

РАЗРАБОТКА И ТАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАРУБЕЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ

И.М. Комаров, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *komarovim@extech.ru*

Д.В. Зернюков, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *d255@yandex.ru*

К.В. Епишин, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц., *epishin@extech.ru*

Е.Л. Хицунов, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *hidi88@extech.ru*

Д.Б. Изюмов, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *izyumov@extech.ru*

Е.Л. Кондратюк, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *kel@extech.ru*

В статье рассмотрен опыт ведущих зарубежных стран по созданию систем управления и тактике применения гиперзвуковых летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, гиперзвуковой летательный аппарат, гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель, гиперзвуковая ракета, высокоточное оружие.

DEVELOPMENT AND TACTICS OF APPLICATION OF HYPERSONIC AIRCRAFT BASED ON FOREIGN SOURCES

I.M. Komarov, Director of Centre, SRI FRCEC, *komarovim@extech.ru*

D.V. Zernykov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, *d255@yandex.ru*

K.V. Epishin, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Associate Professor, *epishin@extech.ru*

E.L. Khitsunov, Head of Department, SRI FRCEC, *hidi88@extech.ru*

D.B. Izyumov, Head of Department, SRI FRCEC, *izyumov@extech.ru*

E.L. Kondratyuk, Senior Researcher, SRI FRCEC, *kel@extech.ru*

The article describes the experience of foreign countries in creation of control systems and tactics use of hypersonic aircraft.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Air-Sea Battle, hypersonic aircraft, hypersonic ramjet engine, hypersonic missile, precision weapons.

Список сокращений

БЛА — беспилотный летательный аппарат;

БРЛС — бортовая радиолокационная система;

ВЗС — ведущие зарубежные страны;

ВТО — высокоточное оружие;

ГЗЛА — гиперзвуковой летательный аппарат;

ГЗР — гиперзвуковая ракета;

ГПВРД — гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель;

КР — крылатая ракета;

ЛА — летательный аппарат;

М — число Маха;

ПВРД — прямоточный воздушно-реактивный двигатель;

ПВО/ПРО — противовоздушная и противоракетная оборона;

СВЧ — сверхвысокочастотное (оружие);

ЭПО — эффективная поверхность отражения;

ЭПР — эффективная площадь рассеяния.

Введение

Анализ современного состояния и перспектив развития отечественной и зарубежной науки и техники свидетельствует о все большем возрастании роли высокоточного оружия (ВТО), особенно крылатых (КР) ракет большой дальности, беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и других перспективных видов средств поражения. В ведущих зарубежных странах (ВЗС) ведется интенсивная разработка высокоскоростных, высокоманевренных средств поражения, в частности, гиперзвуковых ракет (ГЗР) или в общем случае гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЗЛА).

Полет на гиперзвуковой скорости является вариантом сверхзвукового полета. Точное определение числа Маха (M – отношение скорости течения газового потока в данной точке к местной скорости распространения звука) для гиперзвукового потока газа затруднительно по причине отсутствия четкой границы между сверхзвуковым и гиперзвуковым потоками. Определение нижней границы гиперзвуковой скорости обычно связано с началом процессов ионизации потока газа и других физических изменений в пограничном слое около поверхности аппарата, который движется в атмосфере. Такие явления начинают происходить при скорости примерно равной $5M$, что соответствует интервалу скоростей летательного аппарата (ЛА) 5380–6120 км/ч в зависимости от плотности воздуха на разных высотах.

Перспективы развития гиперзвуковой техники

В настоящее время реальным и естественным ограничением на пути дальнейшего совершенствования маневренных свойств как пилотируемых ЛА, так и систем их перехвата, является пилот.

В связи с этим, в ВЗС одним из наиболее перспективных направлений создания средств воздушно-космического нападения, органично сочетающим требования расширения боевых возможностей и повышения боевой эффективности применения, считается разработка ГЗР и ГЗЛА, оснащаемых современными системами дистанционного, полуавтономного, автономного и группового управления.

Применение ГЗЛА в военном деле позволяет получить ряд тактических преимуществ:

- значительное уменьшение подлетного времени к цели, и соответственно, снижение лимита времени на подготовку средств противовоздушной и противоракетной обороны (ПВО/ПРО) противника;
- широкие диапазоны высот боевого применения и перегрузок;
- невозможность эффективного применения противником средств перехвата на основе существующих методов наведения из-за недостаточной дальности обнаружения и сопровождения в существующих системах перехвата;
- низкая вероятность обнаружения ГЗЛА радиолокационными системами противника;
- превосходство динамических свойств ГЗЛА над существующими перехватчиками, что предопределяет необходимость противнику иметь средства перехвата аналогичного класса;
- возможность применения в условиях противодействия сильной системы ПВО/ПРО, предопределяющая снижение боевых потерь;
- универсальность применения, в том числе, для доставки оружия функционального поражения, например сверхвысокочастотного (СВЧ) оружия;
- дополнительный фактор поражения гиперзвуковым оружием обусловленный высокой энергией удара от гиперзвукового «снаряда» ($E_K = m \cdot V^2$, где m – масса «снаряда», V – скорость движения «снаряда»). Физический объект, не снаряженный зарядом, ударяющий в цель на скорости $8M$, производит в 64 раза большее воздействие, чем такой же объект на скорости $1M$ [1].

И самое важное, гиперзвуковое оружие вписывается в новую концепцию ведения войны Prompt Global Strike, PGS («Глобальный молниеносный удар»), позволяющую нанести удар по любой точке планеты в течение 1 часа.

В Исследовательской лаборатории ВВС США [2] (US Air Force Research Laboratory) в период до 2025 г. создание ГЗЛА нового поколения, оснащаемых эффективными системами управления и предназначенных для применения в воздушно-космическом пространстве, является одним из приоритетных научно-технических направлений развития Военно-воздушных сил США (рис. 1). По мнению командования ВС США [2], проекты в области создания ГЗЛА, могут существенно влиять на расстановку сил рынка вооружений.



Рис. 1. ГЗЛА в структуре приоритетных научно-технических направлений развития ВВС США

Формированием рынка ГЗЛА в ВЗС занимаются ведущие национальные лаборатории, в том числе, Сандийская национальная лаборатория, США. Данная лаборатория осуществляет серийный выпуск элементной базы и комплектующих аппаратных компонентов, используемых для создания новых видов ракетного оружия, в том числе, для гиперзвуковых ЛА. Эксперты лаборатории считают, что проекты ГЗЛА, изменяют правила игры не только для участников мирового рынка вооружений, но и для участников реальных боевых действий [3].

Анализ состояния технического потенциала ВЗС в области гиперзвуковой техники

Наряду с «традиционными» военными ГЗЛА, такими как зенитные ГЗР и входящие в плотные слои атмосферы головные части баллистических ракет, в последнее время в ВЗС стали появляться проекты гиперзвуковых систем двойного назначения.

Технологические достижения в сфере создания гиперзвуковой техники, включают инновационные проекты в авиастроении, приборостроении, машиностроении, радиостроении; производстве новых материалов; микро-, нано-, информационных и коммуникационных технологиях, космических исследованиях и т.д.

Проекты авиационно-космических систем ВЗС, которые связаны с гиперзвуком можно разделить на следующие типы:

- многоразовые космические корабли;
- пассажирские лайнеры-космопланы;
- гиперзвуковые разгонные ступени;
- гиперзвуковые орбитальные ступени космопланов;
- гиперзвуковые транспортные космопланы;
- одноступенчатые аэрокосмические космолеты;
- испытательные гиперзвуковые самолеты;
- беспилотные летательные аппараты.

Некоторые перспективные инновационные проекты из перечисленных выше типов представлены на рис. 2–10.

Экспериментальный беспилотный космический корабль многоразового использования Boeing X-37B Orbital Test Vehicle (OTV) (орбитальная летающая лаборатория, США) представляет собой космоплан, предназначенный для полетов на высотах 200–750 км. Его отличительная характеристика – при относительно небольших габаритах, он способен быстро менять орбиты, маневрировать (рис. 2).

Boeing X-43 – беспилотный экспериментальный ГЗЛА, США (рис. 3). В успешно проведенных в ноябре 2004 г. испытаниях достиг рекордной скорости $V = 11\,200$ км/ч ($M = 9,6$; $V = 3,2$ км/с).



Рис. 2. Boeing X-37B



Рис. 3. Boeing X-43

X-51A Waverider (США) – гиперзвуковая крылатая ракета, которая 01.05.2013 прошла успешные испытания над Тихим океаном. Она была запущена с борта самолета В-52 и достигла высоты 18200 м, где развила скорость 5,1 М. За 6 мин ракета пролетела расстояние в 426 км (рис. 4).



Рис. 4. Boeing X-51A Waverider



Рис. 5. Skylon

Skylon (Великобритания, США) — космолет многоразового использования (рис. 5), с помощью которого планируется доставлять в космос приблизительно 12 т груза (на низкую экваториальную орбиту).

SHEFEX (SHarp Edged Flight EXperiment, дословно «Экспериментальный летательный аппарат многогранной формы»), ФРГ — суборбитальный беспилотный гиперзвуковой ракетоплан, который, по замыслу разработчиков, не будет нуждаться в ремонте после каждого приземления. SHEFEX II будет управляемым уже на высоте 100 км. При посадке на высоте 20 км аппарат выпускает посадочный парашют (рис. 6).

Falcon HTV-2 (Hypersonic Test Vehicle) — гиперзвуковое средство доставки (DARPA и ВВС США), предназначенный для полета в атмосфере с гиперзвуковой скоростью. Предполагаемые значения скорости полета по низкой орбите или в верхних слоях атмосферы — 17–22 М (5,8–7,5 км/с). Размах крыла-фюзеляжа в хвостовой части — до 2,34 м. Масса — не более 1725 кг. Ожидаемый аэродинамический разогрев поверхности до 1930 °С (рис. 7).



Рис. 6. SHEFEX



Рис. 7. Falcon HTV-2

Для АНВ (Advanced Hypersonic Weapon, перспективное гиперзвуковое оружие) — высокоточного управляемого (маневрирующего) боевого блока декларируется возможность поражения целей боевыми частями в обычном (неядерном) снаряжении, находящихся на дальностях до 6000 км, с доставкой за 30–35 мин от момента пуска. При этом ожидается, что точность попадания в цель будет не хуже 10 м. По некоторым сведениям поражение

цели в случае АНВ будет осуществляться в результате кинетического воздействия летящего с высокой гиперзвуковой скоростью боевого блока (рис. 8).

XS-1 представляет собой перспективный многоразовый гиперзвуковой космический БЛА (США). Он может использоваться в качестве разведчика, перехватчика, бомбардировщика. Это относительно недорогая альтернатива «традиционным» ракетам-носителям при выводе аппаратов на орбиту (рис. 9).



Рис. 8. АНВ



Рис. 9. XS-1

Гиперзвуковой боевой блок WU-14/DF-ZF китайского производства предназначен для преодоления мощной системы ПВО/ПРО вероятного противника. Имеются сообщения о нескольких успешных испытаниях китайских ГЗР подобного класса. Боевая головка отделяется от баллистического ракетного носителя на высоте около 100 км и поражает цель со скоростью около 10 М (рис. 10).

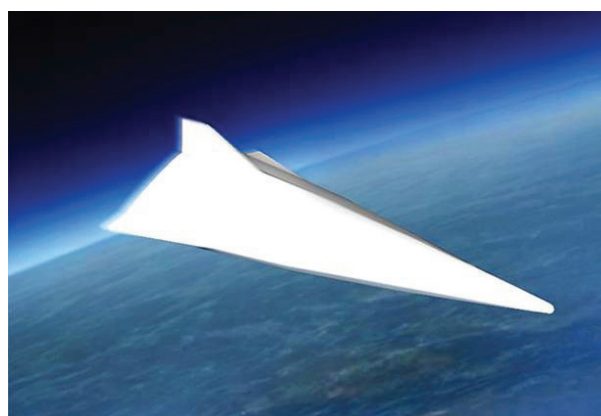


Рис. 10. WU-14

Об основных направлениях создания ГЗЛА и масштабах их финансирования за рубежом можно судить по открытым данным фискальных бюджетных планов, в частности, Агентства по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA) в последние годы, например, FY2014, FY2015, FY2016 [4, 5].

Основные тенденции, определяющие развитие военно-технического и научно-технологического потенциала ВЗС

К основным мировым тенденциям, определяющим развитие систем управления для ГЗЛА можно отнести следующие:

1) Общесистемные тенденции развития военно-технического противоборства, которые характеризуются:

- постоянным усилением роли бесконтактных способов боевых действий, направленных на снижение человеческих потерь, что приводит к возрастанию роли различных типов ракет и БЛА;

- сетцентрическим характером информационно-управляющих связей в процессе ведения боевых действий, что предопределяет возможность их нарушения, в первую очередь, за счет использования ГЗЛА или ГЗР, перехватить которые существующими средствами ПВО практически невозможно;

- возрастанием роли групповых действий средств нападения и защиты, вплоть до эффекта «роя», что требует применения высокоскоростных и маневренных средств противодействия, к которым относятся ГЗР и ГЗЛА;

- возрастанием значения возможности преодоления системы ПВО/ПРО противника ГЗЛА в качестве средств доставки ВТО;

- требованием существенного сокращения времени между моментами применения оружия и поражения целей, которое предопределяет необходимость применения ГЗР, особенно на больших расстояниях.

2) Тенденции развития летательных аппаратов 5-го и 6-го поколений:

- обеспечение гиперзвуковой скорости ЛА становится в международном сообществе одним из общепризнанных базовых признаков отнесения разработчиками новых ЛА к 6-му поколению;

- создание защищенных от перехвата, глобальных систем дистанционного поражения гиперзвуковыми БЛА расширяет географические зоны их применения, особенно тяжелых ударных и беспилотных ГЗЛА космического базирования;

- развитие систем управления автономными КР и дистанционно управляемыми БЛА на принципах искусственного интеллекта обеспечивает повышение их боевой эффективности, улучшение показателей живучести;

- формирование групп ЛА, функционирующих в режиме «роя»;

- возрастание актуальности разработки и принятия на вооружение новых типов сверхманевренных и гиперзвуковых ЛА, а также беспилотных боевых истребителей 6-го поколения с помощью которых, воздействие на противника может происходить за считанные секунды.

3) Научно-технические достижения в производстве авиационных двигателей.

4) Создание новых высокопрочных и жаростойких материалов: появление и использование высокопрочных легких и жаростойких материалов для производства элементов конструкции гиперзвуковой техники (фюзеляжей, плоскостей, рулевых поверхностей и т.п.) позволяет существенно уменьшать эффективную площадь рассеяния (ЭПР) и общий вес ЛА.

5) Переход промышленности к 5-му и 6-му технологическим укладам:

- массовое появление рынках микроэлектроники с технологическим масштабом порядка 10–100 нм, в общем случае, делает высокопроизводительные полупроводниковые радиоэлектронные системы весьма уязвимыми к воздействию мощного излучения. Вследствие этого боевая часть ГЗР, наряду с обычными боеприпасами, может оснащаться также средствами СВЧ-оружия;

- выпуск на рынок недорогих высоковольтных устройств [3] на основе полупроводников с рабочим напряжением более 1 кВ и с возможностью последовательного их включе-

ния в пакеты с рабочим напряжением порядка 100 кВ открывает новые возможности в разработке малогабаритных мощных бортовых средств связи с системой кодирования информации для защищенного от помех дистанционного управления бортовой аппаратурой ГЗЛА;

– выпуск промышленностью эффективных малогабаритных быстродействующие источники энергии большой мощности.

Основные направления разработки гиперзвуковой техники и тактики ее применения в ВЗС

Развитие науки и технологий в области разработки гиперзвуковой техники характеризуется:

– необходимостью проведения многолетних и дорогостоящих исследований;

– необходимостью обеспечения конкурентных преимуществ в области гиперзвуковых систем.

Основные достижения в разработках гиперзвуковой техники в ВЗС определяются возможностью:

– создания новых гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ГПВРД);

– производства и использования высокопрочных легких и жаростойких материалов для высокотехнологичного и экономически эффективного производства элементов конструкции (фюзеляжей, плоскостей и т. п.);

– существенного уменьшения ЭПР и общего веса;

– размещения на борту максимально мощной боевой части.

Отсутствие пилота на борту ГЗЛА обуславливает следующие возможности:

– ненужность сложных систем жизнеобеспечения, систем аварийного покидания и как следствие экономия веса, увеличение запаса горючего и дальности действия, увеличение боезапаса;

– увеличение маневренности, благодаря расширению диапазона допустимых перегрузок и, как следствие, возможности применения предельных (по прочности конструкции) вариантов непосредственного управления;

– снижение требований к надежности функционирования (наработке на один отказ) и простоту обслуживания.

Тактика применения управления гиперзвуковой техникой может предусматривать следующие варианты боевого применения:

– применение ГЗР для перехвата ГЗЛА противника;

– ГЗР (ГЗЛА) для преодоления системы ПВО/ПРО противника, в которой оказываются задействованными ГЗР-перехватчики;

– использование ГЗР (ГЗЛА) в режиме одиночных пусков, а также одномоментных последовательных запусков.

Возможные варианты управления гиперзвуковой техникой:

– управление группой ГЗР с пилотируемого самолета;

– управление с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения;

– наведение группы ГЗР с наземного пункта управления;

– комбинирование этапов дальнего (командного) наведения с пункта управления и ближнего наведения (самонаведения).

Особенности решения задач траекторного управления и наведения в условиях гиперзвукового обтекания

Из-за существенного расширения маневренных и скоростных возможностей ГЗЛА существующие методы наведения перехватчиков на сверхзвуковые воздушные цели уже не могут удовлетворять требованиям, предъявляемым к перехвату гиперзвуковых целей.

Основными требованиями, предъявляемыми к методам наведения ГЗР-перехватчика, являются:

- инвариантность к условиям применения (перехват в передней полусфере, задней полусфере, на различных высотах и скоростях и т. п.);
- обеспечение максимально возможной дальности перехвата при минимальных расходах энергии, затрачиваемой на управление;
- сопряжение методов командного наведения и самонаведения, обеспечивающее переход из одного режима в другой без существенных переходных процессов, которые на пилотируемых ЛА парируются летчиком.

Независимо от способа вывода ГЗР или ГЗЛА системой управления на рубеж применения средств поражения, необходимо учитывать специфические особенности аэродинамики подобных аппаратов, обусловленные видом нанесенного на поверхность корпуса специального защитного покрытия. Задача учета системой управления вида специального покрытия корпуса в ВЗС решалась различными способами.

Поверхность многоразового орбитального корабля «Спейс Шаттл» (США), при возврате которого с орбиты на землю спуск в верхних слоях атмосферы осуществлялся с гиперзвуковой скоростью, была покрыта теплозащитными плитками, изготовленными из специального материала, защищающими поверхность корабля от аэродинамического нагрева во время прохождения через атмосферу.

Подобное решение неприемлемо для малогабаритных реактивных снарядов, используемых в условиях земной атмосферы на малых высотах (до 5–10 км), так как увеличивает массу конструкции и увеличивает лобовое сопротивление.

Реактивный снаряд может разогнаться до скорости 5–6 М примерно за 12 с. Исходя из соображений термозащиты, вся внешняя поверхность снаряда покрыта специальным абляционным материалом, который, испаряясь при высоких температурах, охлаждает находящиеся под ним поверхности, в том числе, обтекатель, закрывающий локационную станцию. Подобная защита эффективна для ЛА большой дальности действия с большим временем полета, в которых используется самонаведение или радиокомандная система управления.

Конструкция с абляционной защитой мало приемлема для малогабаритных ГЗР малой дальности с малым временем полета и системами теленаведения, работающими в оптическом диапазоне. Это объясняется тем, что при разгоне ГЗР до заданной максимальной скорости поверхность защитного покрытия достигает температуры плавления и испарения, при которой абляционная защита наиболее эффективна только к моменту окончания работы двигателя. До момента начала плавления и испарения покрытие скалывается, расщепляется и расслаивается из-за возникающих в нем термических напряжений. Это приводит к возникновению оптических помех, которые возрастают после начала испарения защитного материала с поверхности.

В процессе гиперзвукового полета наружный слой системы теплозащиты постепенно разрушается, что приводит к росту потерь на трение при обтекании внешней поверхности снаряда, снижению максимальной скорости снаряда и дальности.

Физические явления, возникающие при достижении гиперзвуковой скорости, характеризуются:

- формированием тонкого слоя ударной волны;
- образованием вязких ударных слоев;
- появлением волн неустойчивости в пограничном слое около ЛА, не свойственных дозвуковым и сверхзвуковым потокам;
- образованием высокотемпературного потока.

С учетом сказанного, решение задач траекторного управления (наведения) ГЗЛА возможно осуществлять с одновременным (синхронным) выполнением следующих функций управления [6, 7]:

- своевременного обеспечения радиолокационной информацией об обнаружении, идентификации и сопровождении гиперзвуковой цели;
- управления концентрацией, химическим составом и температурой плазмы в тонком слое вокруг фюзеляжа;
- управления параметрами полета с помощью рулевых поверхностей;
- управления гиперзвуковым двигателем. Определение нижней границы гиперзвуковой скорости обычно связано с началом процессов, которые характеризуются тем, что обычный турбореактивный (ТРД) и прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД) с дозвуковым сгоранием топлива становятся низкоэффективными из-за чрезвычайно высокого трения, которое возникает при торможении проходящего через двигатель воздуха. В гиперзвуковом диапазоне скоростей для продолжения полета возможно использование только ракетного двигателя или ГПВРД со сверхзвуковым сгоранием топлива.

Заключение

Приоритетные научно-технологические направления развития гиперзвуковой техники определяются тем, что эффективное применение перспективных ГЗЛА невозможно без решения некоторых фундаментальных и прикладных задач в области физики и химии, а также совершенствования оперативного искусства и тактики ВВС.

К фундаментальным научным направлениям можно отнести:

- разработка способов оптимизации взаимодействия воздушных потоков и тонкого слоя плазмы вблизи фюзеляжа и плоскостей ГЗЛА;
- создание алгоритмов устойчивого маневрирования ГЗЛА на гиперзвуковых скоростях в условиях турбулентности воздушных потоков;
- разработка математического аппарата синтеза управления группами воздушных объектов с оптимизацией коллективных интересов;
- разработка теории игровых методов управления ГЗЛА.

Специфические особенности ГЗР и ГЗЛА определяют ряд теоретических и прикладных проблем, которые необходимо решать при разработке эффективных систем управления для ГЗР. К подобным проблемам относятся:

- необходимость разработки новых методов управления, соответствующих по своим динамическим свойствам ГЗЛА и способных реализовать рабочие перегрузки, во много раз превышающие возможности человека;
- потребность в создании новых универсальных методов наведения, обеспечивающих эффективное всеракурсное наведение ГЗР на различные виды целей, в том числе на ГЗЛА противника, на больших и малых дальностях;
- необходимость разработки новых тактических приемов боевого применения групп ГЗР при перехвате ГЗЛА противника;
- необходимость разработки новых тактических приемов боевого применения групп ГЗЛА при преодолении зоны ПВО/ПРО противника, в которой противоборствующей стороной применяются ГЗР-перехватчики;
- усложнение проблем обмена информационными потоками в системах управления ГЗР, обусловленное не только их групповым применением, но и необходимостью согласования информационного обмена в системах обнаружения и сопровождения различной дальности и различного базирования;
- потребность в значительном увеличении дальности действия, диапазона скоростей, ускорений и высокой точности траекторного управления по линейным и угловым координатам.

Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданиям № 2.4263.2017/НМ и № 2.4260.2017/НМ Минобрнауки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Available at: http://nnm.me/blogs/lсурfl/giperzvukovoe_oruzhie.
2. United States Air Force Mission (Миссия Военно-воздушных сил США). Available at: http://www.indiagulfcoast.com/events/archive/40th_Symposium/AFRLAAS2014.pdf.
3. Game-changing projects with a high degree of technical risk realized and produced in support of the warfighter (Проекты, изменяющие правила игры, для участников боевых действий с высоким техническим риском). Available at: <http://www.sandia.gov/ims/projects/index.html>.
4. Агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA). Available at: <http://www.darpa.mil>.
5. Fiscal Year (FY) 2015 Budget Estimates. Defense Wide Justification Book. Vol. 1 of 5. (Финансовый 2015-й год. Перечень обоснований бюджетных заявок Конгрессу. Т. 1, изд. 5.). Available at: http://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2015/budget_justification/pdfs/03_RDT_and_E/1_RDTE_MasterJustificationBook_Defense_Advanced_Research_Projects_Agency_PB_2015%20_Vol_1.pdf.
6. Scatter Pattern Calculations and Determination Performance Limitations of Existing Air Defense Systems for Intercepting Hypersonic Vehicles. Available at: <http://ieee.org>.
7. Меркулов В.И., Дрогалин В.В., Миляков Д.А. Проблемы перехвата гиперзвуковых летательных аппаратов. Журнал «Фазотрон». М., ОАО «Корпорация «Фазотрон – НИИР», № 3(19), 2012. С. 52–53.

References

1. Available at: http://nnm.me/blogs/lсурfl/giperzvukovoe_oruzhie.
2. United States Air Force Mission. Available at: http://www.indiagulfcoast.com/events/archive/40th_Symposium/AFRLAAS2014.pdf.
3. Game-changing projects with a high degree of technical risk realized and produced in support of the warfighter. Available at: <http://www.sandia.gov/ims/projects/index.html>.
4. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Available at: <http://www.darpa.mil>.
5. Fiscal Year (FY) (2015) Budget Estimates. Defense Wide Justification Book. Vol. 1 of 5. Available at: http://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2015/budget_justification/pdfs/03_RDT_and_E/1_RDTE_MasterJustificationBook_Defense_Advanced_Research_Projects_Agency_PB_2015%20_Vol_1.pdf.
6. Scatter Pattern Calculations and Determination Performance Limitations of Existing Air Defense Systems for Intercepting Hypersonic Vehicles. Available at: <http://ieee.org>.
7. Merkulov V.I., Drogalin V.V., Milyakov D.A. (2012) *Problemy perekhvata giperzvukovykh letatel'nykh apparatov* [The problems of interception of hypersonic aircraft] *OAO «Korporatsiya «Fazotron – NIIR»* [JSC «Corporation» Phazotron – Research Institute for Radio Engineering] *Zhurnal «Fazotron»* [The magazine «Phazotron»], No. 3 (19), pp. 52–53.