

УДК: 532.583

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ
В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНЫХ И ТАНКОВЫХ
БРОНЕБОЙНЫХ ПОДКАЛИБЕРНЫХ СНАРЯДОВ**

**APPLICATION OF THEORY OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING TO DESIGN
OF HIGH-EXPLOSIVE FRAGMENTATION AND ARMOR-PIERCING
SUB-CALIBER TANK PROJECTILES**

По представлению академика РАРАН В.В. Селиванова

В.М. Куприянов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.M. Kupriyanov

Проанализированы конструктивные изменения бронебойных и осколочно-фугасных снарядов артиллерийских выстрелов танковой и полевой артиллерии на протяжении истории их развития. Приведены предложения об адаптации теории решения изобретательских задач для задач проектирования бронебойных и осколочно-фугасных снарядов ствольной наземной артиллерии.

Ключевые слова: бронебойный снаряд, гладкоствольная пушка, осколочно-фугасный, снаряд, фугасный, действие, бронепробиваемость, могущество действия.

The constructive changes in armor-piercing and high-explosive fragmentation shells of artillery shots of tank and field artillery throughout the history of their development are analyzed in this article. The proposals for the adaptation of the theory of solving inventive problems for the design problems of armor-piercing and high-explosive fragmentation shells of barreled ground artillery are given.

Keywords: armor-piercing projectile, smoothbore gun, high-explosive fragmentation, projectile, high-explosive, action, armor penetration, power of action.

Проектирование артиллерийских снарядов ствольной артиллерии является дорогостоящим, трудоемким и длительным процессом. В связи с тем, что в настоящий момент отсутствуют достоверные физико-математические модели быстропротекающих процессов взрыва и высокоскоростного взаимодействия артиллерийских снарядов с различными типами преград, то прогнозирование основных характеристик проводится с помощью инженерных методик, использующих данные, полученные по экспериментам, проводимых с конструкциями предыдущих поколений.

Проведение натурных испытаний на опытных образцах является чрезвычайно дорогостоящим и трудоемким процессом, так как кроме

получения заданной характеристики, необходимо выполнять требования по возможности серийного производства на предприятиях отрасли, что накладывает определенные требования о стабильности технических характеристик для партии изделий. Данное обстоятельство означает, что разработка теории прогнозирования конструктивных изменений в перспективных артиллерийских снарядах нового поколения является важной и актуальной задачей.

Целью данного исследования является поиск методов проектирования, способного осуществить выбор направления модернизации артиллерийского боеприпаса с наименьшими временными и материальными затратами.

Согласно [1], проектирование — это процесс составления описания, необходимого для создания еще несуществующего объекта (алгоритма его функционирования или алгоритма процесса), путем преобразования первичного описания, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), устранения некорректности первичного описания и последовательного представления (при необходимости) описаний на различных языках.

Проект — это совокупность документов и описаний на различных языках (графическом — чертежи, схемы, диаграммы и графики; математическом — формулы и расчеты; инженерных терминов и понятий — тексты описаний, пояснительные записки), необходимая для создания какого-либо сооружения или изделия.

Рассмотрим основные методы проектирования [2]:

– прямые аналитические методы синтеза (разработаны для ряда простых типовых механизмов, в отрасли боеприпасов и спецхимии в данный момент не используются);

– эвристические методы проектирования — решение задач проектирования на уровне изобретений (так как большинство технических решений в боеприпасах были отработаны экспериментально, то данные методы являются основными);

– синтез методами анализа — перебор возможных решений по определенной стратегии (например, с помощью генератора случайных чисел — метод Монте-Карло) с проведением сравнительного анализа по совокупности качественных и эксплуатационных показателей (часто используются методы оптимизации — минимизация сформулированной разработчиком целевой функции, определяющей совокупность качественных характеристик изделия). При проектировании боеприпасов данные методы часто используются при выборе отдельных конструктивных параметров, например, обводов корпуса осколочно-фугасного снаряда (ОФС);

– системный подход к проектированию, представление боеприпаса как технической системы из отдельных элементов, выстроенных в определенной иерархии, связи между которыми дают прирост в эффективности боеприпаса. Данный метод, как правило, реализуется с помощью САПР — системы автоматизированного проектирования — компьютерной программной сре-

ды, которая моделирует объект проектирования и определяет его качественные показатели, после принятия решения — выбора проектировщиком параметров объекта, система в автоматизированном режиме выдает проектную документацию. Согласно [3] на предприятиях отрасли при проектировании боеприпасов не используется.

Рассмотрим перечисленные методы более подробно.

Основным учением об эвристических методах проектирования является теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) [4]. Согласно ТРИЗ изобретения появляются в рамках технической системы, состоящей из источника энергии, трансмиссии, рабочего тела и командного элемента. В данной технической системе происходит переход энергии из одного вида в другой, система развивается в сторону повышения динамичности, преодолевая технические противоречия и ограничения.

В ТРИЗ выделяется несколько уровней технических изобретательских задач — модернизация, так называемые «неизобретательские» изобретения, в которых происходит очевидное изменение размеров элементов изделия; конструкторские изобретения, в которых реализованы отдельные новые элементы, не затрагивающие принцип работы технической системы и «настоящие» изобретения, в которых происходит качественное изменение технических характеристик через внедрение новых физических принципов.

Очевидно, что в полевой и танковой артиллерии примером такой технической системы является система — «орудие – ствол – выстрел». Источником энергии является боевой метательный заряд из пороха, «рабочим телом» — снаряд, «трансмиссией» — ствол, «командным элементом» — система воспламенения метательного заряда.

В данной технической системе реализован переход потенциальной энергии метательного заряда в кинетическую энергию их продуктов горения. Также можно отметить повышение степени динамичности данной системы в качестве повышения начальной скорости снаряда при вылете из канала ствола.

Другим примером такой технической системы является боевое снаряжение артиллерийских снарядов различного назначения, состоящее из командного устройства — взрывателя, рабочего

тела — блока поражающих элементов, кумулятивной струи и т.д., источника энергии — разрывного или вышибного заряда, «трансмиссии» — корпуса снаряда.

В данной технической системе также реализован переход потенциальной энергии метательного заряда в кинетическую энергию их продуктов горения или потенциальной энергии взрывчатого вещества в кинетическую энергию продуктов детонации.

Резюмируя сказанное, отметим, что в ТРИЗ утверждается о возможности модернизации изделий за счет трех возможностей:

- материалов (для снарядов это может быть улучшение свойств материала корпуса);
- источника энергии (например, это применение новых взрывчатых веществ);
- систем управления (у артиллерийских снарядов примером такой модернизации является управление точкой подрыва осколочной боевой части за счет взрывательного устройства).

И третий метод из перечисленных — метод проектирования синтезом сравнительного анализа активно применяется на этапе эскизного проектирования артиллерийских снарядов для выбора угла раствора кумулятивной облицовки, радиуса оживальной части, размеров хвостового оперения.

Как правило такое сравнение проводится с помощью инженерных методик, верифицированных по результатам испытаний более ранних конструкций, принятых на вооружение. Это является наиболее надежным и проверенным на протяжении многих десятилетий методом проектирования. Фактически наличие инженерной методики, описывающей какой-либо процесс функционирования и вычисления технической характеристики является залогом успешного прогнозирования результатов изготовления опытного образца.

Также для технических систем «орудие — ствол — выстрел», для проектирования боевого снаряжения осколочных боеприпасов и кумулятивных узлов в [5–8] предлагалась системная

методология проектирования, согласно которой для технической системы, обладающей свойствами синергетики и эмерджентности, то есть влияния связей между ее элементами на выходные характеристики и повышения ее свойств в результате взаимодействия ее элементов, формулируется целевая функция, ограничения и параметры. Проводится задача оптимизации данной функции и поиск сочетания параметров по комплексной модели функционирования, обеспечивающих максимальный уровень эффективности.

Согласно [3], для проектирования артиллерийских выстрелов данная методология не используется, так как изменение размеров в пределах существующих ограничений не приводит к значительному изменению технических характеристик. Тем не менее, программно-методический аппарат, разработанный для данной компьютерной технологии способен применяться в решениях задач о расчете влияния случайных ошибок стрельбы на расход боеприпасов по элементарным целям, что является темой отдельного исследования.

Рассмотрим изменение конструкций бронебойных подкалиберных снарядов на протяжении некоторого периода их развития. Характеристики и описание бронебойных подкалиберных снарядов, исследуемых в данной работе приведены в [9].

Снаряд ЗБМ15, конструкция которого показана на рис. 1, оснащен калиберным оперением, ведущим устройством разжимного типа и применялся в танковой пушке 2А46М1. Бронепробиваемость обеспечивалась за счет активной части из высокопрочной стали и сердечника из вольфрамового сплава. Ведение по стволу у данного снаряда осуществляется с помощью обтюрирующего пояса на поддоне и штифтом на калиберном оперении.

Дальнейшим развитием отечественных бронебойных оперенных подкалиберных снарядов (БОПС) стал снаряд ЗБМ42 «Манго», конструкция которого показана на рис. 2, с усовершен-

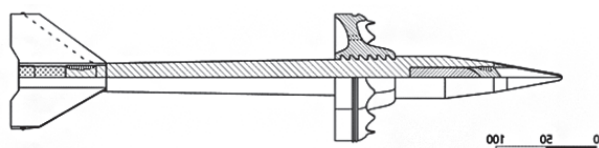


Рис. 1. Конструкция снаряда ЗБМ15

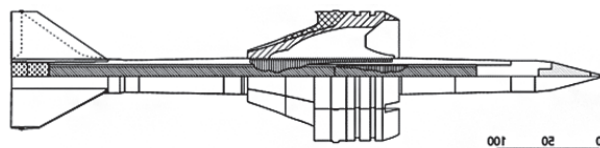


Рис. 2. Конструкция снаряда ЗБМ42

ствованной активной частью и прижимным ведущим устройством. Данный бронебойный подкалиберный снаряд (БПС) оснащается ведущим устройством прижимного типа и калиберным оперением. Ведение по стволу у данного снаряда осуществляется с помощью обтюрирующего пояска на поддоне и штифтом на калиберном оперении.

Параллельно с ЗБМ42 «Манго» был разработан снаряд ЗБМ32 «Вант» с активной частью из обедненного урана, показанный на рис. 3. Данный снаряд также имеет ведущее устройство прижимного типа и калиберное оперение. Ведение по стволу у данного снаряда осуществляется с помощью обтюрирующего пояска на поддоне и штифта на калиберном оперении.

Дальнейшее ужесточение требований по бронепробиваемости снарядом к данному оружию привело к необходимости снижения потерь скорости на траектории за счет применения подкалиберного оперения в снаряде «Зарайск», конструкция которого показана на рис. 4. Данный снаряд также исполнялся с ведущим устройством прижимного типа, но, вследствие наличия подкалиберного оперения, ведение снаряда по стволу осуществлялось с помощью пилонов на ведущем устройстве и обтюрирующего пояска.

Для артиллерийских систем с выстрелами унитарного заряжания бронебойный подкалиберный снаряд исполнялся с ведущим устройством катушечного типа, показанного на рис. 5.

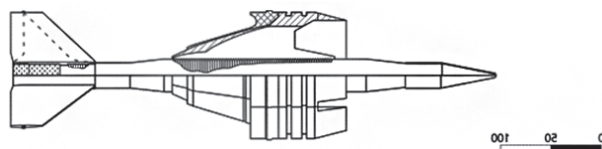


Рис. 3. Конструкция снаряда ЗБМ32

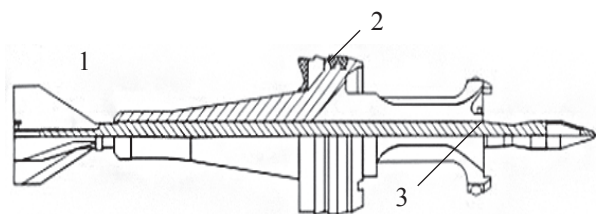


Рис. 5. Бронебойный снаряд с ведущим устройством катушечного типа: 1 — оперение; 2 — ведущее устройство; 3 — бронебойный сердечник

Для пушки 2А46М5 был разработан снаряд «Свинец-1» и «Свинец-2» в котором применялась схема ведения с помощью ведущего кольца, имеющего развитую коническую поверхность (прижимного типа), соединенную с корпусом снаряда с помощью резьбы (рис. 6). Ведение по стволу производится по двум опорам, которые находятся в канале ствола под натягом.

Для уменьшения потерь скорости на траектории оперение исполнялось подкалиберным (диаметр оперения меньше чем калибр снаряда). Задняя опора ведущего устройства исполняется в виде пилонов в количестве 4-х штук.

Вследствие ужесточения требований по бронепробиваемости, активная часть была выполнена с отношением диаметра к её длине более 35. Ведущее устройство облегало сердечник по большей части его длины во избежание потери устойчивости при движении его по стволу. Данное обстоятельство привело к выносу воздухозаборника ближе к носовой части снаряда. Взаимное положение бронебойного сердечника и ведущего устройства образовывало аэродинамическую иглу. Бронепробиваемость снаряда «Свинец-2» составила 300 мм [10].

Данная конструкция ведущего устройства используется практически во всех современных отечественных танковых бронебойных снарядах.

Основные характеристики танковых БОПС приведены в табл. 1. Для сравнения данных снарядов воспользуемся таким параметром как

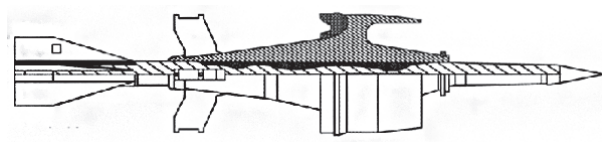


Рис. 4. Конструкция опытного снаряда «Зарайск»

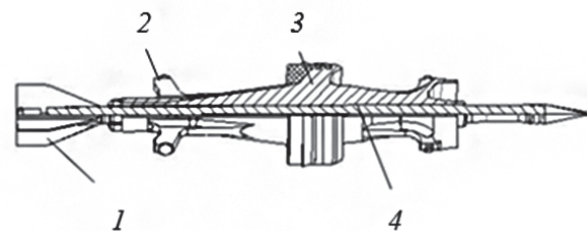


Рис. 6. Бронебойный снаряд с ведущим устройством прижимного типа и трехопорным ведущим устройством: 1 — оперение; 2 — пилоны; 3 — ведущее устройство; 4 — бронебойный сердечник

поперечная нагрузка снаряда F , которая рассчитывается по соотношению

$$F = \frac{q_a}{d_c},$$

где q_a — активная масса снаряда; d_c — диаметр активной части.

В табл. 1 приняты следующие обозначения: L — длина снаряда; H — величина бронепробиваемости под углом 60° на расстоянии 2000 м; $d_{оп}$ — диаметр оперения; q — масса снаряда.

Сравнительные характеристики БОПС разных лет показывают рост их бронепробиваемости за счет применения более плотных материалов активной части и уменьшения ее диаметра, приводящее к увеличению поперечной нагрузки на преграду. Также для снижения аэродинамических потерь скорости был произведен переход от калиберного оперения на подкалиберное.

Для осколочно-фугасных снарядов, облик которых оставался неизменным практически на протяжении последних 100 лет (рис. 7), можно отметить тенденцию к применению более совершенного взрывчатого вещества (была произведена замена тротила на А-IX-2), увеличению массы взрывчатого вещества $q_{ВВ}$ и увеличению коэффициента наполнения снаряда α за счет повышения прочности материала корпуса. Характеристики ОФС калибра 152 мм приведены в табл. 2.

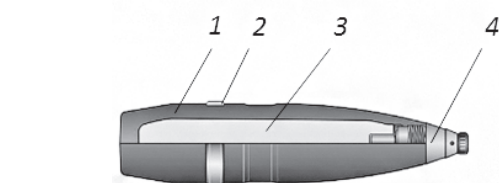


Рис. 7. Конструкция ОФС: 1 — корпус; 2 — ведущий пояс; 3 — разрывной заряд; 4 — взрыватель

Из вышеприведенной информации можно сделать следующие выводы:

– исторически сложившимся путем модернизации бронейных и осколочно-фугасных снарядов является совершенствование материалов составных частей (для бронейных снарядов это повышение плотности материала активной части, для осколочно-фугасных снарядов это повышение прочности корпуса и замена бразантного взрывчатого вещества (ВВ) — тротил

Таблица 1

Конструктивные характеристики танковых БОПС

Индекс снаряда	Материал активной части	d_c , мм	ρ , кг/м ³	L , м	$d_{оп}$, мм	q_a , кг	q , кг	H , мм	F , кг/м ²
ЗБМ15	Карбид вольфрама	30	8000–9000	550	125	3,9	5,9	150	4333
ЗБМ32	Сплав из обедненного урана	30	17000–19000	480	125	4,85	7,05	250	5388
ЗБМ42	Вольфрамовый сплав	30	16000–16500	570	125	4,85	7,05	220	5388
«Зарайск»	Вольфрамовый сплав	30	16000–16700	570	90	4,85	7,05	270	5388
«Свинец-2»	Вольфрамовый сплав	24	16000–16700	725	90	4,4	8,36	300	7638

Таблица 2

Характеристики 152-мм осколочно-фугасных снарядов

Индекс снаряда	Взрывчатое вещество	Материал корпуса	q , кг	$q_{ВВ}$, кг	α
ОФ-540В	Тротил	Чугун	43,56	4,8	0,11
ОФ-540	Тротил	Сталь	43,56	5,86	0,13
ОФ-25	А-IX-2	Сталь	43,56	6,88	0,16
ОФ-45	А-IX-2	Сталь	43,56	7,65	0,18

на А-IX-2, обладающее повышенным фугасным и метательным действием);

– наиболее полезной рекомендацией из литературы по ТРИЗ является отслеживание тенденции в изменении конструкции образцов на протяжении их развития;

– данная тенденция должна быть подкреплена некоторым количественным критерием качества конструкции, в котором отражается характеристика материала, влияющая на повышение технической характеристики (поперечная нагрузка для БОПС или коэффициент наполнения для ОФС).

Литература

1. ГОСТ 22487-77 Проектирование автоматизированное. Термины и определения. — М.: Издательство стандартов. 1978. 11 с.
2. tmm-umk.bmstu.ru [Электронный ресурс]: Лекции по теории механизмов и машин. URL: https://tmm-umk.bmstu.ru/lectures/lect_1htm#3/ [Дата обращения 24.09.2019].
3. Куприянов В.М. Опыт применения компьютерных технологий в автоматизации проектирования артиллерийских снарядов // Известия РАН. 2019. № 1. С. 83–86.
4. Альтшуллер Г.С. Найти идею: введение в ТРИЗ — теорию решения изобретательских задач. — М.: Альпина Бизнес Букс. 2007. 400 с.
5. Технология фреймового моделирования в проектировании боеприпасов / А.Г. Ришняк, В.В. Леонов, С.А. Люшнин // Оборонная техника, 2002. № 1–2. С. 36–41.
6. Развитие интегрированной интерактивной среды для проектирования БП / А.Г. Ришняк, В.В. Леонов, С.А. Люшнин // Оборонная техника. 2004. № 5. С. 8–15.
7. Интерпретация результатов численного моделирования в системном анализе возможных применений фундаментальных исследований / А.Г. Ришняк, С.А. Люшнин, А.В. Петюков // В сб. Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны. Труды Международной конференции XVII Харитоновские тематические научные чтения. 2015. С. 837–842.
8. Объектно-ориентированный подход к проектированию средств поражения / А.Г. Ришняк, В.В. Леонов, С.А. Люшнин // Известия РАН. 2004. № 3. С. 38–44.
9. Боеприпасы / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов, Н.А. Имховик, И.Ф. Кобылкин, В.И. Колпаков, С.В. Ладов, Л.П. Орленко, В.Н. Охитин, А.Г. Ришняк, В.В. Селиванов. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. Том 1. 512 с.
10. Сайт канала «Звезда» — m.tvzvezda.ru [Электронный ресурс]: Разработчик раскрыл характеристики снаряда нового поколения «Свинец-2». URL: <http://m.tvzvezda.ru/news/opk/content/20197241023-yT9Zc.html/amp/> [Дата обращения 27.11.2020].