

**В.М. Куприянов, Д.П. Левин, В.В. Селиванов**

# **Основы проектирования боеприпасов**

**Учебник**

*Под редакцией В.В. Селиванова*



Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2019

УДК 623.45  
ББК 68.8  
К92

Издание доступно в электронном виде по адресу  
[ebooks.bmstu.press/catalog/169/book1904.html](http://ebooks.bmstu.press/catalog/169/book1904.html)

Факультет «Специальное машиностроение»  
Кафедра «Высокоточные летательные аппараты»

*Рекомендовано Научно-методическим советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебника*

Рецензенты:

д-р техн. наук профессор *И.О. Артамонов*  
д-р техн. наук профессор *В.Е. Смирнов*

**Куприянов, В. М.**

К92 Основы проектирования боеприпасов : учебник / В. М. Куприянов, Д. П. Левин, В. В. Селиванов ; под ред. В. В. Селиванова. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 128, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5001-5

Приведен комплекс основных инженерных методик, позволяющих проводить проектирование боеприпасов для ствольных артиллерийских систем (пушек, гаубиц, минометов и т. п.) с учетом всех нагрузок, действующих на боеприпасы и их элементы в процессе выстрела начиная с момента срабатывания метательного порохового заряда до момента выхода боеприпаса из канала ствола.

Содержание учебника соответствует традиционным курсам классических лекций по проектированию боеприпасов и средств поражения, читаемых авторами в МГТУ им. Н.Э. Баумана с использованием собственного практического опыта в области разработки и испытаний боеприпасов различного типа и назначения.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности 17.05.01 «Боеприпасы и взрыватели», аспирантов, а также для научных и инженерно-технических работников отраслевых предприятий оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации.

УДК 623.45  
ББК 68.8

ISBN 978-5-7038-5001-5

© Куприянов В.М., Левин Д.П.,  
Селиванов В.В., 2019  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

## Предисловие

Учебник «Основы проектирования боеприпасов» предназначен для подготовки по специальности 17.05.01 «Боеприпасы и взрыватели» гражданских и военных специалистов высшей квалификации в области проектирования боеприпасов ствольной артиллерии, используемых в различного рода военных широкомасштабных, региональных, локальных конфликтах и в контртеррористических операциях, для студентов высших учебных заведений и слушателей военных инженерных академий, обучающихся по специальностям, связанным с разработкой, испытаниями и эксплуатацией вооружений и военной техники, а также для конструкторов и технологов предприятий оборонно-промышленного комплекса, разрабатывающих и выпускающих различные типы боеприпасов с последующим сопровождением производства серийной продукции. Получение знаний, необходимых для разработки, проектирования, испытаний и эксплуатации таких боеприпасов, соответствует компетенциям в области методов расчета всех элементов указанных боеприпасов любых типов и объекта проектирования в целом.

Авторы предлагаемого учебника — преподаватели кафедры «Высокоточные летательные аппараты».

Учебник состоит из введения, семи глав, каждая из которых заканчивается перечнем вопросов для самостоятельного контроля усвоения обучающимися знаний, и небольшого списка рекомендуемой дополнительной литературы.

Во **введении** классифицированы артиллерийские (ракетные) системы, артиллерийские выстрелы, снаряды, а также сформулированы основные тактико-технические и производственно-экономические требования к разрабатываемым боеприпасам. Кроме того, приведены основные положения ГОСТ РВ 15.203–2001 на опытно-конструкторские работы, выполняемые при создании (модернизации) изделий вооружения и военной техники по тактико-техническому заданию государственного заказчика.

В **главе 1 «Баллистическое проектирование артиллерийского выстрела»** представлены необходимые элементы внутренней баллистики в совокупности с характеристиками процесса выстрела и описанием закономерностей горения метательного заряда (пороха), описана методика решения практических задач баллистического проектирования выстрелов ствольной артиллерии. Здесь же приведены соотношения для определения конструктивных параметров камеры, в которой размещается пороховой метательный заряд, в зависимости от способа заряжания.

В **главе 2 «Силы, действующие на снаряд при выстреле»** изложены материалы учебно-методического, научно-технического и справочного характера,

позволяющие провести необходимые расчеты всех сил, воздействующих на снаряд в канале ствола, что определяет систему исходных данных для оценки прочности как самого снаряда, так и его элементов в процессе нагружения при выстреле.

Основная задача **главы 3 «Ведущие устройства»** — ознакомить читателя с особенностями расчета на прочность всего спектра ведущих устройств снаряда и сформулировать необходимые условия обеспечения прочности ведущих устройств при их взаимодействии со стенками канала ствола во время выстрела.

В **главе 4 «Осколочно-фугасные и кумулятивные снаряды»** приведена классификация широкого перечня боеприпасов, в которых используются в качестве поражающих факторов осколочное, фугасное и кумулятивное действие; описана последовательность действий, которые необходимо реализовать при конструировании таких боеприпасов, и подробно изложены методы расчета на прочность корпуса снаряда и всех его элементов, подвергающихся воздействию как со стороны пороховых газов при выстреле, так и со стороны ствола орудия в процессе его взаимодействия с движущимся снарядом.

В **главе 5 «Бронебойные снаряды»** описана методика проектирования бронебойных подкалиберных снарядов к танковым пушкам и приведены все необходимые соотношения для оценки прочности сердечника бронебойного снаряда в опасных сечениях, перьев стабилизатора и баллистического наконечника, что определяет конструктивные параметры проектируемого бронебойного снаряда.

**Глава 6 «Кассетные снаряды»** содержит классификатор кассетных артиллерийских снарядов (КАС) в совокупности с описанием их конструктивно-компоновочных схем, а также необходимые соотношения для расчета на прочность всех узлов и элементов КАС.

В **главе 7 «Аэродинамические характеристики артиллерийских снарядов»** изложены методы расчета траектории артиллерийских снарядов, а именно методы определения их внешнебаллистических параметров после выхода из канала ствола с учетом всех сил сопротивления (трения, волнового и донного сопротивления), подъемной силы и баллистических характеристик самого боеприпаса, и приведены критериальные зависимости, необходимые для оценки устойчивости вращающихся в полете артиллерийских снарядов, стабилизируемых как вращением, так и оперением, что в значительной степени определяет точность попадания снаряда по заданной цели.

Настоящий учебник является частью общего комплекса изданий «Средства поражения и боеприпасы: физика, техника, технологии», издаваемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках подготовки учебной литературы для студентов, обучающихся по специальности «Боеприпасы и взрыватели», специалистов смежных специальностей, а также для научных и инженерно-технических работников отрасли.

Учебник может быть использован также для освоения дисциплины «Основы проектирования боеприпасов» в рамках учебного плана основной образовательной программы по специальности «Боеприпасы и взрыватели» в МГТУ им. Н.Э. Баумана и других вузах оборонного профиля при чтении

лекций, проведении практических занятий, для самостоятельной работы студентов и особенно для курсового и дипломного проектирования.

Авторы считают своим долгом выразить признательность и благодарность начальнику научно-исследовательского расчетно-теоретического комплекса АО «НИМИ им. В.В. Бахирева» доктору технических наук профессору А.А. Платонову за конструктивные советы и полезные замечания при подготовке данного учебника.

Заведующий кафедрой «Высокоточные летательные аппараты» доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РАН

*В.В. Селиванов*

## Список обозначений и сокращений

$A$	— работа расширения (сжатия) пороховых газов
$[A_T]$	— допустимая работа силы трения
$A_T$	— работа силы трения на всем пути движения снаряда в канале ствола орудия
$A_T^{уд}$	— работа силы трения, отнесенная к единичной площади соприкосновения выступа ведущего пояска с гранью нареза
$a_{в.п}$	— ширина ведущего пояска
$a_{дн}$	— ширина дна нареза
$a_{н}$	— ширина поля нареза
$B$	— баллистический параметр
$b_{а.х}$	— длина средней аэродинамической хорды
$b_{к}$	— ширина контактной площадки зубца
$b_{кр}$	— длина корневой хорды
$b_{кц}$	— длина концевой хорды
$C_{цдк}$	— коэффициент центра давления корпуса снаряда
$C_x, C_y, C_z$	— аэродинамические баллистические коэффициенты по осям координат
$C_{хгч}$	— коэффициент сопротивления головной части
$C_{хдс}$	— коэффициент донного сопротивления
$C_{хож}$	— коэффициент волнового сопротивления оживальной головной части
$C_{хтр}$	— коэффициент сопротивления трения корпуса
$C_{ххч}$	— коэффициент сопротивления хвостовой части
$c_p$	— удельная теплоемкость газа при постоянном давлении
$c_v$	— удельная теплоемкость газа при постоянном объеме
$d$	— калибр
$d_{в.п}$	— диаметр ведущего пояска
$d_{д.с}$	— диаметр донной части снаряда
$d_{к}$	— диаметр каморы
$d_{к.п}$	— наружный диаметр корпуса снаряда в зоне пояска

- $d_{к.с}$  — наружный диаметр корпуса снаряда в рассматриваемом сечении  
 $d_{к.ч}$  — диаметр конической части снаряда  
 $d_c$  — средний диаметр резьбы сердечника  
 $d_{с.дн}$  — диаметр ствола или ведущего пояска по дну нарезов  
 $d_{с.п}$  — диаметр ствола по полям нарезов  
 $d_{х.ч}$  — диаметр хвостовой части корпуса подкалиберного снаряда  
 $d_{ц.ч}$  — диаметр цилиндрической части снаряда  
 $d_a$  — внутренний диаметр оболочки  
 $d_0$  — внешний диаметр оболочки  
  
 $E$  — модуль упругости  
 $E'$  — модуль упрочнения  
 $E_{ВВ}$  — модуль упругости снаряжения (взрывчатого вещества)  
 $E_r$  — внутренняя энергия газа  
 $E_k$  — кинетическая энергия углового движения снаряда  
 $E_{уд}$  — удельная энергия  
  
 $\bar{F}$  — действительная сила осевого сжатия  
 $F(v)$  — функция сопротивления  
 $F_a$  — равнодействующая аэродинамических сил со стороны воздушной среды  
 $F_b$  — сила сопротивления воздуха, действующая на переднюю полноразмерную полость опорного кольцевого сектора в момент отделения от активной части снаряда  
 $F_{в.п}$  — центробежная сила, действующая на ведущий поясок  
 $F_{зб}$  — осевая сила, действующая при выстреле на зубцы гребенки всех секторов  
 $F_{ин}$  — осевая сила инерции  
 $F_k$  — касательная сила инерции  
 $F_n$  — сила трения от реакций граней нарезов  
 $F_{нар}$  — нормальное усилие грани нарезка на выступ ведущего пояска  
 $F_o$  — осевая сила  
 $F_{п.г}$  — сила давления пороховых газов, действующая на уменьшенную донную полость опорного кольцевого сектора  
 $F_{рад}$  — радиальная сила инерции  
 $F_{р.в.п}$  — реакция ведущего пояска в стенках корпуса снаряда  
 $F_{р.п}$  — сила реакции пояска на корпус снаряда при обжатии пояска в опорном конусе каморы  
 $F_{р.с}$  — сила реакции стенок ствола орудия на ведущий поясок  
 $F_{ср}$  — усилие срезания (сила среза)

- $F_T$  — сила тяжести  
 $F_{с.с}$  — сила сопротивления движению снаряда  
 $F_{т.в.п}$  — сила трения на поверхности прилегания выступа ведущего пояска к грани нареза (сила трения от реакции ведущего пояска)  
 $F_{цб}$  — центробежная сила  
 $F_i$  — обобщенные силы  
 $F_X$  — сила лобового сопротивления  
 $F_Y$  — подъемная сила  
 $F_Z$  — боковая сила  
 $f_n$  — сила пороха  
  
 $G$  — жесткость дна снаряда при изгибе  
 $G_{п.г}$  — приход газов вследствие сгорания пороха  
 $g$  — ускорение силы тяжести  
  
 $H_d$  — прогиб дна снаряда  
 $H_n$  — прогиб наружной стенки корпуса снаряда  
 $H_{фл}$  — толщина фланца дна  
 $h_{в.п}$  — толщина обжатого ведущего пояска  
 $h_{гр}$  — высота гребенки сектора  
 $h_d$  — толщина донной части корпуса снаряда  
 $h_{дф}$  — толщина диафрагмы  
 $h_з$  — толщина сгоревшего слоя порохового зерна (толщина горящего свода)  
 $\bar{h}_з$  — относительная толщина сгоревшего слоя зерна  
 $h_{з.п}$  — половина толщины порохового зерна  
 $h_k$  — высота зубца гребенки сектора на границе контактной площадки  
 $h_{кан}$  — глубина кольцевой канавки под ведущий поясок  
 $h_{кр}$  — толщина крышки  
 $h_{нар}$  — глубина нарезов  
 $h_o$  — высота кумулятивной облицовки  
 $h_n$  — высота пера стабилизатора  
 $h_p$  — высота резьбы дна снаряда  
 $h_{стн}$  — толщина стенок корпуса снаряда  
 $h_0$  — толщина срединной поверхности стенки корпуса снаряда  
  
 $J_i$  — изгибающий момент ведущего пояска  
 $J_{опр}$  — опрокидывающий момент  
 $J_{п.г}$  — импульс давления пороховых газов  
 $J_c$  — стабилизирующий момент



$J_a$	— осевой момент инерции снаряда
$J_b$	— экваториальный момент инерции снаряда
$J_x, J_y, J_z$	— моменты инерции снаряда относительно осей $Ox$ , $Oy$ и $Oz$
$j_{сн}$	— ускорение снаряда в рассматриваемый момент времени
$j_{max}$	— максимальное ускорение при выстреле
$j_{\omega}$	— угловое ускорение снаряда при вылете из канала ствола
$K_{п.с}$	— суммарное значение коэффициента подъемной силы всего снаряда
$k$	— показатель адиабаты Пуассона пороховых газов
$k_{п.к}$	— коэффициент подъемной силы корпуса снаряда
$k_{п.с}$	— коэффициент подъемной силы оперения снаряда
$L_k$	— длина канала ствола в калибрах
$L_{нар}$	— длина нарезной части канала ствола орудия
$L_{сн}$	— длина корпуса снаряда
$L_{ств}$	— длина ствола
$l$	— расстояние, длина
$l_v$	— расстояние от точки приложения силы сопротивления воздуха до центра масс опорного кольцевого сектора
$l_{в.п}$	— расстояние от ведущего пояска до центра масс
$l_{в.у}$	— длина ведущего устройства
$l_r$	— расстояние между внешней поверхностью привинтной головки и резьбовым соединением на корпусе снаряда
$l_{г.ч}$	— длина головной части корпуса снаряда
$l_{к.вр}$	— длина конуса врезания
$l_{кр}$	— полуразмах крыла
$l_{к.с}$	— длина пути снаряда в канале ствола орудия
$l_{к.з.ч}$	— длина конической запоясковой части корпуса снаряда
$l_{оп}$	— ширина оперения
$l_{п}$	— расстояние между центрирующим утолщением и ведущим пояском
$l_{п.г}$	— расстояние от точки приложения результирующей силы давления пороховых газов до центра масс опорного кольцевого сектора
$l_p$	— ширина ведущего пояска в области контакта с нарезами
$l_{р.г}$	— длина резьбы на привинтной головке
$l_{р.ч}$	— ширина ведущего пояска в области контакта с нарезами
$l_{с.в}$	— расстояние между центром массы снаряда и центром давления воздуха
$l_{х.ч}$	— длина хвостовой части корпуса снаряда
$l_{цд}$	— расстояние от центра давления воздуха до плоскости основания головной части снаряда

*Список обозначений и сокращений*

---

$l_{ц.з.ч}$	— длина цилиндрической заповясковой части корпуса снаряда
$l_{цм}$	— расстояние от центра масс до плоскости основания головной части снаряда
$l_{ц.у}$	— расстояние между верхним центрующим утолщением и ведущим пояском
$l_{ц.ч}$	— длина цилиндрической части корпуса снаряда
$M$	— число Маха
$M_x, M_y, M_z$	— внешние моменты сил, возникающие при взаимодействии снаряда с атмосферой
$N_{ж}$	— условная баллистическая живучесть ствола
$N_{зб}$	— количество зубцов гребенки сектора
$N_{нар}$	— число нарезов
$p$	— давление
$\bar{p}$	— действительное радиальное давление
$\langle p \rangle$	— среднее давление пороховых газов в заснарядном пространстве
$p_{бок}$	— давление пороховых газов на боковую поверхность корпуса снаряда
$p_v$	— давление газов воспламенителя
$p_{вз}$	— давление продуктов срабатывания вышибного заряда
$p_{в.п(к)}$	— кольцевое давление обтюрирующего (ведущего) пояска
$p_d$	— давление пороховых газов на дульном срезе
$p_{д.р}$	— распределенная нагрузка на диафрагму
$p_k$	— давление пороховых газов в канале ствола
$p_{кр}$	— критическое давление
$p_{ос}$	— осевое давление
$p_{п.г}$	— давление пороховых газов на дно канала ствола орудия
$p_{п.г}^{расч}$	— расчетное давление пороховых газов
$p_{рад}$	— радиальное давление
$p_{с.к}$	— давление снаряжения на стенки корпуса
$p_{ср}$	— давление среды
$p_{ст}$	— давление снаряжения на дно запального стакана
$p_{ф}$	— давление форсирования
$p_{max}$	— максимальное давление пороховых газов
$Q$	— теплота газа
$Q_{п}$	— удельная теплота сгорания пороха
$q$	— масса снаряда
$q_v$	— наседающая масса снаряда выше сечения ведущего пояска

- $q_{\text{ВВ(в)}}$  — масса части снаряжения, расположенной выше некоторого сечения  
 $q_{\text{в.п}}$  — масса ведущего пояска  
 $q_{\text{г.ч}}$  — масса головной части подкалиберного снаряда  
 $q_{\text{д}}$  — масса донной части снаряда  
 $q_{\text{д.д}}$  — масса деталей, опирающихся на диафрагму  
 $q_{\text{дт}}$  — масса детонатора  
 $q_{\text{дф}}$  — масса диафрагмы  
 $q_{\text{з.с}}$  — масса части корпуса запального стакана  
 $q_{\text{н}}$  — наседаящая масса снаряда  
 $q_{\text{отн}}$  — относительная масса снаряда  
 $q_{\text{п}}$  — масса части пера от края до опасного сечения  
 $q_{\text{с}}$  — масса сердечника  
 $q_{\text{х.ч}}$  — масса хвостовой части подкалиберного снаряда со стабилизатором
- $R$  — универсальная газовая постоянная  
 $R_{\text{в.п}}$  — радиус срединной поверхности обжатого ведущего пояска  
 $R_{\text{г}}$  — внешний радиус привинтной головки  
 $r$  — радиус контура опоры  
 $r_{\text{г}}$  — внутренний радиус привинтной головки  
 $r_{\text{д}}$  — радиус основания дна камеры  
 $r_{\text{мид}}$  — радиус миделевого сечения  
 $r_{\text{сопр}}$  — радиус сопряжения боевых элементов между собой  
 $r_0$  — радиус срединной поверхности стенки корпуса снаряда
- $S_{\text{в.п}}$  — площадь поперечного сечения ведущего пояска  
 $S_{\text{г}}$  — площадь поверхности, омываемой газами  
 $S_{\text{г.з}}$  — площадь текущей поверхности горения зерна  
 $S_{\text{г.з(0)}}$  — площадь начальной поверхности зерна  
 $S_{\text{д}}$  — площадь донной части снаряда  
 $S_{\text{кр}}$  — обтекаемая площадь стабилизатора (площадь крыла)  
 $S_{\text{мид}}$  — площадь миделевого сечения  
 $S_{\text{оп}}$  — площадь оперения  
 $S_{\text{п.с}}$  — площадь поперечного сечения камеры снаряда  
 $S_{\text{см}}$  — площадь смятия  
 $S_{\text{ср}}$  — площадь среза  
 $s$  — величина форсирования (обжатия диаметра ведущего пояска)
- $T$  — температура  
 $T_{\text{п}}$  — температура горения пороха  
 $T_{\text{ств}}$  — температура внутренней поверхности канала ствола

- $t$  — время  
 $t_{\text{п}}$  — время сгорания порохового зерна  
 $u$  — скорость горения пороха (топлива)  
 $u_r$  — общее перемещение наружной поверхности стенок корпуса снаряда  
 $u_r^*$  — остаточное перемещение стенок корпуса снаряда под пояском  
 $V_{\text{з.п}}$  — свободный объем заснарядного пространства  
 $V_{\text{кам}}$  — объем каморы заряжания  
 $V_{\text{к.з.ч}}$  — объем конической запоясковой части снаряда  
 $V_{\text{кн}}$  — объем канала ствола  
 $V_{\text{кр}}$  — объем крышки  
 $V_{\text{п.ч}}$  — объем поясковой части снаряда  
 $V_{\text{уд}}$  — удельный объем  
 $V_{\text{ц.з.ч}}$  — объем цилиндрической запоясковой части снаряда  
 $V_{\text{ц.ч}}$  — объем цилиндрической части каморы  
 $V_0$  — свободный объем каморы заряжания  
 $v$  — скорость  
 $v_{\text{д}}$  — скорость снаряда на дульном срезе (дульная скорость)  
 $v_{\text{пр}}$  — скорость прецессионного движения оси снаряда относительно мгновенной оси вращения  
 $v_{\text{сн}}$  — скорость снаряда  
 $v_0$  — начальная скорость  
 $W_{\text{г}}$  — коволюм  
 $W_{\text{кн}}$  — объем канала ствола  
 $W_{\text{п}}$  — объем продуктов сгорания 1 кг пороха  
 $x_{\text{цд}}$  — координата центра давления на оси снаряда, отсчитываемая от его носика  
 $x_i$  — обобщенные координаты  
 $Y_{\text{к}}$  — составляющая подъемной силы снаряда, приложенная в центре давления корпуса  
 $Y_{\text{оп}}$  — составляющая подъемной силы снаряда, приложенная в центре давления оперения  
 $Z$  — шаг резьбы  
 $\alpha$  — угол атаки  
 $\alpha_{\text{кан}}$  — угол наклона торца канавки  
 $\alpha_{\text{к.н}}$  — конечный угол наклона нарезов

- $\alpha_{к.с}$  — угол опорного конуса каморы ствола  
 $\alpha_{нар}$  — угол наклона нарезов ствола орудия  
 $\alpha_{н.н}$  — начальный угол наклона нарезов  
 $\beta_{в.п}$  — угол передней грани ведущего пояска  
 $\beta_{01}^{\circ}$  — угол при вершине головной части  
 $\beta_{02}^{\circ}$  — угол сужения хвостовой части  
 $\Delta_k$  — диаметральный зазор между корпусом снаряда и стенками ствола  
 $\Delta_{нар}$  — глубина нарезов  
 $\delta$  — угол нутации  
 $\delta_3$  — толщина слоя порохового заряда  
 $\delta_o$  — толщина облицовки  
 $\delta_{п}$  — толщина сечения пера стабилизатора  
 $\varepsilon'$  — деформационный предел пропорциональности  
 $\varepsilon_{ВВ, r}$  — радиальная деформация снаряжения (взрывчатого вещества)  
 $\varepsilon_t$  — относительная деформация, соответствующая пределу текучести материала  
 $\zeta_{в.п}$  — коэффициент трения металла ведущего пояска о поверхность канала ствола орудия  
 $\zeta_{в.п.к}$  — коэффициент, определяющий влияние конструктивных характеристик ведущего пояска и опорного конуса каморы ствола, а также условия контакта ведущего пояска на изменение давления  $p$  газов  
 $\zeta_{вяз}$  — динамическая вязкость воздуха  
 $\zeta_{гир}$  — коэффициент гироскопической устойчивости  
 $\zeta_d$  — коэффициент влияния близости дна  
 $\zeta_{зап}$  — плотность заполнения корпуса кассетного артиллерийского снаряда боевыми элементами  
 $\zeta_{ин}$  — коэффициент инерции снаряда  
 $\zeta_{опр}$  — коэффициент опрокидывающего момента  
 $\zeta_{пер}$  — коэффициент перегрузки  
 $\zeta_{раб}$  — коэффициент, учитывающий влияние второстепенных работ  
 $\zeta_{раз}$  — коэффициент разупрочнения материала корпуса снаряда  
 $\zeta_{св}$  — коэффициент, характеризующий связь между стенками корпуса и дном снаряда  
 $\zeta_{фик}$  — коэффициент фиктивной массы снаряда  
 $\zeta_{ф.с}$  — коэффициент формы снаряда  
 $\zeta_{ц.в}$  — коэффициент центробежной взводимости

$\zeta_\epsilon$	— коэффициент запаса прочности по деформации
$\zeta_\sigma$	— коэффициент запаса прочности по напряжению
$\eta$	— длина хода нарезов в калибрах
$\eta_3$	— коэффициент заполнения индикаторной диаграммы
$\Theta$	— жесткость корпуса снаряда
$\theta$	— угол наклона траектории к горизонту
$\theta_0$	— угол бросания
$\vartheta$	— коэффициент инерции снаряда
$\Lambda$	— плотность заряжания
$\lambda_{г.ч}$	— удлинение головной части снаряда
$\lambda_k$	— удлинение всего корпуса снаряда
$\lambda_{оп}$	— удлинение оперения
$\mu$	— коэффициент Пуассона
$\mu_{ВВ}$	— коэффициент Пуассона снаряжения (взрывчатого вещества)
$\dot{\nu}_{пр}$	— угловая скорость прецессионного движения
$\xi_{ст}$	— запас статической устойчивости
$\rho_v$	— плотность воздуха
$\rho_{ВВ}$	— плотность взрывчатого вещества
$\rho_{в.п}$	— плотность металла ведущего пояска
$\rho_d$	— плотность материала донной части снаряда
$\rho_n$	— плотность пороха
$\rho_{п.г}$	— плотность продуктов горения пороха
$[\sigma]$	— допустимое напряжение
$\sigma_{ВВ x}, \sigma_{ВВ r}, \sigma_{ВВ t}$	— напряжения по главным осям деформации
$\sigma_{в.п}$	— напряжение в выступе ведущего пояска
$\sigma_{в.п(к)}$	— нагрузка на единицу площади контактной поверхности ведущего пояска
$\sigma_n$	— напряжение изгиба
$\sigma_{кр}$	— критическое напряжение
$\sigma_p$	— растягивающее напряжение
$\sigma_{сж}$	— сжимающее напряжение
$\sigma_{см}$	— напряжение смятия
$\sigma_{ср}$	— напряжение среза

*Список обозначений и сокращений*

---

$\sigma_T$	— предел текучести
$\sigma_z$	— осевое напряжение
$\sigma_{0,2}$	— условный предел текучести
$[\tau]$	— допустимое напряжение сдвига (среза)
$\tau_{cp}$	— напряжение сдвига (среза)
$\Psi$	— угловое перемещение снаряда за время движения
$\Psi_p$	— угол скола резьбы опорной поверхности зубца гребенки
$\Omega$	— угловая скорость вращения снаряда
$\Omega_0$	— угловая скорость вращения снаряда при вылете из канала ствола
$\omega$	— масса порохового заряда
$\omega_r$	— масса произвольного количества газов от сгоревшего порохового заряда
$\omega_{cr}$	— масса сгоревшего порохового заряда
$\bar{\omega}_{cr}$	— относительная масса сгоревшего порохового заряда
БМП	— боевая машина пехоты
БП	— боеприпасы
БТР	— бронетранспортер
БЭ	— боевой элемент
ВВ	— взрывчатое вещество
ВЗ	— вышибной заряд
ВТ	— военная техника
ВУ	— взрывательное устройство
ГПЭ	— готовые поражающие элементы
КАС	— кассетный артиллерийский снаряд
КОБЭ	— кумулятивно-осколочный боевой элемент
ОБЭ	— осколочный боевой элемент
ОКР	— опытно-конструкторская работа
ОФС	— осколочно-фугасный снаряд
ОШС	— осколочно-шрапнельный снаряд
РСЗО	— реактивные системы залпового огня
САУ	— самоходная артиллерийская установка
СЧ ОКР	— составная часть опытно-конструкторской работы
ЦД	— центр давления
ЦМ	— центр масс
ЦТ	— центр тяжести

## Введение

Определим **боеприпасы** (БП) как расходуюмую часть комплекса вооружения, предназначенную для решения различных боевых задач, которые можно подразделить на три класса:

1) *основные* — поражение, разрушение, уничтожение, подавление объектов и живой силы противника;

2) *специальные* — освещение, задымление, целеуказание, создание электромагнитных или иных помех и т. п.;

3) *вспомогательные* — имитация, обучение, тренировки и др.

При этом основным классификационным признаком БП является однократность их использования.

В соответствии со способом доставки БП к цели или их установки в районе возможного расположения целей (минирования) можно выделить следующие типы:

- БП ствольной артиллерии — артиллерийские и минометные выстрелы;
- БП реактивных систем залпового огня (РСЗО);
- гранатометные выстрелы;
- боевые ракеты всех видов — тактические, оперативно-тактические, зенитные управляемые, противотанковые управляемые, авиационные управляемые и неуправляемые, торпеды и др.;
- авиационные и глубинные бомбы;
- БП к различным гранатометам;
- ручные гранаты;
- инженерные и морские мины, подрывные заряды и заряды разминирования;
- патроны стрелкового оружия.

**Средствами поражения** будем называть технические устройства, осуществляющие непосредственное действие по цели и являющиеся, как правило, составной частью БП. Дело в том, что управляемые и неуправляемые ракеты, гранатометные выстрелы, а также торпеды в подавляющем большинстве сами по себе не являются средствами поражения и должны быть оснащены боевой частью, обладающей конкретным поражающим действием (осколочным, кумулятивным, фугасным, зажигательным и др.).

Иногда трудно выделить средства поражения в составе некоторых БП (например, в большинстве инженерных БП, авиабомб, ручных гранат и пр.).

Для решения основной боевой задачи — поражения различных целей — необходима энергия, по типу источника которой можно выделить три основных класса средств поражения:



1) с запасенной *химической энергией*, выделяемой при взрыве или горении какого-либо энергетического материала — взрывчатого вещества (ВВ), пороха (твердое ракетное топливо), топливно-воздушной смеси, термобарической смеси или активной оболочки, представляющей собой смесь алюминиевого порошка с полимерной связкой, диспергирующуюся при взрыве и перемешивающуюся с воздухом, что при последующей реакции алюминия с кислородом воздуха усиливает действие по цели;

2) с запасенной *кинетической энергией*, которая сообщается средству поражения либо при метании из ствольных систем, либо при срабатывании реактивного двигателя, либо при взрыве заряда ВВ;

3) с *комбинированными источниками энергии*. В этом случае поражение цели осуществляется как за счет запасенной кинетической энергии (пробитие защитной преграды), так и за счет выделения химической энергии (взрыв вкладного заряда ВВ, срабатывание механоактивированной реакционноспособной смеси) за преградой. По такому принципу действуют, например, средства поражения осколочно-фугасного действия (боевые части противокорабельных ракет).

По виду действия можно выделить средства поражения *фугасного, осколочного,кумулятивного, зажигательного, комбинированного* (осколочно-фугасные, фугасно-кумулятивные, осколочно-стержневые и т. п.) и *ударно-проникающего* действия.

По взаимосвязи основных элементов средств поражения различают:

- *боевые части* (вкладные, несущие, пристыковываемые, отделяемые, неотделяемые);

- *артиллерийские выстрелы* (унитарного заряжания калибром  $d \leq 122$  мм, раздельно-гильзового заряжания калибром  $d \leq 154,4$  мм, картузного заряжания калибром  $d > 152,4$  мм).

По способу адаптации к условиям встречи с целью можно выделить *неуправляемые, управляемые и корректируемые* (управляемые на конечном участке траектории) средства поражения.

Классификация боеприпасов и средств поражения возможна также в соответствии с их принадлежностью к тому или иному комплексу вооружения.

В настоящем учебнике понятие «*артиллерийские боеприпасы*» включает в себя широкий круг элементов вооружения, необходимых для стрельбы из артиллерийских орудий, минометов и пусковых установок.

Любая **артиллерийская (ракетная) система** состоит из трех главных элементов:

- 1) орудия или пусковой установки;
- 2) снаряда;
- 3) боевого заряда.

*Орудие (пусковая установка)* предназначено для обеспечения метания (пуска) снаряда и сообщения ему правильного полета в требуемом направлении. *Снаряд* служит для непосредственного поражения цели. *Боевой (пороховой) заряд* сообщает снаряду необходимую скорость, обеспечивающую заданную дальность стрельбы.

Под **артиллерийским выстрелом**, в отличие от выстрела как явления, понимается *совокупность элементов*, необходимых для производства одного выстрела из орудия (миномета).

В состав боевого артиллерийского выстрела в различных сочетаниях могут входить следующие элементы:

- 1) снаряд с соответствующим снаряжением;
- 2) взрыватель или трубка;
- 3) боевой (пороховой) заряд;
- 4) гильза или картуз;
- 5) средство воспламенения боевого заряда;
- 6) вспомогательные элементы к боевому заряду (воспламенитель, пламегаситель, размеднитель, флегматизатор, фиксирующее и герметизирующее устройства).

Первые пять элементов являются обязательными для большинства боевых артиллерийских выстрелов. Исключение составляют лишь выстрелы с бронебойными снарядами без разрывного заряда, в комплект которых не входит трубка или взрыватель.

Наличие вспомогательных элементов боевого заряда в составе выстрела определяется калибром, назначением, типом выстрела и условиями стрельбы. Большинство из них, как правило, является составной частью только боевых зарядов артиллерийских выстрелов.

Артиллерийские выстрелы классифицируют по назначению, способу заряжания и степени готовности к боевому использованию.

По назначению различают следующие выстрелы:

- *боевые* — для боевых стрельб. Из определенного сочетания выстрелов различного назначения составляют боевые комплекты орудий;
- *практические* — для учебно-боевых стрельб, при проведении которых разрушающее и поражающее действие снарядов у цели не имеет особого значения. В практических выстрелах используют снаряды с инертным снаряжением;
- *холостые* — для имитации боевой стрельбы на учениях, для сигналов и салютов. Холостой выстрел состоит из порохового заряда, гильзы, пыжа и средств воспламенения;
- *учебные* — для обучения орудийного расчета действиям при орудии, обращению с выстрелами, составлению боевых зарядов, приемам заряжания и разряжания орудия и производству выстрела из орудия. Учебные выстрелы состоят из деталей, имитирующих боевые элементы, или охлажденных элементов боевых выстрелов;
- *специальные* — для опытных стрельб на полигонах. Они отличаются от боевых выстрелов устройством снарядов и боевых зарядов.

По способу заряжания различают артиллерийские боевые выстрелы *патронного* (унитарные патроны), *раздельно-гильзового* и *раздельно-картузного* заряжания.

По степени готовности к боевому использованию различают следующие артиллерийские выстрелы:

- *готовые* — все выстрелы, собранные из полного комплекта установленных элементов и, следовательно, совершенно подготовленные к стрельбе;
- *полные* — все компактные, но не собранные выстрелы, элементы которых хранятся раздельно на одном складе.

В войска артиллерийские выстрелы поставляют только готовыми, со снарядами в окончательно или неокончательно снаряженном виде.

Основным элементом выстрела является **артиллерийский снаряд**, который служит для подавления и уничтожения живой силы и огневых средств противника, поражения бронированных (танки), легкобронированных (БТР, БМП) и других бронещелей, разрушения оборонительных сооружений, подавления артиллерийских и минометных батарей и для выполнения других огневых задач, решаемых артиллерией.

Снаряды классифицируют по назначению, калибру, отношению калибра снаряда к калибру орудия, наружному очертанию и способу стабилизации в полете.

По назначению различают снаряды:

- *основного назначения* — для непосредственного уничтожения, подавления и разрушения различных целей. К снарядам этой группы относятся осколочные, фугасные, осколочно-фугасные, бронебойные, бронебойно-трассирующие, кумулятивные, бетонобойные, зажигательные и др.;
- *вспомогательного назначения* — для боевой подготовки войск и проведения различных полигонных испытаний. К снарядам этой группы относятся практические, учебные, лафетопробные, плитопробные и др.;
- *специального назначения* — для решения задач по освещению местности, занятой противником, его ослеплению, для пристрелки и целеуказания. К снарядам этой группы относятся осветительные, дымовые, пристрелочно-целеуказательные и агитационные.

По калибру различают снаряды *малых калибров* (менее 57 мм), *средних калибров* (наземной артиллерии от 57 до 155 мм, зенитной — до 100 мм включительно) и *крупных калибров* (наземной артиллерии более 155 мм, зенитной — более 100 мм).

По отношению калибра снаряда к калибру орудия, для которого он предназначается, различают калиберные и подкалиберные снаряды.

К *калиберным* относится большая часть современных снарядов, диаметр которых равен калибру орудия.

*Подкалиберные* снаряды имеют диаметр поражающей части, меньший калибра орудия. Для правильного ведения по каналу ствола такой снаряд снабжается поддоном, который образует ведущую часть, соответствующую калибру орудия.

По наружному очертанию снаряды подразделяют на дальнобойные и недальнобойные. *Дальнобойные* снаряды имеют удлиненную головную часть, короткую цилиндрическую и, как правило, цилиндроконическую поясковую часть. Снаряды *недальнобойные* характеризуются короткой головной и длинной цилиндрической частью.

По способу стабилизации в полете различают вращающиеся и невращающиеся (оперенные) артиллерийские снаряды. *Вращающиеся* снаряды стабилизируются за счет придания им быстрого вращательного движения; *невращающиеся* — за счет стабилизирующих устройств в виде оперения, которые придают им устойчивость в полете.

К артиллерийским снарядам предъявляются тактико-технические и производственно-экономические требования.

*Тактико-технические требования:*

- **могущество снаряда** — характеризует его способность поражать цель на поле боя, определяется в зависимости от назначения и характера цели;
- **дальнобойность** (для снарядов наземной артиллерии) и **высотобойность** (для снарядов зенитной артиллерии) — определяют досягаемость цели;
- **кучность боя** — одна из определяющих боевых характеристик снарядов, от которой зависит расход снарядов и время выполнения боевой задачи;
- **безопасность при стрельбе** — предусматривает исключение преждевременных разрывов снарядов в канале ствола, перед дульным срезом и на траектории;
- **стойкость снарядов при длительном хранении** — определяется способностью снарядов длительное время сохранять свои боевые качества.

К *производственно-экономическим требованиям* относятся простота конструкции и производства, унификация снарядов и их корпусов, дешевизна и недефицитность материалов.

Унификация снарядов различного назначения и их корпусов — это возможность использования одного и того же типа снарядов для решения различных задач или одного и того же корпуса для изготовления различных снарядов.

Для создания БП проводят научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР).

Согласно ГОСТ РВ 15.203–2001, при создании (модернизации) изделия военной техники (ВТ) по тактико-техническому заданию государственного заказчика (заказчика) выполняют опытно-конструкторскую работу (ОКР), которая включает разработку конструкторской и технологической документации на опытный образец изделия ВТ, изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) изделия ВТ.

*Составная часть опытно-конструкторской работы (СЧ ОКР)* — часть ОКР, выполняемая по техническому заданию головного исполнителя ОКР или тактико-техническому заданию заказчика с целью решения отдельных самостоятельных задач создания (модернизации) изделия ВТ (составной части изделия ВТ).

*Этап (подэтап) ОКР* (или *СЧ ОКР*) — совокупность работ, характеризующаяся признаками их самостоятельного целевого планирования и финансирования, направленная на получение определенных конечных результатов по разработке, проверке и подтверждению соответствия характеристик изделия ВТ (составной части изделия ВТ) установленным требованиям и подлежащая приемке заказчиком.

*Образец ВТ* — изделие ВТ, предназначенное для выполнения боевых задач или задач технического, тылового и других видов обеспечения войск самостоятельно или в составе комплекса (системы) ВТ.

*Составная часть образца (комплекса, системы) ВТ* — самостоятельная часть изделия ВТ, предназначенная для выполнения определенных технических функций в составе образца (комплекса, системы) ВТ, представляющая собой совокупность сборочных единиц и (или) деталей, объединенных общим конструктивным (схемным) решением.

*Комплектуемое изделие межотраслевого применения* — изделие ВТ, предназначенное для выполнения определенных технических функций в составе изделий ВТ или их составных частей, создаваемое не для конкретного изделия ВТ по самостоятельным комплектам конструкторской и технологической документации и не подвергаемое изменениям в процессе создания изделия ВТ, в котором его применяют.

*Опытный образец изделия ВТ* — изделие ВТ, изготовленное в ходе выполнения ОКР по вновь разработанной рабочей конструкторской и технологической документации для проверки путем испытаний соответствия его параметров и характеристик требованиям тактико-технического (или технического) задания на ОКР и правильности принятых технических решений, а также для решения вопроса о возможности принятия изделия ВТ на вооружение (снабжение, эксплуатация, использование по назначению) и постановки на производство.

*Макет* — упрощенное воспроизведение в определенном масштабе изделия ВТ или его составной части, на котором исследуются отдельные характеристики изделия, а также оценивается правильность принятых технических и конструктивных решений.

*Модель* — изделие, воспроизводящее или имитирующее конкретные свойства создаваемого изделия или его составной части и изготовленное для проверки принципа их действия и определения отдельных характеристик.

*Тактико-техническое задание на выполнение ОКР (или СЧ ОКР)* — исходный технический документ, утверждаемый заказчиком ОКР (или СЧ ОКР) и устанавливающий комплекс тактико-технических требований к создаваемому изделию ВТ, а также требования к содержанию, объему и срокам выполнения ОКР.

*Техническое задание на выполнение СЧ ОКР* — исходный технический документ, утверждаемый головным исполнителем ОКР и устанавливающий комплекс технических требований к создаваемой составной части изделия ВТ, а также требования к содержанию, объему и срокам выполнения СЧ ОКР.

*Государственный заказчик* — федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий заказы на разработку, производство и поставку изделий ВТ в интересах обороноспособности и безопасности Российской Федерации.

*Заказчик ОКР (заказчик)* — уполномоченный орган государственного заказчика, осуществляющий заказы на выполнение ОКР.

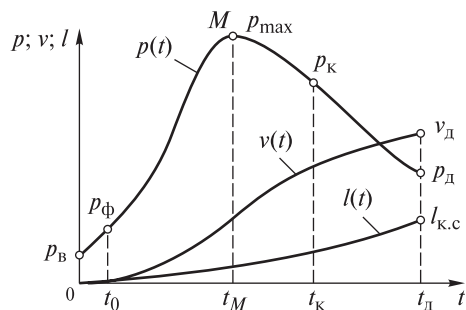
*Головной исполнитель ОКР* — предприятие (организация, объединение), заключившее государственный контракт с государственным заказчиком (заказчиком) на выполнение ОКР, координирующее работу исполнителей СЧ ОКР и отвечающее за выполнение ОКР в целом.

# Глава 1. БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ Артиллерийского выстрела

## 1.1. Прямая и обратная задачи внутренней баллистики

На этапе выполнения эскизного проекта для выстрелов реактивной и ствольной артиллерии, средств ближнего боя выбирают *баллистическое решение* — массу и объем заряда, плотность заряжания, определяющие начальную скорость полета боеприпаса. В реактивных снарядах и гранатах начальная скорость полета определяется отдельным узлом — реактивным двигателем, проектирование которого выполняют профильные специалисты на предприятиях — соисполнителях опытно-конструкторских работ. У артиллерийских выстрелов из-за больших перегрузок в канале ствола (200...800 тыс. м/с<sup>2</sup>) баллистическое решение определяет толщину стенок корпуса осколочно-фугасных, кумулятивных и бронебойных снарядов. Для этого необходимо предварительно рассчитать параметры движения снаряда в канале ствола, описываемого законами внутренней баллистики.

**Внутренняя баллистика** изучает горение пороха в канале ствола и описывает движение снаряда от начала выстрела до вылета его из ствола. По результатам этих исследований устанавливают закономерности изменения во времени: давления  $p(t)$  и температуры  $T(t)$  пороховых газов, скорости  $v(t)$  снаряда и его пути  $l(t)$  (рис. 1.1).



**Рис. 1.1.** Графики функций  $p(t)$ ,  $v(t)$  и  $l(t)$ :

$p_в$ ,  $p_ф$ ,  $p_{max}$ ,  $p_к$ ,  $p_д$  — значения давления пороховых газов (воспламенителя, форсирования, максимальное, в канале ствола, на дульном срезе);  $v_д$  — скорость снаряда на дульном срезе;  $l_{к.с}$  — путь движения в канале ствола

Можно выделить две важные для практики **задачи, решаемые в рамках внутренней баллистики**:

1) определение при известных начальных условиях (система метания, параметры заряда, снаряда) основных характеристик выстрела  $p(t)$ ,  $v(t)$  и  $l(t)$  (*прямая задача*);

2) определение начальных условий (параметры заряда, размеры ствола), при которых снаряд приобретает необходимую скорость (*обратная задача*).

Для описания процесса выстрела используются уравнения, характеризующие приток и расход газов, уравнения баланса энергии, уравнения движения снаряда и откатных частей.

## Глава 2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СНАРЯД ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

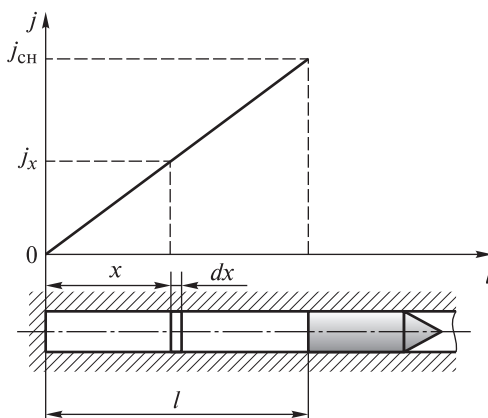
### 2.1. Давление пороховых газов

На этапе эскизного проектирования артиллерийских снарядов для проведения расчетов на прочность необходимо знать *силы, действующие во время движения снарядов в канале ствола*. Эти силы зависят от давления пороховых газов, определяемого при выборе баллистического решения.

При движении снаряда по каналу ствола давление пороховых газов на дно и стенки оболочки снаряда будет меньше, чем давление пороховых газов на дно канала ствола орудия, которое можно считать неподвижным.

Введем следующие обозначения:  $p_{п.г}^{ст}$  — давление пороховых газов на дно канала ствола орудия;  $j_{сн}$  — ускорение снаряда в рассматриваемый момент времени.

Допустим, что масса  $\omega$  пороховых газов и несгоревших частиц пороха в любой момент времени распределена равномерно по всей длине заснарядного пространства, и примем закон изменения ускорения газов и несгоревших частиц пороха в виде линейной функции (рис. 2.1).



**Рис. 2.1.** График ускорения пороховых газов в заснарядном пространстве

Рассмотрим какой-либо момент движения снаряда по каналу ствола орудия. Пусть в этот момент снаряд находится от дна канала ствола на расстоянии  $l$ . Выделим элементарный объем пороховых газов и несгоревших

## Глава 3. ВЕДУЩИЕ УСТРОЙСТВА

### 3.1. Расчет на прочность ведущих поясков по истиранию и давлению грани нарезов

На этапе технического проекта после определения нагрузок, действующих на снаряд в канале ствола, определяют *размеры ведущих устройств снаряда*, обеспечивающие их надежное крепление к снаряду во время его движения по стволу.

К **ведущим устройствам**, которые предназначены для центрирования снаряда в канале ствола, предотвращения прорыва пороховых газов и повышения начальной скорости бронебойного сердечника, относятся *ведущие и обтюрирующие пояски* в калиберных снарядах и *поддоны* в подкалиберных. Поддоны бывают тянущего и толкающего типов. Тянущие ведущие устройства могут быть разжимными, прижимными, катушечными и бугельными. Поддоны подкалиберных снарядов состоят из секторов, отделяемых от сердечника при вылете из ствола под воздействием давления пороховых газов и аэродинамического сопротивления воздуха.

Ведущие и обтюрирующие пояски изготовляют из меди, поддоны — из алюминиевых сплавов и композитных материалов.

Размеры ведущих и обтюрирующих поясков выбирают исходя из условий прочности в канале ствола орудия, для чего необходимо знать давление пороховых газов и усилия грани нарезав, действующие на поясак.

*Нормальное усилие  $F_{\text{нар}}$  грани нарезав на выступ ведущего пояска*, возникающее вследствие сопротивления снаряда вращательному движению (при постоянном угле  $\alpha_{\text{нар}}$  наклона нарезав ствола орудия), вычисляют по следующей формуле:

$$F_{\text{нар}} = \pi \frac{p_{\text{п.г}}^{\text{расч}} J_a}{N_{\text{нар}} q} \text{tg} \alpha_{\text{нар}}, \quad (3.1)$$

где  $p_{\text{п.г}}^{\text{расч}}$  — расчетное давление пороховых газов,  $p_{\text{п.г}}^{\text{расч}} \approx 1,1 p_{\text{п.г}}^{\text{max}}$ ;  $N_{\text{нар}}$  — число нарезав;  $J_a$  — осевой момент инерции;  $q$  — масса снаряда.

*Напряжение  $\sigma_{\text{в.п}}$  в выступе ведущего пояска* определяют как отношение усилия  $F_{\text{нар}}$  грани нарезав к площади  $S_{\text{в.п}}$  рабочей стороны выступа ведущего пояска (рис. 3.1):

$$\sigma_{\text{в.п}} = \frac{F_{\text{нар}}}{S_{\text{в.п}}} = \pi \frac{p_{\text{п.г}}^{\text{расч}} J_a}{N_{\text{нар}} S_{\text{в.п}} q} \text{tg} \alpha_{\text{нар}}, \quad (3.2)$$



## Глава 4. ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНЫЕ И КУМУЛЯТИВНЫЕ СНАРЯДЫ

### 4.1. Назначение и классификация осколочно-фугасных снарядов

Осколочно-фугасные снаряды (ОФС) (рис. 4.1) поражают цель за счет инициируемого взрывателем подрыва разрывного заряда взрывчатого вещества (ВВ) и потока осколков, возникающих при естественном дроблении корпуса. Взрыватель ОФС срабатывает либо в момент встречи снаряда с преградой, либо на некотором расстоянии от нее. Срабатывание взрывателя может происходить с некоторой задержкой.

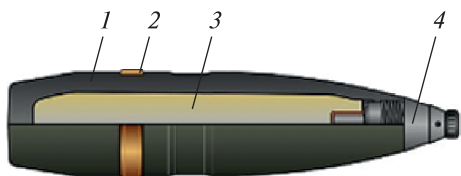


Рис. 4.1. Конструкция ОФС:

1 — корпус; 2 — ведущий поясок; 3 — разрывной заряд; 4 — взрыватель

Осколочно-фугасные снаряды предназначены для поражения огневых средств пехоты, живой силы, полевых сооружений, малоразмерных и слабобронированных боевых машин и

военных машин обеспечения. Благодаря своей универсальности и возможности поражения широкого спектра целей они входят практически во все боевые комплекты наземных, морских и танковых ствольных артиллерийских систем.

В ОФС используются такие ВВ, как тротил и А-IX-2, снаряжаемые литьем и порционным прессованием соответственно.

Осколочно-фугасные снаряды классифицируют следующим образом.

По типу стабилизации на траектории различают ОФС, стабилизируемые вращением или оперением.

По типу систем оружия ОФС подразделяют на используемые в морских, наземных, танковых, береговых системах, а также в противотанковых и малокалиберных авиационных пушках.

По типу выстрела различают ОФС, применяемые для унитарного выстрела и выстрела с раздельно-гильзовым или картузным заряданием.

В ОФС используются механические контактные взрывательные устройства (ВУ) многоцелевого назначения, головные по размещению и имеющие несколько установок времени срабатывания взрывателя — мгновенное, инерционное и замедленное. Различаются взрыватели для пушечных и гаубичных систем. В ОФС к малокалиберным выстрелам зенитной и авиационной артиллерии предъявляют требование срабатывания от преград из

## Глава 5. БРОНЕБОЙНЫЕ СНАРЯДЫ

### 5.1. Назначение и классификация бронепойных снарядов

Бронепойные снаряды предназначены для поражения бронированных целей во время стрельбы прямой наводкой из танковых и противотанковых пушек за счет кинетической энергии бронепойного сердечника. К *бронированным целям* относятся основные боевые танки, оснащенные многослойной композитной броней, а также комплектами динамической и активной защиты.

Бронепойные снаряды применяются в танковых и противотанковых пушках, в малокалиберных автоматических пушках наземной и морской артиллерии, а также в малокалиберных автоматических авиационных пушках.

Для изготовления активной части бронепойных снарядов используют такие материалы, как металлический сплав на основе вольфрама или обедненный уран. Основным преимуществом обедненного урана перед другими материалами является его высокая технологичность и постоянство физико-механических свойств, но ионизирующее излучение этого материала ограничивает его широкое применение в промышленности. В настоящее время бронепойные снаряды используют в танковых пушках калибра 100, 115, 125 мм и малокалиберных автоматических пушках калибра 30 мм.

В случае применения в артиллерийских системах выстрелов унитарного заряжания бронепойный подкалиберный снаряд исполняется с ведущим устройством *катушечного* типа (рис. 5.1).

В выстрелах раздельно-гильзового заряжания используют бронепойный подкалиберный снаряд с ведущим устройством *прижимного* типа, которое

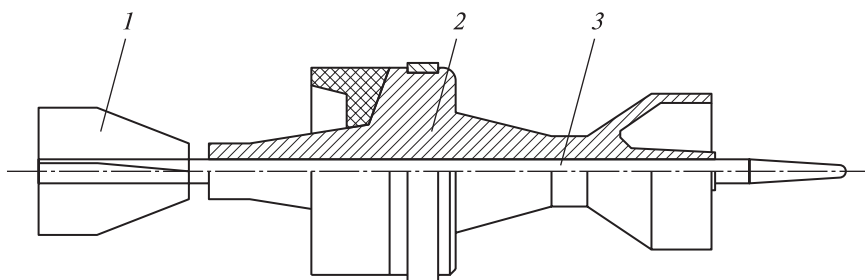


Рис. 5.1. Бронепойный снаряд с ведущим устройством катушечного типа:

1 — оперение; 2 — ведущее устройство; 3 — бронепойный сердечник

## Глава 6. КАССЕТНЫЕ СНАРЯДЫ

### 6.1. Конструктивно-компоновочная схема кассетных артиллерийских снарядов и классификация их элементов

В общем случае кассетный артиллерийский снаряд (КАС) представляет собой контейнер-корпус (рис. 6.1), в камере которого между поршнем 4 и дном 11 слоями уложены боевые элементы (БЭ) различного назначения и действия. Кассетные снаряды обладают повышенной эффективностью действия, которая достигается за счет разброса на площади БЭ.

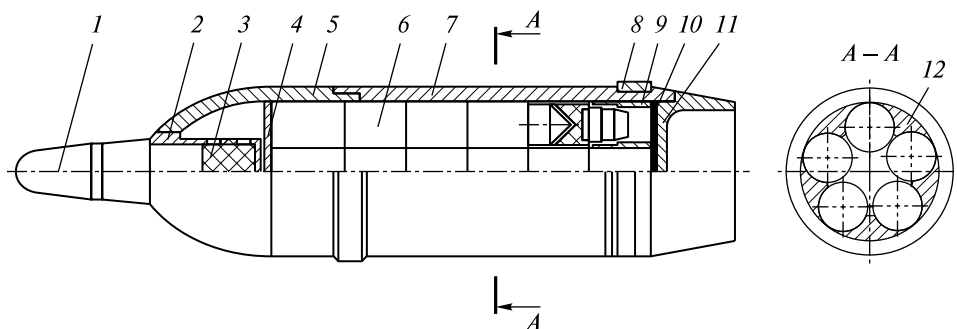


Рис. 6.1. Вариант конструктивно-компоновочной схемы КАС:

1 — дистанционный взрыватель; 2 — перфорированная трубка вышибного заряда; 3 — вышибной заряд; 4 — поршень; 5 — обтекатель; 6 — блок БЭ; 7 — корпус; 8 — ведущий пояс; 9 — опорный стакан; 10 — набор прокладок; 11 — дно; 12 — сектор (шпонка)

В ствольной артиллерии кассетными являются снаряды калибра 152 мм. В них применяются неуправляемые БЭ (или БЭ свободного рассеивания), к которым относятся осколочные, кумулятивно-осколочные и зажигательные БЭ. При вскрытии контейнера с БЭ срезается дно корпуса с помощью порохового вышибного заряда (ВЗ).

В КАС применяют БЭ с *аэродинамической* стабилизацией с помощью перьевых, ленточных, петлевых, лопастных или купольно-парашютных стабилизаторов и вращающиеся БЭ с *гироскопической* стабилизацией.

По месту разрыва элемента и типу ВУ выделяют БЭ:

- наземного подрыва (с контактным взрывателем);
- воздушного подрыва с подбросом после удара о землю (с ударным воспламенителем заряда разделения и замедлителем);
- тракторного подрыва (с неконтактным взрывателем).

## Глава 7. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Артиллерийских снарядов

### 7.1. Движение артиллерийских снарядов в атмосфере

Выполнение требований по дальности стрельбы, устойчивости на траектории является важной частью проектирования артиллерийских снарядов и мин ствольной и реактивной артиллерии, реактивных гранат, авиационных бомб, кассетных боевых элементов.

На этапе *эскизного проектирования* для артиллерийских снарядов, ствольных мин, авиационных бомб рассчитывают *обводы корпуса*, обеспечивающие минимальное лобовое сопротивление потоку воздуха на траектории полета. Для этого необходимо рассчитать:

- среднюю скорость на участке траектории с наибольшим сопротивлением воздуха;
- размеры головной и хвостовой (запоясковой) частей корпуса снаряда, обеспечивающие минимальное лобовое сопротивление.

У оперенных артиллерийских снарядов ствольной и реактивной артиллерии, ствольных мин и авиационных бомб определяют также *размеры оперения*, обеспечивающие устойчивость на траектории полета. Для этого необходимо рассчитать:

- среднюю скорость на участке траектории с наибольшим сопротивлением воздуха;
- размеры оперения, обеспечивающие устойчивость на траектории.

Для решения этой задачи применяется такая наука, как *внешняя баллистика*, изучающая движение снарядов в атмосфере.

Движение снаряда рассматривают в системе прямоугольных координат. За начало этой системы принимают точку выстрела, т. е. положение центра масс снаряда в момент прохождения его через дульный срез ствола. Направление оси  $Ox$  совпадает с направлением стрельбы, ось  $Oy$  направлена вертикально вверх, а  $Oz$  — вправо, если смотреть по направлению оси  $Ox$ . *Траекторией снаряда* называется кривая, описываемая снарядом во время его полета.

Вертикальная плоскость  $Oxy$ , проходящая через вектор начальной скорости  $\vec{v}_0$  (рис. 7.1, а), называется *плоскостью бросания*, а горизонтальная плоскость  $Oxz$  (рис. 7.1, б) — *горизонтом орудия*.

В проекции траектории на плоскость  $Oxz$  (см. рис. 7.1, б) будет след траектории, который характеризует *боковое отклонение  $Z$  снаряда* в каждый момент времени. Боковое отклонение  $Z$  отсчитывается по нормали от плоскости бросания.

## Литература

Боеприпасы: учебник: в 2 т. / под общ. ред. В.В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.

Боеприпасы наземной артиллерии: учебник. Ч. 1 / под общ. ред. Н.А. Селезнева и П.И. Чекалина. М.: Военное изд-во Мин. обороны СССР, 1970. 248 с.

*Водопьянов М.Я.* Основы проектирования боеприпасов. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 387 с.

*Генкин Ю.В., Павлов Я.О., Преображенская М.А.* Конструкция артиллерийских выстрелов: учеб. пособие. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2012. 114 с.

*Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н., Богодистов С.С.* Внешняя баллистика. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.

*Захаренков В.Ф.* Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий: учебник. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2010. 276 с.

Проектирование ракетных и ствольных систем / Б.В. Орлов, Ю.И. Топчеев, В.Ф. Устинов и др.; под ред. Б.В. Орлова. М.: Машиностроение, 1974. 828 с.

*Руссков В.Ф., Никулин Е.Н.* Основы проектирования кассетных боеприпасов: учеб. пособие. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2013. 218 с.

*Смирнов Л.И.* Основы проектирования мин и оперенных снарядов к гладкоствольным минометным и артиллерийским системам. Ч. 2. Л.: Лен. мех. ин-т, 1971. 210 с.

Теория, проектирование и конструкция снарядов и боевых частей / А.К. Пичугин [и др.]. Пенза: ПВАИУ, 1990. 386 с.

## Оглавление

Предисловие .....	3
Список обозначений и сокращений .....	6
Введение .....	16
<b>Глава 1. Баллистическое проектирование артиллерийского выстрела .....</b>	<b>22</b>
1.1. Прямая и обратная задачи внутренней баллистики .....	22
1.2. Процесс выстрела артиллерийским снарядом .....	23
1.3. Порох и закономерности его горения .....	24
1.4. Система уравнений внутренней баллистики .....	27
1.5. Баллистическое проектирование выстрела ствольной артиллерии .....	32
1.6. Способ заряжания и выбор размеров каморы .....	33
1.7. Техническое проектирование метательного заряда к выстрелам различных типов заряжания .....	38
Контрольные вопросы .....	43
<b>Глава 2. Силы, действующие на снаряд при выстреле .....</b>	<b>44</b>
2.1. Давление пороховых газов .....	44
2.2. Силы инерции .....	45
2.3. Давление снаряжения .....	48
2.4. Силы сопротивления движению снаряда в канале ствола орудия .....	51
Контрольные вопросы .....	54
<b>Глава 3. Ведущие устройства .....</b>	<b>55</b>
3.1. Расчет на прочность ведущих поясков по истиранию и давлению грани нарезов .....	55
3.2. Прочность ведущего пояска под действием центробежных сил ...	57
3.3. Расчет на прочность зубцов гребенки подкалиберного снаряда .....	62
Контрольные вопросы .....	65
<b>Глава 4. Осколочно-фугасные и кумулятивные снаряды .....</b>	<b>66</b>
4.1. Назначение и классификация осколочно-фугасных снарядов .....	66
4.2. Назначение и принципы проектирования кумулятивных снарядов .....	69
4.3. Расчет на прочность корпуса осколочно-фугасных и кумулятивных снарядов при максимальном давлении пороховых газов .....	71
4.4. Расчет на прочность привинтной головки .....	78

---

4.5. Расчет на прочность диафрагмы .....	79
4.6. Расчет на прочность запального стакана .....	79
4.7. Расчет на прочность дна снаряда .....	82
Контрольные вопросы .....	91
<b>Глава 5. Бронебойные снаряды .....</b>	<b>92</b>
5.1. Назначение и классификация бронебойных снарядов .....	92
5.2. Расчет на прочность сердечника бронебойного снаряда .....	96
5.3. Расчет на прочность перьев стабилизатора и баллистического наконечника .....	97
Контрольные вопросы .....	98
<b>Глава 6. Кассетные снаряды .....</b>	<b>100</b>
6.1. Конструктивно-компоновочная схема кассетных артиллерийских снарядов и классификация их элементов .....	100
6.2. Выбор типа боевого элемента для снаряжения кассетного снаряда .....	102
6.3. Расчет на прочность элементов конструкции кассетного снаряда .....	104
Контрольные вопросы .....	113
<b>Глава 7. Аэродинамические характеристики артиллерийских снарядов .....</b>	<b>114</b>
7.1. Движение артиллерийских снарядов в атмосфере .....	114
7.2. Силы сопротивления .....	117
7.3. Устойчивость полета снарядов, стабилизируемых оперением .....	122
7.4. Устойчивость полета снарядов, стабилизируемых вращением .....	124
Контрольные вопросы .....	126
Литература .....	127

*Учебное издание*

**Куприянов Вячеслав Михайлович**  
**Левин Денис Петрович**  
**Селиванов Виктор Валентинович**

## **Основы проектирования боеприпасов**

Редактор *И.В. Мартынова*  
Художник *Я.М. Асинкритова*  
Корректор *Л.В. Забродина*  
Компьютерная графика *Т.Ю. Кутузовой*  
Компьютерная верстка *Т.В. Батраковой*

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 31.01.2019. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 10,56. Тираж 300 экз. Изд. № 344-2017. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)