

УДК: 623.45

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БОЕПРИПАСОВ И ВЫСТРЕЛОВ. ЧАСТЬ II

SOME PROMISING AREAS DEVELOPMENT OF AMMUNITION AND SHOTS. PART II

*Академик РАРАН В.М. Буренок¹, академик РАРАН О.Т. Чижевский²,
чл.-корр. РАРАН К.М. Иванов³, чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрт³, Е.А. Знаменский³, В.А. Чубасов⁴*

¹РАРАН, ²АО «НПО «Прибор», ³БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
⁴Михайловская военная артиллерийская академия

V.M. Burenok, O.T. Chigevsky, K.M. Ivanov, B.E. Kert, E.A. Znamensky, V.A. Chubasov

На основе публикаций последних лет проанализированы перспективные направления развития артиллерийских боеприпасов и выстрелов.

Ключевые слова: артиллерийский выстрел, боеприпас, снаряд, калибр, баллистика, дальность, точность, кучность, осколочность, фугасность, бронепробитие, скорость, кумулятивный снаряд, подкалиберный снаряд, телескопический выстрел, поражающие элементы, реакционноспособные материалы.

Based on the publications of recent years, the perspective directions of the development of artillery ammunition and shots are analyzed.

Keywords: artillery shot, ammunition, projectile, caliber, ballistics, range, accuracy, fragmentation, high explosive, armor penetration, speed, cumulative projectile, sub-caliber projectile, telescopic shot, striking elements, reactive materials.

1. Некоторые перспективные направления развития боеприпасов среднего и большого калибров

Перспективные способы увеличения дальности стрельбы

Доминирующей тенденцией в развитии полевой артиллерии основных сил и ее боеприпасов является увеличение дальности стрельбы. Это обусловлено взглядами на современную военную операцию как на процесс, протекающий на большом пространстве. Эти взгляды нашли свое отражение в военных доктринах США и НАТО [1, 2]. Глубины зон боевого воздействия для различных соединений США, иллюстрирующие новые взгляды на военные операции, варьируются в зависимости от типа соединения

(бригада-дивизия-корпус-объединение) в диапазоне 15–70–150–300 км. Следствием таких взглядов стало изменение требований к могуществу артиллерийского комплекса, определяющегося сочетанием таких свойств, как дальнобойность, меткость и кучность боя, скорострельность, могущество снаряда у цели.

Увеличение дальности стрельбы достигалось сочетанием на новом уровне давно известных решений — увеличения длины ствола (с 39 до 52 клб), объема зарядной каморы, разработки новых энергонасыщенных порохов с прогрессивным законом горения, улучшения аэродинамической формы снаряда. В дальнейшем к этому добавились такие способы, как использование донной выемки (увеличение дальности на 5–8%), установка донного газогенератора (увеличение до 15–25%), снабжение снаряда реактивным

двигателем твердого топлива (РДТТ) (увеличение дальности на 30–50%) [3, 4]. В настоящий момент можно констатировать, что указанные способы достигли предела своих возможностей. Увеличение начальной скорости снаряда требует разработки новых конструктивных схем выстрела. На стадии НИР находится разработка электромагнитной, электротермической и электротермохимической пушек с начальной скоростью снаряда 2500 м/с. Такие пушки могут появиться к 2030 году. Разрабатываются гладкоствольные танковые пушки со сменными стволами калибром 120–140 мм [5]. Перспективными способами повышения дальности являются увеличение или поддержание полетной скорости с помощью встроенных прямооточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД) и использование планирования при полете снаряда на пассивном участке траектории [6, 7]. Подобный прием использован в модификации снаряда «Краснополь-М2» [8], что позволило увеличить дальность с 20 до 26 км.

Использование ПВРД в артиллерийских снарядах было впервые предложено в патенте венгерского ученого Альберто Фоно в 1915 году [9]. В нашей стране идею применения ПВРД на твердом топливе (ПВРДТТ) в артиллерийском снаряде использовали Ю.А. Победоносцев и М.С. Кисенко [10]. В Германии под руководством В. Троммсдорфа в период с 1939 по 1943 гг. испытан ряд конструкций снарядов с жидкостным ПВРД, которые достигали скоростей свыше 1500 м/с и дальностей до 200 км. Снаряды калибром 150 мм имели дульную скорость 1000 м/с, а за последующие 3,2 с разогнались за счет ПВРД, использующего в качестве топлива сульфид углерода (CS_2), до 1460 м/с. Также В. Троммсдорфом были спроектированы снаряды для орудия калибра 280 мм с массой 170 кг, начальной скоростью 1223 м/с, наибольшей скоростью полета 1860 м/с и дальностью стрельбы около 350 км [11]. В 1976 году на базе НИМИ в лаборатории под руководством Б.М. Богданова начали проводиться исследования по созданию бронебойных подкалиберных снарядов с ПВРД [12]. Результаты работ вылились в создание нескольких макетных образцов боеприпасов.

На сегодняшний день интерес к созданию артиллерийских боеприпасов с ПВРД и ракетно-прямоточными двигателями (РПД) на твердом топливе подтверждается рядом получен-

ных в последние годы отечественных патентов [13–15]. За рубежом также ведутся работы по созданию подобных боеприпасов. Так израильская фирма «Somchem» самостоятельно разрабатывает 155-мм активно-реактивный снаряд PRO-RAM с РПД, являющимся вариантом снаряда M2005 VLAP. По оценкам разработчиков, дальность стрельбы снарядом из орудия со стволом длиной 52 калибра составит не менее 70 км [3, 5].

Требования к конструкции ПВРД и РПД для артиллерийских снарядов имеют ряд специфических особенностей, существенно отличных от таковых для крылатых ракет. К ним относятся:

- необходимость выдерживания больших перегрузок в процессе выстрела, накладывающая существенные ограничения на конструкцию зарядов топлива;
- необходимость больших скоростей горения зарядов топлива, вызываемая кратковременностью процесса работы двигателя;
- необходимость работы на восходящем участке с существенным изменением атмосферных условий вдоль траектории.

Разработка в последние годы высококалорийных пастообразных топливных составов делает возможной реализацию эффективных ракетно-прямоточных двигателей на пастообразных топливах (РПДПТ) для артиллерийских снарядов [16–18].

О конструктивных схемах артиллерийских снарядов с ПВРД и РПД

Конструктивная схема артиллерийского снаряда с прямооточным воздушно-реактивным или ракетно-прямоточным двигателем имеет свои особенности. В отличие от таковых, для крылатых ракет входной диффузор вряд ли может быть плоским — скорее всего, он должен иметь круговое сечение. Кроме этого, проблемной является организация горения твердого горючего в потоке воздуха, доставляющего окислитель из входного диффузора (ВД). Легче реализовывать неполное сгорание твердого или пастообразного топлива во встроенном газогенераторе (ГГ) и его догорание в камере смешения и догорания (КСД) РПД.

Толкающая схема двигателя предпочтительнее тянущей, так как в последней взаимо-

действие реактивной струи с обтекаемым ею корпусом снаряда снижает силу тяги. Близкое к донному срезу расположение кольцеобразного входного диффузора будет отрицательно влиять на работу двигателя из-за смены режима затекания, обусловленной нутационными колебаниями снаряда в полете. Наконец, для обеспечения полного догорания недоокисленных продуктов сгорания топлива в ГГ необходима достаточно объемная и большая в длину КСД. Представленные в патентах [13–15] схемы снарядов удовлетворяют этим требованиям лишь частично. Более привлекательной представляется схема, рассмотренная в работах [19–21], проведенных в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (руководитель — член-корреспондент РАН Б.Э. Кэрт). Она включает входной диффузор (ВД) с внутренним сжатием и газогенератор с зарядом пастообразного топлива в кольцеобразной камере сгорания, охватывающей выходной канал диффузора, открывающийся в КСД. Такая схема позволяет также использовать рабочие полости РПД — КСД и канал, связывающий ВД с КСД, для организации в них дополнительного РДТТ или РДПТ и превращения РПД в комбинированную энергосиловую установку (КЭСУ), включающую первоначально срабатывающий РДПТ, а затем, после освобождения рабочих полостей от топлива — включающийся в работу РПД. Вместо РДПТ в полости КСД может быть размещен присоединенный метательный заряд, срабатывающий в стволе при выстреле. Так может быть достигнуто повышение начальной скорости снаряда с одновременным снижением максимального давления в стволе. С использованием средств современного твердотельного 3D-моделирования проведена конструктивная проработка некоторых вариантов реализации конструктивной схемы и определены необходимые для численного исследования баллистического функционирования артиллерийских снарядов с КЭСУ конструктивные параметры. При этом прорабатывались только вопросы, связанные с рациональным размещением необходимых объемов элементов КЭСУ на борту снаряда и определялась толщина стенок конструкций, обеспечивающая необходимую прочность. Прочие элементы конструкции боеприпаса не детализировались. В качестве источника информации использовались данные [22–26].

Для конструктивной модификации были выбраны штатные боеприпасы: 130-мм снаряд 3ОФ33, 152-мм снаряд 3ОФ45 и 203-мм снаряд 3ОФ43. На основе имеющейся информации по данным изделиям созданы модели, адаптированные в пакетах SolidWorks и Компас-3D. Их массогабаритные характеристики (МГХ) совпадали со штатными. После этого на их базе был разработан 3D-модели снарядов описанной конструктивной схемы. При этом для каждого снаряда реализовывались проектная модель типа 1, сохраняющая габариты прототипа, и модель типа 2, сохраняющая массу дробящегося на осколки корпуса и взрывчатого вещества (ВВ). На рис. 1 изображена модель типа 2 для снаряда-прототипа 3ОФ43. Модели снарядов для прототипов 3ОФ33 и 3ОФ45 аналогичны.

В рамках пакета прикладных программ (ППП) «МАТМЕХ» [27] моделировалось движение модельного 203-мм снаряда массой 137 кг, метаемого под углами, близкими к $\Theta_0 = 60^\circ$, с дульной скоростью 1000 м/с. Метание активного снаряда постоянной массы позволило получить горизонтальную дальность $X = 41392$ м. Метание снаряда с включением РДТТ на дульном срезе при комплектации РДТТ шашками суммарной массой 7,15 кг позволило получить горизонтальную дальность $X = 51170$ м, то есть увеличило дальность на 23,6 %. В третьем случае РДТТ работал 1,3 с, после чего в момент времени $t = 1,8$ с включался РПД, работавший 28 с, что позволило получить дальность 218490 м при высоте траектории $Y = 87963$ м.

Причина столь существенного роста дальности следующая. Мощная двигательная установка, как при работе РДТТ, так и при работе РПД развивает реактивную силу, в разы превышающую лобовое сопротивление. При этом на 31 секунде полета снаряд разгоняется до скорости 1367,5 м/с, находясь на высоте 31344 м, то есть в верхних слоях стратосферы. Число Маха при этом доходит почти до 4,5. Аналогичные дальности для модельного снаряда калибром



Рис. 1. Модельный снаряд калибра 203 мм

130 мм составили, соответственно, 22232 м (1), 25507 м (2) и 114900 м (3). Для модельного снаряда калибром 152 мм — соответственно, 32292 м (1), 40320 м (2) и 70557 м (3). Отметим, что какая-либо оптимизация параметров снарядов не проводилась.

Проведенные расчеты показывают принципиальную возможность создания артиллерийских снарядов для существующих артиллерийских систем с дальностями в диапазоне 70–200 км. Необходимо проведение поисковых НИР, в том числе и военно-научных, для обоснования целесообразного облика перспективных снарядов с РПД.

Управление и коррекция траекторий артиллерийских снарядов

Предложения о разработке неуправляемых снарядов с дальностями стрельбы 100 км и более находят естественное возражение в том, что указанные снаряды будут иметь недопустимо высокий уровень технического рассеивания. В современных условиях необходимо иметь достаточно высокоточные боеприпасы, способные на больших расстояниях эффективно поражать компактные цели. Вопрос, однако, должен быть рассмотрен на базе критерия «цена-качество». Задача проектирования высокоточного активно-реактивного снаряда с дальностью действия более 100 км практически превращает его в дорогую ракету, запускаемую из артиллерийского ствола. Таковы разрабатываемые в США боеприпасы большого удлинения, стабилизируемые оперением, в которых существенно увеличен заряд топлива РДТТ. На сегодняшний день известно о двух прототипах [28–30], доведенных до опытных стрельб. Одним из них является управляемый 155-мм APC LRLAP (Long Range Land Attack Projectile), дальность стрельбы которого в ходе практических стрельб была на уровне 83–116 км, другим — 127-мм ERGM (Extended Range Guided Munition), дальность которого также превышает 100 км. Отечественный управляемый 152–155 мм снаряд «Краснополь М2» [8] выстреливается на дальность 26 км и требует подсветки цели лазерным целеуказателем. Для увеличения дальности снаряда «Краснополь» в ТулГУ предложено снабдить его РПДТТ с

камерой догорания, образующейся раздвигающимся на траектории корпусом [15]. При этом целеуказание может быть проведено с использованием БПЛА. Однако для этого необходимо доставить БПЛА к цели, что требует большого времени ввиду малости скоростей БПЛА. Альтернативой является снабжение снаряда активной головкой самонаведения.

В этом смысле предпочтительной представляется разработка снарядов повышенной дальности, снабжаемых системами коррекции траектории с целью уменьшения рассеивания по фронту и дальности в сочетании с разработкой специальных пристрелочных снарядов. При этом процесс стрельбы на большие дальности проводится в три этапа:

- пристрелочный снаряд (ПС), выпущенный по расчетной траектории, сообщает информацию о своем действительном положении относительно цели и о погодных условиях, и атмосферных параметрах в районе цели;

- баллистическая станция (БС) пересчитывает начальные условия стрельбы и параметры работы систем коррекции траектории снарядов;

- производится требуемое для поражения цели количество выстрелов боевыми снарядами.

Информация о траектории пристрелочного снаряда может сниматься как с помощью систем спутниковой навигации, так и с помощью сверхширокополосной [30] радиосвязи БС с ПС.

Описанная технология хорошо сочетается с разделением боеприпаса для повышения эффективности действия, то есть с использованием касетных боеприпасов с различными типами боевых элементов (БЭ). При этом могут использоваться осколочные БЭ, кумулятивно-осколочные (КОБЭ) и БЭ точного прицеливания (БЭТП, самоприцеливающиеся БЭ) с ударным ядрами или ударными поражающими элементами (УПЭ). На описанных принципах строится функционирование ряда разрабатываемых зарубежными компаниями боеприпасов. В частности, в США разрабатывается снаряд XM982, а французская фирма «Жиат» предлагает касетный снаряд «Пеликан» с дальностью стрельбы 80 км при радиусе рассеивания 15 м, ФРГ и Швеция разрабатывают 155-мм снаряды с дальностью 70–80 км. Дальность обеспечивается использованием донного газогенератора (ДГГ) совместно с планированием



Рис. 2. Вариант кассетного артиллерийского снаряда калибром 203 мм

ем благодаря рулям управления и планирующим поверхностям.

В настоящий момент дальности стрельбы отечественными кассетными снарядами калибров 152 и 203 мм более чем вдвое ниже, чем таковые у соответствующих осколочно-фугасных снарядов (ОФС). Это обусловлено недостаточной прочностью кассетных снарядов, заставляющих уменьшать метательный заряд и снижать начальную скорость снаряда. Снабжение кассетного снаряда устройством силового вневольного доразгона в виде РПДПТ, приведенной схемы способно купировать указанный недостаток, а требуемая кучность обеспечена путем снабжения снаряда системой баллистического тормоза и импульсных двигателей коррекции. На рис. 2 показан перспективный кассетный артиллерийский снаряд [19–21] калибром 203 мм.

Приведенный снаряд по своим МГХ соответствует штатному 203-мм кассетному снаряду 3О14 «Склад» с осколочными боевыми элементами [32]. Расчетная дальность стрельбы, полученная без оптимизации параметров модели, составила около 70 км при 30 км у прототипа [20, 21].

Радиопрозрачные снаряды

Следует отметить, что важными качествами современной артиллерии являются скрытность действия, скорострельность и маневренность. В условиях современного боя противник обладает возможностью с помощью комплексов РЛС контрбатареи борьбы обнаруживать на траектории снаряды и, восстанавливая по полученным данным баллистические траектории активных снарядов, быстро наносить удары по позициям атакующих систем. Поэтому артиллерийская батарея должна быстро выполнить боевую задачу и сменить позицию до получения ответного удара. В этой связи интерес представляет развитие технологий проектирования, производства и боевого применения радиопрозрачных снарядов,

выполненных из неметаллических материалов. В настоящий момент указанные исследования находятся в начальной стадии [33, 34].

2. Перспективные направления развития боеприпасов стрелкового оружия и малокалиберных артиллерийских комплексов МАК

Общие тенденции развития

Патронная отрасль Советского Союза являлась одной из самых мощных в мире по объему продукции и была ориентирована на выпуск миллионов однотипных патронов при серьезной государственной поддержке. К настоящему времени ситуация кардинально изменилась. Существенно повысились требования к дальности полета пули и кучности. При этом не допускается решение этих задач за счет увеличения веса оружия и боекомплекта. В связи с развитием средств индивидуальной защиты существенно повышаются требования по бронепробитию (пробитию бронезилетов и легкобронированной техники на определенном расстоянии).

В области производства наметился отход от массового производства, оснащенного роторными линиями, к гибкому серийному производству, выпускающему различные специальные и боевые патроны малыми партиями, оснащеному отдельным штамповочным оборудованием и обрабатывающими центрами. Основные направления развития производства патронов следующие:

1) обеспечение качества патронов и снижение себестоимости их изготовления в условиях гибкого производства. Одной из ключевых характеристик качества патронов в условиях гибкости производства является кучность, определяемая стабильностью массово-геометрических характеристик;

2) повышение бронепробиваемости за счет новых технических решений. Обоснование оптимального калибра (имеются данные о том, что оптимальным является калибр 6,5–6,9 мм). Имеются сведения о разработке перспективного калибра НАТО 6,8 мм, окончательное решение по которому будет принято в 2022 году. Планируется создание патрона с полимерной гильзой. В России возможен отказ от патрона калибра 5,45 мм в

связи с недостаточностью пробивного действия пуль по живой силе в бронезиловых. В качестве альтернативы имеются сведения о возможной разработке нового калибра или улучшению ТТХ патронов калибра 7,62 мм;

3) применение полимерных и композиционных материалов для изготовления элементов патронов. Значительные исследования проводятся в области изготовления гильз из полимеров для боевых патронов, имеются исследования в области изготовления головных наконечников пуль и ведущих устройств из полимеров;

4) применение новых технологических процессов (экструзия, прессование, схемы со сдвиговыми деформациями), позволяющих принципиально повысить качество, точность и снизить себестоимость патронов стрелкового оружия.

Перспективные направления модернизации боеприпасов к стрелковому оружию и автоматическим пушкам малого калибра

Перспективные конструктивные схемы боеприпасов

Многоцелевой «снаряд–пуля» относится к боеприпасам. Он может быть применен в составе патронов к стрелковому оружию, автоматическим пушкам калибра 23 мм, 30 мм с остальными штатными элементами: порохов, капсюлем, гильзой (рис. 3). Многоцелевой «снаряд–пуля» имеет: 1 — баллистический наконечник (БН), 2 — корпус, выполненный в виде полого пуансона, 3 — заряд, 4 — инициатор; в качестве инициатора используется строительно-монтажный патрон (СМП), 5 — балансир, ведущий поясочек (ВП).

Ведущий поясочек снаряда изготавливается из пластмассы, а также может быть выполнен заодно с корпусом из того же материала.

Такая конструкция обеспечивает увеличение поражающего действия снаряда по целям в

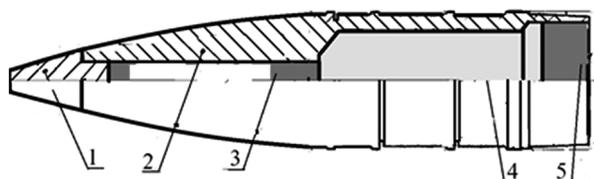


Рис. 3. Снаряд многоцелевой; калибр 7,62 мм, масса 9–13 г, коэффициент пробития 0,9–0,95

индивидуальных средствах защиты на средних и повышенных дальностях стрельбы по бронированным и небронированным целям за счет увеличения коэффициента пробития, создания термобарического действия внутри цели.

Увеличение коэффициента пробития в 1,5–2 раза достигается за счет роста доли массы балансира из прочного материала и корпуса, заменяющего свинцовую рубашку, оболочку и сердечник.

Термобарический эффект создается за счет преобразования потенциальной энергии расположенного внутри корпуса заряда, инициируемого сработавшим СМП после соударения с преградой.

Повышение точности и технологичности обеспечивается отсутствием легкодеформируемой в процессе выстрела свинцовой рубашки и более высокой точности технологического процесса изготовления корпуса по сравнению с техпроцессом изготовления оболочки.

Подобные изображенной на рис. 3 конструкции снарядов к патронам стрелкового оружия и автоматическим пушкам малого калибра, разработанные на основе использования новых технологических процессов и материалов, представлены на рис. 4–7.

Масса снаряда калибра 12,7 мм составляет 15–17 г. Патрон предназначен для поражения точечных целей на дальних и сверхдальних дистанциях (1000–2500 м), вертолетов, самолетов, небронированных транспортных средств. Разрушения сравнимы с действием снарядов 20–30 мм пушек, рис. 6.

Перспективным направлением развития боеприпасов является создание сборок боеприпасов



Рис. 4. Снаряд бронейно-зажигательный калибра 5,45 мм

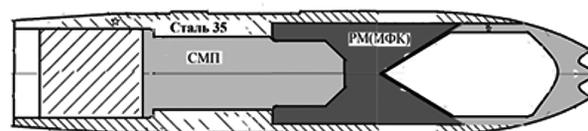


Рис. 5. Снаряд многоцелевой калибра 9 мм

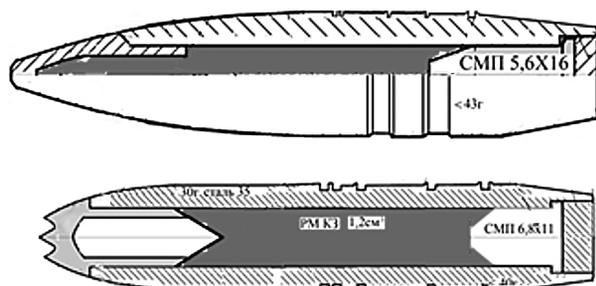


Рис. 6. Снаряд многоцелевой к патронам стрелкового оружия, калибр 12,7 мм

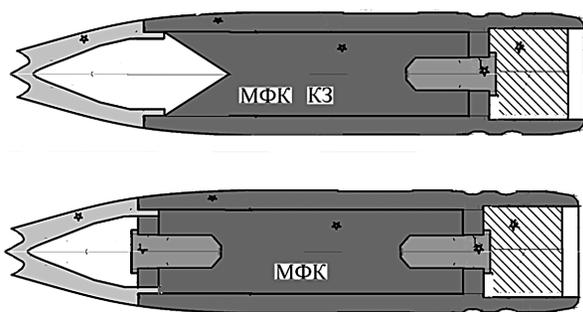


Рис. 7. Многоцелевой снаряд калибром 23 мм

повышенного могущества с механо-химическим активным снаряжением из реакционноспособных материалов (РСМ). При этом целесообразно создание боеприпасов модульного принципа (модульных сборок) в состав которых входят активные компоненты, способные выделять большую энергию при ударе или сдвиговой деформации, а также компоненты из сверхтвердых композиционных материалов с заранее смоделированной геометрией под конкретные задачи гарантированного пробития броневых материалов.

Активная составляющая — это металл-фторопластовые композиты (МФК) и (или) смеси металлов с политетрафторэтиленом, в исходном состоянии представляющие собой инертные вещества. При повышенных ударно-волновых нагрузках в этих веществах сдвиговые процессы приводят к протеканию механохимических реакций с большим выделением энергии. Это способствует росту бронепробития и запреградного действия.

В качестве твердых вставок пробивающих элементов используются стержневые сборки, выполненные из твердых (Р6М5, Р9, 318) и сверхтвердых конструкционных инструментальных материалов (ВК8, Т15К6, карбид и нитрид бора, инновационных керамик). Моделирование

геометрии наконечника стержневой вставки позволяет управлять формой, видом и характером разрушения броневых материалов (рис. 8). Головная часть боеприпаса, выполненная из наномодифицированного политетрафторэтилена или полиамида, дополнительно участвует в процессе механоактивации металл-фторопластовой композиции. Тем самым повышается могущество боеприпаса.

Использование модифицированных углеродными наномодификаторами полимерных материалов (термопластов конструкционного назначения: полиамида и тетрафторэтилена) в патронно-гильзовом производстве

Модификация термопластов углеродными наномодификаторами приводит к повышению физико-механических характеристик полимерных материалов, из которых, в первую очередь, существенны: регулируемое увеличение прочности (в среднем в 1,5–2,5 раза), повышение ударной вязкости (не менее чем в 2 раза), рабочего диапазона температуры (до 350–500 °С) и кратковременных разогревов (до 600 °С). Введение наномодификаторов меняет структуру эластомеров, упрочняя ее направленной псевдокристаллизацией и ростом направленных волокон. Кроме этого, изменяются триботехнические свойства, снижается трение в момент выстрела и обеспечивается «самосмазывающий эффект», что в разы снижает износ ствола.

На рис. 9 изображена схема патрона с головной частью и направляющими поясками, выполненными из наномодифицированного эластомера.

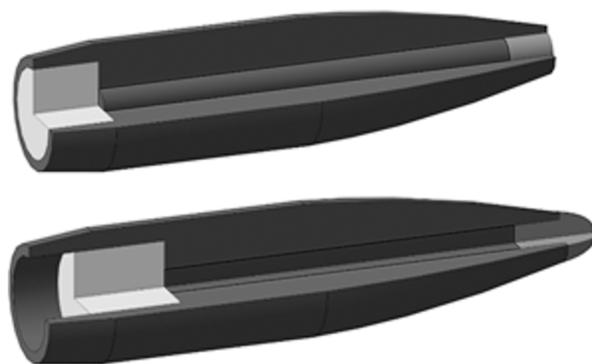


Рис. 8. Варианты стальных пуль, выполненные с соблюдением модульного принципа

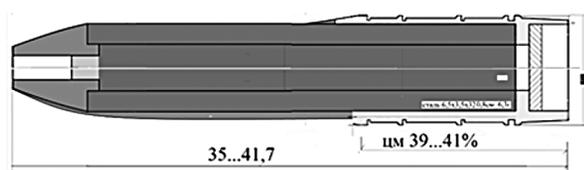


Рис. 9. Схема снаряда с направляющими поясками и головной частью, выполненной из наномодифицированного эластомера

В процессе модификации термопласта на этапе подготовки существует возможность получения новых конструкционных полимерных материалов, обладающих заданными эксплуатационными свойствами. Сам наномодификатор углеродного типа обладает температурой деструкции до $3500\text{ }^{\circ}\text{C}$, что, соответственно, при введении в полимерную матрицу существенно повышает кратковременный температурный порог размягчения и критической деструкции материалов (до $500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Одновременно повышаются прочностные характеристики полимерного материала из-за образующегося каркаса внутри изделия (повышение ударной вязкости и прочности). Это делает перспективным создание гильз, полностью или частично выполненных из полимерных композиционных материалов, а также создание специальных жидких, пластичных и твердых смазочных материалов, обладающих расширенным диапазоном эксплуатации (от -70 до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$), улучшающих баллистические характеристики оружия, повышающих протекторные защитные характеристики смазочного материала по отношению к парам воды в окружающей среде, улучшающих моющее действие материалов как на основе углеводов, так и на основе водных растворов с ПАВ, а также снижающих износ стволов при наличии абразива и негативных внешних факторов.

3. Актуальные направления развития проектирования, производства и подготовки специалистов в области боеприпасов

Действующая в настоящее время структура процесса создания новых систем вооружений сложилась в послевоенные годы и сводилась к постановке технического задания, предложению одной или нескольких конструктивных схем разрабатываемой системы, их предварительной констру-

тивной проработке на основе математического моделирования отдельных частей процесса функционирования в сочетании с проведением лабораторных стендовых экспериментов, реализации варианта изделия и оценки качества его функционирования в ходе стендовых и полигонных испытаний. В случае удовлетворительного результата процесс заканчивался. В противном случае в конструкцию вносились изменения и процесс повторялся. Срок разработки достаточно сложной технической системы составлял 10–15 лет.

Развитие методов математического моделирования при проектировании на основе высокопроизводительной вычислительной техники сделало возможным существенное изменение указанной схемы. Появилась возможность компьютерного моделирования функционирования сложной технической системы в целом, и, на этой основе, машинного анализа качества предлагаемых конструктивных схем на стадии предварительного проектирования с возможностью оптимизации их параметров. Наличие адекватных математических моделей, имитирующих на компьютере действие разрабатываемой системы, позволяет сократить в разы сроки разработки, затраты на дорогостоящие экспериментальные исследования и испытания и, одновременно, повысить качество разработки за счет предварительного исследования большего числа вариантов конструкций и оптимизации их параметров. Одновременно может быть решена проблема, связанная с необходимостью адаптации боеприпасной отрасли к переходу на проектирование и производство малых серий большого числа модификаций боеприпасов.

Решение указанной проблемы может быть достигнуто в случае разработки и внедрения в практику единой компьютерной среды сопровождения жизненного цикла боеприпасов, охватывающей все стадии их проектирования, испытаний, производства, эксплуатации и утилизации. Такая среда должна быть естественным образом вписана в процесс цифровизации управления экономикой в целом.

Рассмотрим перспективы создания такой среды в части проектирования и производства боеприпасов. У нее должны быть следующие основные характеристики:

1. Использование свободно распространяемого и отечественного программного обеспечения;

2. Функционирование на основе единой базы данных или совместимость с ней;

3. Возможность реализации моделей технических систем широкого класса конструктивных схем с учетом взаимозависимости развития динамических, термодинамических, гидрогазодинамических, теплофизических, деформационных и прочностных процессов при их функционировании;

4. Возможность проведения многофакторных численных экспериментов и оптимизации на этой основе параметров разрабатываемых конструкций, в том числе с использованием суперкомпьютерных технологий и высокопроизводительных вычислений.

В настоящее время в РФ сложились условия для разработки и внедрения в практику подобной компьютерной среды. Она может быть основана на использовании ОС Linux и функционирующих на ее основе системы твердотельного моделирования Компас-3Д, пакета прикладных программ машинного анализа тепловых механизмов (ППП «Матмех» [27]), пакета программ ЛОГОС и др.

Переход к практике проектирования боеприпасов на основе использования единой компьютерной среды требует определенных корректив в направлениях подготовки специалистов разработчиков. Так в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова при переходе на ФГОС третьего поколения при подготовке специалистов в рамках специальности 170100 «Боеприпасы и взрыватели» была введена специализация № 6 «Информационные технологии проектирования боеприпасов и взрывателей». В настоящий момент по этой специализации осуществляется прием на 19 бюджетных мест. Необходимо расширить целевую подготовку специалистов указанного направления одновременно с углублением их знаний в области описанных выше компьютерных технологий. Наилучшим способом решения проблемы в целом являлась бы постановка под эгидой РАН соответствующей НИОКР с привлечением к ее исполнению, в том числе, специалистов и студентов выпускающих кафедр «ВОЕНМЕХа».

Заключение.

Выводы и рекомендации

Приведенный обзор состояния и перспектив развития боеприпасной отрасли РФ позволяет сделать следующие выводы.

1. В настоящий момент можно констатировать определенное отставание научно-технического уровня современных отечественных боеприпасов от лучших существующих, а тем более от перспективных зарубежных образцов;

2. В то же время на уровне результатов интеллектуальной деятельности (РИД) существуют инновационные и прорывные подходы, позволяющие преодолеть это отставание. Для этого необходима государственная поддержка отечественных научных школ, работающих в области военно-технической науки (ВТН), и подготовки научных и инженерных кадров для предприятий ОПК и научно-исследовательских организаций (НИО) Министерства обороны;

3. Необходимо формирование общегосударственной программы развития боеприпасной отрасли, включающей программу перспективных НИОКР и программу поддержки образования по оборонным специальностям боеприпасного профиля.

Сформулированные проблемы носят общий характер и касаются развития ВТН, вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и ОПК в целом.

Остановимся на некоторых аспектах этой проблематики, заставляющих по-новому взглянуть на проблему развития ВВСТ, в том числе и в первую очередь, боеприпасов.

В настоящий период в мире осуществляется переход от стратегии гибридной войны, как вида межгосударственного противостояния, к новому виду конфликта — мировой гибридной войне, полностью отрицающей декларированные опорные конструкции существовавшего миропорядка — гуманизм и человечность, международное право, институты солидарного реагирования на общие угрозы, сами устои национальных государств.

Начиная с конца 2014 года, США ускоряющимися темпами реализуют положения так называемой «Третьей компенсационной стратегии», суть которой в том, чтобы добиться подавляющего технологического превосходства над всеми потенциальными противниками.

В этих условиях резко повышается значимость военной науки и ее важнейшей составляющей — военно-технической науки. Особую актуальность для обороны страны имеют достигнутые и прогнозируемые результаты ВТН — конструкторские и технологические достижения

для разработки и создания ВВСТ, а также результаты интеллектуальной деятельности (РИД) военного и двойного назначения.

Среди главных задач ВТН отметим следующие:

- подготовка проектов документов долгосрочного программно-целевого планирования развития ВВСТ;

- обоснование и подготовка проекта перечня необходимых НИР и ОКР, обеспечивающих сбалансированное и асимметричное развитие системы вооружения ВС РФ, других войск, воинских формирований и органов.

Военно-техническая наука, как единственная по большому счету востребованная государством составная часть российской науки, остается той опорной базой, на основе которой должна быть обеспечена надежная оборона страны, восстановлена роль и поднят престиж науки в обществе, достигнуто приемлемое удовлетворение социально-экономических потребностей населения отечественными товарами и услугами. В последнее десятилетие при приоритетном решении военно-технических задач одним из важных направлений ВТН стало всемерное развитие технологий двойного и гражданского назначения, призванных обеспечить импортозамещение и создание продукции общего назначения.

В условиях резко ускорившихся темпов научно-технического прогресса, в армиях развитых стран неоспоримой целью стало достижение качественного превосходства в ВВСТ. Явное превосходство в досягаемости, точности стрельбы, могуществе боеприпасов (БП), оперативности решения боевых задач, маневренности и других тактико-технических характеристиках (ТТХ) является определяющим фактором во всех сферах вооруженной борьбы. В ходе боевых действий с использованием противоборствующих однотипных (аналогичных) образцов ВВСТ недостатки в качестве теперь практически невозможно компенсировать за счет наращивания их количества. В качестве примера можно привести бесперспективность решения задач контрбатарейной борьбы морально устаревающими артиллерийскими системами против новейших артиллерийских систем противника.

Ключевым моментом для ВТН является достижение научно-технологической безопасности

(НТБ) — прежде всего обеспечение независимости от иностранных государств в создании и использовании перспективных технологий и комплектующих составных частей при разработке и модернизации образцов ВВСТ. В настоящее время все большую значимость также приобретают следующие принципы развития ВТН:

- единое государственное управление ВТН, межведомственная координация работ по развитию ВТН и концентрации имеющихся возможностей (сосредоточение интеллектуальных, финансовых, организационных и инфраструктурных ресурсов) по поддержке исследований и разработок в интересах создания перспективного ВВСТ;

- системное обоснование и целенаправленное наращивание научно-технического задела (НТЗ) для создания образцов ВВСТ последующих поколений.

Анализ состояния ВТН и перспектив ее развития показывает, что при сохранении нынешних финансовых, кадровых и иных ограничений, по крайней мере, на среднесрочную перспективу, не будет преодолена сформировавшаяся в 90-е годы прошлого столетия тенденция к ее деградации.

Резкое сокращение числа одаренных научных сотрудников, занятых фундаментальными, прогнозными и прикладными исследованиями, и НИО, в большинстве своем медленно переснащающих свою материально-техническую базу, не позволяет выйти на приемлемый уровень современного развития базовых военных и промышленных критических технологий. Особую опасность представляет кадровая проблема и сужение фронта исследований и разработок в постсоветский период. В РФ обозначился переход к кризисной ситуации развития научно-технических школ оборонной направленности, а также произошло существенное снижение фронта работ по созданию НТЗ для разработки перспективных образцов ВВСТ.

Среди многих причин создавшегося положения рассмотрим две из них.

Первая причина. Неудовлетворительно ведется стратегическое планирование развития ВТН, что сказывается на разработке образцов ВВСТ. Приведем два примера.

Пример 1. Отсутствует (или, по крайней мере, резко ослаблено) единое государственное управление военно-технической наукой. Для справки: ВТН включает несколько научно-техно-

логических секторов. В их составе следует отметить НИО силовых и смежных министерств и ведомств, ОПК, госкорпораций, «двойных» отраслей промышленности, РАН, технических вузов, негосударственного (частного) сектора, научных общественных организаций и др., занятых инженерно-научной и военно-технической проблематикой. Эти секторы не объединены едиными целями, взаимосвязанными и взаимодополняющими конкретными задачами и межведомственной координацией.

Из-за отсутствия, по сути, единого органа, непосредственно координирующего развитие ВТН в РФ, и соответствующей нормативной правовой базы нерационально используется научно-технологический потенциал НИО, структур и ведомств, участвующих в создании ВВСТ. Межведомственная разобщенность организаций ВТН не способствует качественному выполнению заданий ГОЗ и ГПВ.

В 2015 году в Минобороны России утверждена «Концепция развития военно-научного комплекса (ВНК) на период до 2025 года и на дальнейшую перспективу». Необходима разработка и утверждение на федеральном уровне единой концепции развития ВТН до 2035 года и на дальнейшую перспективу. Концепция развития ВТН и согласованная с ней уточненная концепция развития ВНК выявили бы большой перечень нерешенных вопросов в ВТН, например, в вузовском научно-техническом кластере. Поясним это подробнее.

Министерство образования и науки РФ было преобразовано в Министерство науки и высшего образования РФ. Соответственно, разработано Положение с функциями, возложенными на данный государственный орган.

В обоих положениях совершенно не прописаны задачи содействия научно-технологическому обеспечению обороны страны и развитию военно-технической науки, хотя в ведении Министерства науки и высшего образования РФ находится солидный кластер вузов оборонной направленности. Слова «научно-технический задел», «оборона», «безопасность страны», «технологии двойного назначения» в положении не употребляются, то есть в Министерстве науки и высшего образования РФ военно-техническая наука как была, так и осталась после реформирования инородным телом.

Как следствие, в Министерстве науки и высшего образования РФ вузы оборонной направленности находятся в неравноправных (ущербных) условиях, например, при оценке эффективности деятельности вузов, по сравнению с остальными подведомственными вузами.

Пример 2. До 2017 года при финансовой поддержке Минобрнауки в России создано 160 научных лабораторий под руководством вернувшихся из-за рубежа отечественных ученых и специалистов. К началу 2018 года их количество должно было достигнуть 200. При этом развитие существующих вузовских научных школ гражданского профиля, их государственная поддержка не является столь же важной (приоритетной) задачей. Оборонные вузовские научные школы вообще выпали из поля зрения Министерства науки и высшего образования РФ, то есть практически остались без государственной поддержки. Они развиваются (по сути, выживают) лишь за счет собственных средств вузов. Не вызывает сомнения, что с государственных позиций надо думать больше о подготовке и об удержании подготовленных здесь ученых, а не о том как создавать наиболее благоприятные условия для тех, кто уехал за границу за «длинным рублем» и, неясно по каким причинам, решил вернуться в Россию. Иными словами, на федеральном уровне требуется оперативно разработать и реализовать систему мер поддержки научных школ, обеспечивающую результативную отдачу от отечественных (без двойного гражданства) ученых и специалистов, занятых военно-технической тематикой. При эпизодической (в рамках Гособоронзаказа) загрузке НИР и ОКР такие школы могут в недалеком будущем вообще прекратить свое существование со всеми вытекающими для ОПК последствиями.

Первостепенной задачей в РФ считается формирование и подготовка молодых кадров, которые в дальнейшем будут определять вектор направления российской науки и добиваться успехов в технологической сфере. Так, Агентством стратегических инициатив в ближайшие три года планируется сформировать несколько тысяч проектных команд, которые будут заниматься реализацией перспективных гражданских проектов. Для достижения поставленных целей запущена программа «Кадры будущего для регионов». Для вузовской ВТН пока создаются лишь

дополнительные препоны по привлечению молодых исследователей, которые и так не горят желанием ограничивать себя из-за допуска к работам по закрытой тематике.

При этом следует отметить, что технические вузы оборонной направленности не включены в перечень организаций, которым централизованно высылаются закрытая информация по ведущимся за рубежом разработкам ВВСТ, достижениям в развитии военных технологий и интеллектуальной деятельности военного характера. Как следствие, вузы «варятся в собственном соку», находя поддержку, как правило, лишь у профильных предприятий ОПК в ходе выполнения их заказов.

К сожалению, в области разработки вооружения (в частности, ракетного и артиллерийского), где даже в годы Великой Отечественной войны господствовала конкурсная система, в последнее время возобладали монополизм и диктат производителя. Конструирование обычно ведется на безальтернативной основе и поручается предприятию, специализирующемуся на производстве конкретного вида вооружения. Это позволяет в определенной степени сократить время и уменьшить стоимость разработки вооружения, но в конечном итоге приводит к такому положению, когда создание качественно новых образцов ВВТ подменяется «ползучим совершенствованием» уже имеющегося вооружения.

Особенно наглядно это можно показать на примере развития отечественной номенклатуры артиллерийских боеприпасов. Несмотря на насыщение армий ведущих государств бронированной техникой, основу этой номенклатуры по-прежнему составляют осколочно-фугасные боеприпасы, которые практически достигли предела своих физических возможностей.

За рубежом уже давно пошли по пути создания дальнобойных кассетных снарядов (боевых частей ракет) с боевыми элементами двойного (кумулятивного и осколочного) действия. Именно они составляют сейчас основу номенклатуры боеприпасов зарубежной полевой артиллерии. Правильность такого подхода подтвердил опыт войны в зоне Персидского залива, свидетельствующий, что подобные боеприпасы обладают не только высоким поражающим, но и сильным морально-психологическим воздействием на живую силу противника, поскольку обеспечива-

ют высокую плотность огня и более рациональное распределение поражающих факторов по площади цели. У нас несмотря на то, что предложения о создании кассетных снарядов поступили в организации промышленности более 15 лет назад, таких боеприпасов до сих пор нет (или есть, но в небольшом количестве). Это существенно снижает возможности отечественной артиллерии по поражению подразделений, оснащенных бронированной техникой, и особенно в контрбатарейной борьбе.

Вторая причина. Снижение объемов и научно-технологического уровня работ по созданию научно-технического задела.

При сложившейся системе разработки ВВСТ у предприятий и НИО ОПК, особенно в случае монопольного положения по развитию отдельного вида (типа) вооружения, нет мотивации в резком скачке эффективности разрабатываемых образцов, то есть, как правило, они не заинтересованы в создании ВВСТ по инновационным и прорывным технологиям. Например, нынешние темпы разработки и освоения новых материалов, порохов и взрывчатых веществ позволяют дать прирост ТТХ боеприпасов не более 20–30%, что не отвечает современным потребностям войск (сил). Аналогичная картина и в вопросах ценообразования — в сторону уменьшения себестоимости боеприпасов. При этом на основе внедрения новых инновационных технологий необходимо резко увеличить объемы производства БП, снизив их себестоимость в несколько раз (примерно в 3–4 раза), а не на 15–20%, как обычно предлагается предприятиями отрасли БП и спецхимии. В этой связи нужны иные стимулы и протекции для НИО и непосредственно коллективам исполнителей, занятым разработкой качественно новых образцов ВВСТ, и авторам РИД, обеспечивающих реализацию научно-технологических прорывов.

Таким образом, изложенные положения и представленные примеры показывают, что несистемное развитие ВТН приводит к значительному числу недостатков и нерешенных вопросов в выработке и реализации военно-технической политики государства.

Основные проблемы военно-технической политики на современном этапе, на решение которых необходимо в первую очередь сосредоточить основные усилия, следующие:

1. Формирование сценарной базы потенциальных войн и военных конфликтов с участием Российской Федерации на долгосрочный период, в том числе — определение места и роли артиллерийских и стрелковых вооружений и требований к их боеприпасам;

2. Обеспечение сбалансированного планирования развития систем вооружения видов ВС РФ. В планировании развития ВВСТ фактически идёт возврат к практике 70–80 годов прошлого века, предусматривавшей планирование «от потребностей заказчиков»;

3. Повышение роли военной науки в подготовке решений военного руководства в области военного строительства и развития системы вооружения ВС РФ, и её востребованности органами военного управления;

4. Реализация мер по государственной поддержке отечественных военно-технических научных школ и подготовки инженерных кадров, в том числе (в первую очередь) для отрасли боеприпасов.

Реализация подобного комплекса мер, на наш взгляд, обеспечит Российской Федерации устойчивое поддержание собственной безопасности в обозримом будущем.

Литература

1. Douglas W.S. Airland Battle Doctrine / W.S. Douglas.— Center For Naval Analyses, 1988. 45 p.

2. Army Field Manual, FM 100-5, Operations, 1993.

3. Русинов В. Состояние и перспективы развития 155-мм боеприпасов полевой артиллерии за рубежом / В. Русинов // Зарубежное военное обозрение. 2002, № 3. С. 24–29.

4. Зеленцов В.В. Перспективы развития боеприпасов дальноточной морской артиллерии / В.В. Зеленцов, И.Е. Никитина, В.Е. Смирнов // Оборонная техника. 2002. № 11. С. 9–14.

5. Кузьмин Ю. Основные направления повышения огневой мощи образцов бронетанкового вооружения и техники сухопутных войск США / Ю. Кузьмин // Зарубежное военное обозрение. 2017. № 5. С. 43–49.

6. Реализация концепции повышения баллистической эффективности летательных аппаратов ближней зоны / В.В. Ветров [и др.] //

Фундаментальные исследования. 2012. № 11. С. 377–382.

7. Thys K. Leap Ahead–52 cal Artillery System / K. Thys // Presentation at the International Armaments Technology Symposium-2004.

8. Бабичев В., Рабинович В. «Краснополь-М2» — высокоточный артиллерийский комплекс нового поколения / Военный парад, 2009. № 1 (91). С. 36–39.

9. Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.sztnh.gov.hu/feltalalok/fono.html> (27.04.2015).

10. Меркулов И.А. Первые экспериментальные исследования прямоточных воздушно-реактивных двигателей ГИРДа / И.А. Меркулов // Из истории авиации и космонавтики. 1965. Вып. 3. С. 21–32.

11. Trommsdorff, W. High-velocity free-flying ramjet units (TR-Missiles) / W. Trommsdorff // History of German guided missiles development: AGARD First Guided Missiles Seminar. 1956.

12. Научно-исследовательский машиностроительный институт (НИМИ) страницы истории, события, люди (1932–2002 гг.) / под. ред. А.А. Каллистова. — М. 2002.

13. Пат. RU 2493533, МПК F42/00. Активно-реактивный снаряд / Алёшичева Л.И., Дунаев В.А., Никитин В.А. и др. Заявлено 29.05.2012; Патентообладатель ТулГУ.

14. Пат. RU 2486452, МПК F42B10/38. Способ увеличения дальности полета артиллерийского снаряда и устройство для его реализации / Ветров В.В., Костяной Е.М. Заявлено 02.04.2012; Патентообладатель ТулГУ.

15. Пат. RU 2522699, МПК F42B15/00. Способ увеличения дальности полета артиллерийского снаряда / Ветров В.В., Костяной Е.М., Дикшев А.И. Заявлено 10.12.2012. Патентообладатель ТулГУ.

16. Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах / В.А. Сорокин [и др.]. — М.: Изд-во ФИЗМАТЛИТ. 2010. 320 с.

17. Патент № 2637330 от 04.12.2017 по заявке № 2016127295 от 07.07.2016. Способ приготовления коллоидной пасты. Павловец Г.Я., Мелешко В.Ю., Константинова М.А.

18. Павловец Г.Я., Мелешко В.Ю., Константинова М.А., Куликова Т.Л., Михайловская Л.А. Направления формирования пастообразных топлив для метательных зарядов артиллерийского

выстрела // В кн.: *Фундаментальные основы баллистического проектирования: VI Всероссийская научно-техническая конференция*. Санкт-Петербург, 5-10 июня 2018 г. Сборник трудов / Под ред. Б.Э. Кэрта; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб. 2019. С. 114–117.

19. Кэрт Б.Э., Чубасов В.А., Знаменский Е.А., Кравцов В.О., Павлов Я.О., Панченко А.В., Генкин Ю.В. Расчетная оценка баллистических возможностей артиллерийских снарядов с ракетно-прямоточными двигателями // В кн.: *Направления повышения энергобаллистической эффективности энергосиловых установок для летательных аппаратов: Научно-технический сборник трудов международного военно-технического форума «АРМИЯ-2019» / ВА РВСН им. Петра Великого*. — Балашиха. 2019. С. 134–149.

20. Кэрт Б.Э., Чубасов В.А., Знаменский Е.А., Кравцов В.О., Павлов Я.О., Панченко А.В., Генкин Ю.В. Оценка баллистических возможностей артиллерийских снарядов с ракетно-прямоточными двигателями // *Физико-химическая кинетика в газовой динамике*. 2019. Т. 20. Вып. 2. <http://chemphys.edu.ru/issues/2019-20-2/articles/826/>

21. Кэрт Б.Э., Знаменский Е.А., Кравцов В.О., Панченко А.В., Чубасов В.А. Расчетная оценка баллистических возможностей артиллерийских снарядов с ракетно-прямоточными двигателями // *Известия РАН*. 2019. Вып. 2 (107). 2019. С. 125–133.

22. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 152-мм гаубицы 2А65 и 2С19. Часть 3 Боеприпасы / Министерство обороны Российской Федерации. — М. 1999. 86 с.

23. Таблицы стрельбы для равнинных и горных условий 152-мм гаубицы 2А65 и 152-мм самоходной гаубицы 2С19. Часть 1. 2-е изд. / Министерство обороны Российской Федерации, 3-ий Центральный научно-исследовательский институт. — М. 2005. 437 с.

24. 130-мм пушка М-46 и 152-мм пушка М-47. Руководство службы. 3-е изд. / Ордена трудового красного знамени Военное издательство Министерства обороны СССР. — М. 1968. 383 с.

25. Изделие 2С7. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Общие сведения

ния. Книга 1 / Военное издательство. — М. 1988. 104 с.

26. Бабушкин Ю. Оружие России / Бабушкин Ю., Дегтярев А., Антипов Ю., Михайлов С., Слюнина Т. Издательский дом «Военный Парад». — М. 2000. 824 с.

27. Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня / РАН; Б.Э. Кэрт, В.И. Козлов, Н.А. Макаровец; под ред. Н.А. Макаровца. — М.: Машиностроение. 2008. 438 с.

28. IHS Jane's Weapons Ammunition 2012–2013 (Jane's Weapon Systems Ammunition) by Leland S. Ness.

29. Конструкция, эксплуатация и основы проектирования артиллерийских орудий и боеприпасов. Часть 1. «Артиллерийские боеприпасы». — СПб: МВАА. 2014. 186 с.

30. Чубасов В.А. Направления развития дальнобойного ствольного оружия и боеприпасов в интересах ракетных войск и артиллерии // Сборник научных трудов 53 Международной НПК МВАА. — СПб: МВАА. 2018.

31. Андрушин О.Ф. Основные научно-технические проблемы, рассматриваемые координационным центром по автономным системам неконтактного подрыва / В кн.: *Фундаментальные основы баллистического проектирования: III Всероссийская научно-техническая конференция*. Санкт-Петербург, 2–6 июля 2014 г. Сборник трудов / Под ред. Б.Э. Кэрта; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб. 2014. С. 246–249.

32. Бочков А. Кассетные артиллерийские боеприпасы / А.П. Бочков. Учебное пособие. — Л.: ВАА. 1992. 20 с.

33. Хмельников Е.А. Разработка конструкций радиопрозрачных боеприпасов / Е.А. Хмельников, Т.Е. Заводова, К.В. Смагин, А.Е. Чванов, М.Ю. Семашко // В кн.: *Фундаментальные основы баллистического проектирования: VI Всероссийская научно-техническая конференция*. Санкт-Петербург, 5–10 июня 2018 г. Сборник трудов / Под ред. Б.Э. Кэрта; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб. 2019. С. 282–289.

34. Семашко М.Ю., Хмельников Е.А., Заводова Т.Е., Смагин К.В. и др. Разработка конструкций радиопрозрачных боеприпасов // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2018. № 7. С. 18–27.