

А.М. Подвальный, кандидат технических наук

А.Г. Прудников, доктор технических наук, профессор

### **О проблемах создания перспективных образцов метаемых реактивных элементов**

*В работе приведен краткий анализ современного состояния и проблем создания перспективных артиллерийских метаемых элементов среднего калибра, включая гиперзвуковые реактивные аппараты. Рассмотрены проблемы их создания в России. Даны некоторые результаты аналитических оценок параметров внутренней и внешней баллистик гиперзвуковых метаемых реактивных аппаратов.*

В настоящее время артиллерийские выстрелы развиваются в части повышения не только точности попадания в цель, что делает их управляемыми артиллерийскими снарядами (УАС), а также и дальности поражения этой цели.

Большого успеха в данном направлении достигли страны НАТО с УАС Excalibur M982, LRLAP, ERGM EX-171, BTERM, Vulcano, ЮАР с УАС V-LAP, Китай с УАС HE ERFB RA/BB. Некоторые из перечисленных образцов уже способны точно поражать цели на дальности свыше 100 км [1]. В современной России также идут разработки в этом направлении. Известно про разработки артиллерийского выстрела к самоходной артиллерийской установке (САУ) «Коалиция-СВ», способного точно поразить цель на дистанции до 70 км<sup>1</sup>.

Однако в настоящее время заметно явное отставание в развитии метаемых элементов среднего калибра и отечественных образцов артиллерийских орудий к ним как по управляемости, так и по дальности поражения. Зарубежные аналоги превосходят их по дальности поражения и точности. В работе рассмотрены преимущественно проблемы повышения дальности существующих высокоточных артиллерийских снарядов с круговым вероятным отклонением (КВО) от цели около 20 метров, что для больших перспективных дальностей является взаимосвязанной проблемой.

К среднему калибру в артиллерии относятся, как известно, артиллерийские орудия калибра 76-152 мм [2]; аналогичный наибольший калибр для стран НАТО – 155 мм. Для артиллерийских орудий среднего калибра стран мира в части дальности и точности лидирует высокоточный снаряд LRLAP (США), разработанный под 155-мм корабельное орудие эсминец ВМС США Zumwalt. Заявленная максимальная дальность такого выстрела составляет 130 км [1]. В ряде источников можно найти информацию и о большей дальности данного снаряда.

На сегодняшний момент известно, что стоимость такого снаряда является крайне большой. По некоторым данным она доходит до 1 млн долларов за снаряд, что даже для США считается дорогим для эксплуатации<sup>2</sup>. Однако сейчас мы не рассматриваем экономическую составляющую, что, конечно же, крайне важно, а оцениваем лишь достижения в интересующей нас предметной области.

В полевой артиллерии уже не первый год на вооружении США, Швеции стоит высокоточный 155-мм снаряд M982 Excalibur, разработанный США совместно со Швецией [1]. Данный снаряд

1 «Коалиция-СВ» идет в войска ||// URL: <http://stockinfofocus.ru/2016/03/16/koaliciya-sv-idet-v-vojska/> (дата обращения: 01.02.2017).

2 Пентагон отказался от сверхдорогих снарядов LRLAP для «Зумвальта» // URL: <http://www.warandpeace.ru/ru/news/view/117270/> (дата обращения: 31.01.2017).

показал свою эффективность в Иракском конфликте 2000-х годов. Максимальная дальность поражения цели составляет до 60 км, а КВО от цели может не превышать 6 метров [1].

Приведенные значения выглядят весьма внушительно, так как стоящий на вооружении России высокоточный 152-мм снаряд «Краснополь» имеет максимальную дальность полета всего порядка 20 км, что в три раза уступает по дальности снаряду M982 Excalibur [3].

Снаряд «Краснополь» начинал разрабатываться еще в 70-х годах прошлого столетия и поступил на вооружение в 1980-х годах. Зарубежные же разработки, явно превосходящие по характеристикам российский высокоточный снаряд «Краснополь», являются уже веяниями 1990-х – 2000-х годов, когда по всем известным причинам в России были далеко не лучшие времена в области развития наукоемких технологий.

Сегодняшние СМИ пестрят информацией о новейшей российской разработке – САУ калибра 152 мм «Коалиция-СВ». Сообщается, что экспериментальный высокоточный снаряд способен поразить цель на дистанции в 70 км<sup>1</sup>. Однако более подробной информации, в частности, о способе получения таких результатов, каких-либо иных характеристиках данного снаряда, в открытых источниках не приводится.

Вместе с тем на сегодняшний момент на вооружении России стоит 152-мм САУ «Мста-С» с максимальной дальностью стрельбы до 30 км, что уже не является актуальным для большого количества САУ других стран: G6-52 (ЮАР) – до 67 км, Archer (Швеция) – до 60 км, PLZ 52 и SH1 (Китай) – до 53 км, K9 Thunder (Южная Корея) – свыше 50 км, Nora B-52 (Сербия) – до 44 км, Caesar (Франция) – до 42 км, Krab (Польша) – до 41,5 км, Atmos 2000 (Израиль) – до 41 км, Pzh 2000 (Германия) – свыше 40 км, Zuzana 1 (Словакия) – до 40 км, AS90 Braveheart (Великобритания) – до 40 км [4].

Получение таких высоких характеристик достигается за счет следующих общеизвестных способов [4, 5]:

- увеличения дульной (начальной) скорости снаряда;
- применения улучшенных аэродинамических форм снаряда и донной выемки;
- использования донных газогенераторов в снарядах;
- реализации в снарядах реактивных двигателей;
- применения участков планирования на траектории полета при выстреле высокоточным управляемым снарядом.

Некоторые из них нашли свое применение еще десятки лет назад, а такие, как реализация в снарядах реактивных двигателей и применение участков планирования, являются актуальными и по сей день. Например, по имеющейся информации снаряд LRLAP оснащен ракетным двигателем и в нем реализованы устройства для планирования на пассивном участке траектории полета [4]. На рисунке 1 из [4] приведен пример реализации в современном 155-мм снаряде HE ERFB RA/BB (Китай) как донного газогенератора, так и ракетного двигателя.

В XXI веке начало развиваться и новое направление: гиперзвуковое артиллерийское оружие, идущее на смену тотальному ядерному.

История первого гиперзвукового пушечного разгона 210 мм 120 кг снаряда до числа Маха  $M=4,7$  (дульная скорость 1,6 км/с) началась в 1918 г. с «Парижской пушки» концерна Круппа, Германия. Длина ствола составляла 33 метра, а высота полета при максимальной дальности составляла 40 км [4]. В Германии в 1944 году пушки уже стреляли ракетами по американским войскам [5], а в Пенемюнде могли стрелять дальше ракет Фау-2.

1 «Коалиция-СВ» идет в войска ||// URL: <http://stockinfofocus.ru/2016/03/16/koaliciya-sv-idet-v-vojska/> (дата обращения: 01.02.2017).

В Америке в 1966 году был поставлен мировой рекорд пушечного выхода в Космос (масса метаемого элемента 180 кг, калибр 406 мм, длина ствола 40 метров, скорость метаемого элемента 3,6 км/с, или число Маха  $M=10,06$ ) [6].

В СССР в 1985 году [6] были проведены стендовые испытания модели гиперзвукового 152-мм летательного аппарата (ГЛА) с гиперзвуковым прямоточным воздушно-реактивным двигателем (ГПВРД) на керосине при числе Маха метаемого элемента  $M=6,3$  с пассивным теплозащитным покрытием корпуса двуокисью циркония и активным внешним охлаждением керосином лобового конуса, рисунок 2.

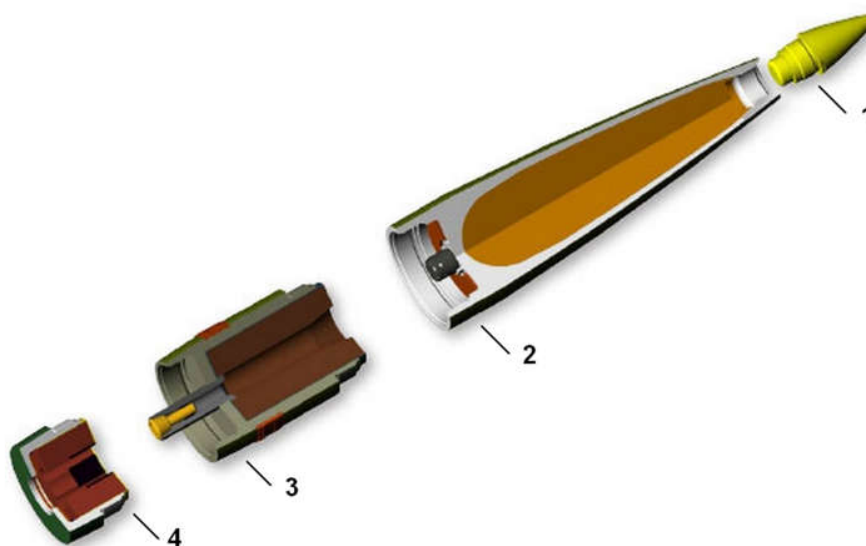


Рисунок 1 – Снаряд повышенной дальности (максимальное поражение цели на дальности 53 км) калибра 155 мм HE ERFB RA/VB производства Norinco (Китай): 1 – взрыватель; 2 – боевая часть; 3 – ракетный двигатель; 4 – донный газогенератор

Дальнейший анализ возможностей гиперзвукового ствольного разгона, управления, внествольного гиперзвукового доразгона, марша и поражения метаемыми реактивными элементами калибра от 30 мм показал как возможности, так и проблемы их реализации [6-8].

Проблемы ствола, его метательных и метаемых элементов представлены ниже. Одна из них заключается в том, что для получения требуемой гиперзвуковой дульной скорости в стволах в 4-5 раз более коротких вышеупомянутых рекордных стволов 1918 г., 1966 г. необходимы новые химические энергоносители в несколько раз большей энергоемкости, большей степени зависимости от давления скоростей горения, большей температуры горения, пластичных (не боящихся колоссальных перегрузок). Пригодные для этих условий пастообразные газогенерирующие составы (ПГС) были разработаны, изготовлены и испытаны на четырех компонентах. В РФ остались только две нерешенные задачи: удешевление их изготовления и импортозамещение промотирующих компонентов.

Другая проблема заключается в той особенности, что гиперзвуковой ствольный разгон увеличивает импульс отдачи метательного устройства в 4-6 раз, что естественно неприемлемо не только для авиакосмического базирования, но и для других видов боевого базирования, включая переносные зенитно-ракетные комплексы.

Проблему безоткатности сегодня можно решить, заменив штатные клиновые и другие металлические затворы на газодинамические сопла в качестве затвора. Сам вес метательного ствола малого ресурса можно уменьшить в три раза, используя многослойные трубы из ВНЖ,

карбона, кевлара на термостойких смолах. О сложностях работы с ВНЖ известно давно, но в данной работе о них не упоминается.

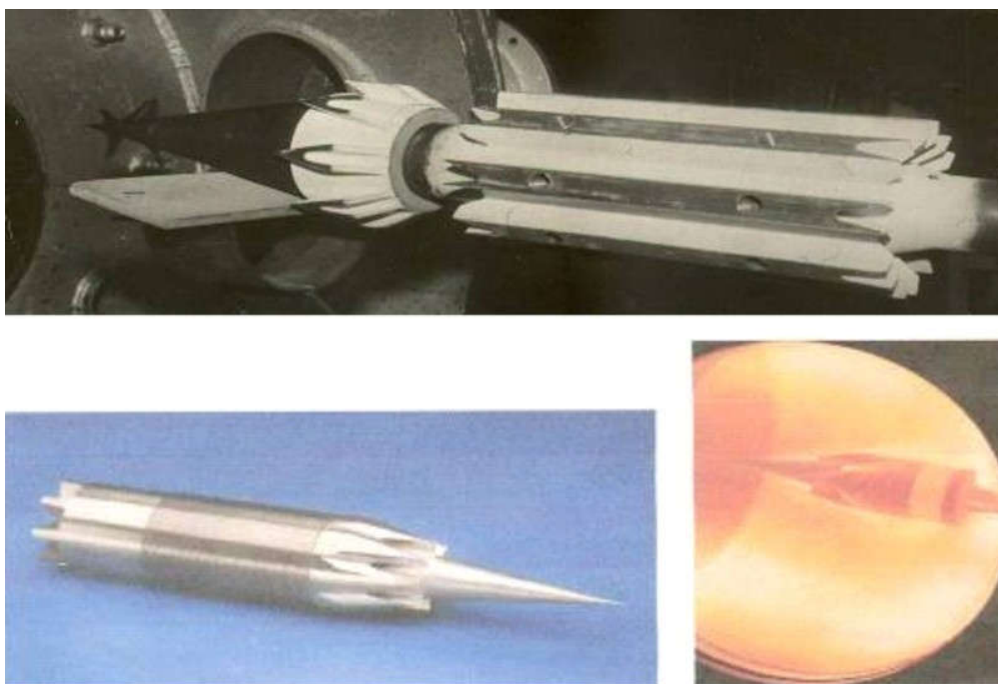


Рисунок 2 – Гиперзвуковые летательные аппараты на керосине: сверху – ГЛА с плазменным напылением и ВЗУ с внешним распылом (Россия, 1985 год); внизу – двухкамерный ГЛА на жидком этилене (США, 2001-2006 гг.)

Одним из путей, позволяющим создать гиперзвуковые скорости при разгоне в стволе, является реализация предложенного авторами способа со сгорающим в стволе пастообразным реактивным ускорителем [7]. Такие ускорители предназначены, в частности, для осколочно-фугасных снарядов или перспективных объемно-детонирующих снарядов. Варианты исполнения такого способа можно представить двумя типами:

1. Пастообразный сгорающий ствольный реактивный ускоритель с металлическим многофункциональным соплом с перепуском (рисунок 3, верхний, поз. 6), для гладкого ствола в штатной гильзе штатного выстрела.

2. Пастообразный сгорающий ствольный реактивный ускоритель без металлических элементов, выполненный из сгорающего картона с отделяющимся сгорающим сопловым вкладышем (рисунок 3, нижний).

Некоторые варианты упомянутых схем со сгорающими ствольными реактивными ускорителями на пастообразных энергоносителях были проверены в стволах постоянного сечения калибра 30 мм [7]. Экспериментальные исследования показали разрывы и смятия стальных гильз, поломки экспериментального усиленного затвора при использовании ПГГС (скорость горения при атмосфере 5-7 мм/с, степенной показатель в законе горения около 0,5). Имеющиеся отечественные ПГГС (без импортных добавок) со скоростью горения при атмосфере более 7 мм/с и степенным показателем в законе горения около 0,8 имели полноту сгорания не выше 0,65-0,7. Необходимы в два раза большие скорости горения или переход на газодинамические сопла, как у газодинамического затвора.

О проблемах интеграции, размещения и совмещения гиперзвуковых физических процессов и их исполнительных устройств: комбинированного ствольного разгона, управления, внествольного доразгона, марша и поражения упомянуто ниже.



Баллистико-реактивный разгон любого метаемого элемента, как один из ключевых способов получения ствольных гиперзвуковых скоростей, осуществляется в условиях задержанного старта до полного сгорания каморного заряда, расположенного в объеме многофункционального сопла и вне его (для калибров более 30 мм при давлении не ниже 3-4 кбар).

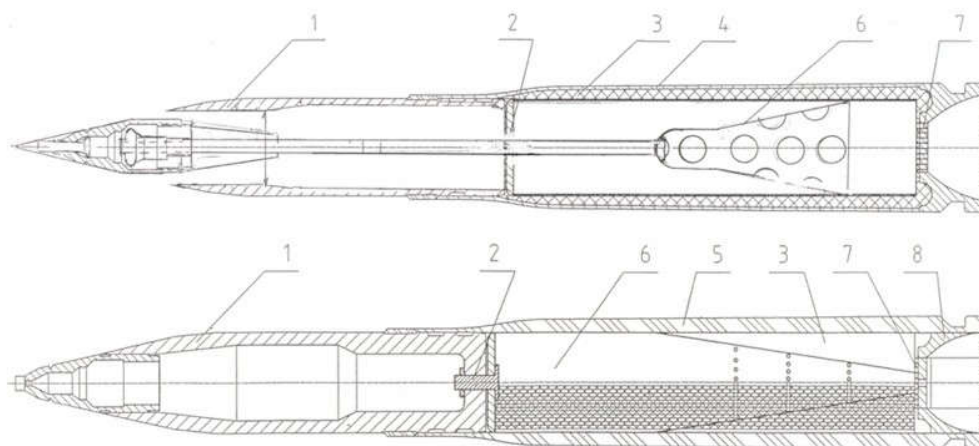


Рисунок 3 – Схемы общего вида сгорающего ствольного реактивного ускорителя на пастообразных энергоносителях: сверху – штатной гильзы штатного выстрела с реактивным метаемым элементом калибра 30 мм на пастообразном топливе; внизу – сгорающей гильзы выстрела для осколочно-фугасных снарядов или перспективных объемно-детонирующих снарядов (1 – штатный метаемый элемент калибра 30 мм; 2 – место соединения метаемого элемента с пастотопливным ускорителем; 3 – быстрогорящее пастообразное топливо; 4 – штатная гильза; 5 – сгорающая гильза (кевлар + пастообразное топливо); 6 – сгорающий в стволе пастотопливный ускоритель; 7 – каналобразующие шнуры; 8 – сгорающий сопловой вкладыш)

Согласно соотношений внутренней баллистики [6] баллистический разгон продолжается до момента пока его начальный удельный импульс (больше 850 с) не снизится до удельного реактивного импульса. При этом донная реактивная сила метаемого элемента будет более чем в 2,33 раза большая, чем сила давления классического способа «присоединенной массы» [9].

Перечисленные этапы гиперзвукового разгона показывают, что его главной проблемой является электронное программное обеспечение для функционирования таймеров, включающих ствольный сгораемый реактивный двигатель.

Используемые в первых стрельбовых экспериментах огнепроводящие шнуры оказались ненадежными, в том числе и по срокам их хранения.

Еще одной проблемной стороной является система управления (разворот, стабилизация, коррекция, доразворот, самонаведение). Так, команду на боевой разворот до  $12^\circ$  метаемые элементы калибра 155 мм НАТО получают уже в стволе. Необходимо устранить отставание и в этом направлении, так как авторские стрельбовые эксперименты показали возможность разворота метаемых элементов одним импульсом заряда при числе Маха полета  $M=2$  [6].

Форсированный внествольный доразгон от штатного дульного числа Маха  $M \approx 3$  до требуемого маршевого числа Маха  $M=6$  прошел все необходимые стендовые испытания на малокалиберных образцах метаемых элементов [6]. Для летных испытаний необходимо восстановить производство существующего ранее химического энергоносителя.

Дальний гиперзвуковой марш с постоянной скоростью метаемого элемента 2-2,5 км/с также является нерешенной проблемой.

Проблемы совмещения двух противоположных требований лобовых обтекателей гиперзвуковой теплогазоаэродинамики и головки самонаведения управляемого гиперзвукового метаемого элемента рассматриваются уже десятки лет. С одной стороны, гиперзвуковой метаемый элемент требует острых углов (рисунок 2 ГЛА НАТО с углом конуса  $6^\circ$ ), с другой стороны, наши самые современные управляемые снаряды «Краснополь» имеют головки самонаведения, не отвечающие данным требованиям, которые будет нереально установить в остроугольную форму.

Еще одним проблемным фактором являются новые виды гиперзвукового, кинетического, объемно-детонирующего, ударно-гидравлического поражения гиперзвуковыми метаемыми элементами [6]. Это новые малоизвестные проблемы успешного поражения всех средств сухопутного, морского, воздушного и воздушно-космического нападения. Если в качестве критерия оценки отставания в данном направлении от передовых стран взять размер атмосферной объемной детонации, то Россия отстает в 3-5 раз.

В работе [4] были рассмотрены тенденции развития гиперзвуковых бортовых двигателей высокоточных артиллерийских снарядов повышенной дальности в перспективных образцах гиперзвукового артиллерийского вооружения и дана оценка ключевых направлений дальнейшего их развития:

- конструктивно улучшенные элементы артиллерийских метаемых установок для размещения больших зарядов с требуемыми скоростями горения и ствольных пастотопливных сгораемых реактивных двигателей, функционирующих при больших давлениях вдоль ствола (от 2,5 до 0,5 кбар);
- экономичные бортовые ракетно-прямоточные воздушно-реактивные двигатели гиперзвукового доразгона и маршевые ГПВРД;
- новые поколения отечественных химических энергоносителей с требуемыми высокими скоростями горения, повышенной энергоемкостью и большими значениями удельных импульсов ствольного разгона и вневольного доразгона.

Некоторые направления в России имеют достаточный экспериментально-теоретический задел для проработки их в стадии НИОКР, однако большая часть из вышеупомянутых направлений еще требует постановки НИР.

К настоящему времени в ИХФ РАН, ЦИАМ, ИПРИМ РАН, ИТПМ СО РАН, НИИ механики МГУ успешно выполнены экспериментально-теоретические работы, направленные на снижение всех видов сопротивления, кинетического нагрева, увеличения прямоточной и донной тяг малоразмерных летательных аппаратов. Еще с 80-х годов прошлого столетия в ЦИАМ велись работы по активному снижению кинетического нагрева лобового (волнового) сопротивления и трения малоразмерных летательных аппаратов с помощью различных искусственных, парогазовых и жидко-воздушных обтекателей. Экспериментально было показано снижение активным способом сопротивления полусферы головки самонаведения межконтинентальной баллистической ракеты Трайдент с иглой на  $M=4$  в 2,7 раза [6]. В то же время в ИТПМ СО РАН и НИИ механики МГУ школами П.К. Третьякова и А.И. Зубкова проводились работы по изучению активного снижения донного сопротивления. Эксперименты показали возможности не только снижения донного сопротивления, но и превышения донного давления над статическим давлением внешнего потока более чем в 1,5 раза и тем самым получение «донной тяги» [5]. Для сравнения следует отметить, что применяемые на всех континентах донные газогенераторы позволяют лишь снизить только донное сопротивление снарядов на 80%, что приводит к максимальному увеличению дальности только на 30% [3]. В ЦИАМ уже с 1980-х годов была поставлена задача созда-

ния этой же донной тяги, но при максимальных давлениях горла воздухозаборника ГПВРД. К решению этой задачи до сих пор никто не приступал.

С советских времен в России успешно разрабатываются и эксплуатируются разнообразные ракетные системы и комплексы, оснащаемые ракетными, ракетно-прямоточными и прямоточными воздушно-реактивными двигателями, что свидетельствует о достаточной научно-технической базе в области реактивных двигателей [10]. Однако практика первого применения таких двигателей на снарядах отечественных малокалиберных артиллерийских орудий указывает на ряд их недостатков в силу отсутствия, как минимум, требуемых энергоносителей [7, 8].

Проведенные экспериментальные исследования в ИХФ РАН твердотопливных образцов с удовлетворяющими энергетическими характеристиками на лабораторной малокалиберной баллистической установке показали, что существующие твердотопливные энергоносители не способны держать требуемых перегрузок во время выстрела. В работах ИХФ РАН приведены результаты первых испытаний образцов твердого топлива, не выдержавших желаемых перегрузок. Те же результаты в свое время были получены в опытах стран НАТО и в опытах МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В 2005 году специалистами ГНИИХТЭОС, ЦИАМ и МО РФ была запатентована композиция твердого горючего для маршевого ГПВРД<sup>1</sup>. Проведенные стендовые испытания такого горючего со стехиометрическим коэффициентом 12 подтвердили, что оно имеет устойчивое горение в воздушном потоке на  $M=2$ , что соответствует крейсерскому режиму полета на  $M=4$  [7].

Сегодня же воссоздать данную композицию не представляется возможным из-за отсутствия отечественной сырьевой базы. В ряде случаев отсутствуют и специалисты, которые способны решать поставленные задачи, что приводит к дополнительному вниманию и новым усилиям при создании ранее имеющегося задела.

Применение ПГГС, например, производства ФГУП «СКТБ «Технолог» до сих пор вызывает много сомнений у большинства специалистов, хотя такие составы позволили бы решить вопрос пагубного влияния артиллерийских перегрузок в стволе на химический энергоноситель.

Разработанные аналитические методики оценки параметров внешней баллистики метаемых реактивных элементов [4] показали, что перспективные метаемые реактивные элементы, имеющие начальную скорость до 0,8 км/с и запущенные под углом  $45^\circ$ , способны более чем в два раза увеличить сегодняшнюю дальность 152-мм САУ «Мста-С». В данном примере не учитывалось дальнейшее увеличение дальности за счет реализации участков планирования на траектории полета. Вместе с тем аналитические оценки параметров внешней баллистики приводились для: ракетного двигателя с удельным импульсом 220 с, ракетно-прямоточного двигателя – 550 с, ПВРД – 1000 с, перспективного ПВРД – 1650 с. В таких случаях отношения массы химического энергоносителя к начальной массе метаемого элемента соответственно составляли: 64%, 27,7%, 15,4%, 9%.

Необходимо отметить еще одну важнейшую общеизвестную проблему перспективных гиперзвуковых метаемых элементов, связанную с плохим состоянием отечественной микропроцессорной техники и электроники, крайне необходимой при создании любых высокоточных реактивных метаемых элементов.

Сейчас как раз то время, когда просто необходимо объединить интересы производственных предприятий, направленных на разработку высокоточных артиллерийских выстрелов, с накопленными знаниями и опытом научных организаций в лице институтов РАН и Минпромторга, Высшей школы и Минобороны.

1 Гусейнов Ш.Л., Прудников А.Г., Северинова В.В. и др. Композиция твердого горючего: пат. 2288207 Рос. Федерация. № 2005116918/02; заяв. 03.06.2005; опублик. 27.11.2006.

## Заключение

Для ликвидации возможного отставания и обеспечения превосходства перед гиперзвуковым артиллерийским оружием НАТО XXI века необходимо в первую очередь:

- восстановить отечественное производство необходимых новых химических энергоносителей ПГГС большей энергоемкости и скоростей газификации, необходимых для гиперзвуковых скоростей разгона, доразгона, управления, марша и поражения;
- осуществить импортозамещение элементов новых композитных и теплозащитных материалов (покрытий);
- разработать, изготовить и передать в ведение профильных институтов опытные метательные установки, а также необходимые исполнительные устройства роботизации для проведения дальнейших работ в рассматриваемой проблемной области.

## Список использованных источников

1. Богданов М.Б. Особенности построения навигационных систем зарубежных управляемых артиллерийских снарядов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 11. – С. 60-67.
2. Иванов В.А., Горовой Ю.Б. Устройство и эксплуатация артиллерийского вооружения Российской армии: Учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. ун-та, 2005. – 260 с.
3. Акиншин Р.Н., Дмитриев В.Г., Марков Н.М. История создания и тенденции развития современных боеприпасов и взрывателей. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2013. – 204 с.
4. Прудников А.Г., Подвальный А.М., Северинова В.В. Аналитические оценки параметров внешней баллистики сверхдальних метаемых реактивных элементов // Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные основы баллистического проектирования». Санкт-Петербург, 27 июня – 1 июля 2016 г. / Под ред. Б.Э. Кэрта. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2016. – С. 37-38.
5. Фомин В.М., Звезгинцев В.И., Третьяков П.К. Современное состояние и перспективы развития артиллерийских систем (обзор по материалам открытой печати) // Оборонная техника. – 2005. – № 10-11. – 126 с.
6. Подвальный А.М. Проблемы получения гиперзвуковых скоростей сверхдальних боевых метаемых элементов // Тезисы докладов Научной молодежной конференции «Химия, физика, биология: пути интеграции». Звенигород, 21-24 мая 2015 г. – М.: Торус пресс, 2015. – С. 10-11.
7. Прудников А.Г., Подвальный А.М., Северинова В.В. Новые энергосиловые устройства, химические энергоносители и их применение в гиперзвуковых летательных аппаратах // Двигатель. – 2015. – № 4. – С. 36-39.
8. Прудников А.Г., Подвальный А.М., Рошин А.В. Перспективные виды химических энергоносителей энергосиловых устройств гиперзвукового разгона, доразгона, марша и поражения // Труды Десятой Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму». Санкт-Петербург, апрель 2015 г. – СПб.: Любавич, 2016. – С. 56-67.
9. Хоменко Ю.П., Ищенко А.Н., Касимов В.З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – 256 с.
10. Александров В.Н., Быцкевич В.М., Верховоломов В.К. Интегральные прямоточные воздушно-реактивные двигатели на твердых топливах (Основы теории и расчета). – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 343 с.