его превращения и окружающей среды.

Возможны различные виды исходной энергии взрыва: тепловая, электрическая, кинетическая, энергия упругого сжатия, ядерная, термоядерная и химическая. Взрывы баллонов со сжатыми газами и паровых котлов могут служить примером взрывов, происходящих за счет тепловой энергии сжатых газов.

Взрыв может произойти при сильном искровом разряде под водой или при пропускании тока большой силы через проволоку. При этом электрическая энергия переходит в энергию нагретого и сжатого воздуха и паров воды или металла. Примером взрывов, источником которых служит электрическая энергия, являются обычные молнии.

При ударе движущегося с большой скоростью тела о прочную преграду его кинетическая энергия переходит в тепловую.

При достаточной величине этой энергии могут произойти явления взрывного характера. Такие взрывы бывают при падении крупных метеоритов.

Примером взрывов за счет **энергии упругого сжатия** могут служить землетрясения. Напряжения, возникающие в отдельных

¹ Следуя К. К. Андрееву [2] и А. Г. Горсту [4], автор считает необходимым разграничить понятия «взрывные» (взрывные превращения) и «взрывчатые» (взрывчатые свойства).

участках земной коры, охватывают весьма большие объемы, в которых накапливаются, а затем освобождаются огромные количества энергии. Энергия сильных землетрясений превосходит энергию взрыва миллионов тонн обычных взрывчатых веществ.

Мощные взрывы происходят в результате цепной реакции при быстром делении некоторых тяжелых атомных ядер, при этом **внутриядерная энергия** переходит в кинетическую энергию осколков ядра. Эта энергия намного больше той, которая выделяется при взрыве обычных ВВ. Вещество ядерного заряда и его оболочка в ничтожные доли секунды превращаются в раскаленные газы. Температура и давление этих газов чрезвычайно велики: в тысячу раз больше, чем при взрыве обычных ВВ.

Еще более мощными являются **термоядерные взрывы**. При термоядерном взрыве энергия выделяется за счет слияния (синтеза) ядер атомов легких элементов (в частности, изотопов водорода — Дейтерия и трития) с образованием ядер более тяжелых элементов (гелия). Взрывы за счет **химической энергии** присущи особой группе веществ — **взрывчатым веществам**.

Взрывчатые вещества обладают относительной термодинамической неустойчивостью. Именно благодаря этому они способны под влиянием внешних воздействий к чрезвычайно быстрому химическим превращениям, которые сопровождаются выделением тепла и образованием газообразных продуктов.

Уже упоминалось об исключительно большой скорости, с которой ВВ превращаются в газообразные продукты. Большая скорость является необходимым условием взрыва. Скорости взрывных превращений могут достигать 9—10 км/сек.

При совершении механической работы по перемещению или разрушению требуется затратить эквивалентное количество тепловой энергии, выделяющейся при химическом превращении взрывчатого вещества. Выделение тепла при химической реакции является вторым необходимым условием взрыва.

Для современных взрывчатых веществ теплота взрывного превращения составляет 400—3000 ккал/кг.

Для преобразования теплоты химической реакции в механическую работу необходимо рабочее тело. Таким рабочим

телом являются газообразные продукты. При взрыве 1 кг ВВ выделяется 500—1000 л газов.

Только сочетание трех факторов: большая скорость процесса, выделение большого количества тепла и газообразных продуктов — делает возможным химический взрыв. При отсутствии хотя бы одного из перечисленных факторов взрыва не будет. При горении каменного угля образуется большое количество газов, а тепла выделяется в 8 раз больше, чем при взрыве тротила. Однако каменный уголь не способен взрываться, так как превращение его в газообразные продукты происходит в десятки миллионов раз медленнее, чем, например, тротила.

В последующих разделах книги химический взрыв (для краткости принято называть его просто взрывом) будет рассмотрен подробнее.

2. Механизм распространения взрыва

Явление взрыва в настоящее время изучено достаточно полно.

Основные положения теории, объясняющей механизм распространения взрыва, разработаны в конце прошлого столетия профессором Московской сельско-хозяйственной академии **В.А.Михельсоном**. В трудах советских ученых **Л. Д. Ландау**, **Я.Б. Зельдовича**, **К.П. Станюковича** и других теория взрыва нашла свое дальнейшее развитие.

Согласно существующим воззрениям все ВВ, как бы сильно они ни отличались одно от другого своим химическим составом и физическими свойствами, взрываются, по существу, одинаково. Взрыв возникает в результате резкого сжатия небольшой части ВВ. При этом во взрывчатом веществе образуется волна сжатия — ударная волна. Резкое сжатие может быть следствием удара быстро движущегося предмета, сильного электрического разряда или взрыва другого ВВ.

При быстром и сильном сжатии ВВ нагревается, в результате происходит химическая реакция, сопровождающаяся выделением большого количества энергии и образованием газообразных продуктов.

Образующиеся газообразные продукты производят резкий удар по соседним слоям ВВ. Эти слои в свою очередь сжимаются, в них также образуется ударная волна и происходит интенсивная химическая реакция.

Ударная волна распространяется по всей массе ВВ со скоростью, равной нескольким километрам в секунду. Скоростью распространения ударной волны во взрывчатом веществе определяется скорость взрыва.

Ударная волна имеет впереди резко очерченный фронт, на котором происходит сильное повышение давления и температуры. Непосредственно за фронтом волны происходит превращение ВВ в газообразные продукты и выделение энергии. Продукты взрыва не удаляются из зоны реакции, а движутся в направлении распространения процесса вслед за ударной волной.

Благодаря выделению энергии в процессе химической реакции и постоянному ее восполнению скорость распространения ударной волны во взрывчатом веществе может оставаться постоянной. Такое распространение взрыва называется детонацией ВВ, а волна — детонационной. Скорость детонации можно определить как скорость распространения ударной волны по заряду ВВ.

Детонация представляет собой наиболее совершенную форму взрыва, когда процесс протекает с постоянной и максимально возможной для данного ВВ скоростью.

Скорость детонации является одной из наиболее важных характеристик ВВ. Ее можно определить экспериментально. В последнее время широкое применение нашли оптический, осциллографический и хронографический методы определения скорости детонации. Эти методы довольно сложные и требуют специального оборудования. Наиболее простым методом определения скорости детонации является так называемый метод Дотриша, основанный на сравнении известной скорости детонации детонирующего шнура со скоростью детонации испытуемого заряда.

В табл. 1 приводятся скорости детонации некоторых ВВ.

Скорость детонации зависит от природы ВВ, его плотности, содержания примесей.

Т а б л и ц а 1

Взрывчатое вещество	Плотность, г/см ³	Скорость детонации, м/сек
---------------------	---------------------------------	---------------------------

Гремучая ртуть	3,3	4500
Азид свинца	4,0	5100
Тротил	1,61	7000
Тетрил	1,67	7420
Тэн	1,6	8380
Гексоген	1,6	7900

Влияние природы ВВ проявляется через зависимость скорости детонации от количества тепла, выделяющегося при взрыве 1 кг вещества: чем больше выделяется тепла, тем выше скорость детонации. Так, при взрыве 1 кг тротила выделяется 1000 ккал, а при взрыве 1 кг тэна — 1400 ккал. Соответственно скорости детонации этих ВВ равны 7000 и 7900 м/сек.

С увеличением плотности заряда скорость детонации бризантных ВВ возрастает, достигая максимума при предельной для данного ВВ плотности. Зависимость скорости детонации тротила от плотности заряда видна из табл. 2.

Таблица 2

Плотность, г/см ³	1,3	1,4	1,5	1,6	1,61
Скорость детонации, м/сек. . .	6025	6320	6650	6980	7000

Инертные примеси, как правило, снижают скорость детонации ВВ.

Взрывчатые вещества различны по своей способности детонировать. Для каждого из них имеется некоторое наименьшее количество ВВ, необходимое для того, чтобы произошла детонация.

Как было установлено академиком Ю.Б. Харитоном, мерой способности ВВ к взрыву может служить критический диаметр заряда, т. е. такой предельный диаметр его, при котором детонация может распространиться по заряду.

Чем меньше критический диаметр, тем больше способность ВВ к детонации. Величина критического диаметра зависит от физического состояния взрывчатого вещества.

Так, критический диаметр прессованного тротила около 10 мм, а литого — 32 мм. Поэтому в заряде из прессованного тротила возбудить детонацию легче, чем в заряде из литого тротила. Дополнительные детонаторы, предназначенные для передачи импульса от взрывателя разрывному заряду, делают из прессованного тротила. Боеприпасы малого калибра нельзя снаряжать литым тротилом, так как может быть неполная детонация.

3. Горение взрывчатых веществ

Взрыв представляет собой одну из форм взрывного превращения взрывчатых веществ. Другой его формой является горение. Для горения также характерно большое количество выделяемого тепла, газообразных продуктов и большая скорость процесса. И тем не менее горение принципиально отлично от взрыва. Это отличие заключается в первую очередь в механизме распространения процессов.

Как уже было сказано, распространение взрыва обусловлено прохождением по заряду взрывчатого вещества ударной волны, возбуждающей в каждом последующем слое интенсивную химическую реакцию, сопровождающуюся выделением тепла.

Распространение же процесса горения по взрывчатому веществу обусловлено передачей тепла от одного слоя к другому за счет теплопроводности, диффузии и излучения газообразных продуктов горения.

Принципиальное отличие в механизме распространения взрыва и горения предопределяет различные скорости этих процессов: скорость горения всегда меньше скорости распространения звука в данном веществе, скорость взрыва превосходит скорость звука в заряде взрывчатого вещества. Отличием в механизме распространения взрыва и горения объясняется и различное их воздействие на внешнюю среду: продукты

горения осуществляют метание тел в сторону наименьшего сопротивления, взрыв вызывает дробление преград,

соприкасающихся с зарядом или находящихся на некотором расстоянии от места взрыва.

Процесс горения ВВ ввиду его чрезвычайной сложности изучен еще далеко не полностью. Большой вклад в изучение процесса горения внесли советские ученые: академик Н. Н. Семенов, профессора К. К. Андреев, А. Ф. Беляев, Я. Б. Зельдович и другие. Благодаря им стали известны основные положения и закономерности, характеризующие этот процесс. Сущность процесса горения можно представить следующим образом.

При нагревании ВВ происходит плавление и испарение тонкого слоя вещества. Образующиеся пары нагреваются до температуры, при которой начинается процесс самовоспламенения с последующей интенсивной химической реакцией.

Химическая реакция сопровождается выделением тепла и газообразных продуктов. Продукты горения нагревают следующий слой ВВ, в котором повторяются те же физические процессы и химические реакции.

За счет образования газообразных продуктов горения давление у горячей поверхности ВВ повышается. Газы расширяются и оттекают от поверхности вещества. Давление над поверхностью зависит от соотношения между скоростью газопритока и скоростью газооттока. Скорость газопритока зависит от скорости горения ВВ, которая для различных веществ разная и по-разному зависит от давления.

Если с увеличением давления скорость горения растет быстрее, чем скорость газооттока, то давление будет возрастать и горение перейдет во взрыв. Иницирующие ВВ имеют большую скорость горения, существенным образом возрастающую с увеличением давления. Поэтому их горение, как правило, является неустойчивым и переходит во взрыв.

Если же при повышении давления скорость горения растет медленнее скорости газооттока, то образующиеся газы успевают расшириться и горение будет носить устойчивый характер.

Именно этим объясняется устойчивое горение тротила и других бризантных взрывчатых веществ, у которых скорость горения мала и в малой степени зависит от давления.

Однако горение бризантных взрывчатых веществ в некоторых случаях также может перейти во взрыв. Это случается, когда

взрывчатые вещества жидкие или имеют рыхлую пористую структуру. При горении пористого ВВ горячие газообразные продукты проникают через поры в глубь вещества и зажигают его. В результате возрастает поверхность горения и соответствующим образом увеличивается скорость газопритока. Давление растёт, и горение переходит во взрыв.

Пироксилин, имеющий пористую структуру, не представлялось возможным использовать для метательных целей до тех пор, пока не нашли способ устранить его пористость. Получение пироксилиновых порохов в принципе и заключается в придании пироксилину плотной структуры.

Более сложным, но сходным путем переходит во взрыв горение жидких ВВ.

Для обеспечения устойчивого горения жидкого ВВ надо лишить его подвижности и текучести. При получении нитроглицериновых порохов это достигается растворением в нитроглицерине нитроклетчатки с последующей обработкой.

Благодаря плотной структуре пороха горят устойчиво. Горение является наиболее характерным видом их взрывного превращения.

4. Возбуждение взрывных превращений и начальный импульс

Вещество обладает взрывчатыми свойствами, если процесс его химического превращения происходит с большой скоростью и сопровождается выделением большого количества тепла и газообразных продуктов.

Наличие взрывчатых свойств у того или иного вещества определяет его потенциальную способность к взрывным превращениям в форме горения или детонации. Чтобы вызвать взрывное превращение, необходимо на взрывчатое вещество оказать определенное внешнее воздействие.

Это внешнее воздействие, от которого происходит взрывное превращение взрывчатого вещества, называют начальным или инициирующим импульсом.

Возможность возникновения взрывного превращений под действием начального импульса зависит от количества энергии, сообщаемой при этом ВВ.

Количество энергии, необходимой для возникновения взрывного превращения даже одного и того же ВВ, не является величиной постоянной и может заметно меняться в зависимости от начального импульса и характера его передачи. При медленном сжатии, имеющем статический характер, взрыв не может произойти даже в том случае, если будет произведена громадная работа и давление достигнет значительной величины.

При динамических нагрузках взрывные превращения возбуждаются при значительно меньших величинах.

В зависимости от природы взрывчатого вещества его взрывное превращение можно вызвать различными начальными импульсами: тепловым (нагрев, луч огня), механическим (удар, трение, прострел пульей), взрывным (взрыв другого взрывчатого вещества).

Так, в случае выстрела из артиллерийского орудия ВВ, содержащееся в капсуле-воспламенителе, взрывается от удара бойка, метательный пороховой заряд воспламеняется от луча огня, взрывной заряд снаряда детонирует от взрыва детонатора.

Вид начального импульса влияет на характер взрывного превращения. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе начального импульса для тех или иных условий применения взрывчатого вещества.

Преимущественным видом взрывного превращения пороха является горение. Однако из этого не следует, что пороха не могут взрываться или детонировать. При определенных условиях пороха способны детонировать так же, как и бризантные взрывчатые вещества.

Детонация пороха может произойти при простреле пульей, летящей со скоростью более 1000 ж/сек. Обычным капсюлем-детонатором вызвать детонацию пороха невозможно, но если применить дополнительный детонатор из пикриновой кислоты, то порох детонирует.

Это свойство порохов позволяет использовать непригодные для военных целей пороха для подрывных работ в народном хозяйстве.

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ БОЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

1. Энергетические характеристики взрывчатых веществ

Для того чтобы судить о возможном действии взрыва, необходимо знать количество тепла, выделяемое при взрыве, объем образующихся газообразных продуктов и температуру взрыва.

Для взрывчатых веществ количество тепла, выделяющееся при взрыве, является очень важной характеристикой, определяющей возможность использования того или иного ВВ в соответствующих условиях. Чем больше выделилось тепла, тем выше температура продуктов взрыва, больше давление, а, следовательно, и воздействие продуктов взрыва на окружающую среду. Правда, в реальных условиях применения ВВ не вся теплота, выделяющаяся при взрыве, переходит в механическую работу. Часть ее расходуется на нагревание оболочки, в которую заключено ВВ, и окружающей среды.

Количество тепла, которое выделяется при взрыве 1 кг ВВ, называют теплотой взрыва. Теплота взрыва является важной энергетической характеристикой, определяющей работоспособность ВВ.

Количество тепла, выделяемое в результате процесса, протекающего с участием газов, зависит от того, происходит процесс в постоянном или переменном объеме. Полагают, что при детонации ВВ химическая реакция успевает закончиться раньше, чем начнется расширение газообразных продуктов взрыва, и выделение тепла происходит при постоянном объеме.

Для сравнения энергетических возможностей различных ВВ пользуются величиной Q_v , то есть теплотой взрыва, определенной при постоянном объеме.

Теплота взрыва некоторых взрывчатых веществ Q_v приведена в табл. 3.

Таблица 3

Взрывчатое вещество	Теплота взрыва Q_v ккал/кг
Азид свинца	367
Гремучая ртуть	414
Тротил	1000
Пикриновая кислота	1030
Тетрил	1090
Гексоген	1300
Тзн	1400
Нитроглицерин	1490

Теплота взрыва может быть определена экспериментально или расчетным способом. Экспериментальное определение теплоты взрыва производится в калориметрической установке по количеству тепла, поглощенного массой установки при взрыве внутри нее определенного количества ВВ.

В основе вычисления теплоты взрыва лежит основной закон термохимии, открытый в 1840 г. русским химиком **Г. И. Гессом**, который представляет собой частный случай закона сохранения энергии. В соответствии с этим законом тепловой эффект химической реакции не зависит от того, какие были промежуточные вещества при протекании реакции, а зависит только от состава исходных веществ и конечный продуктов реакции.

Согласно закону Гесса теплота взрыва равна алгебраической разности между теплотой образования продуктов взрыва и теплотой образования взрывчатого вещества:

$$Q_v = Q_1 - Q_2, \quad (1)$$

где Q_1 — теплота образования всех продуктов взрыва, равная сумме теплот образования отдельных продуктов взрыва;

Q_2 — теплота образования взрывчатого вещества. Для вычисления теплоты взрывного превращения необходимо знать, какие вещества образуются в результате взрыва, а также теплоту образования продуктов взрыва и теплоту образования взрывчатого вещества.

Теплота образования различных веществ указана в специальных таблицах [2]. Продукты взрывного превращения могут быть определены методом газового анализа или рассчитаны теоретически.

Точно определить состав продуктов взрыва методом газового анализа довольно трудно, так как газовому анализу подвергаются уже охлажденные продукты взрыва, а состав охлажденных продуктов в силу ряда обстоятельств может отличаться от первоначального состава, соответствующего максимальной температуре и давлению взрыва.

Поэтому чаще всего прибегают к теоретическим расчетам состава продуктов взрыва.

При этом исходят из следующих соображений. Подавляющее большинство ВВ представляет собой органические вещества, состоящие из атомов углерода, водорода, кислорода и азота. Состав продуктов взрыва определяется главным образом соотношением горючих составных частиц (углерода, водорода) и кислорода.

Все ВВ условно делят на 3 группы:

к 1-й группе относят ВВ с количеством кислорода, достаточным для полного сгорания горючих элементов (например, нитроглицерин);

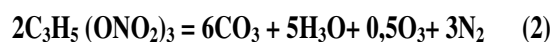
ко 2-й группе — ВВ с количеством кислорода, недостаточным для полного сгорания, но достаточным для полного газообразования (например, гексоген);

к 3-й группе — ВВ с количеством кислорода, недостаточным для полного газообразования (например, тротил).

Руководствуясь некоторыми общими закономерностями физической химии и термодинамики, можно достаточно точно подсчитать состав продуктов взрыва. Для этого прежде всего необходимо составить уравнение реакции взрывного превращения.

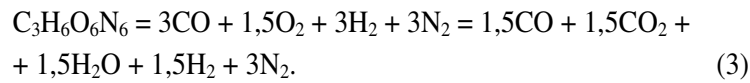
Приближенные реакции взрывного превращения для ВВ 1-й и 2-й групп могут быть составлены сравнительно просто.

Считают, что в результате взрыва ВВ, относящихся к 1-й группе, образуются лишь продукты полного сгорания CO_2 и H_2O . С учетом этого положения реакцию взрывного превращения нитроглицерина можно представить следующим образом:



Для взрывчатых веществ 2-й группы пользуются правилом, согласно которому кислород, входящий в молекулу взрывчатого вещества, сначала окисляет весь углерод до окиси углерода, а затем оставшаяся часть кислорода распределяется поровну между водородом и образовавшейся окисью углерода, в результате чего образуются вода и углекислый газ.

Руководствуясь этим правилом, можно написать уравнение взрывного превращения гексогена:



Для 3-й группы ВВ составить уравнение реакции труднее.

Зная реакцию взрывного превращения и состав продуктов взрыва, нетрудно подсчитать их объем V_0 , приведенный к нормальным условиям (при 0°C и давлении 760 мм рт. ст.) и отнесенный к килограмму ВВ:

$$V_0 = 22,4/M * 1000 \text{ [л/кг]}, \quad (4)$$

где 22,4 — объем 1 грамма газа при нормальных условиях, л; p — количество молей газообразных продуктов, образующихся при взрыве 1 моля ВВ; M — молекулярная масса ВВ, г. Зная теплоту взрыва и состав продуктов взрыва, легко вычислить температуру взрыва:

$$T = Q_v / C_v, \quad (5)$$

где C_v — теплоемкость продуктов взрыва в зависимости от изменения температуры.

2. Чувствительность взрывчатых веществ к начальным импульсам

Опыт показывает, что для возбуждения взрывного, превращения одних взрывчатых веществ достаточно слабого внешнего воздействия, для других требуются воздействия более сильные.

Это означает, что различные ВВ обладают разной чувствительностью к начальным импульсам,

Чувствительность ВВ — это способность реагировать на внешние воздействия проявлением взрывных превращений. Чувствительность характеризуется минимальной величиной начального импульса, необходимого для возбуждения взрывного превращения. Очевидно, чем меньше по величине воздействие, необходимое для возбуждения взрывного превращения, тем чувствительнее ВВ.

Чувствительность является одной из основных характеристик ВВ, определяющих возможность его практического применения.

В процессе производства, перевозки и использования взрывчатые вещества неизбежно подвергаются толчкам и ударам. В момент выстрела из артиллерийского орудия разрывной заряд вследствие инерции испытывает значительные напряжения. При ударе снаряда или авиабомбы о преграду резкое торможение движения корпуса приводит к быстрому и сильному сжатию заряда в головной части.

При повышенной чувствительности ВВ их производство, транспортировка и использование представляют большую опасность. Напряжения, возникающие во взрывчатом веществе при выстреле, могут привести к разрыву снаряда в канале ствола орудия. При этом произойдет разрушение или раздутие ствола и орудие окажется непригодным к дальнейшему использованию. Большая чувствительность ВВ может стать причиной преждевременного разрыва снаряда во время полета или при ударе о преграду. Преждевременный разрыв снаряда значительно снижает эффективность его действия.

При наполнении боеприпасов заливкой приходится нагревать большое количество ВВ. При повышенной чувствительности ВВ к тепловому импульсу в случае местного перегрева может произойти его воспламенение, а затем и взрыв.

Чувствительность зависит от природы ВВ. В основном она определяется степенью прочности химических связей. Чем прочнее связи, тем меньше чувствительность, тем большее воздействие необходимо оказать на вещество, чтобы заставить его взрываться или гореть.

Агрегатное состояние¹ ВВ оказывает влияние на его

¹ Агрегатное состояние — общее название состояния (твердого, жидкого и газообразного), в котором может находиться вещество в зависимости от температуры и давления.

чувствительность. Как правило, в жидком состоянии ВВ более чувствительны.

С повышением температуры чувствительность ВВ возрастает, так как с повышением температуры увеличивается число активных молекул и соответствующим образом уменьшается количество энергии, необходимой для возбуждения взрывного превращения.

Заметное влияние на чувствительность оказывают примеси: они могут увеличивать или уменьшать ее.

Если твердость примеси больше твердости ВВ, то чувствительность возрастает.

Примеси, повышающие чувствительность ВВ, называются сенсibiliзаторами. К числу сенсibiliзаторов относятся металлические опилки, толченое стекло, песок и т. д.

Примеси, понижающие чувствительность ВВ к внешним воздействиям, называются флегматизаторами. Флегматизаторы представляют собой легкоплавкие вещества или маслообразные жидкости. Флегматизатор во взрывчатом веществе равномерно распределен по всей массе. Лучшей флегматизирующей способностью обладают вещества с большой вязкостью, теплоемкостью и высокой температурой вспышки. Процесс введения флегматизатора во взрывчатое вещество называется флегматизацией. Флегматизация широко распространена в производстве современных ВВ. Гексоген, обладающий сравнительно большой чувствительностью к удару, флегматизируют сплавом парафина с церезином и в таком виде используют для снаряжения боеприпасов.

ВВ неодинаково реагируют на различные виды начальных импульсов. Это означает, что во взрывчатом веществе взрывное превращение можно вызвать малым воздействием одного какого-либо начального импульса, а с помощью другого — взрывное превращение не удастся получить вовсе или удастся с большим трудом.

Для практического использования ВВ очень важно знать их чувствительность к различным видам начальных импульсов. Существуют стандартные методы определения чувствительности ВВ к каждому виду начального импульса в отдельности.

Чувствительность ВВ к тепловому импульсу чаще всего характеризуется температурой вспышки. Температуру вспышки определяют как наименьшую темпера-

туру, до которой необходимо нагреть ВВ, чтобы вызвать в нем химическое превращение со скоростью, достаточной для получения звукового эффекта и пламени.

Температура вспышки некоторых ВВ приводится в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Взрывчатое вещество	Температура вспышки, С	Взрывчатое вещество	Температура вспышки, С
Гремучая ртуть . . .	175—180	Гексоген	230
Нитроцеллюлозный порох	180—200	Тротил	290—295
Тетрил	195—220	Дымный порох . . .	290—310
ТЭн	215	Азид свинца	330—340

Чувствительность ВВ к удару определяется с помощью приборов, называемых копрами. Сущность испытаний заключается в том, что на ВВ, помещенное между двумя металлическими поверхностями, сбрасывают с определенной высоты груз с фиксированной массой. При этом механическая энергия удара переходит в тепловую, вследствие чего возникают местные разогревы, так называемые «горячие точки», являющиеся очагами взрыва.

Чувствительность бризантных ВВ обычно характеризуется процентом взрывов, полученных из определенного количества испытаний (50 или 100) при сбрасывании груза в 10 кг с высоты 25 см.

Данные о чувствительности к удару некоторых бризантных ВВ приводятся в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Взрывчатое вещество	Взрывы из 100 испытаний. %
Тротил	4-58
Тетрил	50-60
Гексоген	70—80
ТЭн	100

Чувствительность инициирующих ВВ к удару имеет нижний и верхний пределы.

Верхний предел чувствительности — это минимальная высота, при падении груза с которой обеспечивается 100% взрывов. Верхний предел характеризует безотказность действия инициирующих ВВ и изделий из них.

Нижний предел чувствительности — это максимальная высота, при падении груза с которой не получается ни одного взрыва. Нижний предел имеет значение для оценки безопасности ВВ при производстве, хранении изделий и при боевом их применении.

Чувствительность инициирующих ВВ к удару приводится в табл. 6.

Таблица 6

Взрывчатое вещество	Масса груза, кг	Пределы, см	
		верхний	нижний
Гремучая ртуть	0,69	8,5	5,5
Тетразен	0,69	12,5	7,0
Азид свинца	0,98	23,0	7,0
ТНРС	1,43	25,0	14,0

Чувствительность ВВ к инициированию (восприимчивость к детонации) характеризуется предельной величиной инициирующего заряда, т. е. величиной минимального количества инициирующего ВВ, необходимого для возбуждения взрыва.

В табл. 7 приведена чувствительность к инициированию тротила и тетрила.

Таблица 7

Взрывчатое вещество	Предежные инициирующие заряды, г	
	гремучая ртуть	азид свинца
Тротил	0,36	0,09
Тетрил	0,29	0,025

Из табл. 7 видно, что тетрил (по сравнению с тротилом) более чувствителен к детонации, так как для возбуждения его взрывного превращения требуется меньший инициирующий заряд.

Поэтому тетрилу отдают предпочтение при снаряжении детонаторов.

Знать, какой чувствительностью обладают ВВ, необходимо для того, чтобы: обеспечить безопасность их производства; правильно выбрать ВВ для снаряжения того или иного элемента боеприпаса (с учетом особенностей его назначения и применения); определить вид и интенсивность начального импульса, необходимого для его срабатывания; обеспечить безопасность при боевом применении и хранении боеприпасов, а также при работах с ними в войсках, на складах и арсеналах.

3. Стойкость взрывчатых веществ

ВВ способны не только взрываться от действия начальных импульсов, но и самопроизвольно разлагаться и претерпевать различные физико-химические превращения в процессе длительного хранения. Поэтому при определении срока служебной пригодности ВВ обязательно нужно учитывать такое их свойство, как стойкость (стабильность). С учетом этого свойства определяется возможность их боевого применения и безопасного обращения с ними после истечения определенных сроков хранения.

Различают химическую и физическую стойкость ВВ.

Химической стойкостью называется способность ВВ сохранять в процессе длительного хранения неизменными химический состав и химические свойства. Она зависит от природы ВВ, наличия в них примесей других веществ, условий хранения.

Применяемые в настоящее время для снаряжения боеприпасов ВВ разлагаются крайне медленно. Они обладают большой химической стойкостью. Это значит, что ВВ могут храниться десятилетиями, практически не изменяя своего химического состава и химических свойств.

При длительном хранении взрывчатых веществ могут изменяться их физическое состояние, структура, механическая прочность, форма и размеры. Эти изменения происходят самопроизвольно или под влиянием внешних причин. Склонность ВВ к физическим изменениям характеризует их физическую стойкость.

Природа и механизм этих изменений для разных ВВ могут быть различными.

Во время второй мировой войны для снаряжения боеприпасов применялся недостаточно очищенный тротил, полученный по ускоренной технологии и содержащий примеси динитротолуолов. При длительном хранении боеприпасов, снаряженных таким тротилом, особенно в условиях жаркого климата, где температура окружающего воздуха достигает +40°C и более, из разрывного заряда выделяется оливково-желтоватая маслянистая жидкость, получившая название тротилового масла.

Тротиловое масло представляет собой легкоплавкую эвтектическую смесь¹ динитротолуолов и тротила. Выделение тротилового масла приводит к разрыхлению ВВ и потере зарядом монолитности. В разрывном заряде образуются пустоты, уменьшающие стойкость его к сотрясениям при выстреле.

Вполне понятно, что боеприпасы, снаряженные тротилом, изготовленным по ускоренной технологии, не пригодны к длительному хранению. При обнаружении снарядов с течью тротилового масла их выбраковывают и к стрельбе не допускают.

В мирное время для снаряжения боеприпасов применяют тротил, хорошо очищенный, не содержащий примесей и пригодный для длительного хранения.

Ограниченной физической стойкостью обладают аммонийно-селитренные ВВ, отличающиеся высокой гигроскопичностью и сильной увлажняемостью. Склонность к увлажнению является крупным недостатком аммонийно-селитренных ВВ, ограничивающим их применение и затрудняющим изготовление, снаряжение ими боеприпасов и хранение.

Во время второй мировой войны для снаряжения боеприпасов наиболее часто применялись аммонийно-селитренные ВВ на основе тротила, называемые аммотолами.

При хранении боеприпасов, снаряженных аммотолами, наблюдается усадка или «рост» заряда.

Основной причиной усадки аммотоловых зарядов является самопроизвольное слипание и укрупнение кристаллов аммиачной селитры, сопровождающееся уменьшением объема заряда.

¹ Эвтектическая смесь — смесь веществ, имеющая самую низкую температуру плавления по сравнению со смесями тех же веществ, взятых в другом соотношении.

Укрупнению кристаллов способствует повышенная влажность аммотола и переход аммиачной селитры из одной модификации в другую. Аммиачная селитра, обладая свойством полиморфизма¹, существует в пяти кристаллических модификациях, каждая из которых стабильна в определенных температурных условиях. Переход из одной модификации в другую (рекристаллизация) происходит при температуре —18, 32, 85 и 125⁰С. Этот переход сопровождается изменением плотности и соответственно объема.

Если при хранении боеприпасов температура окружающего воздуха часто поднимается выше 32⁰С, то наблюдается «рост» зарядов, так как переход через указанную температуру приводит к модификационным превращениям аммиачной селитры, связанным с увеличением объема.

Хранение боеприпасов, снаряженных аммотолами, в различных климатических условиях сопровождается многократными полиморфными превращениями², которые могут привести к разрушению заряда.

Повышенная влажность аммотоловых зарядов снижает их восприимчивость к детонации, уменьшает скорость детонации и может привести к неполным, а также к затухающим взрывам, переходящим в выгорание.

Из-за указанных недостатков аммонийно-селитренные ВВ применяются для снаряжения боеприпасов только в военное время.

Изменение объема или так называемый «рост» ВВ происходит у некоторых прессованных зарядов за счет остаточной деформации. В результате такого «роста» невозможно без предварительной обработки вернуть взрыватель. Поэтому очень важно своевременно обнаружить «рост» ВВ. Это достигается периодическими техническими осмотрами боеприпасов. Снаряды с «ростом» ВВ подлежат ремонту.

¹ Полиморфизм — свойство некоторых веществ в зависимости от внешних условий кристаллизоваться в различных формах (модификациях).

² Полиморфные превращения веществ — превращения, происходящие при их нагреве или охлаждении.

РАЗРУШАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА

1. Бризантное действие

Разрушающее действие взрыва в зависимости от условий применения ВВ проявляется в различных формах.

Бризантное действие взрыва проявляется в форме дробления, измельчения или пробивания среды, соприкасающейся с зарядом ВВ.

Бризантное действие обусловлено динамическим ударом продуктов детонации, находящихся под очень высоким давлением (20000 — 500000 кгс/см²), и наблюдается лишь в непосредственной близости от заряда ВВ. На бризантном действии основано применение ВВ в осколочных снарядах, бомбах, гранатах, минах и некоторых других боеприпасах.

При взрыве разрывного заряда осколочного снаряда под действием расширяющихся газообразных продуктов детонации корпус снаряда дробится на осколки, которые разлетаются в разные стороны, поражая на своем пути живую силу и уязвимые части боевой техники. Бризантное действие зависит от плотности ВВ и скорости детонации. С увеличением скорости детонации улучшается дробление корпуса снаряда. Скорость детонации, как известно, зависит от теплоты взрыва и плотности ВВ. Поэтому когда требуется получить наибольшее бризантное действие, применяют ВВ с большой скоростью детонации и теплотой взрыва, а снаряжение производят таким образом, чтобы плотность ВВ была близка к предельной.

В последнее время для снаряжения боеприпасов широко применяется гексоген, являющийся по сравнению с тротилом более мощным ВВ. Главное его преимущество заключается в том, что скорость детонации и плотность у него больше, чем у тротила.

Благодаря этому гексоген превосходит тротил по разрушающему действию.

Применение в осколочных снарядах более мощных ВВ позволяет уменьшить массу разрывного заряда и увеличить толщину стенок снаряда, что способствует повышению эффективности их боевого действия.

Осколочность, зависит не только от свойств взрывчатых веществ, но и от калибра, конструктивных особенностей боеприпаса, материала, из которого сделан его корпус.

Поэтому для снаряжения каждого вида боеприпаса ВВ должно специально подбираться. Например, для снаряжения боеприпасов, имеющих корпус из чугуна, ВВ подбирается таким образом, чтобы получить наибольшее количество убойных осколков.

Если ВВ очень мощное, то при взрыве произойдет сильное дробление корпуса, осколки получатся очень мелкими, дальность их разлета и эффективность действия будут незначительными. При малой мощности ВВ осколки могут получиться большими, их будет мало и урон, нанесенный снарядом, также будет незначителен.

2. Фугасное действие

При взрыве заряда ВВ, помещенного на некоторой глубине в грунт, происходит выброс грунта и образование воронки. Такое действие взрыва называют фугасным.

Фугасное действие обусловлено расширением газообразных продуктов и прохождением ударной волны в грунте. При этом частицы грунта приобретают такие большие скорости, что поднимаются на значительную высоту и разбрасываются в стороны (рис. 1).

Скорость движения наибольшая у частиц, двигающихся по линии кратчайшего расстояния от заряда ВВ до поверхности грунта. Эту линию называют линией наименьшего сопротивления (ЛНС). Чем дальше от этой линии расположены частицы грунта, тем с меньшей скоростью они движутся. Вдоль ЛНС грунт выбрасывается на наибольшее расстояние. Мерой фугасного действия является объем воронки, образовавшейся при взрыве 1 кг ВВ. Фугасное действие зависит от природы ВВ, свойств грунта и условий взрыва.

Весьма существенно сказывается на фугасном действии углубление заряда в грунт. При взрыве заряда тротила весом 1 кг на поверхности грунта средней плотности образуется воронка объемом $0,15 \text{ м}^3$, а при углублении этого заряда на 0,4 м объем воронки достигает 2 л^3 . Однако при большом углублении заряда энергии взрыва может оказаться недостаточно, чтобы выбросить грунт и образовать воронку. Взрыв без выброса грунта называют камуфлетом.



Рис. 1. Выброс грунта при взрыве

Для наиболее полного использования фугасного действия необходимо, чтобы разрыв снаряда происходил при попадании в цель не мгновенно, а спустя некоторое время, необходимое для того, чтобы снаряд проник в преграду на определенную глубину. Временная выдержка в 0,03—0,05 сек обеспечивается соответствующей установкой взрывателя.

Если снаряд разорвется раньше или позже указанного времени, то его фугасное действие будет не столь существенным. В случае камуфлета фугасное действие снаряда вообще будет сведено к нулю.

3. Кумулятивное действие

Действие взрыва можно усилить в определенном направлении, например в сторону разрушаемого объекта. Такое направленное действие взрыва основано на явлении, получившем название кумуляции (от латинского слова *cumulatio* — увеличивать, суммировать, накапливать). Явление кумуляции впервые наблюдалось 1864 г. русским военным инженером **М.М.Боресковым** установившим, что заряды,

имеющие на поверхности выемку, обеспечивают в направлении последней повышенный разрушительный эффект.

В развитие теории кумуляции большой вклад внесли советские ученые.

Если заряд 1 (рис. 2) взрывчатого вещества имеет выемку 2 в виде конуса, то при взрыве заряда 1 газообразные продукты, движущиеся от поверхности конуса

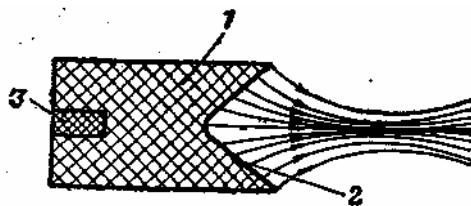


Рис. 2. Схема действия кумулятивного заряда:
1 — заряд взрывчатого вещества; 2 — выемка; 3 — детонатор

по нормали, образуют сходящийся поток, имеющий вид мощной тонкой струи. Сущность явления кумуляции состоит в концентрации, направлении энергии взрыва и создании уплотненного газового потока в области кумулятивной выемки 2. В результате столкновения и сжатия продуктов взрыва кумулятивный поток приобретает высокую плотность, скорость, температуру и давление. Скорость кумулятивного потока в некоторых случаях оказывается больше скорости детонации взрывчатых веществ, достигая 10000 — 15000 м/сек и приближаясь к космическим скоростям, в частности к скоростям, с которыми метеориты входят в атмосферу Земли.

В соответствии с общими законами движения газовых струй кумулятивный поток быстро теряет свою энергию по мере удаления от места взрыва, сохраняя достаточную устойчивость лишь на весьма небольших расстояниях.

Кумулятивное действие заряда увеличивается в 2—4 раза, если конусообразная выемка имеет металлическую облицовку небольшой толщины.

При взрыве заряда 1 (рис. 3) взрывчатого вещества давлением детонационной волны обжимается металлическая облицовка 2. Из внутренних слоев облицовки образуется кумулятивная струя 3, движущаяся со скоростью, близкой к скорости детонации. Наружные слои металла облицовки деформируются в пест 5,

движущийся в том же направлении, но с относительно малой скоростью (500—1000 м/сек). Движущаяся с большой скоростью кумулятивная струя пробивает бронированные, преграды значительной толщины. Пест не играет какой-либо роли в пробивном действии.

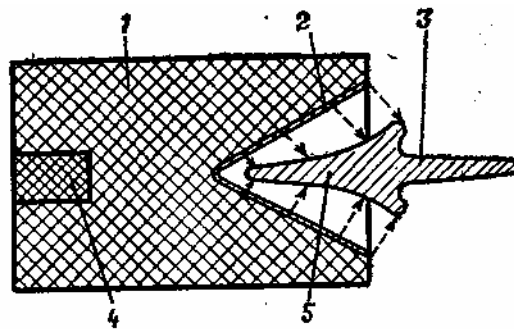


Рис. 3. Схема образования кумулятивной струи:
1—заряд взрывчатого вещества; 2—металлическая облицовка; 3—кумулятивная струя;
4—детонатор; 5—пест

Имея различные скорости в головной и хвостовой части, струя во время полета растягивается, удлиняется. С удлинением струи увеличивается ее пробивное действие. Увеличение пробивного действия происходит до тех пор, пока кумулятивная струя не начнет дробиться на части вследствие сильного растяжения. В случае разрыва струи пробивное действие резко снижается. Наибольшим оно бывает в случае, когда кумулятивный заряд находится на оптимальном расстоянии от преграды, называемом фокусным расстоянием.

Кумулятивная струя, ударяясь о броню, создает высокие напряжения, при которых металл сжимается и течет подобно жидкости. В металле мгновенно образуется узкое отверстие, через которое струя проникает в защищаемое броней пространство.

Во время второй мировой войны кумулятивные заряды использовались как эффективное и мощное средство борьбы с танками. В 1943г. на Курской дуге при отражении атак фашистских танков советская авиация впервые применила противотанковые кумулятивные бомбы.

Затем кумулятивные заряды стали применяться в артиллерийских снарядах, ручных противотанковых гранатах, противопехотных, противотанковых и морских минах, а несколько позже — в противотанковых и зенитных управляемых ракетах.

Мощность действия кумулятивных боеприпасов характеризуется толщиной пробиваемой брони и поражающим действием за броней.

При правильном выборе ВВ, величины и формы заряда, формы и размеров выемки, металла и толщины облицовки кумулятивный снаряд может пробить броню, в несколько раз превышающую его калибр.

Проникая внутрь танка, кумулятивная струя поражает экипаж, может зажечь горючее или вызвать взрыв боеприпасов, нанести значительные механические повреждения.

Начальная скорость кумулятивного снаряда не влияет на величину пробивания брони. Применение кумулятивного эффекта позволило использовать во время Великой Отечественной войны для борьбы с танками пушки и гаубицы, снаряды которых имели малую начальную скорость. Это намного увеличило число активных противотанковых средств. С успехом применялись в борьбе с немецкими танками кумулятивные снаряды к 76-мм пушкам и 122-мм гаубицам М-30.

Первые кумулятивные снаряды были вращающимися. Вращение снаряда заметно снижает кумулятивное действие из-за нарушения кумулятивной струи. По зарубежным данным, современные кумулятивные снаряды делают невращающимися, обеспечивая их стабилизацию на полете оперением. В неоперенных снарядах вращение заряда ВВ исключается путем специальной конструкции, обеспечивающей возможность проворачивания корпуса снаряда относительно заряда ВВ.

4. Откольное действие

Особое место среди разрушительных действий, взрыва занимает откольное действие.

На откольном действии основано применение получивших в последнее время широкое, распространение за рубежом снарядов и мин, снаряженных пластическими¹ ВВ.

Снаряды такого типа в зарубежной печати называют броневойно-фугасными.

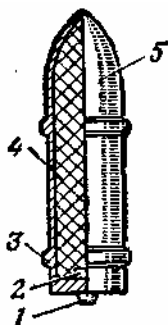


Рис. 4. Схема устройства броневойно-фугасного снаряда: 1 — трассер; 2 — взрыватель; 3 — ведущий пояс; 4 — пластическое ВВ; 5 — корпус.

Они имеют тонкостенный корпус 5 (рис. 4), в донной части которого находится взрыватель 2. При ударе о броню или бетонированную преграду корпус снаряда сплющивается. Вместе с корпусом меняет свою форму и пластическое ВВ 4. В результате увеличивается площадь контакта

ВВ с поверхностью разрушаемой преграды. Взрыв происходит при срабатывании взрывателя в момент наибольшего сплющивания корпуса.

При взрыве заряда на поверхности преграды в толще ее под действием динамического удара возникает и распространяется ударная волна, вызывающая последовательное сжатие отдельных слоев этой преграды.

Сильно сжатые, ничем не удерживаемые слои на противоположной стороне преграды при расширении (которое наступает после сжатия) откалываются от основной массы преграды и с большой скоростью отбрасываются в сторону, производя разрушения и поражая живую силу противника. Откол внутренней поверхности происходит без сквозного пробивания преграды.

5. Зоны разрушений и передача взрыва на расстояние

Разрушающее действие взрыва не ограничивается непосредственной близостью объекта к разрывному заряду. Зона разрушений, производимых взрывом, может достигать внушительных размеров. Эти разрушения происходят вследствие того, что образующиеся при взрыве газообразные продукты нагретые до высокой температуры и сжатые до больших давлений, расширяясь,

¹ Пластические ВВ получили свое название за способность менять свою форму.

оказывают динамическое воздействие на предметы, встречающиеся на их пути. Кроме того, под воздействием продуктов взрыва происходит резкое сжатие окружающего воздуха и образуется воздушная ударная волна.

Вблизи заряда взрывчатого вещества фронт разлета продуктов взрыва совмещается с фронтом ударной волны, так как их движение в этой зоне происходит с одинаковой скоростью. Плотность продуктов взрыва в 20 раз превышает плотность воздуха во фронте ударной волны, поэтому динамическое воздействие продуктов взрыва на окружающие предметы вблизи центра взрыва значительно превосходит действие ударной волны.

Скорость воздушной ударной волны уменьшается медленнее скорости движения продуктов взрыва. На расстоянии 7—14 радиусов заряда от центра взрыва происходит отрыв ударной волны от продуктов взрыва. На удалении 14—20 радиусов заряда продукты взрыва и ударная волна оказывают приблизительно равные по силе воздействия, а на расстоянии более 20 радиусов заряда разрушительный эффект оказывает только ударная волна.

Ударная волна, встречая на своем пути преграду, отражается от нее, образуя отраженную волну, и давление на преграду за счет наложения волн увеличивается почти вдвое. За фронтом ударной волны движется увлеченный ею воздух, который, набегаая на преграду, создает так называемый скоростной напор и еще больше увеличивает давление на преграду.

По мере удаления от места взрыва ударная волна затухает, скорость во фронте волны падает и ударная волна переходит в звуковую.

Механические разрушения, производимые взрывом, по интенсивности делят на три группы:

сильные — разрушаются каменные сооружения;
умеренные или средние — разрушаются деревянные постройки и толстые оконные стекла; малые или слабые — приподнимается черепица на крыше и разбиваются обыкновенные оконные стекла. Зону, в которой происходят сильные разрушения, называют зоной сильных разрушений, средние разрушения — зоной средних разрушений и слабые разрушения — зоной слабых разрушений.

При взрыве тротилового заряда массой 100 кг зона сильных разрушений имеет радиус 50 м, зона средних разрушений — 100 м и слабых — 200 м.

Кроме механических разрушений ударная волна может вызвать взрыв (детонацию) другого взрывчатого вещества, находящегося на значительном удалении от очага взрыва. Чем большую массу имеет ВВ и чем оно мощнее, тем на большее расстояние передается взрыв. От заряда массой 100 т передача взрыва происходит на расстояние до 100 м.

Возможность передачи взрыва на расстояние учитывают при строительстве заводов по производству взрывчатых веществ и боеприпасов и складов для их хранения. Чтобы предотвратить катастрофические разрушения, отдельные цеха и хранилища располагают на безопасном удалении друг от друга. Иногда их окружают земляными валами, ограничивающими распространение взрыва. Если завод или склад построен без учета этих требований, то случайный взрыв в одном из зданий может распространиться на другие, приведя к полному уничтожению завода или склада.

Возможность передачи взрыва на расстояние необходимо учитывать и при организации полевых складов, располагая штабеля с боеприпасами на достаточном удалении друг от друга, чтобы взрыв боеприпасов в одном из них не вызвал детонацию боеприпасов в других штабелях. При этом следует использовать защитное влияние леса и рельефа местности.

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВОЕННОЙ ТЕХНИКЕ

1. Основные требования, предъявляемые к взрывчатым веществам

В настоящее время известно большое количество ВВ, однако, применение нашли сравнительно немногие из них. Объясняется это тем, что не все ВВ удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

Современные боеприпасы: ракеты, снаряды ствольной и реактивной артиллерии, морские торпеды, авиационные бомбы — имеют сложное устройство, на их изготовление затрачивается много труда и материальных средств. Огромные расходы связаны с их доставкой на территорию противника. Поэтому было бы неразумным использовать в боеприпасах ВВ малой мощности. Необходимость применения в боеприпасах мощных ВВ определяется не только экономическими соображениями. Развитие военной техники идет по пути непрерывного соревнования между увеличением разрушительного действия боеприпасов и совершенствованием защиты от их действия. В этих условиях использование ВВ малой мощности сделало бы применение отдельных видов боеприпасов в ряде случаев просто бессмысленным.

При выборе ВВ для снаряжения какого-либо боеприпаса обращают внимание прежде всего на характеристики ВВ, от которых зависит его мощность: теплоту взрыва, объем газообразных продуктов, плотность, скорость детонации. Практическое значение имеют ВВ с пределами чувствительности, обеспечивающими, с одной стороны, безопасность при обращении, с другой — легкость возбуждения взрывного превращения.

Боеприпасы расходуются в основном в период войны, а их производство и накопление в боезапасах армии ведется в мирное время. Поэтому боеприпасы должны быть пригодны к длительному хранению.

Для этого ВВ, которыми снаряжаются боеприпасы, должны сохранять неизменными свои физико-химические свойства в течение десяти и более лет.

При колоссальном расходе боеприпасов в современных войнах велика потребность во взрывчатых веществах, производство которых растет соответственно увеличению расхода боеприпасов. Чтобы удовлетворить эту потребность, способ изготовления ВВ должен быть простым, безопасным и экономичным. Огромное значение имеют источники сырья для получения взрывчатых веществ. Лучше всего, если это сырье изготавливается в больших количествах в мирное время или же получается попутно при других производствах. Например, исходным продуктом для производства тротила является толуол. Его получают в больших количествах как побочный продукт при переработке каменного угля в кокс для металлургической промышленности.

Другое широко распространенное ВВ — гексоген получают из уротропина. Уротропин применяется в медицине как лекарство при почечных заболеваниях и гриппе. Раньше уротропин получали в небольших количествах и он был дорогим. Поэтому и гексоген в начале своего производства был также очень дорогим. Однако гексоген имеет практически неограниченную сырьевую базу, так как его исходные продукты — уротропин и азотную кислоту — можно получать из угля, воздуха и воды.

После налаживания промышленного процесса производства уротропина гексоген стал сравнительно дешевым ВВ.

Кроме требований по мощности, чувствительности, стойкости и экономичности к ВВ предъявляется также ряд специальных требований, вытекающих из конкретных условий их применения. Например, для снаряжения боеприпасов крупных калибров методом заливки пригодны ВВ, способные плавиться без разложения при относительно невысокой температуре.

Рассмотрим более подробно иницирующие и бризантные ВВ, нашедшие широкое применение в военной технике, потому что они вполне удовлетворяют требованиям, изложенным выше.

2. Иницирующие взрывчатые вещества

Иницирующие ВВ предназначены для возбуждения (инициирования) взрывного превращения в зарядах бризантных взрывчатых веществ и порохов.

Основным отличием этой группы ВВ является неустойчивость их горения при поджигании, практически мгновенно переходящего в детонацию.

Возбуждение детонации иницирующих ВВ происходит легче, чем других взрывчатых веществ. Это объясняется очень коротким периодом нарастания скорости взрывного превращения иницирующих ВВ до своего максимального значения — скорости детонации. Они обладают высокой чувствительностью, превосходящей чувствительность бризантных ВВ в 10—12 раз, и способны детонировать от простых начальных импульсов (удара, накола, луна огня) даже в малых количествах.

По сравнению с бризантными иницирующие ВВ имеют более низкие взрывчато-энергетические характеристики. По этой причине и, конечно, из-за высокой чувствительности иницирующие ВВ абсолютно не пригодны для снаряжения боеприпасов и подрывных средств. Основная область их применения — средства инициирования, предназначенные для возбуждения взрыва или горения в разрывном или пороховом заряде.

Высокая чувствительность иницирующих ВВ не позволяет перевозить их в чистом виде. Поэтому получение иницирующих ВВ и снаряжение ими средств инициирования производится на одном и том же предприятии. Транспортировка средств инициирования при соблюдении соответствующих мер предосторожности опасности не представляет.

Основными иницирующими ВВ являются: гремучая ртуть, азид свинца, ТНРС, тетразен.

Гремучая ртуть $[\text{Hg}(\text{ONC})_2]$ — первое из ставших известными (1799 г.) и нашедших практическое применение иницирующих ВВ. Ее получают путем растворения металлической ртути в азотной кислоте с последующей обработкой этиловым спиртом.

Гремучая ртуть — белый или серый кристаллический порошок. Она легко взрывается от незначительного удара, весьма чувствительна к наколу и требует очень осторожного обращения. Вода уменьшает чувствительность гремучей ртути ко всем видам

начального импульса. При содержании 10% воды гремучая ртуть горит, не взрываясь, а при 30% воды она не загорается от луча огня и детонацию ее можно вызвать только с помощью капсуля-детонатора.

При длительном хранении во влажной атмосфере гремучая ртуть теряет свои взрывчатые свойства.

В присутствии влаги гремучая ртуть довольно активно взаимодействует с некоторыми металлами. При взаимодействии с алюминием она образует амальгаму, которая быстро окисляется и разрушает оболочку, сделанную из алюминия. Следовательно, гремучую ртуть нельзя помещать в алюминиевую оболочку.

С железом и медью гремучая ртуть взаимодействует менее активно. Взаимодействие с железом сопровождается разложением гремучей ртути и коррозией железа. При взаимодействии с медью образуется чувствительное к внешним воздействиям соединение — гремучая медь. Железо и медь допускаются для изготовления оболочек гремучертутных изделий, но от соприкосновения с гремучей ртутью они должны быть защищены лаковым или никелевым покрытием.

Гремучая ртуть в настоящее время применяется для снаряжения подрывных капсулей-детонаторов, электродетонаторов и в капсульных составах, идущих на снаряжение капсулей-воспламенителей.

Первые артиллерийские капсули-детонаторы, появившиеся в 1865 г., снаряжались гремучей ртутью. Высокая чувствительность гремучей ртути явилась серьезным препятствием на пути дальнейшего развития артиллерии, так как не позволяла увеличить скорости снарядов из-за опасности их преждевременных разрывов в канале ствола орудия или при ударе о преграду. Поэтому очень важным для развития артиллерии явилось открытие азид свинца.

Азид свинца $[Pb(N_3)_2]$ впервые получен в 1891 г., но долгое время не находил практического применения. В 1916 г. профессор **С.П.Вуколов** предложил применять азид свинца в капсулях-детонаторах для боеприпасов морской артиллерии. В 1926—1928 гг. профессор Артиллерийской академии **А.А.Солонина** подробно изучил свойства азид свинца и разработал способ безопасного получения его в больших количествах.

В 1932 г. производство азида свинца было освоено заводами промышленности.

Азид свинца получается из металлического натрия и свинца в результате взаимодействия их с аммиаком и азотной кислотой.

Азид свинца — белый кристаллический порошок, негигроскопичный. К удару, трению, особенно к наколу и лучу огня азид свинца менее чувствителен, чем гремучая ртуть, а по иницирующей способности¹ значительно превосходит ее. Например, для инициирования 1 г тетрила нужно 0,29 г гремучей ртути и только 0,025 г азид свинца. Азид свинца не теряет способности детонировать во влажном состоянии.

С алюминием азид свинца не взаимодействует. При взаимодействии с медью образует очень чувствительные к механическим воздействиям соли меди. Его обычно запрессовывают в алюминиевые оболочки.

Азид свинца обладает плохой сыпучестью. Для улучшения сыпучести в него вводят небольшое количество парафина, декстрина или другого склеивающего вещества и гранулируют его. Гранулированный азид свинца лучше прессуется, легче отмеривается по объему.

Сравнительно малая чувствительность азид свинца и большая иницирующая способность позволили широко применять его в артиллерийских и подрывных капсюлях-детонаторах. Использование его в артиллерийских капсюлях-детонаторах сделало возможным увеличение скорости полета снарядов.

В капсюлях-воспламенителях азид свинца не применяется из-за способности детонировать в малых количествах.

ТНРС $[\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}]$ - сокращенное название тринитрорезорцината свинца.

Впервые ТНРС получен в 1914 г. В 1927 г. профессор А. А. Солонина исследовал его свойства и разработал метод получения. Исходными продуктами для получения ТНРС являются стифниновая кислота (тринитрорезорцин), нитрат свинца и бикарбонат натрия.

¹ Иницирующая способность — способность инициирующих ВВ вызывать детонацию бризантных взрывчатых веществ.

Процесс получения ТНРС сходен с процессом получения азида свинца, поэтому для него используется аналогичная аппаратура. ТНРС подобно азиду свинца применяется гранулированным.

ТНРС — мелкокристаллический порошок желтого цвета, малогигроскопичен, практически не растворяется в воде, не взаимодействует с металлами, поэтому может быть помещен в любую металлическую оболочку.

ТНРС весьма чувствителен к тепловым воздействиям, особенно к лучу огня, чем отличается от других иницирующих ВВ. От луча огня, даже от искры, ТНРС безотказно воспламеняется и детонирует, давая при этом сильное пламя.

Иницирующая способность его значительно меньше, чем у гремучей ртути: даже 2 г ТНРС не могут вызвать детонации тетрила. Объясняется это тем, что ТНРС имеет малую величину ускорения взрывного превращения.

Чувствительность ТНРС к удару в 6 раз меньше, чем у гремучей ртути, и в 2 раза меньше, чем у азид свинца. Высокая чувствительность ТНРС к тепловым воздействиям при малой чувствительности к удару и сотрясениям делает его удобным для применения в артиллерийских капсюлях-детонаторах. Однако малая иницирующая способность не позволяет применять его самостоятельно как иницирующее взрывчатое вещество. Он широко применяется в азидных лучевых капсюлях-детонаторах как добавка, облегчающая возбуждение детонации азид свинца, а также в воспламеняющих составах пиропатронов.

Тетразен $[C_2H_8ON_{10}]$ имеет длинное химическое название — гуанилнитрозоаминогуанилтетразен. Впервые получен в 1910 г., однако практическое применение нашел только в 20-х годах. Исходными продуктами для его получения являются: бикарбонат аминогуанидина, нитрит натрия и азотная кислота. Процесс получения состоит во взаимодействии нагретых водных растворов нитрата аминогуанидина и нитрита натрия.

Тетразен — кристаллическое вещество светло-желтого цвета, в воде практически нерастворим и малогигроскопичен, не взаимодействует с металлами и их окислами, его можно поместить в любую металлическую оболочку.

По чувствительности к удару и наколу тетразен близок к гремучей ртути, иницирующая способность его значительно меньше. Как самостоятельное иницирующее

шее взрывчатое вещество использовать тетразен невозможно. Тетразен применяют в качестве сенсibilизатора. Примесь 2—3% тетразена к азиду свинца резко повышает чувствительность последнего к наколу.

3. Бризантные взрывчатые вещества

Название бризантных взрывчатых веществ происходит от французского слова *brisant* — разбивающий, дробящий. Таким названием они обязаны характеру разрушающего действия при взрыве, а именно дроблению близко расположенных предметов.

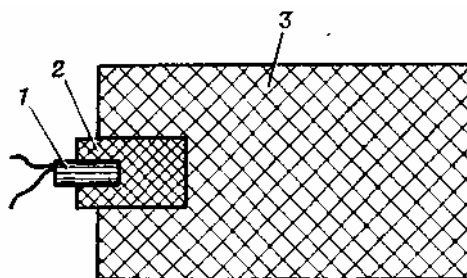


Рис. 5. Схема устройства заряда:
1 — капсюль-детонатор; 2 — детонатор; 3 — взрывчатое вещество

Детонация является основным видом взрывного превращения бризантных взрывчатых веществ. По сравнению с инициирующими бризантные ВВ обладают значительно меньшей чувствительностью к простым начальным импульсам, и в условиях практического применения вызвать их детонацию с помощью простых импульсов не удастся. Детонация бризантных ВВ возбуждается обычно с помощью капсюля-детонатора. Однако для некоторых бризантных ВВ даже взрывного импульса от капсюля-детонатора недостаточно. Чтобы вызвать детонацию таких ВВ, применяют капсюль-детонатор 1 (рис. 5) вместе с детонатором 2, изготовленным из более чувствительного к взрывному импульсу взрывчатого вещества и усиливающим действие детонатора.

Взрывчато-энергетические характеристики бризантных взрывчатых веществ (теплота взрыва, скорость детонации, удельный

объем газообразных продуктов) значительно выше, чем у инициирующих.

Взрывчато-энергетические характеристики и невысокая чувствительность определили назначение бризантных ВВ. Они применяются для изготовления разрывных зарядов¹ боеприпасов (снарядов, мин, авиационных бомб, торпед, боевых частей ракет) и подрывных средств. Некоторые бризантные ВВ используются в детонаторах, капсюлях-детонаторах, детонирующих шнурах. В последнее время бризантные взрывчатые вещества стали вводить в состав порохов и твердых топлив в целях повышения их энергетических характеристик.

В период второй мировой войны из бризантных ВВ в основном использовался тротил, а также смеси и сплавы на его основе. Достаточно широкое применение нашли мощные ВВ (тетрил, тэн, гексоген), которые использовались как в чистом виде, так и в смесях и сплавах.

Эти взрывчатые вещества применяются и в настоящее время.

Тротил $[C_6H_2(NO_2)_3CH_3]$ - тринитротолуол, сокращенно ТНТ.

Получение тротила основано на реакции нитрования толуола смесью азотной и серной кислот.

Тротил — кристаллическое вещество желтого цвета. Температура плавления химически чистого тротила 80, 85°С. На практике чаще определяют не температуру плавления, а температуру затвердевания, что теоретически одно и то же, но температуру затвердевания легче определить. Температура затвердевания технического продукта является критерием его чистоты. Технический тротил, применяемый для снаряжения боеприпасов, должен иметь температуру затвердевания не ниже 80,2° С. В военное время допускался тротил с температурой затвердевания не ниже 79° С.

Тротил малогигроскопичен и практически нерастворим в воде. При длительном пребывании в воде сохраняет способность взрываться от капсюля-детонатора, не снижая своих взрывчато-энергетических характеристик. В химическом отношении является

¹ Зарядом в широком смысле слова называют определенное количество взрывчатого вещества, предназначенного для создания того или иного эффекта. В названии заряда указывается основной характер действия (разрывной, вышибной, метательный).

веществом малоактивным, обладающим низкой реакционной способностью. С металлами тротил не взаимодействует, растворяется в спирте, бензине, ацетоне, серной и азотной кислотах. Щелочи, а в присутствии влаги и аммиак образуют с тротилом более чувствительные, чем сам тротил, соединения. Химическая стойкость тротила высокая. При обычной температуре тротил может храниться в течение длительного времени. Перечисленные свойства тротила позволяют хранить его в неотапливаемых помещениях в негерметической укупорке, однако обязательно в закрытой таре, так как под действием солнечного света поверхностный слой тротила буреет.

Заметное разложение тротила наступает при температуре + 150⁰С, что значительно выше, чем его температура плавления. Это свойство позволяет снаряжать им боеприпасы методом заливки.

Тротил ядовит, и при работе с ним необходимо соблюдать меры предосторожности. Он с трудом зажигается от спички: зажечь его труднее, чем бумагу или керосин. Воспламенившись на воздухе, тротил горит спокойно сильно коптящим пламенем. Небольшое количество горящего тротила можно потушить водой. Его горение в замкнутом объеме, например, в корпусе боеприпаса, может перейти во взрыв.

Взрывчато-энергетические характеристики тротила достаточно высокие: теплота взрыва — 1010 ккал/кг, скорость детонации — 7000 м/сек.

Удачное сочетание достаточно высоких взрывчато-энергетических характеристик с хорошей химической стойкостью, малой чувствительностью, химической инертностью, сравнительно низкой температурой затвердевания и явилось причиной длительного применения тротила в качестве основного бризантного взрывчатого вещества. Тротил применяют для снаряжения боеприпасов практически всех типов, а также для изготовления подрывных средств и промежуточных детонаторов.

Гексоген [C₃H₆N₆O₆] или (CH₂N₂O₂)₃ — циклотриметилентринитроамин впервые был получен в 1899 г., но изучением его свойств занялись только после первой мировой войны.

В работах советских ученых в 1932—1933 гг. была показана перспективность нового взрывчатого вещества, имеющего практически неограниченную сырьевую базу.

Гексоген относится к числу мощных бризантных взрывчатых веществ, обладает высокой восприимчивостью к детонации, повышенной чувствительностью к удару и трению. Технический гексоген имеет вид мелкокристаллического белого порошка и плохо прессуется. Плавится гексоген с разложением при высокой температуре ($203,5^{\circ}\text{C}$), поэтому снаряжать его методом заливки невозможно.

Плохая прессуемость и повышенная чувствительность гексогена ограничивают его использование в чистом виде. Он применяется в редких случаях для изготовления детонаторов и вторичных зарядов капсулей-детонаторов. Раньше гексоген применялся в детонирующих шнурах.

Обычно гексоген используется с небольшим содержанием флегматизатора, который снижает чувствительность гексогена к внешним воздействиям и улучшает его прессуемость, но как инертная добавка уменьшает его мощность.

В качестве флегматизатора применяется воск, парафин, сплав парафина с церезином. Флегматизированный гексоген для отличия окрашивают добавлением красителя (судана) в оранжевый цвет.

Применяемый в США для снаряжения боеприпасов состав А-3 состоит из 91% гексогена и 9% воска. Обладая хорошими технологическими и эксплуатационными свойствами, он имеет меньшую по сравнению с гексогеном скорость детонации (8100 м/сек) и плотность ($1,59 \text{ г/см}^3$).

В смесях с пластифицирующими веществами гексоген образует пластические взрывчатые вещества, которыми снаряжаются бронебойно-фугасные снаряды и авиационные бомбы. Одно из таких ВВ, разработанных в США, содержит 75% гексогена, 4,8% динитротолуола, 3,2% моонитротолуола и ряд специальных добавок. Оно отличается высокой вязкостью и способностью легко деформироваться.

Аналогом гексогена является **октоген** ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_8\text{N}_8$), впервые полученный в 1943 г. Для снаряжения боеприпасов октоген начали применять за рубежом в 60-х годах. По сравнению с гексогеном он имеет некоторые преимущества: большую плотность ($1,84 \text{ г/см}^3$) и скорость детонации (9100 м/сек). Октоген более стоек к нагреванию.

В США октоген применяется также в виде добавок в твердых ракетных топливах и высокоэнергетических артиллерийских порохах. Широкое применение этого ВВ ограничено сложностью его производства.

Со времени второй мировой войны практическое значение приобрел тэн $[C(CH_2ONO_2)_4]$, впервые полученный еще в 1901 г. Лимичеткие название тэна — пента-эритриттетранитрат. Тэн получают нитрованием четырехатомного спирта пентаэритрита. Последний получают из ацетальдегида и формальдегида, продуктов, применяющихся также для изготовления пластмасс и медицинских препаратов.

В настоящее время разработаны синтетические методы получения формальдегида и ацетальдегида из доступных и дешевых материалов: ацетилена, водорода и окиси углерода.

Тэн обладает высокой чувствительностью ко всем видам начальных импульсов. По чувствительности к детонации превосходит остальные бризантные взрывчатые вещества, применяющиеся в настоящее время. Высокая чувствительность ограничивает возможность широкого использования тэна в чистом виде. Его применяют в качестве вторичных зарядов для снаряжения капсулей-детонаторов и для изготовления детонаторов в некоторых боеприпасах.

Тэн флегматизируют добавкой небольших количеств (до 5%) парафина, воска и других веществ. Этим заметно уменьшают его чувствительность к удару. Флегматизированный тэн используется для снаряжения детонирующих шнуров и детонаторов. В годы второй мировой войны в США флегматизированным тэном снаряжались кумулятивные боеприпасы.

Высокая чувствительность в значительной степени ограничивает область применения и другого, довольно мощного бризантного взрывчатого вещества — тетрила (тринитрофенилметилнитро-амина), известного уже около ста лет.

Тетрил применяется главным образом для изготовления детонаторов к разрывным зарядам снарядов, авиабомб и других боеприпасов, а также для вторичных зарядов комбинированных капсулей-детонаторов, в которых удачно используется его высокая восприимчивость к детонации и достаточно большая мощность. Иногда флегматизированный тетрил применяют в качестве разрывного заряда в малокалиберных снарядах.

Во время второй мировой войны внимание американских химиков привлекли два вещества — этилендинитро-амин ($C_6H_6N_4O_4$) и диэтанолнитратнитроамин ($C_4H_8N_4O_8$), получившие сокращенные названия: эднa и дина. Эти вещества имеют широкую сырьевую базу: их получают из этилена. Эднa, не уступая по силе взрыва тетрилу, менее чувствительна к удару, что делает ее предпочтительнее для использования в боеприпасах. Дина по силе взрыва превосходит эдну, является хорошим пластификатором нитроклетчатки, однако по сравнению с эдной имеет более низкую химическую стойкость и более высокую чувствительность к удару, что затрудняет широкое применение этого ВВ.

За рубежом проводятся дальнейшие исследования, направленные на изыскание мощных взрывчатых веществ, пригодных для снаряжения боеприпасов. В печати [14] появилось сообщение о синтезе мощных ВВ из класса нитропроизводных алифатических аминов. Одно из них — бистринитроэтилмочевина — по мощности приближается к гексогену (скорость детонации 8000 м/сек при плотности 1,62 г/см³), но имеет более низкую температуру плавления (101⁰С).

Значительное внимание уделяется разработке и использованию жидких взрывчатых веществ. Разработанное в США жидкое ВВ под названием «Астролит» по мощности примерно в два раза превосходит тротил. Использование жидких взрывчатых веществ подобного типа в боеприпасах считается перспективным [14].

Для снаряжения современных боеприпасов широко применяются смеси и сплавы на основе рассмотренных бризантных взрывчатых веществ. Это объясняется тем, что, комбинируя соотношение компонентов, можно подобрать ВВ с необходимыми для практического использования свойствами.

Отдельные ВВ при достаточно высоких взрывчато-энергетических характеристиках обладают неудовлетворительными технологическими качествами, например, плавятся с разложением, из-за чего невозможно или весьма трудно изготовить разрывной заряд, особенно если выбор способа его изготовления ограничен. Например, гексоген и тэн при плавлении разлагаются. Применяя сплав или смесь гексогена и тэна с другими взрывчатыми веществами, плавящимися без разложения, в частности с тротилом, можно изготавливать из них разрывные заряды методом заливки, что

весьма важно для крупных боеприпасов, которые обычно так и снаряжаются.

Применение смеси или сплава ВВ может определяться необходимостью получить заряд с большей восприимчивостью к детонации или меньшей чувствительностью к сотрясению при выстреле, чем у индивидуального взрывчатого вещества.

С помощью смесей и сплавов можно достичь требуемой мощности взрывчатого вещества. Они позволяют регулировать бризантное и фугасное действие взрыва.

Одним из способов увеличения мощности бризантных ВВ является введение в их состав алюминиевой пудры. Введение 17—20% алюминиевой пудры увеличивает фугасность на 35—80%.

Определенный интерес представляет алюминизированный тротил, известный в США под названием тритонала (сокращенное обозначение ТА), который может применяться для снаряжения осколочных и осколочно-фугасных боеприпасов. Тритонал имеет большую фугасность, чем тротил, и обладает зажигательными свойствами, которые обусловлены образованием раскаленных частиц окислов алюминия и повышенной воспламеняющей способностью продуктов взрыва.

Для снаряжения бронебойных и кумулятивных снарядов, а также крупных боеприпасов фугасного действия (авиабомб, морских торпед и мин) широко используется состав, представляющий собой смесь флегматизированного гексогена и алюминиевой пудры.

Во время второй мировой войны для снаряжения кумулятивных снарядов и фугасных авиабомб стал применяться сплав тротила с гексогеном — ТГ. Соотношение компонентов в сплаве может быть различным: от 20 до 80% гексогена и соответственно от 80 до 20% тротила. По своим взрывчатым свойствам и взрывчато-энергетическим характеристикам сплав ТГ занимает промежуточное положение между тротилом и гексогеном, приближаясь к тому из компонентов, количество которого в сплаве больше. Сплав ТГ по мощности превосходит тротил, менее чувствителен по сравнению с гексогеном и обладает высокой восприимчивостью к детонации. Однако чувствительность его все же высока и это позволяет применять его только в тех боеприпасах, которые испытывают сравнительно малые ускорения. Для снижения чувствительности сплава в него вводится флегматизатор.

Широкое применение для снаряжения артиллерийских боеприпасов и боевых частей ракет стран НАТО получили составы «В», представляющие собой сплавы, содержащие 60% гексогена, 40% тротила и 1—5% флегматизатора (сверх 100%).

Для снаряжения кумулятивных артиллерийских снарядов и боевых частей противотанковых и зенитных ракет применяются составы с повышенным содержанием гексогена (до 80%).

Мощность сплавов ТГ может быть увеличена добавлением в их состав алюминиевой пудры. Сплавы ТГА (триален, торпекс) широко применяются для снаряжения большинства крупнокалиберных боеприпасов (боевых частей ракет, морских торпед и мин). В США сплавы ТГА обозначаются буквами НВХ. Сплав НВХ-1 содержит 40% тротила, 42% гексогена, 18% алюминиевой пудры и 0,7% флегматизатора (сверх 100%).

В США нашел применение сплав тротила (23%) с октогеном (77%), называемый октолом. По некоторым данным, октол по бризантности превосходит сплавы ТГ. Например, противотанковая управляемая ракета, снаряженная октолом, пробивает броню, недоступную для пробивания такой же ракетой, снаряженной составом ТГ 40/60 (в числителе показано содержание тротила в процентах).

Практический интерес представляют сплавы, содержащие 50—70% тротила и 30—50% тэна, из которых наиболее широкое распространение в США получил сплав 50/50, названный пентолит-50. Сплавы тротила с тэном более чувствительны и химически менее стойки, чем сплавы ТГ. Интерес к ним в США можно объяснить большим по сравнению с гексогеном производством тэна. Пентолит-50 применяется для снаряжения кумулятивных боеприпасов. Кроме того, в США для изготовления детонаторов используется сплав, содержащий 10% тротила и 90% тэна.

В США применяется также сплав, содержащий 51% тротила и 49% эдны, получивший название эднатола.

Рассмотренные смеси и сплавы относятся к числу мощных взрывчатых веществ. Однако в ряде случаев наиболее эффективным, с точки зрения боевого применения, является использование взрывчатых веществ средней мощности. К их числу следует отнести сплавы и смеси тротила с динитронафталином, применяемые для снаряжения осколочных снарядов и мин, корпуса которых сделаны из хрупкого сталистого чугуна.

Динитронафталин $[C_{10}H_8(NO_2)_2]$ принадлежит к числу взрывчатых веществ со слабо выраженными взрывчатыми свойствами. В чистом виде его не применяют. Смеси и сплавы тротила с динитронафталином недостаточно восприимчивы к детонации и детонируют только от мощных детонаторов. В настоящее время применяются сплавы ТД-50 и ТД-60, содержащие 50 и 60% динитронафталина соответственно. Раньше применялись составы ТД-80 и ТД-90.

В Германии во время второй мировой войны в целях частичной замены тротила для снаряжения боеприпасов применялся сплав из 67% тротила и 33% тринитронафталина.

В военное время, когда расход боеприпасов резко возрастает, исключительно важное значение приобретают так называемые суррогатные взрывчатые вещества, к числу которых относятся аммотолы. Аммотолы содержат от 40 до 90% аммонийной селитры и обозначаются: А-40, А-50, А-80, А-90. Число означает процент содержания селитры. Часто содержание составных частей обозначается дробью, например аммотол 60/40, где в числителе — процент селитры, а в знаменателе — тротила.

Аммонийно-селитренное ВВ, содержащее 88% аммонийной селитры и 12% динитронафталина, называют шнейдеритом.

Артиллерийские снаряды среднего калибра и мины во время Великой Отечественной войны снаряжались аммотолами 80/20 и 90/10. Шнейдерит применялся для наполнения мин.

В последние годы внимание зарубежных специалистов привлекают жидкие взрывчатые смеси, представляющие собой раствор горючего в окислителе. В качестве окислителей могут применяться тетранитрометан, концентрированная азотная кислота, окислы азота, а в качестве горючих компонентов — углеводороды (бензол, толуол), нитросоединения, спирты.

С использованием жидких взрывчатых смесей созданы первые образцы фугасных боеприпасов «объемного взрыва». При срабатывании такого боеприпаса образуется облако аэрозольной взрывчатой смеси¹, взвешенной в воздухе, которое подрывается различными способами.

¹ Аэрозольная смесь представляет собой газовую среду в которой взвешены жидкие частицы.

В отличие от обычных боеприпасов, являющихся как бы точечными источниками взрыва, в боеприпасах «объемного взрыва» происходит распределение заряда над значительной площадью, что намного увеличивает радиус поражающего действия.

Эффективность действия таких боеприпасов возрастает за счет вовлечения в реакцию взрывного превращения кислорода воздуха в качестве дополнительного окислителя.

Предполагается использовать жидкие взрывчатые смеси в реактивных снарядах, предназначенных для установок залпового огня.

За рубежом ведутся работы и над взрывчатыми системами гетерогенного типа, в которых совмещаются жидкие и газообразные компоненты. При снаряжении боеприпасов такими смесями компоненты ВВ предлагается размещать отдельно: жидкий — в камере, газообразный — адсорбированным¹ в активированном угле или другом веществе. Перед взрывом из этих компонентов образуется взрывчатая система в виде пены, которая затем подрывается обычным способом.

Разрабатываются гетерогенные взрывчатые системы, в которых твердые частицы окислителя (или горючего) распределены в жидкой фазе горючего (или окислителя). Известно о создании для снаряжения боеприпасов ВВ, в которых совмещены гетерогенные взрывчатые системы с описанными выше бризантными взрывчатыми веществами.

Глава 6

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОХОВ

¹ Адсорбция — физико-химический процесс поглощения газообразных веществ поверхностью твердого тела.

1. Выстрел из огнестрельного оружия

Выстрел¹ из огнестрельного оружия — весьма сложный и быстро протекающий процесс превращения химической энергии пороха сначала в тепловую энергию пороховых газов, а затем в кинетическую энергию движения снаряда и подвижных частей оружия.

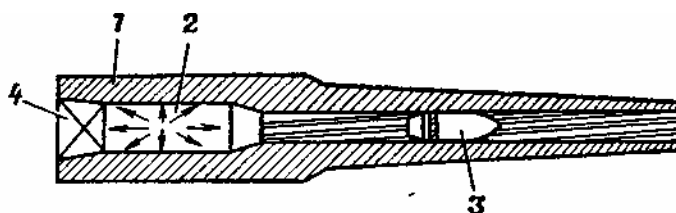


Рис. 6. Схема ствола артиллерийского орудия:

1 — ствол; 2 — зарядная камера; 3 — снаряд; 4 — затвор

Для производства выстрела из артиллерийского орудия служат ствол, снаряд и пороховой заряд со средством воспламенения.

Ствол 1 (рис. 6) представляет собой трубу, закрытую с одной стороны неподвижным затвором 4, а с другой — подвижным снарядом 3.

До вылета снаряда из канала ствола орудия физико-химические процессы, лежащие в основе выстрела, происходят в замкнутом объеме, изменяющемся по мере движения снаряда. Основными параметрами, характеризующими выстрел из огнестрельного оружия, являются скорость движения снаряда и давление пороховых газов в канале ствола. В процессе выстрела эти параметры изменяются.

¹ Слово «выстрел» в артиллерии имеет следующие значения:

- совокупность процессов, протекающих в стволе орудия;
- комплект всех элементов боеприпаса, предназначенного для заряжания орудия;
- момент вылета снаряда из канала ствола орудия. В данном случае слово применено в первом значении.

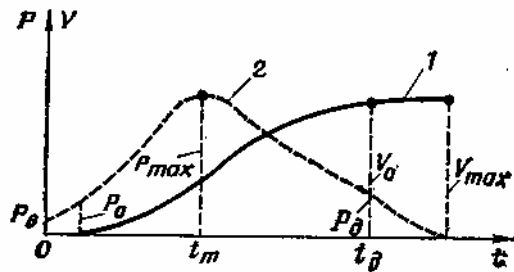


Рис. 7. Кривые зависимости скорости движения снаряда и давления пороховых газов в процессе выстрела:
 1 — кривая скорости; 2 — кривая давления; P_0 — давление воспламенения; P_0 — давление форсирования; P_{max} — максимальное давление; P_d — дульное давление; V_0 — начальная скорость движения снаряда; V_{max} — максимальная скорость движения снаряда; t_m — момент времени, соответствующий максимальному давлению пороховых газов; t_d — момент времени, соответствующий прохождению снарядом дульного среза

По мере сгорания пороха скорость V (рис. 7) движения снаряда увеличивается от нуля до некоторой максимальной величины V_{max} . Давление P пороховых газов сначала растет, достигая в определенный момент своего максимального значения P_{max} , а затем падает. Такой характер изменения давления в процессе выстрела объясняется особенностями горения порохового заряда, расширением пороховых газов и движением снаряда по каналу ствола орудия.

Выстрел из артиллерийского орудия начинается с момента спуска ударника. При спуске ударника боек ударяет в дно капсюльной втулки, в результате чего воспламеняется ударный состав капсюля. От луча огня капсюля загорается порох в капсюльной втулке. Образующиеся в результате его сгорания пороховые газы зажигают воспламенитель, состоящий из дымного пороха.

При горении воспламенителя образуются нагретые до высокой температуры газы, содержащие более 50% твердых раскаленных частиц. Продукты сгорания воспламенителя создают в зарядной камере орудия давление воспламенения P_0 порядка 20—50 кгс/см² и воспламеняют пороховой заряд.

Горение порохового заряда сопровождается образованием большого количества газов, обладающих огромной силой упругости. Стремясь расшириться, пороховые газы давят на дно снаряда, на стенки и дно гильзы, а через них и на внутренние стенки зарядной каморы и затвор.

Сила, создаваемая давлением газов на заднюю стенку зарядной каморы, вызывает откат ствола орудия, а давление на дно снаряда приводит снаряд в движение.

Однако движение снаряда по каналу ствола начинается не сразу после воспламенения порохового заряда, а только после того, как давление пороховых газов в зарядной каморе достигнет значения P_0 , достаточного для преодоления силы инерции снаряда и сопротивления врезанию ведущего пояска в нарезы, имеющиеся в канале ствола и предназначенные для сообщения снаряду вращательного движения, обеспечивающего устойчивость его полета на траектории после вылета из канала ствола орудия. Это давление, при достижении которого начинается движение снаряда по каналу ствола орудия, называется давлением форсирования. Для существующих артиллерийских орудий оно колеблется в пределах 250—500 кгс/см² в зависимости от устройства ведущего пояска и нарезов.

В начальный момент выстрела пороховой заряд горит в постоянном объеме. С началом движения снаряда по каналу ствола горение порохового заряда происходит в переменном, непрерывно увеличивающемся объеме.

Расширяющиеся пороховые газы совершают работу по перемещению снаряда и оказывают тепловое и механическое воздействие на стенки канала ствола орудия.

Пока скорость снаряда еще не велика, количество пороховых газов увеличивается быстрее, чем объем заснарядного пространства, давление пороховых газов растет и достигает своего максимального значения.

Максимальное давление пороховых газов P_{\max} является важнейшей баллистической характеристикой выстрела. Исходя из необходимости обеспечения прочности ствола при стрельбе максимальное давление пороховых газов для современных артиллерийских орудий ограничивают пределом 3000—5000 кгс/см².

Максимальное давление пороховых газов зависит от многих факторов (связанных как со свойствами порохового заряда, так и с техническими данными артиллерийского орудия и условиями стрельбы): массы порохового заряда; температуры, порохового заряда перед стрельбой; природы, состава и марки пороха, из которого состоит заряд; массы снаряда, объема зарядной камеры, износа канала ствола орудия.

Максимальное давление пороховых газов измеряют крешерным методом, основанным на обжатию медного крешерного столбика цилиндрической или конической формы. О величине давления судят по обжатию крешерного столбика при выстреле.

Крешерный метод — не единственный метод определения максимального давления пороховых газов. Наиболее современным является метод, основанный на тензометрировании.

Кроме величины максимального давления большое значение для правильного функционирования орудия и снаряда при выстреле имеет скорость нарастания давления. Время достижения максимального давления определяется природой, составом и качеством пороха, формой и размерами пороховых элементов, а также конструкцией порохового заряда.

После достижения максимального значения давление пороховых газов, несмотря на продолжающееся горение пороха и приток новых газов, начинает уменьшаться главным образом из-за быстрого увеличения заснарядного пространства и возрастания теплопотерь.

Когда пороховой заряд сгорит, приток газов прекратится. Однако образовавшиеся при горения заряда газы обладают еще очень большим запасом энергии и на оставшемся до дульного среза участке продолжают расширяться и совершать работу, увеличивая скорость снаряда. Так как скорость снаряда на этом участке велика, то объем заснарядного пространства увеличивается очень быстро и давление пороховых газов продолжает падать. Скорость, с которой снаряд вылетает из канала ствола орудия, принимается за его начальную скорость V_0 .

После вылета снаряда из канала ствола орудия пороховые газы, вытекающие с большой скоростью вслед за снарядом, еще оказывают на некотором расстоянии от дульного среза давление на дно снаряда и сообщают ему дополнительное ускорение. Это продолжается до тех пор, пока давление газов, действующих на

снаряд, не уравновесится сопротивлением воздуха. Поэтому снаряд приобретает максимальную скорость V_{\max} не в момент прохождения дульного среза, а на некотором расстоянии от него.

Начальная скорость снаряда является одной из основных баллистических характеристик, определяющих мощность орудия и его дальность.

Для современных артиллерийских орудий ее величина находится в пределах 700—1500 м/сек, а для некоторых орудий и более.

Начальную скорость снаряда определяют экспериментальным путем. Метод определения начальной скорости основан на измерении времени полета снаряда между двумя точками его траектории, находящимися друг от друга на строго определенном расстоянии. Выбранный участок траектории ограничивается блокирующими устройствами, позволяющими фиксировать моменты прохождения снаряда в начальной и конечной точках этого участка. Для регистрации времени полета снаряда используются приборы, называемые хронометрами.

Начальная скорость снаряда зависит от тех же факторов, что и максимальное давление пороховых газов. Действие их одинаково, за исключением влияния массы снаряда: с увеличением массы снаряда давление пороховых газов увеличивается, а начальная скорость уменьшается.

Влияние различных факторов на баллистические параметры ¹выстрела необходимо учитывать при стрельбе, иначе стрельба будет неэффективной, а в ряде случаев может привести к повреждению орудия и выводу его из строя.

На баллистические параметры выстрела значительное влияние оказывает плотность заряжания Δ , представляющая собой отношение массы порохового заряда в килограммах к объему зарядной камеры в кубических дециметрах. Чем больше плотность заряжания, тем меньше свободный объем, который могут занять образующиеся при горении пороховые газы, тем больше их давление и тем больше начальная скорость снаряда.

¹ К баллистическим параметрам относятся физические величины, характеризующие свойства артиллерийской системы и оказывающие влияние на движение снаряда в канале ствола орудия. В данном случае — начальная скорость снаряда и максимальное давление пороховых газов.

Плотность заряжания для современных артиллерийских орудий составляет 0,7—0,8 кг/дм³. Она ограничивается главным образом вместимостью пороха в гильзу.

При длительной стрельбе из орудия происходит увеличение объема зарядной камеры за счет ее удлинения от разгара. Это приводит к уменьшению плотности заряжания Δ и падению начальной скорости V_0 , что снижает эффективность стрельбы и увеличивает рассеивание снарядов.

Удлинение зарядной камеры может быть определено с помощью специального прибора замера камеры (ПЗК), состоящего из штанги с делениями в миллиметрах и мерительного кольца, диаметр которого близок к диаметру ведущего пояска снаряда. Стволы с удлинением зарядной камеры, достигшей предела, при котором стрельба становится неэффективной, выбраковываются.

При хранении боеприпасов в летнее время неукрытыми пороховые заряды могут нагреться до очень высокой температуры (+60⁰С). Подобное обращение с боеприпасами недопустимо.

Исследования показали, что даже в условиях тропического климата при правильном обращении с боеприпасами и соответствующем их хранении температура порохового заряда не поднимается выше +50⁰С, а в большинстве случаев она оказывается ниже. Считают, что, если боеприпасы хранятся без нарушений, укрыты от прямого воздействия солнечных лучей, температура порохового заряда бывает не выше +40⁰С.

Однако и при такой температуре порохового заряда максимальное давление пороховых газов и начальная скорость снаряда оказываются выше, чем при температуре +15⁰С, соответственно на 10—17 и 2—6% в зависимости от природы и состава пороха и конструктивных особенностей заряда.

Изменение температуры порохового заряда на 1⁰ вследствие изменения начальной скорости меняет дальность полета снаряда на 40—50 м при стрельбе на 25—30 км.

При подготовке исходных данных для стрельбы изменение начальной скорости в зависимости от температуры порохового заряда учитывается введением соответствующей поправки. Если порох увлажнен, то начальная скорость и максимальное давление пороховых газов уменьшается. В полевых условиях влажность по-

роха определить нельзя и поэтому учесть ее при стрельбе невозможно. При стрельбе увлажненными пороховыми зарядами будут иметь место недолеты. Поэтому пороховые заряды следует оберегать от увлажнения.

2. Нежелательные явления при выстреле

Выстрел из артиллерийского орудия сопровождается нежелательными побочными явлениями, которые оказывают влияние на эффективность боевого применения орудия.

К этим побочным явлениям относятся: пламя, звук, дым и разгар канала ствола орудия.

Пламя при выстреле демаскирует стреляющее орудие. Дым затрудняет ведение прицельного огня с высоким темпом стрельбы. Разгар канала ствола орудия снижает его живучесть, т. е. уменьшает количество выстрелов, которое можно произвести из орудия без заметного снижения эффективности стрельбы.

Пламя при выстреле образуется вследствие догорания на воздухе вылетающих из канала ствола горючих газов (окиси углерода, водорода, метана) и свечения раскаленных газов и твердых частиц. Оно появляется на некотором расстоянии от дульного среза в передней части вырывающегося из канала ствола газового облака.

Иногда при стрельбе из артиллерийских орудий наряду с дульным наблюдается так называемое обратное пламя. Появляется оно у казенной части орудия при открывании затвора и также является следствием горения горючих компонентов пороховых газов, оставшихся в канале ствола и не успевших охладиться. Наличие обратного пламени может представлять опасность для стреляющего, особенно при стрельбе из танковых пушек.

На возникновение обратного пламени при выстреле влияет большое количество факторов, главные из которых зависят от конструкции орудия и условий стрельбы, от устройства заряда и свойств порохов, а также от внешних метеорологических условий. Встречный ветер при стрельбе способствует задержанию пороховых газов в канале ствола и появлению обратного пламени.

Звук при выстреле — явление неизбежное. Причинами возникновения звуковых волн являются: динамический удар пороховых газов о воздух; взрыв горючих компонентов пороховых газов при образовании пламени; удар газовых молекул о стенки канала ствола и движение снаряда по каналу, приводящие ствол в колебательное движение; возмущение воздуха от движения снаряда. Звук при выстреле тем сильнее, чем больше калибр орудия, масса заряда и выше давление пороховых газов.

Дым, образующийся при выстреле, представляет собой мелкие твердые частицы, взвешенные в пороховых газах. Главным источником этих частиц являются воспламенитель из дымного пороха, пламегасящие добавки, частицы углерода, образующиеся при сгорании материала картуза заряда и обтюрирующих (уплотняющих) устройств.

Разгар — это разрушение внутренней поверхности канала ствола в результате действия пороховых газов в условиях высоких температур и давлений.

Поверхность металла из гладкой и полированной превращается сначала в матовую, а затем в шероховатую, которая в дальнейшем испещряется мелкими трещинами и канальцами. Появляется так называемая «сетка разгара». После появления трещин газы и снаряд уже чисто механически продолжают разрушение поверхности. Двигающийся с большой скоростью снаряд, а также прорывающиеся между снарядом и стенками канала ствола газы механически срывают частички металла, что особенно сказывается при большом числе выстрелов, быстро следующих один за другим, когда поверхность не успевает охлаждаться.

По мере увеличения разгара меткость орудия уменьшается и наступает момент, когда орудие становится совершенно непригодным к боевому использованию.

Число выстрелов до полного износа зависит главным образом от калибра орудия, величины порохового заряда и свойств пороха. Чем больше заряд и выше калорийность пороха, тем быстрее наступает износ.

У современных орудий полный износ может наступить очень быстро: после 500 и менее выстрелов. Если принять во внимание, что продолжительность выстрела измеряется тысячными долями секунды, то «рабочая жизнь» современных орудий длится всего несколько секунд.

Для борьбы с вредным влиянием побочных явлений, сопровождающих выстрел, применяются различные меры. Например, для устранения обратного пламени сразу после выстрела перед открыванием затвора производят продувку канала ствола с помощью эжектора¹. Для уменьшения разгара ствола применяют особые высокопрочные стали.

Однако наиболее радикальным средством является использование порохов с определенными свойствами и конструктивное совершенствование метательных зарядов.

3. Основные закономерности горения порохов

Горение пороха является составной частью процесса, протекающего при выстреле из огнестрельного оружия и представляет собой совокупность различных физических и химических процессов, в результате которых твердое в исходном состоянии вещество (порох) превращается в газообразные продукты, а химическая энергия, заключенная в порохе, выделяется в виде тепла.

Процесс горения порохов условно делят на три стадии: возбуждение процесса (загорание), распространение процесса по поверхности (воспламенение) и распространение процесса в глубь вещества (собственно горение).

Загорание является начальной стадией воспламенения пороха и происходит, как правило, под действием местного нагрева до определенной температуры, называемой температурой вспышки.

Между температурой вспышки и легкостью загорания не всегда существует прямая связь. Температура вспышки дымного пороха примерно на 100° выше, чем пироксилиновых порохов, однако зажечь дымный порох значительно легче. Объясняется это тем, что луч огня, скользя по твердой и гладкой поверхности пирокси-

¹ Эжектор — устройство для удаления пороховых газов из канала ствола орудия путем продувки струей воздуха.

линовых порохов, зачастую не успевает нагреть их до температуры вспышки, в то время как мелкие зерна дымного пороха, имеющие шероховатую поверхность, успевают прогреться. Это является основной причиной применения в качестве воспламенителей дымных порохов.

Распространение процесса горения по поверхности (воспламенение) обусловлено тем, что образующиеся после загорания продукты горения при своем движении омывают поверхность пороха и нагревают его до температуры самовоспламенения, при которой начинают протекать физико-химические превращения пороха и возникают самопроизвольно ускоряющиеся химические реакции.

На процесс воспламенения значительно влияет начальная температура пороха. Так, при изменении температуры пороха от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$ время воспламенения уменьшается в 3—6 раз.

Собственно горение пороха заключается в распространении процесса от поверхностных слоев в глубь пороха.

Экспериментально установлено и теоретически обосновано, что основные реакции процесса горения пороха протекают в газовой фазе. Поскольку нитроцеллюлоза, являющаяся основой пороха, нелетуча, то предполагают, что процессу горения предшествует термическое разложение поверхностного слоя пороха с образованием газообразных продуктов и твердых частиц, взвешенных в газовой фазе. Газообразные продукты взаимодействуют между собой при высокой температуре.

Подвод тепла к поверхности пороха и его распространение в глубь порохового элемента происходят за счет теплопроводности, диффузии и радиации или лучеиспускания из окружающих порох продуктов горения.

Применяемые в огнестрельном оружии пороха обладают замечательным свойством гореть параллельными слоями. Это означает, что горящая поверхность порохового элемента в любой момент времени остается параллельной начальной поверхности. Именно это свойство порохов вносит определенную закономерность в процесс образования пороховых газов, позволяет регулировать их приток и дает возможность управлять явлением выстрела.

Такой характер горения позволяет определить скорость горения пороха как скорость перемещения горячей поверхности в глубь порохового элемента.

Скорость горения пороха является одной из наиболее важных его характеристик. Она определяет время сгорания порохового заряда, интенсивность газообразования, характер изменения давления пороховых газов в процессе выстрела.

Скорость горения зависит от природы и состава пороха, от его плотности, начальной температуры и давления.

Скорость горения пироксилиновых порохов в манометрической бомбе при давлении 1 кгс/см^2 в зависимости от содержания азота и летучих веществ равна $0,06—0,09 \text{ мм/сек}$.

Скорость горения нитроглицериновых порохов в аналогичных условиях равна $0,07—0,15 \text{ мм/сек}$ и зависит главным образом от содержания нитроглицерина.

Общая закономерность для всех порохов заключается в том, что чем выше калорийность пороха, тем больше скорость его горения.

Вводя в состав пороха различные добавки, можно изменять скорость горения.

Пороха с большей плотностью горят медленнее, чем пороха менее плотные. Даже незначительное изменение плотности пороха может привести к существенному изменению скорости горения. Изменение плотности пироксилиновых порохов на $1—2\%$ изменяет скорость горения на $10—15\%$.

При изготовлении порохов в зависимости от технологических режимов одна и та же марка пороха может иметь различную плотность и в связи с этим разную скорость горения. При горении порохов с меньшей плотностью интенсивность газообразования больше, давление пороховых газов нарастает и достигает своего максимального значения быстрее, чем при горении порохов с большей плотностью. Величина максимального давления также больше у порохов с меньшей плотностью.

С увеличением температуры скорость горения всех порохов увеличивается.

Зависимость скорости горения от давления носит название закона скорости горения.

Исследования советских ученых позволяют сделать вывод, что в различных диапазонах давлений зависимость скорости горения

пороха от давления имеет разный характер при одном общем положении: с увеличением давления скорость горения возрастает.

При давлении в несколько тысяч атмосфер, а именно такой величины достигает давление пороховых газов в канале ствола орудия при выстреле, скорость горения пороха прямо пропорциональна давлению. Для этих условий закон скорости горения можно выразить формулой

$$U = U_1 P, \quad (6)$$

где U — скорость горения пороха;

U_1 — коэффициент скорости горения (скорость горения пороха при $P = 1 \text{ кгс/см}^2$); P — давление.

Коэффициент скорости горения U_1 для каждого пороха определяется опытным путем. Величина его существенно зависит от природы¹ пороха, его химического состава и свойств. Для пироксилиновых порохов коэффициент скорости горения зависит от содержания азота в пироксилине, содержания летучих веществ и добавок других веществ. Изменение содержания азота в пироксилине на 1% приводит к изменению коэффициента U_1 на 28,5%. Чем выше содержание азота, тем больше величина коэффициента U_1 . Увеличение содержания летучих веществ в пироксилиновом порохе на 1% приводит к снижению коэффициента скорости горения на 12%.

Для управления процессом выстрела надо уметь регулировать приток пороховых газов при горении заряда. При этом имеет значение как количество образовавшихся газов, так и их секундный приток, интенсивность или быстрота их образования.

Количество газов и интенсивность их образования зависят не только от закона скорости горения, но и от размеров, а также от формы пороховых элементов².

Изменяя размеры и форму пороховых элементов, можно добиться желаемой скорости сгорания порохового заряда и определенной закономерности его горения. Поэтому форма и размер

¹ Под природой пороха понимают прежде всего, к какому типу он относится (пироксилиновый, баллиститный, кордитный).

² Пороховой элемент — отдельная частица пороха установленной формы и размеров.

пороха являются очень важными характеристиками, определяющими его баллистические свойства.

Основным размером порохового элемента любой формы является толщина горящего свода. От толщины горящего свода зависит скорость нарастания давления пороховых газов в канале ствола и его максимальное значение. Выбору рациональной толщины горящего свода пороха уделяется большое внимание при разработке зарядов.

При слишком малой толщине горящего свода порох будет сгорать так быстро, что снаряд не успеет сдвинуться с места. Давление газов в постоянном объеме будет быстро нарастать, и может достичь величины, опасной для прочности ствола и снаряда.

Если толщина горящего свода пороха будет слишком большой, то порох будет сгорать очень медленно. Снаряд придет в движение, прежде чем сгорит достаточное количество пороха. Сгорание оставшейся части пороха будет происходить в увеличивающемся объеме тоже очень медленно. Порох не успеет сгореть до вылета снаряда из канала ствола, и его горящие частички вылетят из канала ствола вслед за снарядом. В результате часть пороха не будет использована для сообщения снаряду начальной скорости. Начальная скорость снаряда понизится, дальность стрельбы уменьшится, кучность стрельбы ухудшится.

В зависимости от характера изменения горячей поверхности все современные пороха делятся на две группы: пороха дегрессивной формы, у которых поверхность по мере горения уменьшается, и пороха прогрессивной формы, у которых поверхность горения увеличивается.

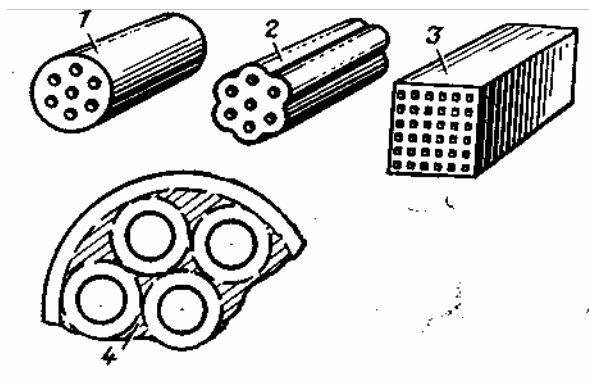
Если пороховой элемент имеет форму ленты, пластинки или прутка то поверхность его в процессе горения уменьшается и такой порох считается дегрессивным.

В трубке, горячей с увеличением поверхности изнутри и уменьшением наружной поверхности, суммарная поверхность остается почти неизменной.

Чтобы поверхность при горении увеличивалась, необходимо иметь в пороховом элементе несколько каналов, каждый из которых будет гореть с увеличением поверхности горения.

Предлагались различные формы пороховых элементов со многими каналами разного сечения

Наиболее широкое применение нашли пороха, имеющие форму цилиндрического зерна 1 (рис. 8) с семью



Кис. 8. Формы многоканальных пороков:
1 — зерно с семью каналами; 2 — зерно с фигурным обводом (зерно Уолша); 3- зерно Киснемского; 4 — семиканальное зерно в конце горения

каналами. В зерне с семью каналами один канал центральный, а шесть других расположены в вершинах правильного шестиугольника.

Прогрессивность горения семиканального зерна не сохраняется до конца. Когда сгорит примерно 85% объема зерна, оно распадается на дегрессивно догорающие кусочки 4 (заштрихованы). Распад и дегрессивное догорание пороха с семью каналами является недостатком, присущим всем порохам прогрессивной формы. Для уменьшения относительного объема порохового элемента, подлежащего распаду, были предложены различные формы порохов, две из которых указаны на рис. 8. Это зерно 2 с фигурным обводом (зерно Уолша) и зерно 3 Киснемского. Зерно Уолша также имеет семь каналов, но наружная поверхность образуется не одним общим цилиндром, а шестью цилиндрическими поверхностями, описанными из центра каждого из шести наружных каналов. Распад при горении получается и при применении зерна Уолша. Но относительный объем продуктов распада гораздо меньше: всего около 5%, и, следовательно, с возрастанием поверхности горит 95% зерна.

Зерно Киснемского квадратного сечения с большим числом каналов. Продукты распада зерна Киснешкого составляют около 10% начального объема зерна.

Размеры и формы пороховых элементов разнообразны и многочисленны, потому что к каждому оружию приходится подбирать свои размеры и форму пороха, чтобы, управляя процессом горения и газообразования при выстреле, обеспечить необходимую начальную скорость снаряда или пули при условии, что максимальное давление пороховых газов не будет превышать допустимой величины.

4. Особенности горения порохов в реактивном двигателе

За последние три десятилетия широкое развитие получила реактивная артиллерия.

В реактивном снаряде или ракете с пороховым двигателем боевая часть и двигатель составляют единую

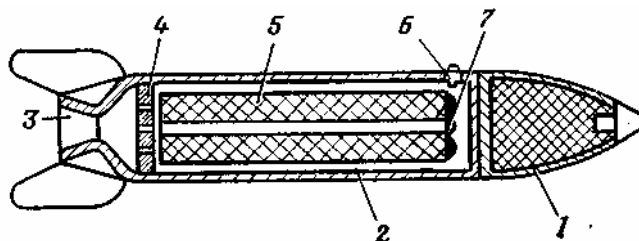


Рис. 9. Схема реактивного снаряда:
1 — боевая часть; 2 — камера; 3 — сопло; 4 — диафрагма; 5 — пороховая шашка; 6 — пиросвеча; 7 — воспламенитель

систему. Двигатель состоит из камеры 2 сгорания (рис. 9) с соплом 3 и порохового заряда. Заряд может состоять из одной или нескольких пороховых шашек 5, форма их весьма разнообразна, хотя в большинстве случаев они имеют форму толстосводных трубок. Очень часто наружная поверхность шашек покрывается негорючим составом (бронировкой). В США в качестве бронировки для ракетных порохов используется состав на основе каучука с добавками газовой сажи, пластификатора и специальных вулканизирующих веществ.

В камере 2 происходит горение пороха, образование газов и превращение их тепловой энергии в кинетическую энергию движения газов, вытекающих через сопло 3. Истечение газов через сопло создает реактивную

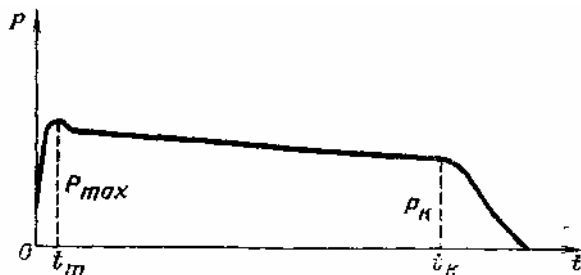


Рис. 10. Кривая зависимости давления пороховых газов в реактивной камере: P_{max} — максимальное давление в камере, соответствующее времени горения t_m ; P_k — давление в камере в конце горения, соответствующее времени t_k .

силу, которая приводит в движение реактивный снаряд или ракету.

Реактивная сила зависит от давления пороховых газов в камере 2, от величины минимального (критического) сечения сопла 3, от формы сопла.

Величина давления определяется разностью между притоком газов в результате горения пороха и расходом газов, истекающих через сопло.

В отличие от артиллерийского орудия горение порохового заряда в камере двигателя происходит при значительно меньших давлениях. Максимальное давление P_{max} (рис. 10) возникает сразу после воспламенения заряда. В течение всего процесса горения давление почти постоянно и только к концу горения P_h уменьшается примерно на 10%.

Максимальное давление газов P_{max} не превышает, как правило, 150—250 кгс/см².

Небольшая величина максимального давления пороховых газов позволяет делать стенки камеры и боевой части реактивных снарядов и ракет значительно тоньше, чем стенки артиллерийских снарядов и тем более орудий.

Время сгорания заряда в реактивных снарядах и пороховых ракетах измеряется секундами или десятками секунд, что

значительно превышает время горения заряда в камере артиллерийского орудия. За счет большого времени горения значительная часть энергии пороха (до 10—20%) теряется на нагревание конструкций реактивного двигателя.

Зависимость скорости горения пороха U от давления P в камере сгорания реактивного снаряда или ракеты имеет иной характер, чем при высоких давлениях в стволе артиллерийского орудия.

При низких давлениях зависимость скорости горения от давления для реактивных порохов подчиняется следующему закону:

$$U = AP^v, \quad (7)$$

где U — скорость горения; P — давление;
 A, v — опытные коэффициенты.

Величина коэффициента v всегда меньше 1. Чем меньше v , тем слабее влияние давления на скорость горения.

Для средних давлений справедлив закон

$$u = aP + b, \quad (8)$$

где a, b — постоянные для каждого пороха числа, определяемые опытным путем.

Пороховые газы, вытекающие через сопло, имеют высокую температуру. Они могут вызвать разгар сопла, заключающийся в увеличении размеров его минимального сечения, что приводит к большему падению давления газов в камере, чем при сопле с постоянным сечением. Явление разгара чаще наблюдается при горении зарядов из высококалорийных порохов.

Величина давления в камере влияет на скорость горения заряда. От нее зависит и характер горения.

Одним из видов аномального горения является неустойчивое горение некоторых порохов при недостаточно высоком давлении. Это выражается в том, что после воспламенения заряда его горение может прекратиться. В последующем оно либо не возобновляется, либо протекает в несколько приемов и имеет прерывистый характер. Для того чтобы горение заряда в камере происходило устойчиво, необходимо создать давление не ниже

некоторого предела, называемого критическим давлением $P_{кр}$. Величина критического давления зависит от состава пороха, особенностей устройства заряда и воспламенителя, от начальной температуры заряда.

Другим видом аномального горения порохов в реактивном двигателе является так называемое нестабильное горение. Сущность его заключается в том, что после воспламенения заряда и некоторого периода его нормального горения происходит быстрое и значительное повышение давления в камере, появляется второй максимум, превышающий по величине давление в момент запуска двигателя. Причиной появления второго максимума давления является резкое увеличение газообразования в определенный момент горения заряда. Это связано с возникновением и усилением акустических колебаний в газах, которыми всегда сопровождается процесс горения.

Важной особенностью процесса горения порохов в реактивном двигателе является то, что пороховые газы, двигаясь вдоль горячей поверхности заряда с большой скоростью, оказывают влияние на скорость горения пороха. Чем выше скорость движения газов, обтекающих поверхность заряда, тем больше скорость горения пороха.

Так как пороховые газы движутся от дна камеры к соплу с ускорением, то сгорание порохового заряда происходит неравномерно по его длине. С большей скоростью сгорает та часть заряда, которая расположена ближе к соплу.

По мере сгорания заряда площадь сечения, свободного для прохода газов, увеличивается, а скорость движения газов соответственно уменьшается. Поэтому влияние потока газов на процесс горения пороха оказывается наиболее существенным в начальный период работы реактивного двигателя. Это приводит к быстрому и значительному повышению давления при запуске двигателя. Степень влияния скорости потока газов на скорость горения порохов зависит от природы и состава пороха, величины давления, от геометрической формы и размеров заряда. Практически влияние скорости потока газов на скорость горения порохов учитывается путем введения соответствующей поправки в закон скорости горения. Величина этой поправки для каждого типа пороха определяется экспериментальным путем.

О СВОЙСТВАХ ПОРОХОВ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИХ
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И СРОК
СЛУЖБЫ

1. Энергетические характеристики
порохов

Процесс горения порохов сопровождается уменьшением их внутренней энергии, в результате чего выделяется значительное количество тепла. Образующиеся при горении пороха газы оказываются нагретыми выделившимся теплом до высокой температуры.

Расширяясь, газы совершают работу по перемещению снаряда в канале ствола артиллерийского орудия. Между количеством выделившегося при сгорании пороха тепла и скоростью снаряда существует прямая связь.

Обозначим количество тепла, выделившееся при сгорании 1 кг пороха, Q . Эту величину называют теплотой горения или калорийностью пороха. Энергия E пороховых газов, образующихся при выстреле, равна:

$$E = 427 Q \omega, \quad (9)$$

где 427—механический эквивалент тепла (427 кдж — 1 ккал);
 ω — масса порохового заряда.

В современных конструкциях огнестрельного оружия только 25—40% энергии пороховых газов переходит в кинетическую энергию движения снаряда. Остальная часть энергии затрачивается на совершение различных второстепенных работ и остается в самих пороховых газах после вылета их из канала ствола орудия. Обозначим буквой ϕ долю энергии пороховых газов, которая непосредственно расходуется на сообщение снаряду движения с определенной начальной скоростью.

На основании закона сохранения энергии можно записать равенство

$$4279Q_1 \omega = m_{\text{сн}} V_0^2 / 2 \quad (10)$$

где $m_{\text{сн}}$ — масса снаряда;

V_0 - начальная скорость снаряда. Из этого равенства получаем следующее выражение для начальной скорости снаряда:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot 4279 Q_1 \omega / m_{\text{сн}}} \quad (11)$$

Как видим, начальная скорость V_0 снаряда прямо пропорциональна корню квадратному из количества тепла, которое выделяется при горении пороха. Количество тепла равно произведению теплоты горения Q_v на массу пороха (порохового заряда) ω .

Теплоту горения Q_v сравнительно просто определить экспериментальным путем, сжигая определенное количество пороха в специальной калориметрической установке, или рассчитать теоретически на основе известных положений термодинамики. Теплота горения Q_v нитроцеллюлозных порохов может изменяться в пределах 600—1250 ккал/кг.

Преобразование тепловой энергии в механическую работу происходит при расширении газов, поэтому работоспособность пороха обычно связывают с количеством и параметрами (объемом, температурой) газов, образующихся при его сгорании. Чем больше газов образуется при сгорании пороха, тем выше его работоспособность. Количество выделяемого тепла Q_v и объем газообразных продуктов при горении 1 кг пороха являются определяющими факторами работоспособности пороха.

Величину газообразования принято выражать в единицах объема (который займут газы, образующиеся при сгорании 1 кг пороха), приведенных к нормальным условиям (температуре 0°C и давлению 760 мм рт. ст.). Объем, занимаемый газами при этих условиях, называется удельным объемом пороховых газов.

Удельный объем пороховых газов зависит от природы, состава пороха и условий горения. Для современных нитроцеллюлозных порохов удельный объем пороховых газов равен 800—1100 л/кг.

Работоспособность пороховых газов зависит от их температуры. Чем выше температура, тем большим запасом тепловой энергии обладают пороховые газы и тем большую работу они могут совершить при своем расширении в процессе выстрела.

Температура пороховых газов принимается равной температуре горения пороха. Она зависит от количества тепла и состава продуктов, образующихся при сгорании 1 кг пороха. Температура горения рассчитывается по тепловому эффекту и теплоемкости продуктов горения.

Температура горения нитроцеллюлозных порохов изменяется в пределах 2000—3500° С. Зная объем продуктов горения и температуру горения, можно вычислить весьма важную характеристику работоспособности порохов — силу пороха f :

$$f = P_a V_1 T_1 / 273 \quad (12)$$

где $P_a = 1,033$ кгс/см² — атмосферное давление;

V_1 — объем газообразных продуктов горения 1 кг пороха;

t_1 — температура горения при постоянном объеме, °К.

По своему физическому смыслу сила пороха f представляет собой работу, которую могут совершить газообразные продукты горения 1 кг пороха, расширяясь при атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и нагревании их от 0° до температуры горения T К.

Сила / нитроцеллюлозных порохов меняется в пределах 80000—125000 кгс*м/кг.

Сила пороха находится в прямой зависимости от его природы, состава и свойств. Изменяя свойства пороха таким образом, чтобы увеличить удельный объем газообразования и температуру горения, можно увеличить силу пороха. Чем больше сила пороха, тем больше его работоспособность.

Рассмотренные энергетические характеристики сохраняют свое значение и для порохов, применяющихся в реактивном оружии. Однако в силу специфичности рабочего процесса реактивного двигателя для них более важной характеристикой является единичный импульс I_1 реактивной силы или удельная тяга двигателя. Единичный импульс реактивной силы характеризует импульс тяги реактивного двигателя, создаваемый за счет сгорания 1 кг пороха.

Единичный импульс определенным образом связан с другими энергетическими характеристиками пороха: теплотой горения Q_v -, силой f пороха, объемом газообразных продуктов.

Для современных реактивных порохов единичный импульс составляет 180—230 кгс*с/кг.

2. Химическая стойкость порохов

В состав современных порохов входят химически малостойкие взрывчатые вещества (нитраты целлюлозы, нитроглицерин). Поэтому пороха по сравнению с применяемыми для снаряжения боеприпасов взрывчатыми веществами обладают меньшей химической стойкостью.

При длительном хранении происходит разложение пороха. В определенных условиях разложение химически нестойкого пороха может протекать настолько быстро, что происходит его воспламенение.

Ускорению разложения пороха способствует повышение температуры окружающей среды. Нагревание пороха на 5°C ускоряет процесс разложения в 1,5—2 раза. Присутствие влаги в небольших количествах ускоряет процесс так называемого гидролитического распада, еще более губительного, чем термическое разложение.

Процесс разложения пороха протекает с образованием химически активных продуктов (окислов азота) и выделением тепла. Образующиеся при разложении пороха окислы азота играют роль катализатора, ускоряющего процесс разложения.

Существуют вещества, способные замедлять процесс разложения. Эти вещества называются стабилизаторами химической стойкости. В качестве стабилизатора химической стойкости пироксилиновых порохов применяли амиловый спирт, вазелин, касторовое масло, анилин, мочевины.

В 1897 г. на основе исследований, выполненных под руководством Г.П. Киснемского, Н.А. Голубицкого, В.Н.Никольского, в качестве стабилизатора химической стойкости пироксилиновых порохов предложен дифениламин.

Для нитроглицериновых порохов были разработаны стабилизаторы химической стойкости на основе производных мочевины, названные централитами.

В процессе изготовления порохов небольшие количества этих веществ вводятся в их состав.

Стабилизаторы химической стойкости, взаимодействуя с окислами азота, образуют химически стойкие соединения, не являющиеся катализаторами. Тем самым устраняется одна из наиболее значительных причин, ускоряющих процесс разложения. При наличии в порохе стабилизатора химической стойкости разложение идет без самоускорения. После того как весь стабилизатор химической стойкости перейдет в связанное состояние, начинается прогрессивное ускорение процесса разложения. Время с момента изготовления пороха до начала его ускоренного разложения и определяет срок его безопасного хранения, или так называемый запас химической стойкости пороха.

Срок безопасного хранения пороха со стабилизатором химической стойкости свыше 20 лет, без стабилизатора — около 10 лет. Эти сроки могут увеличиваться или сокращаться в зависимости от условий хранения порохов.

О разложении пороха можно судить по ряду внешних признаков.

Если порох в качестве стабилизатора химической стойкости содержит дифениламин, то при разложении он меняет свою окраску: сначала принимает коричневый цвет, затем зеленоватый и наконец почти черный. Это происходит потому, что дифениламин, соединяясь с окислами азота, сам меняет свою окраску от коричневого до черного цвета.

Признаком разложения пороха является также появление на поверхности пороховых элементов расползающихся желтоватых пятен, вздутий и трещин. Разложившийся порох склонен к слеживанию и слипанию. При значительном разложении порох становится настолько хрупким, что растирается пальцами. Кроме того, разложившийся порох легко определить по запаху окислов азота. При энергичном разложении заметно выделение бурых паров окислов азота. Синяя лакмусовая бумажка, положенная на разложившийся порох, моментально краснеет.

Если порох помещен в гильзу, то в случае его разложения окислы азота окисляют латунную гильзу и на внутренней поверхности ее появляется зеленый налет окиси меди.

При разложении пороха, помещенного в матерчатые картузы, прочность картузов заметно уменьшается, цвет их меняется.

Разложение пороха может кончиться самовоспламенением и быстрым его сгоранием. Поэтому порох с признаками разложения, как представляющий опасность, должен быть немедленно изъят.

При изготовлении порохов, а также периодически в процессе их хранения производят специальные испытания по определению запаса химической стойкости. По результатам испытаний устанавливается срок безопасного хранения пороха. Испытания основаны на искусственном ускорении процесса разложения пороха при нагревании. При повышенных температурах разложение даже химически стойкого пороха протекает настолько быстро, что появляются внешние признаки, по которым можно судить о степени разложения пороха. Наибольшее распространение в практике производства порохов и контроля за порохами, находящимися на снабжении армии, получили лакмусовые пробы: простая и повторная.

Сущность простой лакмусовой пробы состоит в определении времени, в течение которого порох в герметически закрытом стеклянном стаканчике, помещенном в термостат при температуре $106,5^{\circ}\text{C}$, окрашивает стандартную синюю лакмусовую бумажку в красный цвет. Изменение окраски связано с тем, что выделяющиеся при разложении пороха окислы азота образуют с водой азотистую и азотную кислоты, а лакмусовая бумажка, как известно, от действия кислот краснеет. Нитроцеллюлозный порох считается стойким, если окрашивание лакмусовой бумажки произойдет не ранее чем через 6 часов. Испытания по простой лакмусовой пробе проводят в течение одного дня. Порох выдерживается в термостате не более 7 часов. Если за это время покраснение лакмусовой бумажки не произойдет, испытания прекращают. Более полная оценка запаса химической стойкости производится по повторной лакмусовой пробе. Повторная проба состоит из последовательного ряда испытаний простой пробой с одной и той же массой пороха.

Каждый раз испытание ведут до появления красного окрашивания, но не более 7 часов. В промежутках между

испытаниями пробу хранят при обычной температуре. На следующий день испытание повторяют. Повторное испытание продолжают до получения красного окрашивания лакмусовой бумажки через 1 час от начала нагревания, но не более 10 дней. Сумма часов нагревания характеризует стойкость пороха. Стойкие пороха должны выдерживать: пироксилиновые — 60 часов, нитроглицериновые — 40 часов.

В США широкое распространение получила метил-виолетовая проба. Испытуемый образец в зависимости от природы пороха выдерживают при температуре 120 или 134,5° С. О стойкости пороха судят по времени до изменения цвета индикаторной бумажки от фиолетового до оранжево-розового.

3. Баллистическая стабильность порохов

Для боевого применения порохов очень важно, чтобы их баллистические характеристики с течением времени не изменялись. Способность порохов сохранять при длительном хранении постоянство баллистических характеристик называют баллистической стабильностью.

Баллистическая стабильность тесно связана с химической и физической стойкостью пороха. Пороха с малой химической или физической стойкостью обладают и малой баллистической стабильностью. Происходящие в процессе длительного хранения изменения состава и физико-химических характеристик пороха приводят к изменению его баллистических характеристик: начальной скорости и давления пороховых газов.

При длительном хранении при повышенных температурах в порохах на труднолетучем растворителе уменьшается содержание растворителя, что сопровождается понижением энергетических и баллистических характеристик порохов.

Нитроглицериновый порох при низких температурах становится хрупким. Это приводит к растрескиванию или дроблению пороховых элементов при выстреле и, как следствие, к резкому повышению давления пороховых газов, вызывающему в отдельных случаях разрыв ствола оружия или камеры реактивного двигателя.

Колебания температуры при хранении нитроглицериновых порохов способствуют выделению нитроглицерина на поверхности пороховых трубок, лент, пластинок. Нитроглицерин чрезвычайно

чувствителен к трению, поэтому образующиеся на поверхности пороховых элементов капли его представляют большую опасность. Выделение (экссудация) нитроглицерина отрицательно влияет на баллистические свойства порохов.

В процессе хранения реактивных зарядов с большой толщиной горящего свода иногда в результате возникновения внутренних напряжений и растрескивания пороха нарушается сплошность пороховой шашки. Такие изменения приводят к существенному нарушению нормального режима горения пороха в реактивном двигателе.

Баллистическая стабильность пироксилиновых порохов ограничена из-за возможности испарения остаточного летучего растворителя и влаги. Изменение содержания влаги, и особенно остаточного растворителя, сопровождается существенным изменением его баллистических свойств. При изменении содержания летучих веществ в порохе на 1 % скорость горения пороха меняется примерно на 12%, давление пороховых газов в канале ствола орудия — на 15%, а начальная скорость снаряда — на 4%.

Обладая заметной гигроскопичностью, пироксилиновые пороха могут не только отдавать влагу, но и поглощать ее при повышенной влажности воздуха. Увеличение влажности пороха сопровождается снижением энергетических и баллистических характеристик пороха.

Чтобы уменьшить влажность и предотвратить связанные с нею изменения баллистических свойств пироксилиновых порохов, стремятся понизить их гигроскопичность путем введения специальных добавок. Пороха хранят в герметической металлической укупорке.

При правильной организации хранения порохов и зарядов из них баллистические характеристики остаются неизменными в течение 10—12 и более лет.

В процессе хранения пороха его периодически испытывают стрельбой с замером начальной скорости и максимального давления пороховых газов в целях определения дальнейшей служебной пригодности.

Баллистическая стабильность часто играет решающую роль при установлении срока службы порохов.

ТИПЫ ПОРОХОВ

1. Общая характеристика порохов и требования, предъявляемые к ним

Порохами принято называть многокомпонентные твердые вещества, которые содержат в своем составе горючее и окислитель и обладают способностью гореть по определенному закону с выделением тепла и газообразных продуктов.

Существует обширная группа веществ, подходящих под это определение. Прежде всего к ним относятся вещества, применяемые как химический источник энергии для метательных целей в стрелковом оружии, ствольной и реактивной артиллерии. Именно этой группе веществ пороха обязаны своим исторически сложившимся названием¹.

Несколько лет назад появилась новая группа веществ, обладающая всеми признаками порохов и в то же время некоторыми, только им присущими свойствами. Это твердые топлива для ракетных и прямоточных воздушных реактивных двигателей.

Необходимо также указать на специфическую группу веществ, которая по своим свойствам подходит под определение порохов, но предназначается главным образом для создания специальных пиротехнических эффектов с помощью реакции горения. Эта группа веществ получила название пиротехнических составов.

Из сказанного следует, что существовавшее до недавнего времени деление порохов на дымные и бездымные, а последних на пироксилиновые и нитроглицериновые не отражает всего многообразия порохов. В настоящее время от такой классификации порохов отказались. Всю обширную группу веществ, объединяемую

¹ С начала изобретения и примерно до середины XVI в. пороха применялись в виде порошка. От слова порошок, видимо, и произошло их название.

под общим названием «пороха», можно разделить по их физико-химической природе на нитроцеллюлозные пороха и пороха — механические смеси.

К нитроцеллюлозным порохам относятся все пороха, основным компонентом которых являются высокомолекулярные взрывчатые вещества — нитраты целлюлозы, которые получают нитрованием целлюлозы.

Для изготовления высококачественной нитроцеллюлозы, применяемой в производстве порохов, используют чистую целлюлозу, получаемую из хлопка или древесины специальной химической обработкой.

Нитроцеллюлоза имеет строение, характерное для высокомолекулярных соединений, неоднородна по величине и составу молекул и не является химически индивидуальным веществом. Нитраты целлюлозы характеризуются средним содержанием азота.

Применяемые в производстве пороха нитраты целлюлозы делятся на пироксилины (содержание азота более 12%) и коллоксилины (содержание азота до 12%). В порохе нитраты целлюлозы выполняют роль энергетической основы и обуславливают многие его свойства. В процессе производства порохов нитраты целлюлозы пластифицируют, обрабатывая их различными растворителями, затем уплотняют и формируют из них пороховые элементы определенной формы и размеров.

Вторым обязательным компонентом нитроцеллюлозных порохов является растворитель-пластификатор нитратов целлюлозы.

В производстве порохов применяются инертные и взрывчатые растворители-пластификаторы.

Инертные растворители используются главным образом как технологический компонент и в процессе производства оставляются в порохе в минимально возможном количестве, так как излишнее количество снижает энергетические характеристики пороха и может стать причиной его физической нестабильности из-за высокой летучести растворителя.

Взрывчатые растворители-пластификаторы не только обеспечивают пластификацию нитратов целлюлозы, но и способствуют повышению энергетических характеристик порохов.

В зависимости от природы растворителя-пластификатора, его состояния и содержания нитроцеллюлозные пороха делятся на **четыре группы**:

пороха на инертном, удаляемом в процессе производства летучем растворителе;

пороха на взрывчатом, неудаляемом в процессе производства труднолетучем растворителе;

пороха на смеси двух растворителей (удаляемом и неудаляемом);
пороха без растворителя.

Пороха на инертном, удаляемом в процессе производства летучем растворителе называют пироксилиновыми порохами.

В качестве растворителя-пластификатора в производстве пироксилиновых порохов применяется спирто-эфирная смесь. Производство пироксилиновых порохов ведется при нормальной температуре и состоит из трех основных фаз:

пластификации нитратов целлюлозы спирто-эфирным растворителем;

уплотнения и формования пороховой массы в элементы;
удаления из пороховых элементов растворителя.

Пороха на взрывчатом, неудаляемом в процессе производства труднолетучем растворителе называются баллиститными порохами.

Производство баллиститных порохов ведется при температуре 70—90° С и включает в себя следующие основные фазы:

смешение всех компонентов пороха в водной среде в целях получения однородной массы;

пластификацию нитратов целлюлозы труднолетучим взрывчатым растворителем;

формование пороховой массы в элементы.

К порохам на смешанном растворителе относятся кордитные и эмульсионные пороха.

Кордитные пороха, или, как их еще называют, кордиты, в основном производятся в Англии и Канаде. При их производстве используются растворители двух типов: инертный летучий (ацетон), удаляемый в процессе производства, и взрывчатый труднолетучий (нитроглицерин), неудаляемый из пороха.

Такое сочетание растворителей применяют в целях использования высокоазотных нитратов целлюлозы, плохо растворимых в труднолетучем растворителе.

Производство кордитных порохов осуществляется при нормальной температуре и состоит из трех основных фаз:

пластификация нитратов целлюлозы смешанным растворителем;
уплотнения и формования пороховой массы в элементы;
удаления летучего растворителя из пороховых элементов.

Кордиты нельзя изготавливать с большой толщиной горящего свода. По внешнему виду готовый кордитный порошок напоминает волос.

Эмульсионные пороха по своему составу могут быть сходны с пироксилиновыми, баллиститными или кордитными.

Для их производства наряду с нитратами целлюлозы можно использовать старые пороха, утратившие свои баллистические свойства. Предварительно измельченные нитраты целлюлозы или устаревшие пороха подвергают воздействию летучего растворителя (этилацетата) в водной среде при перемешивании с большой скоростью под вакуумом. Из пластифицированной пороховой массы получают шарики диаметром 0,01—0,5 мм. Форма эмульсионных порохов дала другое, довольно широко распространенное название этим порохам - сферические.

Преимущество эмульсионных порохов заключается в их высокой гравиметрической (насыпной) плотности.

К порохам без растворителей относятся так называемые вязкие пороха, которые были разработаны и состояли на производстве в годы Великой Отечественной войны.

Разработка их преследовала цель расширения производственных мощностей пороховой промышленности и привлечения для изготовления порохов оборудования предприятий текстильной промышленности. Производство вязких порохов велось по обратной схеме: вначале из вискозы формовались зерна с одним каналом или без канала, затем вискоза регенерировалась до целлюлозы и подвергалась нитрованию с последующей стабилизацией.

Вязкие пороха применялись в зарядах к стрелковому оружию и малокалиберным минометам.

Составы некоторых нитроцеллюлозных порохов приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Наименование компонентов пороха	Содержание компонентов. %				
	пирокси- линовый порох	балли- статный порох	кордитный порох	вискозный порох	эмуль- сионный порох
Пироксилин	80,0—08,0		52,0 --73,0	91,0- 97,0	До 81,0
Коллоксилин		54,0—60,0			
Спирто-эфирный растворитель	0,2—5,0				
Спирто-ацетоновый растворитель			0,5—2,0		
Нитроглицерин	1,0—2,0	16,0—40,0	19,0—22,0		До 9,0
Централит		1,0— 3,0	3,0—5,0		1,0-1,6
Дифениламин					0,9—1,0
Вазелин		0,3—2,0	2,0—4,0		
Ацетанилид				1,5— 19	
Этилацетат					0,5—0,6
Дикитротолуол	0,5—2,0	1,0—3,0	3,0—5,0		0,6—0,9
Дибутилфталат		2,0—6,0		2,4— 3,2	1,0—2,0
Вода		0,3—0,5	0,5—0,7	0,9—1,3	
Камфара	1,0—2,0				1,0—1,7
Графит	0,3—0,4	0,3—1,0		0,3—0,4	
Сульфат калия	0,5—2,0		1,0		
Канифоль	2,0—1,0				
Углекислый каль-ций	—	—	—	--	0,5—0,6

Пороха — механические смеси содержат в своем составе окислители и металлические горючие в виде мелко измельченных порошков. Для скрепления порошкообразных компонентов в состав смесей вводят различные связующие (цементирующие) добавки.

Производство таких порохов заключается в предварительном измельчении порошкообразных веществ и тщательном смешении всех компонентов. Полученная смесь компонентов подлежит уплотнению и формованию.

Приведенный общий обзор порохов и последующее более подробное знакомство с ними убеждают в многообразии современных порохов. Это многообразие обусловлено наличием различных требований, предъявляемых к порохам, возрастающих по мере развития военной техники.

Современные боеприпасы должны обладать высокими начальными скоростями, необходимыми для достижения определенной дальности стрельбы и бронепробиваемости.

Для достижения таких скоростей требуются пороха с большим запасом энергии.

Эффективность применения огнестрельного оружия в значительной степени определяется точностью стрельбы, которая во многом зависит от однообразия начальных скоростей пули, снаряда или мины. Начальные скорости очень мало изменяются от выстрела к выстрелу, если физико-химические свойства и баллистические параметры применяемого пороха одинаковые. Это достигается однообразием физико-химических и баллистических качеств порохов определенных марок, изготовленных на различных предприятиях в разное время. Такое однообразие обеспечивает полную взаимозаменяемость однотипных порохов при их массовом производстве и применении.

Изменение физико-химических свойств пороха в процессе длительного хранения неизбежно влечет за собой изменение баллистических параметров: начальной скорости, давления пороховых газов, рассеивания начальных скоростей. Изменение баллистических параметров по сравнению с первоначальными оказывает отрицательное влияние на эффективность стрельбы и в ряде случаев может привести к ненормальному действию оружия и боеприпасов. Этого не произойдет при высокой физической и химической стабильности пороха, обеспечивающей возможность их длительного хранения на базах, складах и в войсках в различных климатических условиях.

Для практического использования порохов в огнестрельном и реактивном оружии необходимо, чтобы порох легко и надежно воспламенялся от штатных средств воспламенения, устойчиво и закономерно горел в условиях достаточно высоких давлений (3000—5000 кгс/см²) в артиллерийских орудиях и в условиях относительно низких давлений (десятки и сотни кгс/см²) в ракетных двигателях. Скорость горения порохов при этом не должна в сильной степени зависеть от начальной температуры заряда.

Закономерность горения пороха может быть нарушена, если вследствие недостаточной механической прочности произойдет разрушение пороховых элементов при хранении, транспортировке

или боевом применении. Поэтому применяемые пороха должны обладать достаточной механической прочностью.

Чтобы пороха были безопасны в обращении, в процессе производства, при хранении, войсковой эксплуатации и боевом применении, чувствительность их к внешним воздействиям должна иметь определенные пределы.

Для достижения успеха в современном бою немаловажным условием является внезапность и скрытность применения оружия. Дым в дневное время, а дульное пламя — в ночное демаскируют стреляющего. В связи с этим порох должен быть бездымным и беспламенным.

Требование беспламенности важно еще и потому, что обратное пламя может представлять опасность для стреляющего, особенно находящегося в танке или каземате.

В случае стрельбы из танка или каземата имеет значение состав пороховых газов, так как при неблагоприятных условиях избыток окиси углерода может вызвать отравление личного состава.

Потребность в порохам во время войны огромна. Удовлетворить ее можно только при наличии широкой отечественной сырьевой базы, достаточных производственных мощностей, простой и безопасной технологии изготовления порохов.

В следующих разделах будут рассмотрены наиболее распространенные в настоящее время нитроцеллюлозные пороха и пороха — механические смеси.

2. Нитроцеллюлозные пороха на летучем растворителе (пироксилиновые пороха)

Основу пироксилиновых порохов составляет пироксилин, содержание которого в готовом порохе в зависимости от рецептуры может колебаться от 80 до 98%.

В качестве растворителя при изготовлении пироксилиновых порохов применяют спирто-эфирную смесь. В процессе производства основная часть спирто-эфирной смеси, представляющей собой летучий растворитель, удаляется, однако небольшая часть ее остается в порохе. В готовом порохе в зависимости от толщины горящего свода содержится от 0,2 до 5% остаточного растворителя.

Для повышения химической стойкости в состав порохов вводят 1—2% дифениламина. Дифениламин является обязательным компонентом современных пироксилиновых порохов.

Неизбежным компонентом любого пороха является влага. Содержание влаги в пироксилиновом порохе — величина переменная, зависящая от гигроскопичности пороха и влажности воздуха. Гигроскопичность пороха определяется его составом. Изменение относительной влажности воздуха приводит к соответствующему изменению содержания влаги в порохе. Влажность пороха при его изготовлении строго регламентируется и должна быть в пределах 0,5—2,0%.

Остаточный растворитель и влага, вместе взятые, составляют так называемые летучие вещества. Летучие вещества в порохе условно делят на удаляемые 6-часовой сушкой при 95° С и неудаляемые 6-часовой сушкой. При 6-часовой сушке удаляется вся вода и некоторое количество остаточного растворителя, а большая часть остаточного растворителя остается в порохе. Общее содержание летучих веществ, а также содержание удаляемых и неудаляемых веществ устанавливаются в определенных пределах для каждой марки пороха.

Названные выше компоненты (пироксилин, дифениламин и летучие вещества) являются основными и входят в состав любого пироксилинового пороха. Помимо основных компонентов в состав порохов могут вводиться добавки различных веществ в целях получения определенных свойств. Для снижения способности порохов поглощать атмосферную влагу в их состав вводят гидрофобные добавки. Такие пороха называют малогигроскопичными.

Применяемые в США малогигроскопичные пороха обозначаются буквами NH.

В целях уменьшения разгара канала ствола применяют малоэрозионные пироксилиновые пороха, в состав которых вводят в небольших количествах противозерозионные добавки (парафин, церезин, вазелин и т. д.).

Для гашения дульного и обратного пламени, имеющего место при стрельбе из орудия, применяют беспламенные или пламегасящие пороха.

Беспламенные пироксилиновые пороха содержат небольшое количество (3—5%) пламегасящих веществ:

серноокислый калий, канифоль, дибутилфталат и некоторые хлорорганические смолы.

Пламегасящие пироксилиновые пороха содержат 45—50% пламегасящих веществ. Такие пороха обладают низким запасом энергии и применяются в виде небольших добавок к обычному пороху. При выстреле продукты разложения компонентов пламегасящего пороха препятствуют образованию обратного пламени.

В некоторых случаях возникает необходимость применения пироксилиновых порохов, сочетающих в себе два или более специфических свойств. Так, для выстрелов раздельного гильзового заряжания к танковым пушкам требуются малогигроскопичные пороха, обладающие свойством беспламенности. Такие малогигроскопичные беспламенные пороха можно получить, если в состав обыкновенного пороха ввести одновременно гидрофобные и пламегасящие добавки. В США пороха подобного типа обозначают буквами FNH.

Состав некоторых винтовочных и орудийных пироксилиновых порохов американской армии приведен в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Наименование компонентов порохов	Содержание компонентов, %		
	винтовочный порох	орудийные пороха	
		NH	FNH
Пироксилин	90,3	83,2	81,2
Спирто-эфирный растворитель	1,1	2,0	2,0
Дифениламин	1,0	1,0	1,0
Динитротолуол	6,0	10,0	10,0
Дибутилфталат	-	3,0	4,0
Серноокислый калий	0,6	-	1,0
Графит	0,2	-	-
Вода	0,8	0,8	0,8

Состав пороха, а также форма и размеры пороховых элементов зависят от вида огнестрельного оружия, для которого предназначен порох.

По форме элементов пироксилиновые пороха делятся на пластинчатые 1 (рис. 11), зерновые 3 и 4 и трубчатые 2.

Для отличия различных видов порохов каждому из них присвоено условное обозначение (марка).

Раньше марку пороха обозначали начальной буквой названия оружия, для которого предназначался порох. Эти обозначения сохранились до настоящего времени для винтовочных порохов. Например, маркой ВТ обозначается винтовочный порох под тяжелую пулю, ВЛ — под легкую пулю.

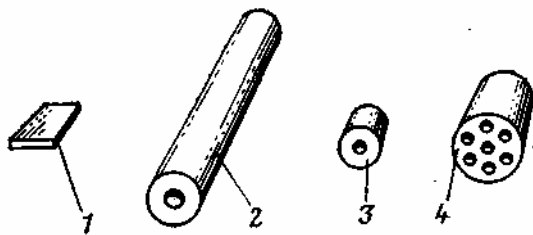


Рис. 11. Форма пироксилиновых порохов: 1 — пластинчатый порох; 2 — трубчатый порох; 3 — одно-канальный зерненный порох; 4 — семиканальный зерненный порох

В настоящее время для обозначения марки пороха служат преимущественно характеристики, определяющие его баллистические свойства: состав, форма элементов и толщина свода. В этой системе марку зерненого пироксилинового пороха обозначают дробью, числитель которой показывает толщину горящего свода зерна в десятых долях миллиметра, а знаменатель — число каналов в зерне. Никаких специальных обозначений, указывающих на то, что это пироксилиновый порох, не дается. Например, 7/7 означает: пироксилиновый зерненный семиканальный порох с толщиной горящего свода 0,7 мм. Приведем несколько марок наиболее часто употребляемых порохов: 4/1, 7/1, 7/7, 9/7, 12/7, 14/7, 15/7.

Для обозначения трубчатых пироксилиновых порохов после дроби, обозначающей те же характеристики, что и для зерненого пороха, проставляют буквы ТР. Например, 22/1ТР означает, что пироксилиновый порох имеет форму трубки с толщиной горящего свода 2,2 мм.

Пластинчатые пороха обозначаются буквами Пл, за которыми следуют два числа, первое из которых соответствует толщине пластинки в сотых долях миллиметра, а второе — ширине пластинки в десятых долях миллиметра. Между числами ставится тире. Например, Пл10—12.

Пористые пороха обозначаются буквой П и числом, соответствующим количеству селитры, которое вводилось на 100 частей пороха при его изготовлении. Например, П-45, П-125.

Особые свойства порохов, вызванные наличием в их составе компонентов специального назначения, в марке пороха отражаются с помощью буквенных индексов, проставляемых после цифрового обозначения формы и размеров пороха. Буквы ФЛ означают, что порох флегматизированный, БП — в порохе содержится пламегасящая добавка в виде канифоли, БСК — в порохе содержится пламегасящая добавка в виде сернокислого калия. Пламегасящий порох обозначается буквами УГ. Например, 9/7БП, 7/7БСП, 8/1У Г.

В маркировке пороха отражается и качественное состояние исходного сырья. Так, индекс «пер» после обозначения формы и размеров пороха указывает, что порох изготовлен переделкой из старых пироксилиновых порохов.

Партии готового пороха присваивается условное обозначение, включающее марку пороха, номер партии, время и место изготовления пороха. Например, 9/7 10/000. Эта запись расшифровывается следующим образом: пироксилиновый семиканальный зерненный порох с толщиной горящего свода 0,9 мм, партии 10,00 — год изготовления, 0 — завод-изготовитель.

Процесс изготовления пироксилиновых порохов отличается большой трудоемкостью и длительностью. Технологический процесс получения некоторых марок пироксилиновых порохов продолжается больше месяца и складывается из ряда последовательных операций. Начинается он с обезвоживания пироксилина. Эта операция необходима, потому что вода препятствует взаимодействию пироксилина с растворителем. В первые годы производства пироксилинового пороха влага из пироксилина удалялась в специальных сушильнях, что приводило к частым случаям загорания и взрывов. По предложению Д. И. Менделеева с 1890 г. пироксилин стали обезвоживать спиртом, который легко вытесняет воду. В настоящее время обезвоживание спиртом производят в центрифугах.

Основными фазами производства пироксилиновых порохов являются пластификация, происходящая при смешивании пироксилина с растворителем, и прессование.

Смешивание производят в специальных мешателях, в которые загружают обезвоженный пироксилин, соответствующее количество растворителя и стабилизатор химической стойкости.

При прессовании пороховая масса уплотняется, из нее готовят пороховые шнуры определенного профиля поперечного сечения путем пропуска массы под давлением через матрицы. Форма матрицы соответствует требуемой форме готовых пороховых элементов, а размеры ее деталей берутся с таким расчетом, чтобы учесть усадку пороха (при удалении растворителя провялкой и сушкой) и получить заданные размеры готового пороха.

После выхода из пресса порох содержит до 50% растворителя и поэтому легко деформируется. До резки пороховых шнуров на элементы определенной длины пороху надо придать некоторую механическую прочность. Это достигается предварительной провялкой, которая заключается в подсушивании пороха при невысокой температуре (20—30° С) в атмосфере, содержащей пары растворителя. После провяливания в порохе остается около 35% растворителя, необходимого для того, чтобы при резке не получились заусенцы, трещины и т. д. Резку пороховых шнуров для получения пороховых элементов производят на специальных резательных станках.

После резки содержание растворителя уменьшают вторичным провяливанием приблизительно до 15%. Провяливание является очень важной операцией в процессе изготовления пороха. При нормальном течении процесса скорость удаления растворителя из наружных слоев пороха не должна превосходить скорости поступления растворителя из внутренних слоев к наружным. При этом условии происходит равномерная усадка по всей толщине пороха и исключается возможность образования по наружной поверхности корочки, препятствующей удалению растворителя.

В готовом порохе содержание растворителя должно быть 0,5—5% в зависимости от толщины свода. Достичь этого сушкой весьма трудно, так как при содержании растворителя менее 15% скорость сушки значительно понижается и время удаления растворителя растягивается на несколько месяцев. Поэтому применяют вымочку в воде, при которой растворитель удаляется быстро. После вымочки порох высушивают при температуре около 50°С для удаления влаги, поглощенной при вымочке. Обычно порох пересушивается, а затем увлажняется до нормы, соответствующей техническим условиям.

При производстве винтовочных порохов после сушки производится флегматизация и графитовка.

Флегматизация заключается в пропитке наружных слоев готовых тонкосводных элементов инертным веществом — спиртовым раствором камфары в целях получения пороха, горящего с переменной скоростью: наименьшей в наружных слоях и нормальной — во внутренних.

При графитовке пороховые элементы покрывают тонким слоем графита в целях уменьшения склонности пороха к электризации, улучшения его сыпучести и увеличения гравиметрической плотности.

Для получения пороховых элементов с увеличенной начальной поверхностью горения в пороховую массу вводят легкорастворимые в воде соли, например калиевую селитру, а затем удаляют ее из готового пороха вымочкой в воде. Получаются пороховые элементы с большим числом микроскопических пор. Такой порох называют пористым.

Полученный в отдельных аппаратах порох не однообразен по своим физико-химическим свойствам. Поэтому его перемешивают для получения однородных партий.

После перемешивания порох укупоривают в герметическую укупорку. От партии пороха отбирают образцы на физико-химические и баллистические испытания.

Из пироксилинового пороха нельзя приготовить толстосводные пороховые шашки, применяемые в ракетной технике, так как практически невозможно удалить из таких шашек растворитель, а их размеры вследствие усадки, которая всегда имеет место при изготовлении пироксилиновых порохов, не могут быть соблюдены с достаточной точностью.

3. Нитроцеллюлозные пороха на труднолетучем растворителе (баллиститные пороха)

Пироксилиновые пороха позволяли успешно решать задачи стрельбы из всех артиллерийских систем, вплоть до окончания первой мировой войны. Дальнейшее развитие отечественной артиллерии настоятельно требовало разработки и применения баллиститных порохов.

Основными компонентами баллистических порохов являются низкоазотные нитраты целлюлозы (коллоксилины), труднолетучий растворитель — пластификатор, стабилизатор химической стойкости и различные добавки. В США в баллистических порохах применяют пирокспли-ны с содержанием 13,15% и 13,25% азота.

В качестве труднолетучего растворителя в производстве баллистических порохов наиболее широкое применение получили нитроглицерин и нитродигликоль.

Нитроглицерин является продуктом обработки глицерина смесью азотной и серной кислот и представляет собой мощное взрывчатое вещество, обладающее высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Нитроглицерин при нормальных условиях является жидкостью и служит хорошим пластификатором низкоазотных нитратов целлюлозы. В процессе изготовления порохов нитроглицерин не удаляется из пороховой массы и является одним из основных компонентов готового пороха, во многом определяющим его физико-химические и баллистические свойства.

Нитродигликоль — продукт обработки диэтиленгликоля смесью азотной и серной кислот. Диэтиленгликоль получается синтетическим путем из этилена. Как и нитроглицерин, нитродигликоль — жидкость, обладающая хорошими пластифицирующими свойствами.

Во время второй мировой войны в Германии стали применять пороха, полученные на основе нитродигликоля, в состав которых вводилось до 30% нитрогуанидина, представляющего собой белое кристаллическое вещество со взрывчатыми свойствами. Такие пороха получили название гуанидиновых или гудолевых.

Пороха, содержащие нитрогуанидин, применяются в США и называются трехосновными порохами в отличие от пироксилиновых порохов, называемых одноосновными, и нитроглицериновых, называемых двухосновными. В качестве стабилизатора химической стойкости баллистических порохов наибольшее применение получили централиты — кристаллические вещества белого цвета. В готовом порохе содержится от 1 до 5% централита. Содержание влаги в баллистических порохах обычно не более 1%.

В зависимости от назначения порохов в их состав вводятся различные добавки. Для снижения температуры горения в целях уменьшения разгарного действия пороха в его состав вводят так называемые охлаждающие добавки, в качестве которых

используют динитротолуол, дибутилфталат и некоторые другие вещества. Динитротолуол и дибутилфталат являются к тому же дополнительными пластификаторами коллоксилина. Их содержание в готовом порохе может быть от 4 до 11%.

В состав порохов может вводиться так называемая технологическая добавка, облегчающая процесс изготовления пороховой массы. Широкое применение в качестве технологической добавки получил вазелин, содержание его в порохе до 2%.

Для исключения явлений прерывистого и нестабильного горения в реактивных двигателях в состав порохов вводят каталитические и стабилизирующие добавки. Их содержание в порохе невелико: от 0,2 до 2—3%. В качестве катализаторов горения применяют соединения свинца, а в качестве стабилизирующих добавок используют мел, окись магния и другие тугоплавкие вещества.

Составы некоторых отечественных и иностранных баллистических порохов приведены в табл. 10.

Таблица 10

Наименование компонентов порохов	Содержание компонентов, %					
	орудийные пороха			реактивные пороха		
	нитроглициериновые	нитро-дигликолевые	минометные пороха	HM ₂	MRN (США)	M-13 (США)
Коллоксилин	56,0	64,0	58,5	54,0	56,5	57,3
Нитроглицерин	26,0	-	40,0	27,0	28,0	40,0
Нитродигликоль	-	33,0	-	-	-	-
Централит	3,0	2,0	1,0	-	4,5	1,2
Динитротолуол	9,0	-	-	15,0	-	-
Дибутилфталат	5,0	-	-	-	-	-
Вазелин	1,0	1,0	0,5	2,0	0,08	-
Вода ,(свыше 100%)	0,5	0,5	0,5	-	0,6	0,5
Графит	-	-	-	-	-	0,1
Окись магния	-	-	-	2,0	-	-
Прочие вещества	-	-	-	-	11,0	0,9

Пороха баллистического типа применяются для стрельбы из орудий, минометов и реактивных установок.

Орудийные пороха изготавливаются преимущественно в виде трубок 1 (рис. 12) различной длины и с различной толщиной горящего свода.

Минометные пороха готовятся в форме пластинок, лент 2, спиралей и колец 3.

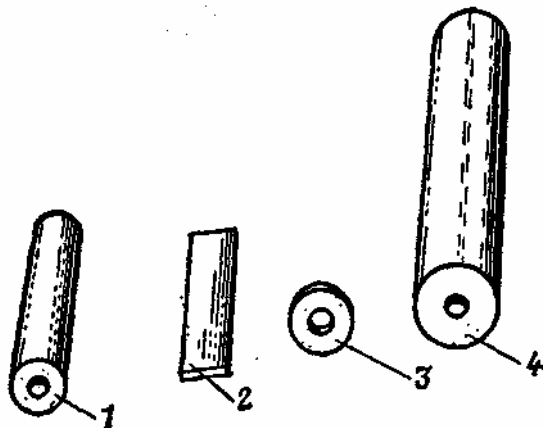


Рис. 12. Форма баллиститных порохов:
1-трубка (трубчатый порох); 2-лента (ленточный порох); 3— кольцо; 4— шашка

Реактивные пороха изготавливаются в виде толстосводных одноканальных шашек 4 цилиндрических и более сложных геометрических форм.

Современная технология позволяет изготавливать пороховые шашки с толщиной горящего свода до 300 мм и более.

Процесс изготовления баллиститных порохов осуществляется следующим образом.

Компоненты порохов смешивают в теплой воде. При таком смешении происходит набухание коллоксилина в растворителях.

После предварительного удаления влаги массу многократно пропускают через горячие вальцы. На вальцах происходит дальнейшее удаление влаги, уплотнение и пластификация пороховой массы. Из пороховой массы получают пороховые элементы необходимой формы и размеров.

Для получения трубок пороховое полотно после вальцов скатывают в рулоны и прессуют через соответствующие матрицы. Трубки разрезают на пороховые элементы определенной длины. Для получения пороха пластинчатой, ленточной и кольцевой формы пороховую массу пропускают через вальцы с точно регулируемым зазором. Полученное полотно разрезают на пластинки или ленты заданных размеров или вырубают из него кольца.

Технологический процесс изготовления баллиститных порохов менее продолжителен и более экономичен, чем пироксилиновых, позволяет широко использовать автоматизацию, однако более взрывоопасен.

В зависимости от назначения, химического состава, формы и размеров пороховых элементов различают марки порохов баллистического типа. Условные обозначения марок порохов самые разнообразные. Пороха для реактивных двигателей имеют обозначения, указывающие только назначение пороха и его ориентировочный состав. Указания о форме и размерах элементов в обозначении реактивных порохов не содержится. Например, Н, НМ₂ означают реактивный порох, в котором в качестве пластификатора используется нитроглицерин, во втором порохе содержится добавка окиси магния (2%).

Орудийные баллиститные пороха обозначают следующим образом: за буквами, указывающими ориентировочный состав пороха, через тире проставляется цифра, обозначающая группу калорийности пороха, а затем дробью обозначается размер трубки аналогично пироксилиновым порохам. В отличие от пироксилиновых порохов при обозначении трубчатых баллиститных порохов буквы ТР не проставляются, так как баллиститные пороха не изготавливаются в виде зерен цилиндрической формы. Например, марка НДТ—3 18/1 означает, что порох нитроглицериновый, содержащий в качестве охлаждающей добавки динитротолуол, относящийся по калорийности к третьей группе, имеет форму одноканальной трубки с толщиной горящего свода 1,8 мм. Пластинчатые пороха обозначаются буквами и цифрами: НБПл 12—10 — нитроглицериновый баллиститный минометный пластинчатый порох с толщиной свода 0,12 мм и шириной пластинки 1 мм.

Ленточные пороха обозначаются буквой Л и числом, соответствующим толщине горящего свода в сотых долях

миллиметра, например НБЛ-33. Кольцевые пороха обозначаются буквой К, за которой следует дробное число: числитель обозначает внутренний диаметр кольца в миллиметрах, знаменатель — наружный диаметр. За дробью через тире проставляется число, обозначающее толщину горящего свода в сотых долях миллиметра, например НБК 32/64—14.

Баллиститные пороха отличаются разнообразием химического состава и геометрических форм, в связи с чем они различны по своим физико-химическим и баллистическим свойствам.

Баллиститные пороха по сравнению с пироксилиновыми обладают меньшей гигроскопичностью.

Положительным свойством баллиститных порохов, широко используемым в практике, является возможность в значительных пределах изменять их энергетические характеристики путем изменения в довольно широком диапазоне содержания труднолетучего взрывчатого растворителя и введения в их состав различных добавок. Это позволяет значительно расширить область практического применения данной группы нитроцеллюлозных порохов. Теплота сгорания баллиститных порохов в зависимости от их состава может изменяться в пределах от 650 до 1500 ккал/кг. По теплоте сгорания баллиститные пороха делят на высококалорийные (1000—1500 ккал/кг), среднекалорийные (800—1000 ккал/кг) и низкокалорийные (650—800 ккал/кг). Низкокалорийные пороха часто называют холодными или малоэрозионными.

У баллиститных порохов в широком диапазоне могут меняться скорость горения, сила пороха и другие характеристики.

4. Пороха — механические смеси

К этому виду порохов относятся взрывчатые системы, представляющие собой механическую смесь трех основных компонентов: **окислителя, горючего и связующего вещества**. В готовом порохе частицы компонентов химически не связаны друг с другом, а равномерно распределены по массе пороха и находятся в тесном контакте.

С учетом природы компонентов, назначения составов и специфики их производства пороха — механические смеси можно разделить на четыре группы: дымные пороха; смесевые твердые ракетные топлива; твердые топлива для прямоточных воздушных реактивных двигателей; пиротехнические составы.

Дымный порох состоит из калиевой селитры (75%), древесного угля (15%) и серы (10%)¹. Селитра является окислителем, легко отдающим кислород при нагревании. Уголь — горючее вещество. Сера служит цемен-татором (связывающим селитру с углем) и одновременно горючим, облегчающим воспламенение пороха (сера загорается при более низкой температуре, чем уголь). Калорийность дымного пороха 660—700 ккал/кг, температура горения 2500—2600⁰С. При сгорании 1 кг дымного пороха образуется примерно 0,436 кг газов (занимающих при нормальных условиях объем 280 л) и 0,564 кг твердых продуктов. Значительное содержание твердых частиц (более 50%) обуславливает низкую работоспособность пороховых газов. Стрельба зарядом из дымного пороха сопровождается большим дымооб-разованием и сильным износом канала ствола. По этим причинам дымный порох для метательных целей в современном огнестрельном оружии, кроме охотничьих ружей, не применяется.

В настоящее время дымный порох используется в военной технике для вспомогательных целей: для изготовления воспламенителей пороховых зарядов к орудиям, минометам и ракетам; для снаряжения различных дистанционных устройств, служащих для передачи луча огня.

Дымный порох обладает рядом положительных свойств как воспламенитель: легко воспринимает луч огня от штатных средств воспламенения (капсюлей, капсюльных втулок), быстро сгорает, образуя большое количество газов и твердых раскаленных частиц, обладает хорошей воспламеняющей способностью.

Дымный порох отличается высокой химической стойкостью. Отрицательным его свойством является способность поглощать воду. С увеличением количества влаги в порохе ухудшается его способность к воспламенению. Для нормального воспламенения содержание влаги в порохе не должно превышать 0,7—1,0%. При

¹ Такое соотношение компонентов было установлено на основе работ гениального русского ученого М.В. Ломоносова.

влажности более 2,0% дымный порох воспламеняется с трудом. При содержании влаги свыше 15% он не воспламеняется. Воспламенители из увлажненного дымного пороха могут стать причиной затяжных выстрелов, неполного сгорания порохового заряда и, как следствие этого, недолетов и повышенного рассеивания снарядов. Увлажненный дымный порох, входящий в замедлители, усилители, вышибные заряды, средства воспламенения, может стать причиной ненормального их действия.

Необходимо предохранять дымный порох и изделия из него от увлажнения. Достигается это герметизацией узлов и деталей, содержащих дымный порох, а также хранением их в герметической укупорке.

При обращении с дымными порохами следует соблюдать меры предосторожности, так как они очень чувствительны к действию искры, пламени, а также к удару и трению.

Промышленность выпускает несколько сортов дымного пороха.

Для изготовления воспламенителей применяются: крупнозернистый дымный порох КЗДП и дымные ружейные пороха (ДРП) № 1, 2, 3 (чем больше номер сорта, тем меньше размер зерна).

Как дымные пороха в свое время не смогли удовлетворить возросших требований, предъявляемых к огнестрельному оружию, и на их смену пришли нитроцел-люлозные пороха, так по мере развития ракетной техники баллиститные пороха оказались не в состоянии полностью удовлетворить более высокие тактико-технические требования. У баллиститных порохов сравнительно невысокий единичный импульс I_1 (180—230 кгс • с/кг), для обеспечения их нормального горения необходимо давление 40—60 кгс/см², они обладают узким интервалом скоростей горения, значительной зависимостью скорости горения от давлений и начальной температуры заряда. Кроме того, технология производства баллиститных порохов ограничивает возможности создания крупногабаритных зарядов, а сами заряды отличаются недостаточно высокой физической стабильностью.

В связи с этими недостатками баллиститных порохов было уделено большое внимание разработке и созданию для реактивных двигателей смесевых топлив.

Интересно отметить, что смесевые топлива разрабатывались немцами еще во время второй мировой войны.

Разработка их в то время была вызвана главным образом острой нехваткой сырья для нитроцеллюлозных порохов. В США разработкой смесевых топлив начали заниматься еще раньше, в 1933г., однако приемлемые составы были созданы только в пятидесятые годы.

В современных смесевых топливах функции горючего и связующего, как правило, выполняет одно вещество, называемое горюче-связующим веществом. От природы горюче-связующего вещества зависят физическая структура, механическая прочность и технологические качества топлив. В качестве горюче-связующих веществ применяются полимерные материалы: асфальтоуглеводородные смолы, формальдегидная смола, каучуки и др. Их содержание в готовом продукте может быть от 15 до 25%.

В качестве окислителя наиболее широкое применение получил перхлорат аммония. Его содержание колеблется от 60 до 80%. Применяются также перхлорат калия, нитрат аммония. Перечисленные вещества сравнительно дешевы и доступны и в то же время имеют высокую плотность и удовлетворительные энергетические характеристики.

В целях увеличения энергетических характеристик смесевых топлив в их состав часто вводят металлическое горючее, главным образом алюминий, в виде мелкодисперсного порошка. Количество алюминия в смеси-вом топливе может составлять 5—20%.

Для регулирования скорости и процесса горения смесевых топлив в их состав вводят специальные добавки в количестве 0,5—5%.

Для улучшения технологических свойств могут вводиться технологические добавки.

Важной особенностью смесевых топлив, имеющей большое практическое значение, является то, что заряды из них могут быть получены методом отливки, причем состав может заливаться непосредственно в камеру двигателя. Это позволяет изготавливать из смесевого топлива шашки практически любых размеров.

Твердые топлива для прямоточных воздушных реактивных двигателей имеют запас собственного кислорода и других окислительных элементов, достаточный лишь для предварительного горения.

Полное окисление продуктов предварительного горения осуществляется за счет кислорода воздуха, подаваемого в камеру ракетного двигателя с помощью специальных устройств.

Смесевые топлива лишены многих недостатков, свойственных баллиститным порохам, однако им присущи свои недостатки: большая зависимость параметров горения от размеров частиц веществ, входящих в их состав, гигроскопичность, взрывоопасность, высокая стоимость.

Поэтому в современной ракетной технике в зависимости от назначения и типа ракетного оружия применяют как смесевые топлива, так и баллиститные пороха.

Пиротехнические составы представляют собой механические смеси различных компонентов, способные к закономерному горению как за счет собственного кислорода, так и за счет кислорода воздуха. Они предназначены для получения специального пиротехнического эффекта: светового, звукового, дымового, цветового и т. п.

Пиротехнические составы широко используются в военном деле, в народном хозяйстве, при проведении торжеств (фейерверки, салюты). Основными компонентами пиротехнических составов являются горючее, окислитель и цементатор. При выборе компонентов и их количественного содержания руководствуются необходимостью получения требуемого пиротехнического эффекта.

ЗАРЯДЫ

1. Общие сведения о зарядах

В артиллерии метательным зарядом¹ или просто зарядом называют часть выстрела, предназначенную для сообщения снаряду движения по каналу ствола и при полете в воздухе с заданной скоростью.

Порох является основной составной частью любого заряда, источником определенного количества энергии, обеспечивающего желаемый метательный эффект.

Масса пороха в заряде для каждого типа оружия и снаряда определяется специальными расчетами при его разработке и уточняется опытной стрельбой. Масса пороха подбирается таким образом, чтобы заряд обеспечивал заданную начальную скорость снаряда при давлении пороховых газов, не превышающем предела, обеспечивающего прочность ствола, снаряда и нормальное функционирование артиллерийской системы в целом.

Как правило, для каждого типа снаряда существует свой заряд вполне определенной конструкции и массы, состоящий из одних и тех же порохов. Ни в коем случае нельзя использовать для стрельбы заряд, предназначенный другому типу снаряда, так как стрельба будет неэффективной и даже может привести к выводу орудия из строя.

Например, если при стрельбе тяжелым осколочно-фугасным снарядом использовать заряд от более легкого бронебойно-трассирующего снаряда, то осколочно-фугасный снаряд будет двигаться по каналу ствола с меньшей скоростью. Медленнее будет увеличиваться и объем, занимаемый пороховыми газами. Давление пороховых газов будет расти значительно быстрее и может

¹ Метательные заряды часто называют боевыми зарядами, хотя первое название более точно определяет характер их действия.

превысить допустимую величину. Произойдет раздутие или разрушение ствола, и орудие окажется непригодным к дальнейшему использованию.

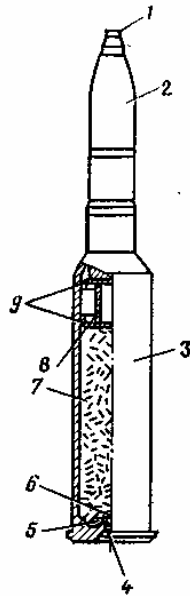


Рис. 13. Выстрел унитарного (патронного) заряжания: 1 — взрыватель; 2 — снаряд; 3 — гильза; 4 — капсюльная втулка; 5 — пламегаситель обратного пламени; 6 — воспламенитель; 7 — порох; 8 — цилиндрок; 9 — кружки.

Обычно возможность использования заряда, не предназначенного для того или иного снаряда, стараются исключить при его разработке. Это не всегда удается сделать. И тогда вся ответственность за правильное использование зарядов ложится на орудийный расчет. Следует строго следить, чтобы каждый тип снаряда применялся с предназначенным для него зарядом. Указания о том, какой следует применять заряд, имеются в таблицах стрельбы.

В зависимости от задач стрельбы, типа орудия и снаряда применяют постоянные или переменные заряды.

Постоянные заряды характеризуются неизменной во время стрельбы массой пороха и предназначены для сообщения снаряду одной определенной начальной скорости.

Постоянные заряды применяются для танковых пушек, в выстрелах, у которых снаряд 2 (рис. 13) и заряд в гильзе 3 представляют собой единую конструкцию, а также в выстрелах с бронебойными и кумулятивными снарядами.

Переменные заряды — это такие заряды, конструкция и условия заряжания которых позволяют изменять при стрельбе массу пороха.

С помощью переменного заряда при стрельбе из одного и того же орудия одним типом снаряда можно получать различные начальные скорости и эффективно поражать цели, расположенные на разных дальностях, при минимально необходимом расходе боеприпасов и с сохранением живучести стволов. Переменные заряды состоят из двух частей основного пакета 2 (рис. 14, рис. 15),

масса которого подбирается исходя из условия обеспечения минимальной дальности

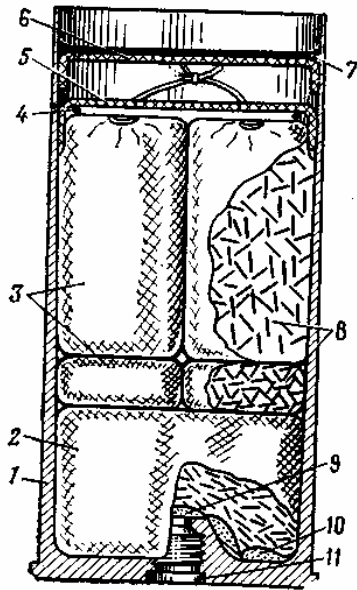


Рис. 14. Полный переменный заряд к 122-лш гаубице образца 1938 г.:

1 — гильза; 2 — основной пакет; 3 — дополнительные пучки; 4 — размеднитель; 5 — нормальная крышка; 5 — усиленная крышка; 7 — герметизирующий состав ПП 95/5; « — порох; 9 — воспламенитель; 10 — пламегаситель обратного пламени; 11 — капсюльная втулка

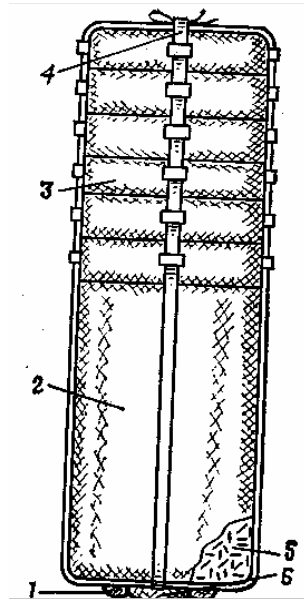


Рис. 15. Заряд выстрела картузного (безгильзового) заряжения:

1 — пламегаситель обратного пламени; 2 — основной пакет; 3 — дополнительные пучки; 4 — тесьма; 5 — порох; 6 — воспламенитель

стрельбы из данного орудия и взводимости¹ механизма взрывателя, и одного или нескольких дополнительных пучков 3 с одинаковой или разной массой.

¹ Механизм взрывателя взводится от инерционных нагрузок, возникающих при движении снаряда по каналу ствола.

Заряд, состоящий из основного пакета и полного комплекта дополнительных пучков, называют полным переменным зарядом. При стрельбе с полным переменным зарядом должна обеспечиваться наибольшая начальная скорость и, следовательно, наибольшая дальность стрельбы.

Отнимая от полного заряда один или несколько дополнительных пучков, получают промежуточные заряды. При стрельбе промежуточными зарядами величина начальной скорости снаряда находится между максимальным и минимальным значением начальной скорости для данного переменного заряда. Каждый промежуточный заряд обозначается соответствующим порядковым номером, возрастающим по мере убывания массы пороха и соответствующим количеству извлеченных из заряда пучков.

Если разница между наибольшим и наименьшим значением начальной скорости невелика, то дополнительные пучки делают равной массы.

При значительной разнице обычно делают два набора дополнительных пучков: для больших скоростей делают пучки большей массы, для меньших скоростей — пучки меньшей массы.

Категорически запрещается составлять какие бы то ни было комбинации из пакетов и дополнительных пучков пороха, не предусмотренные таблицами стрельб, и в особенности добавлять пучки пороха к штатному заряду сверх установленного количества для увеличения дальности стрельбы, так как это может вывести орудие из строя.

В состав заряда могут входить одна или несколько марок пороха. Переменные заряды, как правило, изготавливаются из нескольких, чаще всего из двух, марок пороха, и поэтому называются комбинированными.

Необходимость делать заряды из нескольких марок порохов обусловлена тем, что при переходе от полного заряда к промежуточному увеличивается свободный объем, в котором происходит горение пороха, что изменяет характер газообразования и нарастания давления при выстреле.

Обычно основной пакет переменного заряда изготавливается из тонкосводного пороха, а дополнительные пучки — из пороха с большей толщиной горящего свода. В этом случае при стрельбе с наименьшим зарядом надежно обеспечивается получение заданной минимальной начальной скорости снаряда при полном сгорании

пороха и давлении пороховых газов, достаточном для взведения механизма взрывателя. При стрельбе полным зарядом обеспечивается заданная максимальная начальная скорость снаряда, величина среднего максимального давления пороховых газов при этом не выходит за установленные пределы, так как горение толстосводного пороха дополнительных пучков замедляет газообразование в процессе выстрела.

От метательного заряда требуется обеспечение не только заданной начальной скорости снаряда при определенном давлении пороховых газов, но и однообразия начальных скоростей в целях получения удовлетворительной кучности стрельбы. Это достигается строгим соблюдением величины массы пороха, а также соответствующей конструкцией самого заряда, которая должна обеспечивать однообразные условия воспламенения и горения пороха.

В зависимости от способа и условий заряжания орудия и конструкции зарядной камеры порох помещается в гильзу 3 (рис. 13), 1 (рис. 14) или картуз.

Обычно гильза 3 (рис. 13) металлическая; латунная или стальная. Несколько лет назад в США стали применять гильзу из материала, сгорающего при выстреле. Картуз, в который помещается порох 5 (рис. 15), представляет собой матерчатый мешок. Картузная ткань должна полностью сгорать при выстреле, не оставляя в зарядной камере тлеющих остатков, так как они могут воспламенить очередной, вновь вкладываемый заряд.

В последние годы за рубежом разработан так называемый жесткий картуз из пластмассы (полистирола) или целлулоида.

Кроме пороха в состав заряда могут входить элементы, наличие которых обусловлено тактико-техническими и эксплуатационными требованиями: воспламенитель, пламегаситель, флегматизатор, размеднитель, обтюрирующее (уплотняющее) устройство.

Для каждого заряда устанавливается строго определенный порядок расположения элементов, который должен соблюдаться при сборке и ремонте зарядов на арсеналах (базах) и служебном обращении в войсках.

Большое значение для обеспечения нормального действия заряда имеют условия и характер воспламенения. Только при одновременном и кратковременном воспламенении всех пороховых элементов заряда будет нормальное, надежное его действие.

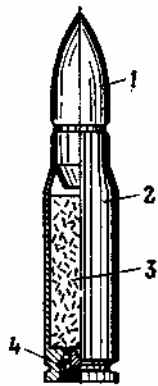


Рис. 16. Патрон к стрелковому оружию:

1 — пуля; 2 — металлическая гильза; 3 — порох; 4 — капсюль-воспламенитель

Для воспламенения небольших зарядов (до десятков граммов) достаточно импульса, создаваемого при срабатывании средства воспламенения: капсюля-воспламенителя 4 (рис. 16) или капсюльной втулки. При большой массе пороха импульса от средств воспламенения для быстрого и безотказного воспламенения заряда недостаточно. Для исключения отказов и затяжных выстрелов, обусловленных увеличением времени воспламенения, применяют воспламенитель 9 (рис. 14) из дымного пороха, помещенный в плоский матерчатый мешочек (картуз).

В относительно небольших зарядах, имеющих сравнительно малую длину, воспламенитель располагают в нижней части заряда. Если заряд длинный (более 300—400 мм), то воспламенитель делят на две части, одну из которых располагают в нижней части заряда, другую — примерно на середине заряда.

На характер воспламенения заряда существенное влияние оказывает форма пороховых элементов. В зарядах из зеренных порохов беспорядочное, хаотичное и в то же время компактное расположение зерен препятствует свободному проходу продуктов горения воспламенителя по всей длине заряда.

Использование для воспламенения зарядов из зеренных порохов воспламенительной системы, состоящей из капсюльной втулки и воспламенителя, расположенного в нижней части заряда, в ряде случаев приводило к резкому повышению давления пороховых газов при стрельбе. Это объясняется одновременным воспламенением различных частей заряда, в результате чего наиболее удаленная от воспламенителя часть заряда воспламеняется и сгорает в условиях достаточно высокого дав-

ления пороховых газов, образовавшихся при сгорании массы пороха, расположенной ближе к воспламенителю. Быстрое сгорание пороха при высоких давлениях при-

водит к резкому возрастанию давления в стволе орудия, что может стать причиной его раздутия или разрушения.

Для улучшения условий воспламенения зарядов из зерновых порохов по центральной оси располагают пучок трубчатого пороха в количестве 8—12% массы заряда. Огонь от воспламенителя по трубчатому пороху быстро распространяется по всему заряду, обеспечивая быстрое и равномерное его воспламенение.

В США широкое распространение получил стержневой метод воспламенения заряда. По центральной части оси заряда располагают стержневой воспламенитель 3 (рис. 17), представляющий собой трубку с отверстиями (ее называют «флейтой»), заполненную дымным порохом и соединенную с капсюльной втулкой 1. С помощью трубки-«флейты» достигается надежное воспламенение заряда, состоящего только из зерновых порохов 2.

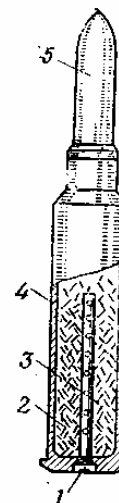


Рис. 17. Заряд со стержневым воспламенителем:

1 — капсюльная втулка; 2 — порох; 3 — стержневой воспламенитель; 4 — гильза; 5 — снаряд

Для устранения дульного или обратного пламени при стрельбе применяют пламегасители. В качестве гасителя дульного пламени применяют обычно сернокислый калий, который помещают в картуз и располагают сверху заряда.

Для устранения обратного пламени используют пламегасящие пороха. Определенное количество такого пороха размещают вместе с воспламенителем в нижней части заряда.

При выстреле в результате взаимодействия медного ведущего пояска снаряда с нарезами канала ствола орудия происходит омеднение канала ствола. В результате омеднения изменяется профиль поперечного сечения канала ствола, что оказывает влияние на нормальное функционирование ведущего пояска снаряда. Для устранения омеднения ствола орудия применяют размеднитель 4 (рис. 14). Размеднитель представляет собой тонкую свинцовую

проволоку, которую в виде мотка укладывают поверх пороха. При выстреле свинец испаряется и образует с медью, осевшей на стенки ствола, сплав, легко удаляемый потоком пороховых газов при следующем выстреле.

В целях повышения живучести стволов применяют флегматизатор, представляющий собой лист папиросной бумаги, на который наносится слой легкоплавкого сплава из органических соединений (парафин, церезин). Обычно флегматизатор располагают вокруг заряда, чаще — в верхней его части. При выстреле сплав расплавляется и испаряется, снижая температуру пороховых газов. Пары органических веществ, входящих в состав флегматизатора, образуют своеобразную теплозащитную пленку. Таким образом уменьшается разгарное действие пороховых газов.

Обтюрирующие устройства состоят из картонных кружков 9 (рис. 13), цилиндриков 8 и крышек 5 (рис. 14), б, которые определенным образом закреплены в заряде, заполняя свободное пространство между верхней частью заряда и дном снаряда.

Обтюрирующее устройство выполняет две функции: обеспечивает необходимую жесткость крепления заряда в гильзе, исключая его перемещение в осевом направлении в процессе эксплуатации; в начальный момент горения заряда предотвращает прорыв пороховых газов в зазоре соединения дульца гильзы со снарядом.

2. Устройство зарядов

Устройство зарядов определяется прежде всего их назначением и зависит от типа оружия, для которого они предназначены, его тактико-технических характеристик.

Заряды к патронам стрелкового оружия имеют одинаковое устройство, обусловленное однотипностью их конструкции. Все патроны стрелкового оружия состоят из металлической гильзы 2 (рис. 16) с капсюлем-воспламенителем 4, пороха 3, помещенного в гильзу, и пули 1, соединенной с гильзой.

Форма пороховых элементов для стрелкового оружия должна обеспечивать хорошую сыпучесть, необходимую для автоматического снаряжения патронов. Для достижения большой дальности стрельбы при малых размерах патрона нужен порох с

высокой гравиметрической плотностью. С этой целью применяют пороха сферической формы или графитованные. Для короткоствольного стрелкового оружия (револьверы, пистолеты, пистолеты-пулеметы) применяют пороха с тонким сводом: пластинчатые и пористые, обеспечивающие очень быстрое нарастание давления. Для стрелкового оружия с длинным стволом (винтовки, пулеметы) применяют флегматизированные пороха, обеспечивающие прогрессивное горение.

Применение флегматизированных порохов позволяет более эффективно использовать энергию пороха. При одной и той же массе флегматизированный порох, по сравнению с нефлегматизированным, вследствие понижения интенсивности газообразования в начальный момент выстрела и прогрессивного горения дает меньшее максимальное давление пороховых газов и начальную скорость пули. Но если увеличить массу флегматизированного пороха до величины, при которой максимальное давление пороховых газов сравняется с максимальным давлением пороховых газов нефлегматизированного пороха, то начальная скорость пули окажется выше.

Таким образом, флегматизированный порох позволяет повысить общее количество энергии заряда и увеличить начальную скорость пули при сохранении максимального давления пороховых газов на безопасном уровне.

Заряды для выстрелов ствольной артиллерии имеют различное устройство. В зависимости от способа заряжания артиллерийского орудия различают выстрелы унитарного (патронного), отдельного гильзового и картузного (безгильзового) заряжания. В выстрелах унитарного¹ (патронного) заряжания снаряд со взрывателем и заряд в металлической гильзе составляют одно целое. Заряжание артиллерийского орудия выстрелом унитарного заряжания производится в один прием.

В выстрелах отдельного гильзового и картузного (безгильзового) заряжания снаряд отделен от заряда.

Разница между этими выстрелами состоит в том, что у выстрелов отдельного гильзового заряжания пороховой заряд помещен в гильзу, а у выстрелов картузного заряжания — в матерчатый картуз.

¹ Слово «унитарный» означает единый, объединяющий в одно целое ряд составных частей.

Заряжание артиллерийского орудия выстрелами отдельного гильзового и картузного заряжания производится в два приема: сначала в ствол помещается снаряд, а затем в камеру помещается заряд в гильзе или картузе.

Заряды к выстрелам унитарного (патронного) заряжания являются постоянными. Порох 7 (рис. 13) помещают в гильзу 3 россыпью или в картузе из ткани. Если порох не заполняет всю гильзу, то между порохом и дном снаряда располагают картонное обтюрирующее устройство: кружки 9 и цилиндр 8.

Заряды из трубчатых порохов связывают в один или два пакета, которые вкладывают в гильзу.

Воспламенитель 6 с пламегасителем 5 обратного пламени располагают в нижней части заряда над капсюльной втулкой 4. Флегматизатор располагают по боковой поверхности заряда. Размеднитель укладывают на заряд сверху. На рис. 13 показан заряд без размеднителя и флегматизатора.

Заряды отдельного гильзового заряжания предназначены для выстрелов к пушкам, гаубицам, пушкам-гаубицам и гаубицам-пушкам калибра 122—175 мм. В основном заряды этой группы являются переменными. Постоянные заряды применяются только для выстрелов с кумулятивными и бронебойными снарядами.

Полный переменный заряд к 122-мм гаубице образца 1938 г. состоит из основного пакета 2 (рис. 14), порох марки 4/1, и шести дополнительных пучков 3, порох марки 9/7. Внизу заряда находится воспламенитель 9 с пламегасителем 10 обратного пламени. Поверх заряда укладывают размеднитель 4. Заряд закрыт нормальной крышкой 5 и усиленной крышкой 6, располагаемой по верху нормальной. Стык усиленной крышки с внутренней поверхностью гильзы заливают герметизирующим составом 7 ПП 95/5, состоящим из 95% петролатума и 5% парафина, за счет чего обеспечивается предохранение заряда от увлажнения в процессе хранения. Перед стрельбой усиленную крышку 6 извлекают, а нормальную крышку 5 обязательно оставляют, так как она предотвращает прорыв пороховых газов при выстреле. Заряд к минометному выстрелу состоит из основного (воспламенительного) заряда 5 (рис. 18) и дополни-

тельных пучков 4. Основной заряд 5 представляет собой определенное количество нитроглицеринового (ленточного или пластинчатого) пороха, помещенного в картонную гильзу с капсюлем, при стрельбе основной заряд 5 вставляют в трубку 3 стабилизатора мины.

Дополнительный заряд состоит из одного или нескольких дополнительных пучков 4, которые крепятся на трубке 3 стабилизатора. Каждый пучок состоит из нитроглицеринового или пироксилинового пороха, помещенного в матерчатый картуз. Если дополнительный заряд состоит из одного пучка, то он позволяет получить только одну начальную скорость. Несколько дополнительных пучков позволяют получить несколько начальных скоростей, установленных для данного миномета.

Заряд для реактивных двигателей состоит из одной или несколько пороховых шашек 5 (рис. 9), воспламенителя 7 и системы электровоспламенения — пиросвечей 6. Форма пороховых шашек весьма разнообразна.

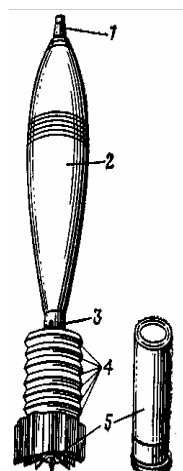


Рис. 18. Минометный выстрел:
1 — взрыватель; 2 — корпус мины; 3 — трубка стабилизатора; 4 — дополнительные пучки; 5 — основной (воспламенительный) заряд

Выбор формы шашек определяется в основном режимом работы двигателя. Для большинства снарядов полевой реактивной артиллерии требуется, чтобы тяга двигателя была постоянной в течение всего времени работы двигателя. Среди всех возможных форм поперечного сечения шашек относительное постоянство тяги обеспечивают шашки со специальной формой канала, например звездообразная шашка 3 со звездообразным каналом (рис. 19), и шашки, горящие одновременно по наружной поверхности и поверхности внутренних каналов (цилиндрическая одноканальная 1, телескопическая 4, трехлепестковая 6).

Шашки, горящие только с наружной поверхности (бесканальная цилиндрическая 2, крестообразная 5), имеют депрессивный характер горения: они обеспечивают высокую тягу в начале и низкую тягу в конце работы двигателя. Такую форму шашек используют в

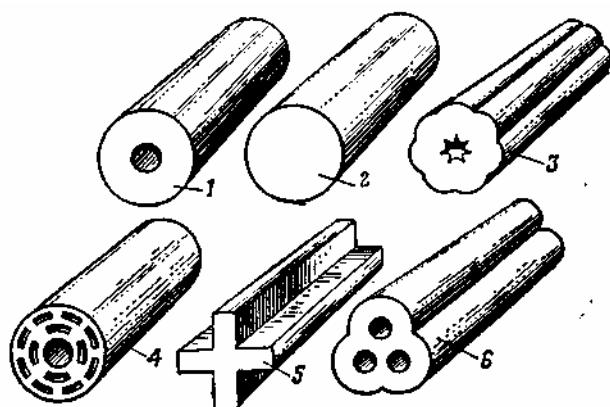


Рис. 19. Формы шашек реактивных зарядов: 1 — цилиндрическая одноканальная; 2 — бесканальная цилиндрическая; 3 — звездообразная со звездообразным каналом; 4 — телескопическая; 5 — крестообразная; 6 — трехлестковая

противотанковых и зенитных управляемых реактивных снарядах (ракетах), где желательно, чтобы скорость выхода снаряда на участок управляемого полета была

максимальной, а снаряд на этом участке двигался бы с меньшей скоростью и успевал бы реагировать на команды системы управления.

Для получения малого времени горения используют многошашечные заряды, толщина горящего свода у которых оказывается меньше, чем у одношашечных зарядов той же массы. У многошашечных зарядов время горения сокращается с увеличением числа шашек в заряде. С уменьшением времени горения сокращается активный участок полета и улучшается кучность стрельбы. Почти все снаряды полевой реактивной артиллерии имеют многошашечные заряды.

По своему устройству заряды весьма разнообразны. При выборе заряда (для того или иного вида оружия) исходят прежде всего из

желания как можно полнее и эффективнее использовать энергию, заключенную в порохе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За минувшие после окончания второй мировой войны годы Советские Вооруженные Силы поднялись на качественно новую ступень своего развития. Неизмеримо повысились их мобильность, ударная сила и огневая мощь.

В Постановлении ЦК КПСС «О 30-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941—1945 годов»¹ подчеркивается, что «Коммунистическая партия и Советское правительство проявляют постоянную заботу об укреплении оборонного могущества социалистической Родины, воспитании советских людей в духе высокой бдительности, делают все для того, чтобы мирный труд и безопасность страны были надежно защищены».

Эта забота продиктована тем, что империалистические агрессивные круги по-прежнему ратуют за военные приготовления, за раздувание военных бюджетов.

Прямые военные расходы государств, входящих в Североатлантический блок, возросли с 1949 по 1975 год почти в 7 раз.

В общей программе военных приготовлений капиталистических государств значительное место отведено исследованиям в области взрывчатых веществ и поро-

хов. Работы ведутся в направлении создания мощных ВВ и порохов и наиболее полного использования их энергии в целях увеличения эффективности действия обычных (неядерных) боеприпасов.

¹ «Правда», 9 февраля 1975 г.

В качестве примера, характеризующего повышение эффективности обычных боеприпасов за счет применения новых ВВ,4 можно указать на американскую бомбу BLU-82.("Прыжок Командоса"), впервые примененную

в 1971 г. во время войны во Вьетнаме [12]. Для снаряжения бомбы использовалась смесь из нитрата аммония, алюминиевого порошка, воды и загустителя. При взрыве бомбы радиус зоны разрушения строений составлял 450 м, а радиус зоны поражения живой силы вне укрытий — около 500 м. По оценке зарубежных специалистов взрыв такой бомбы по мощности уступает лишь взрыву ядерных боеприпасов.

Знание современных взрывчатых веществ и порохов необходимо каждому советскому воину. Эти знания и умелое применение их на практике помогут ему еще лучше овладеть своей военной специальностью и быть всегда готовым выполнить свой священный долг перед Родиной.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев К. К. Взрыв и взрывчатые вещества. Научно-популярная библиотека солдата и матроса. М., Воениздат, 1956.
2. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1960.
3. Будников М. А. и др. Взрывчатые вещества и пороха. М., Оборонгиз, 1955.
4. Горст А. Г. Пороха и взрывчатые вещества. М., «Машиностроение», 1972.
5. Клименко Г. К. Методы испытания порохов. М., Оборонгиз, 1941.
6. Куров Н. В., Должанский Ю. М. Основы проектирования пороховых ракетных снарядов. М., Оборонгиз, 1961.
7. Новожилов Б. В. Горение и взрыв, М., «Знание», 1966.
8. Покровский Г. И. Взрыв и его действие. Научно-популярная библиотека солдата и матроса. М., Воениздат, 1954.
9. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М., Оборонгиз, 1962.
10. Третьяков Г. М. Боеприпасы артиллерии. М., Воениздат, 1945.
11. Шиллинг Н. А. Взрывчатые вещества и снаряжение боеприпасов. Оборонгиз, 1946.
12. Журнал «Зарубежное военное обозрение», 1973—1975 гг.
13. Журнал «Техника и вооружение», 1970—1975 гг.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	<i>Стр.</i>
Предисловие	3
Глава 1. Взрывчатые вещества и пороха — источники энергии современного оружия	5
1. Область применения взрывчатых веществ и порохов —	
2. Энергия и мощность взрыва	7
3. Основные типы взрывчатых веществ по составу и классификация их по применению	9
Глава 2. Физико-химические основы взрывных превращений взрывчатых веществ	12
1. Понятие о явлении взрыва —	
2. Механизм распространения взрыва	14
3. Горение взрывчатых веществ	17
4. Возбуждение взрывных превращений и начальный импульс	19
Глава 3. О некоторых свойствах взрывчатых веществ, определяющих возможность их боевого использования	21
1. Энергетические характеристики взрывчатых веществ —	
2. Чувствительность взрывчатых веществ к начальным импульсам	24
3. Стойкость взрывчатых веществ	29
Глава 4. Разрушающее действие взрыва	32
1. Бризантное действие —	
2. Фугасное действие	33
3. Кумулятивное действие	34
4. Откольное действие	37
5. Зоны разрушений и передача взрыва на расстояние	38

Глава 5. Взрывчатые вещества, применяемые в военной технике	41
1. Основные требования, предъявляемые к взрывчатым веществам	—
2. Иницирующие взрывчатые вещества	43
3. Бризантные взрывчатые вещества	47
Глава 6. Основы применения порохов	57
1. Выстрел из огнестрельного оружия	—
2. Нежелательные явления при выстреле	63

