

ВЗРЫВ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКА

*Доцент кафедры
“Общетехнических дисциплин”
Мадалиев Ш.Б
и доцент кафедры
“Общетехнических дисциплин”
Хусанова Д. К
Чирчикского ВТКИУ*

Поражающее, подрывное, дробящее и разрушающее действие разрывного оружия (гранаты, мины, снаряды, ракеты) определяется энергией и мощностью применяемых взрывчатых веществ.

Внутренняя баллистика изучает явления, происходящие в канале ствола оружия во время выстрела, движение снаряда по каналу ствола и характер нарастания скорости снаряда как внутри канала ствола, так и в период последствия газов; занимается исследованием вопросов наиболее рационального использования энергии порохового заряда во время выстрела и составляет основную задачу - как снаряду данного веса и калибра сообщить определенную начальную скорость при условии, чтобы максимальное давление газов в стволе не превышало заданной величины [1].

Важнейшей частью в явлении выстрела является взрывчатое вещество (порох боевого заряда), образующий газы, двигающие всю систему: снаряд - пороховые газы - ствол.

Решение всех задач разрывного оружия и внутренней баллистики определяется энергией и мощностью взрыва взрывчатых веществ.

Энергия и мощность взрыва

Применение взрывчатых веществ (ВВ) в военном деле и народном хозяйстве основано на их использовании в качестве мощного источника энергии. В военном деле ВВ широко используется для различных целей – для метания снарядов (мин, пуль, гранат), для разрыва снарядов, для подрывных работ и др. В мирных целях ВВ используются в строительстве, геологии, в горнодобывающем деле, мелиорации и т.д.

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 [2].

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. Превращение одного вещества в другое происходит в результате изменения строения молекул. Перестройка молекул сопровождается выделением энергии, молекулы ВВ 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 выделяется при горении. 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. Следовательно, величина энергии, заключенная во взрывчатых веществах и порохах, не является основной причиной их применения для разрушительных и метательных целей. Основная причина заключается не в величине энергии, а в очень быстром ее выделении. Если сгорание 1 кг бензина в автомобильном двигателе происходит (в зависимости от мощности двигателя и его нагрузки) за 10...60 минут, то 1 кг пороха сгорает в зарядной камере артиллерийского орудия за несколько тысячных долей секунды, а взрыв 1 кг тротила длится всего лишь 30...40 стотысячных долей секунды. Энергия при взрыве выделяется в десятки миллионов раз быстрее, чем при сгорании топлив. Этим и объясняется колоссальная мощность взрыва. Например, мощность взрыва разрывного заряда 100-мм осколочно-фугасного снаряда составляет колоссальную мощность – около $14,71 \times 10^3$ МВт.

Мощность порохового заряда артиллерийского выстрела крупного калибра составляет $11,03 \times 10^3$ МВт.

ВВ при взрыве выделяет энергию за счет того, что небольшой объем твердого или жидкого ВВ превращается в огромный объем газов нагретых до температуры тысяч градусов. Для разных типов ВВ объем выделяющихся газов на 1 кг ВВ имеющего начальный объем не более $(0,8 \dots 1) 10^{-3}$ м³. составляет величину $(0,3 \dots 1)$ м³ и более. Образовавшиеся при взрыве горячие газообразные продукты распада ВВ начинают расширяться, производя механическую работу. Таким образом, ВВ имеют огромный запас скрытой химической энергии, который при взрыве выделяется мгновенно.

Мощность взрыва в реальных условиях не может быть реализована полностью из-за кратковременности ее действия, инерции масс перемещаемого или разрушаемого материала, на измельчение и разбрасывание материала, потери на нагрев окружающей среды, на остаточное тепло в продуктах взрыва после их окончательного расширения и на химические потери. В итоге полезная механическая работа взрыва часто не превышает $(1 \dots 2)\%$, а при взрывах в твердой среде - $(8 \dots 9)\%$ энергии содержащейся в ВВ. Однако огромное количество потенциальной энергии содержащейся в ВВ и порохах делает их незаменимыми, несмотря на неполное ее использование при взрыве. Большая мощность характерна для ВВ и в случае применения их для целей метания снарядов [3].

Понятие и классификация взрывов

Взрывом называется явление очень быстрого изменения химического или физического состояния взрывчатого вещества, сопровождающееся выделением большого количества тепла и образованием большого количества газов, создающих ударную волну, способную своим давлением вызывать разрушения, процесс быстрого превращения потенциальной энергии взрыва в механическую энергию.

Взрывчатыми веществами называются особые группы веществ, способные в результате внешних воздействий быстро превращаться в большое количество сильно нагретых газов.

Всякий взрыв характеризуется следующими признаками.

Первый признак взрыва - скоротечность взрыва. Время взрывчатого превращения практически применяемых количеств ВВ измеряется от сотых до миллионных долей секунды:

- заряд 205-мм гаубицы сгорает примерно за 0,03 с;
- заряд 122-мм гаубицы примерно за 0,008 с;
- заряд патрона за 0,0012 с;
- подрывная шашка динамита весом в 400 г за 0,00001 с.

Скоротечность взрыва определяет огромную, по сравнению с другими источниками энергии, мощность ВВ. Так, например, мощность порохового заряда винтовочного патрона весом в 3,2 г составляет 13056 кВт. Такую мощность имеют двигатели тяжелого бомбардировщика. При взрыве 1 кг динамита в течение 0,00002 с развивается мощность до $408 \cdot 10^6$ кВт.

Второй признак взрыва - образование большого количества газов. Количество выделяющихся при взрыве газов измеряется объёмом, который они занимали бы при температуре 0°C и давлении 101,3 кПа. При взрыве различных ВВ газообразных продуктов образуется приблизительно в 900...1000 раз больше по объёму, чем было вещества до взрыва. Отсюда понятны причины давлений при выстреле в канале ствола оружия - до 200...400 МПа. Напомним, что давление в цилиндрах современных двигателей внутреннего сгорания составляет всего 1 МПа. А в небольшом, размером со спичечную головку, кристаллике азиде свинца при взрыве развивается давление в 100×10^3 атмосфер.

Третий признак взрыва - выделение большого количества тепла. При взрыве 1 кг ВВ выделяется 2,09...5,02 МДж тепла, при этом температура взрывчатого превращения достигает (2500...3500) °С.

Перечисленные выше факторы, характеризующие взрыв, могут иметь разные численные значения. В связи с количественным изменением этих факторов изменяется и качественная сторона явления взрыва. Особое влияние на качество оказывает скорость взрывчатого превращения [4].

Различают следующие виды взрывов:

1. Физический – высвобождающаяся энергия является внутренней энергией сжатого или сжиженного газа. Сила взрыва зависит от внутреннего давления. Возникающие разрушения могут вызываться ударной волной от расширяющегося газа или осколками разорвавшегося резервуара.

2. Химический – взрыв, вызванный быстрой экзотермической химической реакцией, протекающей с образованием сильно сжатых газообразных или парообразных продуктов, сопровождающееся выделением, значительного количества теплоты. Образовавшиеся газообразные продукты, нагретые за счет теплоты реакции до высокой температуры, обладают высоким давлением и, расширяясь, производят механическую работу.

3. Атомный взрыв. Быстропротекающие ядерные и ли термоядерные реакции (реакции деления или соединения атомных ядер), при которых освобождается очень большое количество теплоты. Продукты реакции, оболочка атомной или водородной бомбы и некоторое количество окружающей бомбу среды мгновенно превращается в нагретые до очень высокой температуры газы, обладающие соответственно высоким давлением. Явление сопровождается колоссальной механической работой [5].

В зависимости от скорости реакции взрывчатого превращения различают три вида взрывов: быстрое горение, собственно горение, детонация.

Быстрое горение: скорость распространения реакции по массе ВВ не превышает несколько десятков метров в секунду, давление газов при взрыве нарастает сравнительно медленно, газы производят работу по метанию окружающих тел. Примером такого взрыва, служит взрыв боевого заряда оружия.

Собственно взрыв: скорость распространения реакции по массе ВВ измеряется тысячами метров в секунду. Такой взрыв характеризуется резким нарастанием давления, ударом газов по окружающей среде, раскалыванием и дроблением окружающих предметов.

Детонация: процесс разложения ВВ протекает с максимальной возможной скоростью, измеряемой обычно тысячами м/с, резкий скачок давления и удар газов с максимальным разрушительным эффектом. Например, скорость детонации пироксилина – до 6800 м/с, нитроглицерина – до 8200 м/с, гексогена – до 8400 м/с. Большинство ВВ в определенных условиях способно детонировать [6].

Таким образом, скорость взрывчатого превращения ВВ является одной из всех характеристик, определяющих силу взрыва. Поэтому рассмотренные виды взрывчатых превращений определяют различия в боевом применении ВВ и являются основой для их классификации [5].

По боевому применению все ВВ делятся на четыре класса: инициирующие, дробящие, метательные и пиротехнические.

Иницирующими *ВВ* называются взрывчатые вещества, способные под действием начального импульса (удар, трение, сжатие, искра, пламя, нагрев) детонировать и вызывать воспламенение, взрыв или детонацию других ВВ. Иницирующие ВВ применяются для снаряжения капсюлей патронов, капсюльных втулок артиллерийских выстрелов и взрывателей к минам, снарядам и гранатам. Важнейшими представителями этой группы являются: гремучая ртуть, азид свинца, ТНРС, тетраген.

Гремучая ртуть (фульминат ртути), $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, – ртутная соль гремучей кислоты, инициирующее взрывчатое вещество.

Азид свинца – химическое соединение $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, соль азотистоводородной кислоты, кристаллическое вещество, инициирующее взрывчатое вещество.

Дробящими *ВВ* (бризантными от французского слова *briser* – дробить, разрушать) называются взрывчатые вещества, основным видом взрывчатого

превращения которых является детонация. Дробящие ВВ мало чувствительны к механическим воздействиям (трению, удару, прострелу пульей), но имеют хорошую восприимчивость к начальному импульсу от инициирующих ВВ. Это обеспечивает практическое удобство применения дробящих ВВ.

Метательными ВВ (пороха) называются взрывчатые вещества, дающие взрывчатое превращение в виде быстрого горения. Сравнительно медленное нарастание давления при их горении позволяет использовать энергию горения для метания различных снарядов. Поэтому метательные ВВ применяют, главным образом, для изготовления боевых и холостых зарядов к огнестрельному оружию, ракетам и т. п. Метательные ВВ принято разделять на пороха, представляющие собой механические смеси и пороха коллоидного типа – химические соединения.

Классификация порохов

По назначению (видам оружия) обычно пороха разделяются на четыре группы: орудийные пороха, пороха для стрелкового оружия, минометные пороха, ракетные пороха.

Бездымные пороха – пороха, являющиеся химическими соединениями. Основой всех бездымных порохов служит пироксилин (нитроклетчатка) – клетчатка – это хлопок или древесина обработанные смесью азотной и серной кислоты.

Пироксилиновый порох изготавливается из смеси пироксилинов № 1 (высокоазотный пироксилин с содержанием азота от 12,9 до 13,3%) и № 2 (низкоазотный пироксилин с содержанием азота от 11 до 12,3%). Винтовочные пороха содержат по 50% каждого вида пироксилина, орудийные – 20% пироксилина № 1 и 80% пироксилина № 2. Пироксилиновый порох изготавливается различной формы в виде: цилиндров, пластинок, зерен, трубок. Такие пороха применяются в большинстве патронов стрелкового и артиллерийского оружия.

Нитроглицериновый порох изготавливается из пироксилина, растворённого нитроглицерином. Нитроглицериновые пороха обычно содержат около 25% нитроглицерина, около 60...70% пироксилина и небольшое количество различных добавок. Нитроглицериновые пороха, изготовленные из пироксилина № 1 (высоко-азотного), называют кордитами; изготовленные из пироксилина № 2 (низкоазотного) – баллиститами. Основным недостатком нитроглицериновых порохов является высокая температура взрывчатого превращения (3000°-3500°С). Это ведет к значительному снижению срока службы оружия и делает применение нитроглицеринового пороха ограниченным. Однако в короткоствольных системах для получения большой начальной скорости применяются мощные пороха.

Физико-химические характеристики порохов

Количество тепла Q , выделяемого при сгорании 1 кг пороха – одна из важнейших характеристик, показывающая запас работы, сосредоточенный в 1 кг пороха. Для пироксилиновых порохов $Q=376,83 \cdot 10^4$ Дж, для нитроглицериновых $Q=460,57 \cdot 10^4$ Дж.

Объем газов (V м³/кг) образовавшихся при взрыве 1 кг пороха определяется при давлении 1 атм. и температуре 0 °С. Эта характеристика имеет существенное значение при определении величин давления в канале ствола оружия при выстреле. Для пироксилиновых порохов $V=0,90...0,97$ м³/кг, для нитроглицериновых – $V=0,80...0,86$ м³/кг.

Температура горения T – температура, которую имеют пороховые газы в момент их образования. Пироксилиновые пороха имеют температуру горения $T=(2200...2500)$ °С, нитроглицериновые – $T=(2700...3200)$ °С.

Баллистические характеристики порохов

Баллистическими характеристиками пороха называют величины, от которых зависят максимальное давление и скорость нарастания давления газов в канале ствола.

«Сила» пороха f (Дж/кг) – работа, которую могли бы совершить газы при сгорании 1 кг пороха. Наибольшей силой обладают нитроглицериновые пороха – около 1100 кДж/кг; меньшей – пироксилиновые – около 800 кДж/кг и еще меньшей – дымные – 300 кДж/кг.

Скорость горения пороха u (мм/с) при давлении 101,3 кПа (1 атм).

Основное отличие пороха от бризантных ВВ способность гореть с конечной относительно большой скоростью параллельными или концентрическими слоями. Скорость горения u зависит главным образом от давления p и выражается формулой:

$$u = Ap^{\nu};$$

где: u – скорость горения пороха, мм/с;

A – коэффициент;

p – давление пороховых газов, Па;

ν – показатель степени (для стрелкового оружия больше единицы, для артиллерийских систем меньше единицы).

Для пироксилиновых порохов $u=0,06...0,09$ мм/с; для нитроглицериновых $u=0,08...0,15$ мм/с при давлении $p=101,3$ кПа. При увеличении давления скорость горения возрастает примерно пропорционально давлению.

Так, при давлении в $p=200$ МПа для пироксилиновых порохов $u=0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 = 18000$ м/с.

При применении уравнения состояния в области внутренней баллистики необходимо учитывать объем молекул газов, выделяемых при сгорании 1 кг пороха, обозначенный α_k . Конкретный объем выделяемых газов выражается, как $\alpha_k \cdot m$, вычитаемый из общего объема V , т.е. появляется уточненное уравнение состояния для внутренней баллистики:

$$p(V - \alpha_k \cdot m) = mRT;$$

где: T – температура газов, К;

R – метрический размер пороха.

Чтобы получить α_k , принята следующая зависимость для бездымных

пироксилиновых порохов

$$\alpha_k = (1381 - 557 \cdot Q_v) \cdot 10^{-3};$$

где $Q_v = 0,775$ м³/кг – среднее значение физико-химических характеристик порохов.

Введем это значение в формулу

$$\alpha_k = (1381 - 557 \cdot Q_v) \cdot 10^{-3} = (1381 - 557 \cdot 0,775) \cdot 10^{-3} = 0,949 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Величины f и α_k определяются экспериментальным путем при подрыве манометрических бомб с различной плотностью зарядов (таб. 1).

Таблица 1. Значение α_k и f для некоторых порохов

Порох	α_k , м ³ /кг	f , Дж/кг
Черный порох	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$(28 \dots 30) \cdot 10^4$
Нитроцеллюлозный	$(0,9 \dots 1,1) \cdot 10^{-3}$	$(84 \dots 105) \cdot 10^4$
Нитроглицериновый	$(0,75 \dots 0,85) \cdot 10^{-3}$	$(90 \dots 120) \cdot 10^4$

Манометрическая бомба – прочный сосуд для снятия характеристик при подрыве ВВ.

По назначению (видам оружия) обычно пороха разделяются на четыре группы:

- 1) орудийные пороха;
- 2) пороха для стрелкового оружия;
- 3) минометные пороха;
- 4) ракетные пороха.

Законы горения пороха

Чтобы горение пороха началось, необходимо нагреть хотя бы небольшую часть его до температуры воспламенения, т. е. зажечь его. После этого выделяется количество тепла, необходимое для поддержания горения. Дымные пороха воспламеняются на открытом воздухе при температуре (270...320) °С; бездымные – при температуре около 200 °С. Момент, когда пороху сообщен такой начальный импульс, при котором он загорелся хотя бы в одной точке, называют *зажжением*. Далее в горении выделяют момент воспламенения, когда пламя распространяется по поверхности зерна. Распространение пламени вглубь зерна называют собственно горением. При исследовании свойств бездымных порохов и условий их горения было

установлено, что при одинаковых по форме и размеру зернах порохового заряда и при условии, что масса пороха однородна во всех направлениях, горение пороха происходит по так называемому геометрическому закону.

Положения этого закона горения следующие:

- воспламенение пороха в замкнутом объеме происходит мгновенно;
- горение бездымных порохов идет параллельными слоями с одинаковой со всех сторон скоростью.

Установление этих закономерностей позволило внутренней баллистике производить теоретически все расчеты, связанные с использованием порохов. Однако практика показала, что при высоких давлениях в современном оружии геометрический закон описывает процесс не достаточно полно. Действительный физический закон горения можно привести к следующему виду:

- масса пороха неоднородна от слоя к слою, и наружные слои горят с большей скоростью, чем внутренние;
- характер зависит не только от формы пороховых зерен, но и от их взаимного расположения: чем ближе горящие поверхности расположены друг к другу, тем интенсивнее идет горение;
- в порохах с узкими и длинными каналами повышается давление газов и скорость горения увеличивается [6].

Заключение

Определение закономерностей и установление численных зависимостей скорости горения пороха и образования пороховых газов от различных факторов позволяет в настоящее время полностью прогнозировать явление выстрела, т.е. строго рассчитывать, какой порох по физико-химическим и баллистическим качествам и в какой форме наиболее целесообразен для боевого заряда.

Использованная литература:

1. Внутренняя баллистика. Библиотека. СГГ. Algid.net
2. Основание устройства и проектирования стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. Курс лекций. СГГА. 2005. -195 с.
3. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. - Новосибирск: Изд. НГТУ. - 2004. - 408 с.
4. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва. – М.: Пожнаука, 2007.– 266с.
5. Чельшев В. П. Основы теории взрыва и горения. Учебное пособие – М.: Министерство обороны СССР, 1981. – 212 с.
6. Расчетно-аналитические зависимости для решения задач по курсу «Теория горения и взрыва»: справочный материал / сост. Д.В. Батов, Т.А. Мочалова, А.В. Петров. – Иваново: ООНИ ИВИ ГПС МЧС России, 2008. – 35 с.
7. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. – 432 с.