

# Аналитический обзор современных тенденций в зарубежных разработках высокоскоростных летательных аппаратов

Арефьев К.Ю.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

e-mail: kyarefev@ciam.ru

Представлен обзор публикаций о зарубежных исследованиях, посвященных разработке технологий создания высокоскоростных летательных аппаратов. Проанализированы приоритетные направления развития технологий и сведения о создаваемых объектах. Показано, что большое внимание за рубежом уделяют фундаментальным исследованиям в области газовой динамики (внешнего обтекания и внутреннего течения газов), горения топлива в сверхзвуковом потоке, создания новых высокотемпературных материалов и покрытий. По мнению ведущих зарубежных специалистов, актуальным и технически реализуемым в ближней перспективе направлением развития является создание высокоскоростных летательных аппаратов с комбинированной силовой установкой. Проанализированы проекты носителей высокоскоростных летательных аппаратов, а также данные о введенных в эксплуатацию новых стендах для наземных аэродинамических продувок и испытаний двигателей.

**Ключевые слова:** высокоскоростной летательный аппарат, комбинированная силовая установка, испытательный стенд, аналитический обзор

## Analytical review of modern trends in foreign high-speed aircraft development

Aref'ev K.Yu.

CIAM, Moscow

Review of foreign research publications on the development of high-speed aircraft technologies is presented in the article. Priority areas of technology and information about the objects under development are analyzed. It is shown that much attention is paid abroad to fundamental research in fields of gas dynamics (external flow and internal flow of gases), fuel combustion in supersonic flow, and creation of new high-temperature materials and coatings. According to leading foreign experts, creation of a high-speed aircraft with a combined propulsion system is a relevant and technically feasible direction of development in the near future. The concepts of carriers for high-speed aircraft are examined, as well as information on new facilities used for ground-based wind-tunnel and engine tests.

**Keywords:** high-speed aircraft, combined propulsion system, test facility, analytical review

### Введение

Созданию высокоскоростных летательных аппаратов за рубежом уделяют большое внимание как в науке, так и на практике. Тенденции повышения скорости полета до значений, в несколько раз превышающих скорость звука, сформировались еще в середине XX века во всех развитых странах. Это подтверждает большое количество опубликованных научных исследований и обзоров. Некоторое научное обобщение представлено в [1–3].

Множество научно-технических и технологических проблем, вызванных повышением скорости внутриатмосферного полета, обусловило необходимость длительных фундаментально-прикладных исследований, посвященных тепловому и прочностному состоянию конструкции летательного аппарата [4–6], его аэродинамике [7] и созданию эффективной силовой установки [8; 9]. В 1990-х годах начали разработку и испытания демонстраторов высокоскоростных летательных аппаратов, т.е. ряд технологий достиг 5...6-го уровня готовности.

Такие испытания проходили в СССР (затем в РФ), в США и в других странах.

За рубежом наибольшего успеха в автономных (после отделения от ускорителя) летных испытаниях демонстраторов высокоскоростных летательных аппаратов достигли США. К настоящему времени в США провели летные испытания следующих демонстраторов: X-43A [10], HyFly [11], FFV (Free Flight Vehicle) [12], X-51A [13]. Аналогичные проекты летательных аппаратов разрабатывали во Франции (LEA) [14], Индии (HSTDV) [15], Китае [16] и других странах. Большинство из этих проектов пока не достигли этапа летных испытаний.

Исследования в указанных направлениях проводят и сегодня, о чем свидетельствует большое количество современных публикаций и их обобщение в монографиях [17–19]. Их анализ позволяет предположить наличие ряда научно-технических проблем, в том числе фундаментального характера, которые были выявлены в процессе проведения испытаний демонстраторов.

Аналитический обзор фундаментально-прикладных исследований, проведенных до 2019 года, представлен в работах [20–23]. Учитывая актуальность тематики создания высокоскоростных летательных аппаратов и силовых установок для них, автор настоящей статьи видел своей задачей анализ материалов, опубликованных с 2019 года по настоящее время. Ввиду ограниченности и возможной искаженности публикуемой за рубежом информации, статья содержит некоторое обобщение и краткий авторский анализ зарубежных данных.

## Гиперзвуковая лаборатория Bolt II

Исследовательская лаборатория BBC США (AFRL) и Управление научных исследований BBC (AFOSR) 21 марта 2022 года провели летные испытания гиперзвуковой лаборатории Bolt II [24–27]. Задачами исследования были изучение обтекания тела, развития пограничного слоя и определение тепловых потоков в натуральных условиях. Следует отметить, что первое летное испытание лаборатории Bolt выявило проблемы, связанные с механизмом запуска ракеты, которые не позволили ей достичь гиперзвуковой скорости. После анализа неудачного испытания конструкцию гиперзвуковой лаборатории

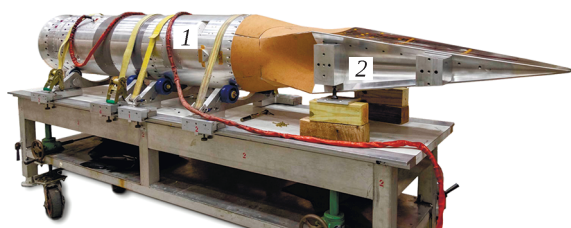


Рис. 1. Летящая лаборатория Bolt II на монтажном ступе [27]:

1 – переходный отсек; 2 – исследовательский модуль

доработали (детально о доработках не сообщается). Внешний вид лаборатории Bolt II представлен на рис. 1.

Летающая лаборатория содержит около 400 датчиков и измерительных приборов. Исследовательский модуль имеет комбинированные стенки: с двух сторон расположены плоскости, а с двух других – вогнутые поверхности. При этом у каждого типа поверхностей одна сторона выполнена гладкой (для изучения классического ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое), а другая сторона имеет дискретные участки с различной шероховатостью (для изучения возможности управления пограничным слоем).

Перед проведением летного испытания лаборатории Bolt II выполнили комплексные испытания в аэродинамической трубе в различных условиях. Такой подход позволяет проводить валидацию аэродинамических труб и определять степень соответствия формируемого в аэродинамическом сопле потока натурным условиям в полете.

Летное испытание провели с помощью двухступенчатой ракеты, стартовавшей с космодрома Уоллопс в штате Вирджиния. Для сбора данных о состоянии атмосферы (необходимого для точного анализа результатов эксперимента) задействовали аэростаты и стратостаты. Полет гиперзвуковой лаборатории Bolt II составил менее 10 мин, максимальная высота траектории – 281 км. На восходящем участке скорость достигала  $M = 6$ , на нисходящем –  $M = 5,5$ . Первоначально планировали достичь скорости  $M = 7,4$ , что может свидетельствовать о перетяжелении конструкции по сравнению с исходной. Перетяжеление может быть связано с увеличением количества датчиков или необходимостью их повышенной тепловой защиты.

Опубликованный видеоматериал [26] демонстрирует старт ракеты с размещенной гиперзвуковой лабораторией Bolt II, который, по заявлениям специалистов США, прошел успешно. Однако до настоящего времени автору не известны опубликованные результаты летного испытания. Анализируя характерные размеры и параметры аппарата, можно предположить, что максимальная высота траектории и заявляемая в [26] скорость несколько завышены. Ожидаемая публикация результатов испытаний, возможно, позволит провести детальный анализ.

## Аппараты с протяженным аэробаллистическим участком траектории полета

Большое внимание в США уделяют созданию летательных аппаратов с протяженным аэробаллистическим участком траектории полета [28–33]. Разгон таких аппаратов осуществляется посредством ракетного двигателя, после чего двигатель отключается и аппарат совершает управляемый полет в плотных слоях атмосферы. К таким

аппаратам, разрабатываемым в США, относятся С-HGB (Common-Hypersonic Glide Body) и TBG (Tactical Boost Glide).

С-HGB (рис. 2) является стратегическим планирующим боевым блоком разрабатываемого перспективного гиперзвукового ракетного комплекса большой дальности LRHW (Long Range Hypersonic Weapon), предназначенного для постановки на носители разного типа (наземные, авиационные, морские). Работы проводятся в кооперации компании Dynetics Technical Solutions, Lockheed Martin, Sandia, General Atomics Electromagnetic Systems и Raytheon.

Характерные размеры блока С-HGB могут составлять до 3 м при диаметре миделя около 0,9 м. При создании С-HGB решили перейти от пространственной конфигурации (типа Falcon HTV-2) к более простой, конической форме аэродинамических поверхностей с оперением. Скорее всего, это связано с компоновочными особенностями конструкции планирующего блока и применяемыми технологиями изготовления.

В марте 2020 года сухопутные войска США совместно с ВМС успешно провели первые летные испытания блока С-HGB на тихоокеанском полигоне в Баркинг-Сэндс, штат Гавайи. Заявляемая скорость  $M = 17$ , однако в плотных слоях атмосферы скорость составляет  $M \approx 5$ . Дальность полета не раскрывают, но, согласно некоторой опубликованной информации [29–33], она может составлять до  $\sim 3000$  км.

Планирующий блок, разрабатываемый по программе TBG [33; 34], финансируемой DARPA и ВВС США, предназначен для отработки технических решений и их дальнейшего внедрения на тактической ракете AGM-183A (ориентировочная дальность полета до 1000 км). Под носовым обтекателем такой ракеты располагается один планирующий блок TBG, размерами в несколько раз меньше блока С-HGB. Конфигурация, согласно опубликованной в США информации, близка к форме блока HTV-2. На первом этапе планируют размещать ракеты AGM-183A на бомбардировщиках В-52Н Stratofortress (рис. 3), а в дальнейшем – на самолетах В-21 Raider, F-15E/EX Strike Eagle. Сообщается о положительных результатах испытаний ракеты AGM-183A.

На сайте компании Lockheed Martin [35] в 2019 году появились изображения самоходной установки с тактическими ракетами, оснащенными блоками TBG (рис. 4). Отработку технологии создания наземного комплекса с гиперзвуковыми тактическими ракетами проводят в рамках программы OpFires (Operational Fires) [36]. По состоянию на август 2022 года была произведена серия из трех испытательных запусков, которые признаны успешными.

Созданием гиперзвуковых планирующих блоков занимаются и в КНР. Китайское телевидение неодно-

кратно показывало видеозапись испытаний в аэродинамической трубе (максимальная скорость потока  $M = 15$ ) гиперзвукового планирующего блока DF-ZF (рис. 5). Планирование к цели он будет осуществлять на скорости  $M = 5 \dots 10$ . Предполагают использовать носители раз-

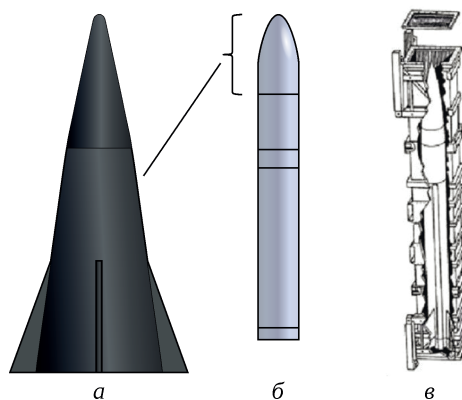


Рис. 2. Конфигурация планирующего блока С-HGB [29]: а – блок С-HGB; б – ракета AUR (All-Up-Round); в – транспортно-пусковой контейнер



Рис. 3. Ракета AGM-183A под крылом самолета В-52Н [34]



Рис. 4. Внешний вид пусковой установки с гиперзвуковыми тактическими ракетами [35]



Рис. 5. Испытания планирующего блока DF-ZF [37]



Рис. 6. Планирующий блок Нусоге на носителе [42]

ного типа: DF-21 с дальностью полета 1200...1900 км и DF-31 с дальностью полета 8000...12 000 км. Отдельные источники [38; 39] содержат сведения о том, что в 2019...2021 годах были проведены летные испытания объекта DF-ZF (ранее указывали индекс WU-14) и к настоящему времени такие ракеты поставлены в Национальную освободительную армию Китая. Демонстрацию пусков похожих систем провели в конце 2020 года.

На рис. 5 видно, что планирующий блок, разрабатываемый в КНР, имеет развитые аэродинамические поверхности и его форма отлична от конической. Можно предположить, что он обладает высоким аэродинамическим качеством. Однако в известных материалах нет сведений о методах обеспечения допустимого теплового состояния конструкции.

КНДР также занимается созданием гиперзвуковых планирующих блоков и носителей для них [40; 41]. Аппарат Нусоге массой 2,4 т и длиной 8,7 м (рис. 6) был испытан в составе ракеты «Хвасон-8» в 2021 и 2022 годах. Информация о результатах испытаний отсутствует.

Учитывая мировые тенденции создания гиперзвуковых планеров, в США компании-разработчику Raytheon Missiles & Defense поставили задачу создать демонстратор Glide Phase Interceptor (GPI) для противо-

действия гиперзвуковым ракетами, движущимся со скоростью, превышающей в пять раз скорость звука, и маневрирующим в полете [43; 44]. GPI будет перехватывать объекты на этапе планирования и при маневрировании. На начальном этапе разработки основное внимание уделяет снижению технических рисков, быстрому развитию технологий и демонстрации способности перехвата. GPI предполагают интегрировать в систему вооружения Aegis ВМС США, корабельную и береговую систему защиты.

### Высокоскоростные летательные аппараты с воздушно-реактивной силовой установкой

Помимо создания высокоскоростных летательных аппаратов с продолжительным аэробаллистическим участком траектории полета, в зарубежных странах в последнее время активно работают над созданием демонстраторов летательных аппаратов с комбинированной силовой установкой (КСУ).

В США компания Hermeus разрабатывает демонстратор самолета Quarterhorse [45] на углеводородном топливе. Предполагается, что самолет будет способен летать с максимальной скоростью, соответствующей  $M = 5$ , на расстояния до 7400 км. Гиперзвуковой самолет Quarterhorse снабжен КСУ на основе турбореактивного двигателя (ТРД) и форсажно-прямоточной камеры сгорания с единым проточным трактом (рис. 7). По опубликованным данным [46; 47] можно предположить, что ТРД работает на всем участке полета.

На этапе стендовой и летной отработки прототипа КСУ компания Hermeus предлагает использовать существующий ТРД семейства J85 (General Electric). Использование двигателя J85 требует эффективного охлаждения набегающего воздуха горячим (до температур, соответствующих эксплуатационным для данного типа двигателя, около 450 К) в теплообменном аппарате. Характерными особенностями силовой установки являются регулируемая геометрия проточного тракта и широкое использование в производстве аддитивных

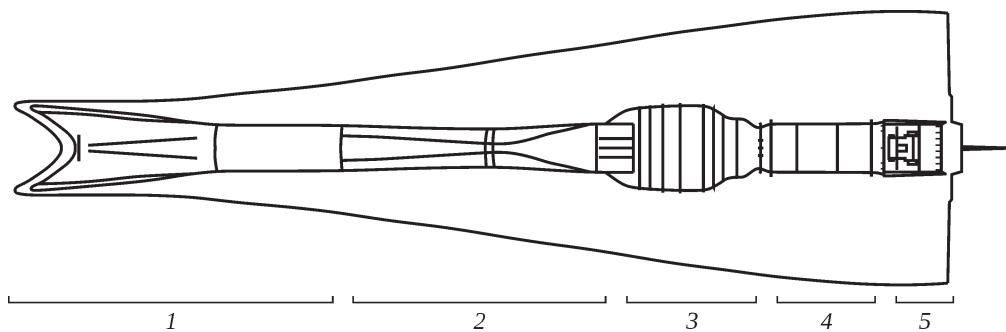


Рис. 7. Схема КСУ самолета Quarterhorse [47]:

- 1 – воздухозаборник (ВЗ); 2 – теплообменный аппарат; 3 – ТРД;
- 4 – форсажно-прямоточная камера сгорания; 5 – реактивное сопло

технологий. Прототип форсажно-прямоточной камеры сгорания с регулируемым реактивным соплом, изготовленный с помощью аддитивных технологий, показан на рис. 8. Регулирование створок сопла осуществляется гидравлическими приводами с помощью системы рычагов. При этом можно изменять площадь выходного сечения и вектор импульса потока в выходном сечении.

Другим гиперзвуковым самолетом, разрабатываемым в США является беспилотный самолет SR-72 с максимальной скоростью полета, соответствующей  $M = 5$  [35; 48]. Предполагается, что КСУ самолета будет работать на углеводородном топливе. Компания-разработчик Lockheed Martin предлагает использовать схему КСУ с параллельно расположенными ТРД и двухрежимным ПВРД/ГПВРД, с общим ВЗ и реактивным соплом (рис. 9). Для разделения потока воздуха на различных участках траектории полета используются регулируемые створки.

По заявлениям американских специалистов, основные проблемы создания самолета SR-72 касаются разработки его силовой установки, способной работать в широком диапазоне скоростей. Анализ опубликованной информации показал, что указанные проблемы могут быть связаны с работой ТРД, потребовавшей снизить скорость, соответствующую переключению между контурами КСУ, до  $M = 2,3$ . С 2017 года на полигоне в городе Палмдейл (штат Калифорния) проводили испытания систем самолета SR-72. В январе 2018 года вице-президент подразделения Lockheed Martin Дж. О'Баннион, заявил о завершении создания гиперзвукового беспилотного самолета SR-72. На научно-технологическом форуме, организованном Американским институтом аэронавтики и астронавтики, Дж. О'Баннион, показав изображение самолета SR-72, подчеркнул особую роль цифрового моделирования в его создании.

Создание гиперзвукового беспилотного самолета в США является одним из приоритетных направлений. На это указывают работы, проводимые компанией Boeing параллельно разработкам Lockheed Martin [49; 50]. Представленная на выставке AIAA SciTech

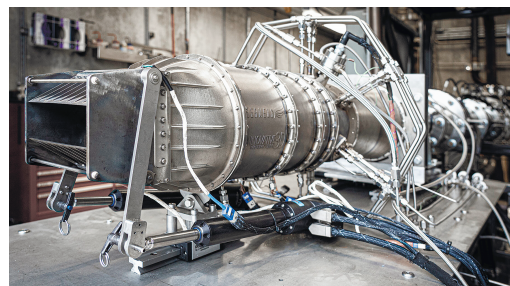


Рис. 8. Прототип форсажно-прямоточной камеры сгорания с реактивным соплом [44]

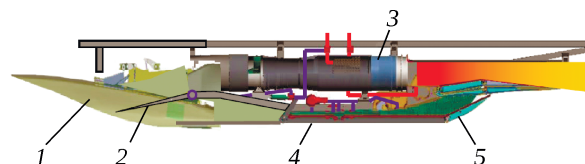


Рис. 9. Схема КСУ самолета SR-72 [19]:

1 – ВЗ; 2 – регулируемая створка; 3 – ТРД;  
4 – двухрежимный ПВРД/ГПВРД; 5 – реактивное сопло

модель компании Boeing (рис. 10) демонстрирует схожесть концепции и спроектирована на тот же уровень достигаемых скоростей, что и самолет SR-72.

В Европе признано актуальным создание КСУ SABRE для космолета Skylon (рис. 11) [52; 53]. Разработку возглавляет британская компания Reaction Engines. КСУ предназначена для работы как в атмосфере, так и за ее пределами. При полете в атмосфере в качестве окислителя используется воздух, а при высоте более 50 км – жидкий кислород, хранящийся на борту.

При работе КСУ в атмосфере используется осесимметричный ВЗ с регулированием осевого положения центрального тела. Поступающий через ВЗ воздух разделяется на два потока. Основной поток поступает в систему охлаждения – в рекуперативный теплообменник с промежуточным теплоносителем (гелием). Использование гелия в качестве промежуточного теплоносителя между горючим (водородом) и воздухом теоретически может повысить эффективность теплообменного аппарата и снизить требуемую площадь рабочей поверхности. После теплообменника охлажденный воз-



а



б

Рис. 10. Внешний вид самолетов разработки Boeing (а) [49] и Lockheed Martin (б) [51]

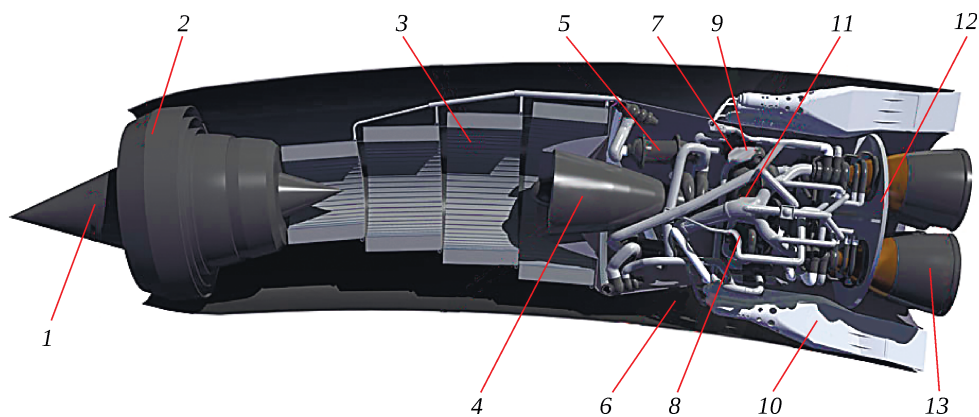


Рис. 11. Схема КСУ SABRE [52]:

1 – центральное тело ВЗ; 2 – ВЗ; 3 – теплообменный аппарат (между воздухом и гелием); 4 – воздушный компрессор; 5 – теплообменный аппарат (между гелием и водородом); 6 – устройство дозирования; 7 – насос гелия; 8 – насос кислорода; 9 – насос водорода; 10 – ПВРД; 11 – турбина привода насосов и компрессора; 12 – тепловой экран; 13 – ЖРД

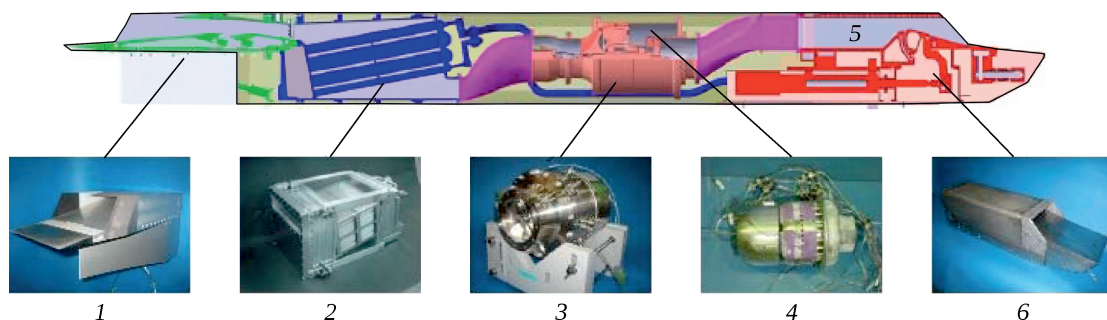


Рис. 12. Схема КСУ, используемая в проекте JAXA [54]:

1 – ВЗ; 2 – теплообменный аппарат; 3 – ТРД; 4 – газогенератор ТРД; 5 – форсажная камера; 6 – реактивное сопло

дух поступает в компрессор, приводимый во вращение турбиной, рабочим телом которой является подогретый водород или гелий (в зависимости от модификации). Далее воздух с повышенным давлением поступает в камеру сгорания жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), где реагирует с горючим и создает тягу. Вспомогательный поток воздуха напрямую поступает в ПВРД, расположенные по периферии ЖРД. На некоторых режимах до 30% тяги создается посредством работы ПВРД.

При работе КСУ вне атмосферы, центральное тело ВЗ перемещается в крайнее положение и полностью перекрывает входной канал. В этом случае для работы используется жидкий кислород, размещенный на борту космолета Skylon, и КСУ переводится в режим работы кислородно-водородного ЖРД.

В проекте Японского агентства аэрокосмических исследований (JAXA) используют несколько похожую на КСУ самолета Quarterhorse концепцию с предварительным охлаждением воздуха после ВЗ для надлеж-

щей работы ТРД при полете с максимальной скоростью, соответствующей  $M = 5$ . Этот проект активно разрабатывают уже второе десятилетие, однако отработываемые в нем технологии не потеряли своей актуальности для зарубежных исследователей. Основным отличием от самолета Quarterhorse является использование водорода в качестве горючего. Конфигурация КСУ в проекте JAXA (рис. 12) предусматривает использование регулируемого ВЗ прямоугольного сечения, рекуперативного воздушно-водородного теплообменника, ТРД с форсажной камерой и регулируемого реактивного сопла.

Одним из интересных исследовательских проектов является гиперзвуковой самолет Delta-Velos [55; 56], разрабатываемый австралийской компанией Hypersonix Launch Systems. Самолет является второй ступенью авиационно-космической системы для вывода полезной нагрузки на околоземную орбиту. Ожидаемая максимальная скорость внутриатмосферного полета Delta-Velos  $M = 12$ . Особенностью этого самолета является наличие водородного ГПВРД Spartan. В ближайшее время компания Hypersonix Launch Systems планирует создать уменьшенный демонстратор Delta-Velos (рис. 13) и провести его испытания, в том числе в полете.

Длина летного демонстратора Delta-Velos составит около 3 м. При этом большую часть внутреннего прост-



Рис. 13. Демонстратор самолета Delta-Velos [55]

ранства занимает баллон высокого давления, заполненный водородом. Это указывает на относительно короткую продолжительность полета с работающим ГПВРД: ограничен запас газообразного водорода и отсутствует хладагент для тепловой защиты проточного тракта двигателя.

В европейских странах продолжаются работы в рамках проектов ZENST (разрабатывает европейский концерн EADS) и STRATOFly (создают в кооперации научные центры и университеты стран Европейского союза). Основное направление в этих проектах – создание гиперзвукового пассажирского авиалайнера.

В проекте ZENST предполагается, что силовая установка будет состоять из двух ТРД, ракетных разгонных блоков и двух прямооточных двигателей. ТРД будут применяться для старта с аэродрома и разгона самолета до скорости  $M \approx 0,8$ . Дальнейший разгон самолета до скорости  $M \approx 2,5$  осуществят ракетные ускорители. После этого два расположенных под крылом прямооточных двигателя обеспечат доразгон самолета и полет на крейсерской скорости до  $M = 4$ .

Работы в рамках проекта STRATOFly направлены на исследование проблем, связанных с работой ГПВРД, шумом и воздействием на окружающую среду гиперзвукового летательного аппарата, на проектирование облегченных и теплостойких конструкций.

## Стенды для испытаний высокоскоростных летательных аппаратов

Новый испытательный стенд компании Northrop Grumman (рис. 14) [57] предназначен для испытаний ПВРД по схеме с присоединенным воздухопроводом.

### Характеристики стенда Northrop Grumman

Имитируемое число Маха	4
Длина объекта испытаний, м	5,5
Тяга объекта испытаний, кН	57,8
Продолжительность испытаний, с	1800

Проанализировав представленные данные, можно предположить, что стенд предназначен для испытаний объектов с массовым расходом воздуха до 30 кг/с.

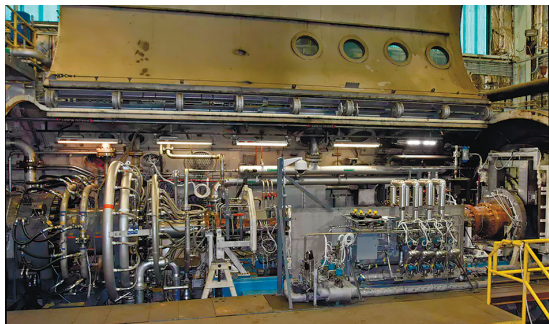


Рис. 14. Испытательный стенд компании Northrop Grumman [57]



Рис. 15. Аэродинамическая труба FL-64 [58]

При таком расходе заявленная продолжительность испытаний может быть обеспечена при суммарном запасе воздуха около 54 т. На фотографии видно, что объект испытаний совместно с системой подогрева воздуха расположен внутри барокамеры стенда с откидной крышкой. Такая барокамера может быть использована для высотных испытаний. Это указывает на возможность проведения испытаний двигателя в интеграции с реактивным соплом. Таким образом, стенд Northrop Grumman может использоваться для испытаний двигателей изделий типа X-51A на разгонных режимах полета.

Большое количество гиперзвуковых стендов создают в Китае. В 2021 году завершилось строительство аэродинамической трубы FL-64 [58] (рис. 15).

### Характеристики аэродинамической трубы FL-64

Имитируемое число Маха	4...8
Диаметр аэродинамического сопла, м	1
Температура подогрева воздуха, К	900
Продолжительность испытаний, с	30

Следует отметить высокие темпы строительства аэродинамической трубы FL-64. Срок строительства составил около двух лет, что позволило провести тестовые пуски в ноябре 2021 года. Также в Китае планируют создать аэродинамическую трубу JF-22, которая обеспечит проведение аэродинамических испытаний при скорости в 30 раз выше скорости звука с имитацией высоты полета 40...100 км.

## Заключение

Согласно проанализированной информации можно сделать следующие выводы.

Большое внимание за рубежом уделяют фундаментальным исследованиям гиперзвуковых течений, в том числе созданию летающих лабораторий. Примером является летающая лаборатория Volt II, которая предназначена для исследования внешнего обтекания сложных поверхностей и сравнения этого обтекания с реализуемым в наземных аэродинамических трубах и на стендах.

В США и КНР в ближайшее время примут на вооружение комплексы с гиперзвуковыми летательными

---

аппаратами планерного типа, обеспечивающими достаточно продолжительный аэробаллистический полет со скоростью  $M > 5$ . При этом следует ожидать, что такие аппараты будут способны маневрировать на высотах до 30 км.

Учитывая успешные испытания демонстраторов, наиболее вероятным можно считать появление в США до 2025 года гиперзвуковых комплексов на основе планеров с протяженным аэробаллистическим участком траектории полета типа AGM-183A (воздушного базирования) и OrFires (наземного базирования). Характерная дальность полета может составить 1000 км. До 2027 года можно ожидать создания в США и систем большей дальности (до нескольких тысяч километров). Аналогичные системы будут созданы в те же сроки в КНР и с некоторым отставанием (до 5...7 лет) в КНДР. На это указывают опубликованные материалы и представляемые концепции, подкрепленные некоторой информацией об испытаниях, проводимых в аэродинамических трубах, и летных испытаниях.

Гиперзвуковые аппараты, осуществляющие продолжительный полет с работающим двигателем, могут быть созданы в США на основе технологий, отрабатываемых

на демонстраторе X-51A, в среднесрочной перспективе (до 2030 года). Этому способствует большой объем фундаментальных исследований, созданные стенды и проводимые испытания, в том числе летные. В других зарубежных странах также проводят фундаментально-поисковые исследования, посвященные созданию двигателей для длительного гиперзвукового полета, однако в имеющихся источниках отсутствуют сведения о сроках создания летательных аппаратов с такими двигателями.

Достаточно активно в США рассматривают концепции гиперзвукового ударно-разведывательного самолета типа Quarterhorse и SR-72. Большой объем работ посвящен созданию комбинированной силовой установки, обеспечивающей самостоятельный взлет самолета и полет с гиперзвуковой скоростью  $M \approx 5$ . Проводимые в США работы получают регулярное финансирование и позволят создать такой самолет в 2030...2040 годах.

В развитых зарубежных странах (США, страны Европейского союза, Австралия, Япония) идут поисковые исследования для создания аэрокосмических систем и гиперзвуковых самолетов со скоростью внутриатмосферного полета до  $M = 10$ . Создание таких самолетов технологически станет возможным после 2050 года.

## Литература

1. Пышнов В.С. Полет с большими докосмическими скоростями : (Некоторые вопросы ракетодинамики). М. : ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1959. 59 с.
2. Зуев В.С., Макарон В.С. Теория прямоточных и ракетно-прямоточных двигателей. М. : Машиностроение, 1971. 367 с.
3. Механика оптимального пространственного движения летательных аппаратов в атмосфере / Л.М. Шкадов, Р.С. Буханова, В.Ф. Илларионов, В.П. Плохих. М. : Машиностроение, 1972. 240 с.
4. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / В.С. Авдеевский, Б.М. Галицейский, Г.А. Глебов и др. ; под общ. ред. В.С. Авдеевского и В.К. Кошкина. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1992. 528 с.
5. Cacciatore M., Rutigliano M., Billing G.D. Eley–Rideal and Langmuir–Hinshelwood recombination coefficients for oxygen on silica surfaces // *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*. 1999. Vol. 13, iss. 2. P. 195–203.
6. Прочность гиперзвуковых летательных аппаратов : библиографический список / сост.: Г.Н. Ионова, И.О. Кеммерих ; Центр. аэрогидродинам. ин-т им. проф. Жуковского, бюро науч. информации. М., 1966. 55 с.
7. Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. М. : Машиностроение, 1975. 327 с.
8. Sosounov V.A. Research and development of ramjets/ramrockets. Part 1. Integral solid propellant ramrockets // *Research and development of ram/scramjets and turbo ramjets in Russia / North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research & Development*. 1993. (AGARD Lecture Series ; AGARD-LS-194). P. 2-1–2-31.
9. Нечаев Ю.Н. Силовые установки гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов / Акад. космонавтики им. К.Э. Циолковского, отд-ние фундам. и приклад. проблем аэрогазодинамики и теплообмена. М., 1996. 214 с.
10. McClinton Ch.R. X-43 – scramjet power breaks the hypersonic barrier : Dryden lectureship in research for 2006. 2006. (44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 9–12 January 2006, Reno, Nevada ; AIAA-2006-1).
11. HyFly Mach 6 scramjet missile test // TFOT : The future of things : website. Section “Technology”. URL: <https://thefutureofthings.com/5667-hyfly-mach-6-scramjet-missile-test/> (accessed: 15.08.2022).
12. Flight results from a program to develop a freeflight atmospheric scramjet test technique / R.O. Foelsche, S.A. Beckel, A.A. Betti, G.T. Wurst, R.A. Charletta, and R.J. Bakos. 2006. (14th AIAA/AHI Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 6–9 November 2006, Canberra, Australia ; AIAA 2006-8119).



- 
13. Hank J.M., Murphy J.S., Mutzman R.C. The X-51A Scramjet Engine Flight Demonstration Program. 2008. (15th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 28 April – 1 May 2008, Dayton, Ohio ; AIAA 2008-2540).
  14. Falempin F., Serre L. French Flight Testing Program LEA : Status in 2009. 2009. (16th AIAA/DLR/DGLR International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 19–22 October 2009, Bremen, Germany ; AIAA 2009-7227).
  15. Rajinikanth B., Anavaradham T.K.G. Tip-to-end simulation of airframe integrated scramjet engine. 2007. (18th International Symposium on Air Breathing Engines, 2–7 September 2007, Beijing, China ; ISABE 2007-1132).
  16. Aero-propulsive performance for vehicle model with CFD and experiments / L. Jialing, L. Weixiong, H. Wei, H. Yuanyuan, and Zh. Zhonghua. 2007. (18th International Symposium on Air Breathing Engines, 2–7 September 2007, Beijing, China ; ISABE 2007-1203).
  17. Дегтярь В.Г., Сон Э.Е. Гиперзвуковые летательные аппараты. Т. 1. М. : Янус-К, 2018. 984 с.
  18. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели на энергоемких конденсированных материалах / Л.С. Яновский, К.Ю. Арефьев, Ю.М. Милехин, В.А. Сорокин, С.А. Гусев, А.В. Воронецкий, В.В. Разносчиков, Е.В. Суриков, М.С. Шаров, А.В. Байков, М.А. Абрамов, К.В. Федотова, И.С. Аверьков ; под общ. ред. Л.С. Яновского. М. : ЦИАМ, 2020. 198 с.
  19. Особенности расчетных исследований и экспериментальной отработки прямоточных ВРД на жидких и газообразных горючих / А.И. Ланшин, А.Н. Прохоров, К.Ю. Арефьев, В.Ю. Александров, Н.В. Кукшинов, О.В. Гуськов ; под общ. ред. А.И. Ланшина. М. : ЦИАМ, 2020. 112 с.
  20. Состояние и перспективы разработки гиперзвукового вооружения / Р.В. Балмина, А.А. Губанов, М.А. Иванькин, Д.А. Лапинский // Новости зарубежной науки и техники. Серия: Авиационная и ракетная техника. (Техническая информация : (обзоры и рефераты по материалам иностранной печати) / ЦАГИ). 2012. № 1/2. 76 с.
  21. Кондратюк Е.Л. Исследования, проводимые в США, в области создания гиперзвуковых летательных аппаратов // Двигатель. 2013. № 1 (85). С. 8–11.
  22. Разработка и тактика применения гиперзвуковых летательных аппаратов по материалам зарубежных источников / И.М. Комаров, Д.В. Зернюков, К.В. Епишин, Е.Л. Хицунов, Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк // Инноватика и экспертиза. 2017. № 1 (19). С. 204–214.
  23. Arefyev K.Yu., Kukshinov N.V., Prokhorov A.N. Analysis of development trends of power-units for high-speed flying vehicles // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1147. Art. 012055. 15 p. DOI 10.1088/1742-6596/1147/1/012055.
  24. Norris G. Hyper activity // Aviation Week and Space Technology. 2020. Vol. 182, nr. 13 (June 29 – July 12). P. 50–53.
  25. James C. The BOLT II hypersonic flight test could bring superfast global travel a step closer // The Conversation : Academic rigour, journalistic flair : website. URL: <https://theconversation.com/the-bolt-ii-hypersonic-flight-test-could-bring-superfast-global-travel-a-step-closer-179556> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 20.03.2022.
  26. Blain L. Pivotal Bolt II hypersonic flight test will be live-streamed tonight // New Atlas : website. URL: [https://newatlas.com/aircraft/bolt-ii-hypersonic-test/?utm\\_source=New+Atlas+Subscribers&utm\\_campaign=146844e09d-EMAIL\\_CAMPAIGN\\_2022\\_03\\_21\\_01\\_51&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_65b67362bd-146844e09d-76675103](https://newatlas.com/aircraft/bolt-ii-hypersonic-test/?utm_source=New+Atlas+Subscribers&utm_campaign=146844e09d-EMAIL_CAMPAIGN_2022_03_21_01_51&utm_medium=email&utm_term=0_65b67362bd-146844e09d-76675103) (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 21.03.2022.
  27. James C. This wild rocket could help make hypersonic travel a reality // Daily Beast : website. URL: <https://www.thedailybeast.com/nasa-set-to-launch-bolt-ii-hypersonic-flight> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 21.03.2022.
  28. Trimble S. Not so fast // Aviation Week and Space Technology. 2020. Vol. 182, nr. 13 (June 29 – July 12). P. 40–42.
  29. Гиперзвуковая ракетная система Hypersonic Weapons System (США) // Бастион : военно-технический сборник : журнал оборонно-промышленного комплекса : сайт / А.В. Карпенко. URL: <http://bastion-karpenko.ru/weapon-hws-usa/> (дата обращения: 15.08.2022).
  30. Сарычев М., Башкиров Н., Новикова Д. Основные программы разработки гиперзвукового оружия в вооруженных силах США // Зарубежное военное обозрение. 2021. № 9. С. 28–34.
  31. Henrotin J. Hypersonic weapons: what are the challenges for the armed forces? / IFRI. Paris, 2021. 14 p. Briefings de l'IFRI, June 18, 2021.
  32. Рябов К. Гиперзвуковая гонка: суперракеты трех ведущих держав // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/171588-giperzvukovaja-gonka-super-rakety-treh-veduschih-derzhav.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 27.05.2020.
  33. Hypersonic weapons: background and issues for Congress : updated July 20, 2022 / Congressional Research Service. 29, [3] p. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45811> (accessed: 15.08.2022).
-

- 
34. AGM-183 ARRW // Wikipedia : the free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-183\\_ARRW](https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-183_ARRW) (accessed: 15.08.2022).
  35. Lockheed Martin : site. URL: <https://www.lockheedmartin.com/> (accessed: 15.08.2022).
  36. Hypersonic and directed-energy weapons – a new arms race : October 2021 : report / Syed Bahadur Abbas, Matt Conley, Sana Jamal, M. Ahsan, Alex R. Serge ; International Relations Insights & Analysis. 2021. 11, [2] p.
  37. Рябов К. Проект WU-14/DF-ZF. Китай осваивает гиперзвук // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/133827-proekt-wu-14-df-zf-kitay-osvaivaet-giperzvuk.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 16.01.2018.
  38. DF-ZF // Wikipedia : the free encyclopedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/DF-ZF> (accessed: 15.08.2022).
  39. Wood P., Cliff R. A case study of the PRC's hypersonic systems development / prepared by TextOre. USA : China Aerospace Studies Institute, 2020. 36, [2] p.
  40. Корейский полуостров: история и современность / Рос. акад. наук, Ин-т Дал. Востока РАН, Центр корейских исследований. М. : ИДВ РАН, 2020. 456 с.
  41. Гиперзвуковой боевой блок новой ракеты впервые показали в КНДР // Союз ветеранов спецназа ГРУ им. Шектаева Д.А. : сайт. Раздел «Зарубежное военное обозрение». URL: <https://svs-gru.ru/zarubezhnoe-voennoe-obozrenie/giperzvukovoy-boevoy-blok-novoy-rakety-vpervye-pokazali-v-kndr/html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 13.10.2021.
  42. Легат И. Гиперзвуковое оружие КНДР: факты и предположения // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/191426-est-li-giperzvukovoe-oruzhie-u-kndr-i-esli-est-to-kakoe.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 16.01.2018.
  43. Рябов К. CSIS о перехвате гиперзвуковых вооружений // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/192461-csis-o-perehvate-giperzvukovyh-vooruzhenij.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 21.02.2022.
  44. Рябов К. Проект противоракеты для перехвата гиперзвукового оружия Glide Phase Interceptor (США) // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/189546-proekt-protivorakety-dlja-perehvata-giperzvukovogo-oruzhija-glide-phase-interceptor-ssha.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 29.11.2021.
  45. Quarterhorse // Hermeus : website. URL: <https://www.hermeus.com/quarterhorse> (accessed: 15.08.2022).
  46. Gorant J.G. Forget supersonic. This hypersonic jet can fly from NYC to London in under an hour // Robb Report : website. URL: <https://robbreport.com/motors/aviation/hypersonic-jet-hermeus-quarterhorse-1234631198/> (accessed: 15.08.2022).
  47. Рябов К. Экспериментальный гиперзвуковой самолет Hermeus Quarterhorse накануне летных испытаний // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/188971-jeksperimentalnyj-giperzvukovoj-samolet-hermeus-quarterhorse-nakanuneletnyh-ispytanj.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 11.11.2021.
  48. Knudsen B. An examination of U.S. hypersonic weapon systems. 2017. 15 p. DOI 10.13140/RG.2.2.14375.96164.
  49. В США продемонстрировали модель гиперзвукового самолета // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/190913-v-ssha-prodemonstirovali-model-giperzvukovogo-samoleta.html> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 07.01.2022.
  50. Boeing представила концепт гиперзвукового самолета – наследника Valkyrie : видео / ШАГвперед // Rutube. URL: <https://rutube.ru/video/5a37a1cd7b2b6f6d2d5aebd591b4dd1b/> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ.: 08.01.2022.
  51. Lockheed SR-72 : Hypersonic unmanned reconnaissance aircraft (2030) // Military Factory : website. URL: [https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft\\_id=1135](https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1135) (accessed: 15.08.2022). Last edited: 05.09.2019.
  52. SABRE engine: single stage to orbit rocket engine / Rupesh Aggarwal, Khushin Lakhara, P.B. Sharma, Tocky Darang, Naman Jain, Siddharth Gangly // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2015. Vol. 4, iss. 10. P. 10360–10366.
  53. Белкин В.Н., Муравлев С.П. Гиперзвуковые технологии в проектах оружия и ЛА // Авиационные системы. 2013. № 7. С. 2–26.
  54. Starting characteristics of hypersonic pre-cooled turbojet inlet / T. Kojima, H. Taguchi, H. Kobayashi and T. Sato. 2015. 10 p. (20th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 6–9 July 2015, Glasgow, Scotland ; AIAA 2015-3595).
  55. Delta-Velos Demonstrator // Hypersonix Launch Systems : website. URL: <https://hypersonix.com.au/delta-velos-demonstrator/> (accessed: 15.08.2022).
  56. Скуратовский Б. Австралийская компания создает гиперзвуковую систему для запуска спутников на орбиту // Mediasat. URL: <https://mediasat.info/ru/2022/01/19/hypersonix-launch-systems/> (дата обращения: 15.08.2022). Дата публ. 19.01.2022.
-

- 
57. Host P. Air Force Research Lab preparing for second hypersonic ground test // Janes. URL: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/air-force-research-lab-preparing-for-second-hypersonic-ground-test> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 15.08.2019.
  58. Китай создал еще одну аэродинамическую трубу FL-64 для гиперзвуковых разработок // Оружейная коллекция. URL: <http://weaponscollection.com/5/15889-kitay-sozdal-esche-odnu-aerodinamicheskuyu-trubu-fl-64-dlya-giperzvukovykh-razrabotok.html> (дата обращения: 15.08.2022).

## References

1. Pyshnov V.S. Polet s bol'shimi dokosmicheskimi skorostiami (Nekotorye voprosy raketodinamiki) [Flight with high pre-cosmic speeds (Some problems of rocket dynamics)]. Moscow: Zhukovsky Air Force Engineering Academy, 1959. 59 p.
2. Zuev V.S., Makaron V.S. Teoriia priamotochnykh i raketno-priamotochnykh dvigatelei [Theory of ramjet and rocket-ramjet engines]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1971. 367 p.
3. Shkadov L.M., Bukhanova R.S., Illarionov V.F., Plokhikh V.P. Mekhanika optimal'nogo prostranstvennogo dvizheniia letatel'nykh apparatov v atmosphere [Mechanics of optimal spatial motion of aircraft in the atmosphere]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1972. 240 p.
4. Avduevskii V.S., Galitseiskii B.M., Glebov G.A. et al. Osnovy teploperedachi v aviatsionnoi i raketno-kosmicheskoi tekhnike [Fundamentals of heat transfer in aviation and rocket-space technology] under the general editorship of V.S. Avduevskii and V.K. Koshkin. 2nd edition, revised and expanded. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1992. 528 p.
5. Cacciatore M., Rutigliano M., Billing G.D. Eley–Rideal and Langmuir–Hinshelwood recombination coefficients for oxygen on silica surfaces // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 1999. Vol. 13, iss. 2. P. 195–203.
6. Prochnost' giperzvukovykh letatel'nykh apparatov: bibliograficheskii spisok [Strength of hypersonic aircraft: bibliographic list] compiled by G.N. Ionova, I.O. Kemmerikh. Moscow: TsAGI, 1966. 55 p.
7. Lunev V.V. Giperzvukovaia aerodinamika [Hypersonic aerodynamics]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1975. 327 p.
8. Sosounov V.A. Research and development of ramjets/ramrockets. Part 1. Integral solid propellant ramrockets // Research and development of ram/scramjets and turboramjets in Russia / North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research & Development. 1993. (AGARD Lecture Series ; AGARD-LS-194). P. 2-1–2-31.
9. Nechaev Iu.N. Silovye ustanovki giperzvukovykh i vozdushno-kosmicheskikh letatel'nykh apparatov [Propulsion systems of hypersonic and aerospace aircraft]. The Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky. Moscow: Department of Fundamental and Applied Problems of Aerogasodynamics and Heat Transfer, 1996. 214 p.
10. McClinton Ch.R. X-43 – scramjet power breaks the hypersonic barrier : Dryden lectureship in research for 2006. 2006. (44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 9–12 January 2006, Reno, Nevada ; AIAA-2006-1).
11. HyFly Mach 6 scramjet missile test // TFOT : The future of things : website. Section “Technology”. URL: <https://thefutureofthings.com/5667-hyfly-mach-6-scramjet-missile-test/> (accessed: 15.08.2022).
12. Flight results from a program to develop a freeflight atmospheric scramjet test technique / R.O. Foelsche, S.A. Beckel, A.A. Betti, G.T. Wurst, R.A. Charletta, and R.J. Bakos. 2006. (14th AIAA/AHI Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 6–9 November 2006, Canberra, Australia ; AIAA 2006-8119).
13. Hank J.M., Murphy J.S., Mutzman R.C. The X-51A Scramjet Engine Flight Demonstration Program. 2008. (15th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 28 April – 1 May 2008, Dayton, Ohio ; AIAA 2008-2540).
14. Falempin F., Serre L. French Flight Testing Program LEA : Status in 2009. 2009. (16th AIAA/DLR/DGLR International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 19–22 October 2009, Bremen, Germany ; AIAA 2009-7227).
15. Rajinikanth B., Anavaradham T.K.G. Tip-to-end simulation of airframe integrated scramjet engine. 2007. (18th International Symposium on Air Breathing Engines, 2–7 September 2007, Beijing, China ; ISABE 2007-1132).
16. Aero-propulsive performance for vehicle model with CFD and experiments / L. Jialing, L. Weixiong, H. Wei, H. Yuanyuan, and Zh. Zhonghua. 2007. (18th International Symposium on Air Breathing Engines, 2–7 September 2007, Beijing, China ; ISABE 2007-1203).
17. Degtiar' V.G., Son E.E. Giperzvukovye letatel'nye apparaty [Hypersonic aircraft]. Vol. 1. Moscow: Ianus-K, 2018. 984 p.

- 
18. Ianovskii L.S., Aref'ev K.Iu., Milekhin Iu.M., Sorokin V.A., Gusev S.A., Voronetskii A.V., Raznoschikov V.V., Surikov E.V., Sharov M.S., Baikov A.V., Abramov M.A., Fedotova K.V., Aver'kov I.S. Priamotochnye vozdušno-reaktivnye dvigateli na energoemkikh kondensirovannykh materialakh [Ramjet air-jet engines fueled by energy-intensive condensed materials] under the general editorship of L.S. Ianovskii. Moscow: CIAM, 2020. 198 p.
  19. Lanshin A.I., Prokhorov A.N., Aref'ev K.Iu., Aleksandrov V.Iu., Kukshinov N.V., Gus'kov O.V. Osobennosti raschetnykh issledovaniĭ i eksperimental'noi otrabotki priamotochnykh VRD na zhidkikh i gazoobraznykh goriuchikh [Specifics of computational studies and experimental testing of ramjet engines fueled by liquid and gaseous fuels] under the general editorship of A.I. Lanshin. Moscow: CIAM, 2020. 112 p.
  20. Balmina R.V., Gubanov A.A., Ivan'kin M.A., Lapinskii D.A. Sostoianie i perspektivy razrabotki giperzvukovogo vooruzheniia [The current state and future of hypersonic weapons development]. *Novosti zarubezhnoi nauki i tekhniki. Series: Aviatsonnaia i raketnaia tekhnika. (Tekhnicheskaia informatsiia: obzory i referaty po materialam inostranoi pechati) [News of foreign science and technology. Series: Aviation and rocket technology. (Technical information: reviews and abstracts based on foreign press)]*. TsAGI. 2012. No. 1/2. 76 p.
  21. Kondratiuk E.L. Issledovaniia, provodimye v SShA, v oblasti sozdaniia giperzvukovykh letatel'nykh apparatov [Research carried out in the USA in the field of hypersonic aircraft development]. *Dvigatel' [Engine]*. 2013. No. 1 (85). P. 8–11.
  22. Komarov I.M., Zernyukov D.V., Epishin K.V., Khitsunov E.L., Izyumov D.B., Kondratiuk E.L. Development and tactics of application of hypersonic aircraft based on foreign sources. *Innovatika i ekspertiza [Innovatics and expert examination]*. 2017. No. 1 (19). P. 204–214.
  23. Arefyev K.Yu., Kukshinov N.V., Prokhorov A.N. Analysis of development trends of power-units for high-speed flying vehicles // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1147. Art. 012055. 15 p. DOI 10.1088/1742-6596/1147/1/012055.
  24. Norris G. Hyper activity // *Aviation Week and Space Technology*. 2020. Vol. 182, nr. 13 (June 29 – July 12). P. 50–53.
  25. James C. The BOLT II hypersonic flight test could bring superfast global travel a step closer // *The Conversation : Academic rigour, journalistic flair : website*. URL: <https://theconversation.com/the-bolt-ii-hypersonic-flight-test-could-bring-superfast-global-travel-a-step-closer-179556> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 20.03.2022.
  26. Blain L. Pivotal Bolt II hypersonic flight test will be live-streamed tonight // *New Atlas : website*. URL: [https://newatlas.com/aircraft/bolt-ii-hypersonic-test/?utm\\_source=New+Atlas+Subscribers&utm\\_campaign=146844e09d-EMAIL\\_CAMPAIGN\\_2022\\_03\\_21\\_01\\_51&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_65b67362bd-146844e09d-76675103](https://newatlas.com/aircraft/bolt-ii-hypersonic-test/?utm_source=New+Atlas+Subscribers&utm_campaign=146844e09d-EMAIL_CAMPAIGN_2022_03_21_01_51&utm_medium=email&utm_term=0_65b67362bd-146844e09d-76675103) (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 21.03.2022.
  27. James C. This wild rocket could help make hypersonic travel a reality // *Daily Beast : website*. URL: <https://www.thedailybeast.com/nasa-set-to-launch-bolt-ii-hypersonic-flight> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 21.03.2022.
  28. Trimble S. Not so fast // *Aviation Week and Space Technology*. 2020. Vol. 182, nr. 13 (June 29 – July 12). P. 40–42.
  29. Giperzvukovaia raketnaia sistema Hypersonic Weapons System [Hypersonic missile Hypersonic Weapons System] (USA). *Bastion: voenno-tekhnicheskii sbornik: zhurnal oboronno-promyshlennogo kompleksa [Bastion: military-technical digest. Journal of the military-industrial complex]*: website. A.V. Karpenko. URL: <http://bastion-karpenko.ru/weapon-hws-usa> (accessed: 15.08.2022).
  30. Sarychev M., Bashkirov N., Novikova D. Osnovnye programmy razrabotki giperzvukovogo oruzhiia v vooruzhennykh silakh SShA [The main programs for the development of hypersonic weapons in the US armed forces]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie [Foreign Military Review]*. 2021. No. 9. P. 28–34.
  31. Henrotin J. Hypersonic weapons: what are the challenges for the armed forces? / IFRI. Paris, 2021. 14 p. *Briefings de l'IFRI*, June 18, 2021.
  32. Ryabov K. Hypersonic race: super rocket of the three leading powers // *Top War = Military Review*. URL: <https://en.topwar.ru/171588-giperzvukovaja-gonka-super-rakety-treh-veduschih-derzhav.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 27.05.2020.
  33. Hypersonic weapons: background and issues for Congress : updated July 20, 2022 / Congressional Research Service. 29, [3] p. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45811> (accessed: 15.08.2022).
  34. AGM-183 ARRW // *Wikipedia : the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-183\\_ARRW](https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-183_ARRW) (accessed: 15.08.2022).
  35. Lockheed Martin : site. URL: <https://www.lockheedmartin.com/> (accessed: 15.08.2022).
  36. Hypersonic and directed-energy weapons – a new arms race : October 2021 : report / Syed Bahadur Abbas, Matt Conley, Sana Jamal, M. Ahsan, Alex R. Serge ; *International Relations Insights & Analysis*. 2021. 11, [2] p.
-

- 
37. Ryabov K. Project WU-14/DF-ZF. China masters hypersonic // Top War = Military Review. URL: <https://en.topwar.ru/133827-proekt-wu-14-df-zf-kitay-osvaivaet-giperzvuk.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 16.01.2018.
  38. DF-ZF // Wikipedia : the free encyclopedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/DF-ZF> (accessed: 15.08.2022).
  39. Wood P., Cliff R. A case study of the PRC's hypersonic systems development / prepared by TextOre. USA : China Aerospace Studies Institute, 2020. 36, [2] p.
  40. The Korean Peninsula: history and present times. Russian Academy of Sciences, Institute of Far Eastern Studies, Center for Korean Studies. Moscow: Russian Academy of Sciences, Institute of Far Eastern Studies, 2020. 456 p.
  41. Giperzvukovoi boevoi blok novoi rakety vperve pokazali v KNDR [The hypersonic warhead of the new missile was shown for the first time in the DPRK]. Soiuz veteranov spetsnaza GRU im. Shektaeva D.A. [Union of Veterans of the GRU Special Forces]: website. Razdel "Zarubezhnoe voennoe obozrenie" [Section "Foreign Military Review"]. URL: <https://svs-gru.ru/zarubezhnoe-voennoe-obozrenie/giperzvukovoy-boevoy-blok-novoy-rakety-vperve-pokazali-v-kndr/html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 13.10.2021.
  42. Legat I. Hypersonic weapons of the DPRK: facts and assumptions // Top War = Military Review. URL: <https://en.topwar.ru/191426-est-li-giperzvukovoe-oruzhie-u-kndr-i-esli-est-to-kakoe.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 16.01.2018.
  43. Ryabov K. CSIS on the interception of hypersonic weapons // Top War = Military Review. URL: <https://en.topwar.ru/192461-csis-o-perehvate-giperzvukovyh-vooruzhenij.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 21.02.2022.
  44. Riabov K. Anti-missile project for intercepting hypersonic weapons Glide Phase Interceptor (USA) // Top War = Military Review. URL: <https://en.topwar.ru/189546-proekt-protivorakety-dlja-perehvata-giperzvukovogo-oruzhija-glide-phase-interceptor-ssha.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 29.11.2021.
  45. Quarterhorse // Hermeus : website. URL: <https://www.hermeus.com/quarterhorse> (accessed: 15.08.2022).
  46. Gorant J.G. Forget supersonic. This hypersonic jet can fly from NYC to London in under an hour // Robb Report : website. URL: <https://robbreport.com/motors/aviation/hypersonic-jet-hermeus-quarterhorse-1234631198/> (accessed: 15.08.2022).
  47. Ryabov K. Experimental hypersonic aircraft Hermeus Quarterhorse on the eve of flight tests // Top War = Military Review. URL: <https://en.topwar.ru/188971-jeksperimentalnyj-giperzvukovoj-samolet-hermeus-quarterhorse-nakanuneletnyh-ispytanij.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 11.11.2021.
  48. Knudsen B. An examination of U.S. hypersonic weapon systems. 2017. 15 p. DOI 10.13140/RG.2.2.14375.96164.
  49. A model of a hypersonic aircraft was demonstrated in the USA // Top War = Military Review. URL: <https://en.topwar.ru/190913-v-ssha-prodemonstrovali-model-giperzvukovogo-samoleta.html> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 07.01.2022.
  50. Boeing predstavila kontsept giperzvukovogo samoleta – naslednika Valkyrie [Boeing has presented the concept of a hypersonic aircraft – the successor of Valkyrie]: video. ShAGvpered [ShagVpered channel]. Rutube. URL: <https://rutube.ru/video/5a37a1cd7b2b6f6d2d5aebd591b4dd1b/> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 08.01.2022.
  51. Lockheed SR-72 : Hypersonic unmanned reconnaissance aircraft (2030) // Military Factory : website. URL: [https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft\\_id=1135](https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1135) (accessed: 15.08.2022). Last edited: 05.09.2019.
  52. SABRE engine: single stage to orbit rocket engine / Rupesh Aggarwal, Khushin Lakhara, P.B. Sharma, Tocky Darang, Naman Jain, Siddharth Gangly // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2015. Vol. 4, iss. 10. P. 10360–10366.
  53. Belkin V.N., Muravlev S.P. Giperzvukovye tekhnologii v proektakh oruzhiia i LA [Hypersonic technologies in weapon and aircraft projects]. Aviatcionnye sistemy [Aviation systems]. 2013. No. 7. P. 2–26.
  54. Starting characteristics of hypersonic pre-cooled turbojet inlet / T. Kojima, H. Taguchi, H. Kobayashi and T. Sato. 2015. 10 p. (20th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 6–9 July 2015, Glasgow, Scotland ; AIAA 2015-3595).
  55. Delta-Velos Demonstrator // Hypersonix Launch Systems : website. URL: <https://hypersonix.com.au/delta-velos-demonstrator/> (accessed: 15.08.2022).
  56. Skuratovskii B. Avstraliiskaia kompaniia sozdaet giperzvukovuiu sistemu dlja zapuska sputnikov na orbitu [Australian company is creating a hypersonic system for launching satellites into orbit]. Mediasat. URL: <https://mediasat.info/ru/2022/01/19/hypersonix-launch-systems/> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 19.01.2022.
  57. Host P. Air Force Research Lab preparing for second hypersonic ground test // Janes. URL: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/air-force-research-lab-preparing-for-second-hypersonic-ground-test> (accessed: 15.08.2022). Publ. date: 15.08.2019.
-

- 
58. Kitai sozdal eshche odnu aerodinamicheskuiu trubu FL-64 dlia giperzvukovykh razrabotok [China has created another wind tunnel FL-64 for hypersonic development]. Oruzheinaia kolleksiia [Weapons Collection]. URL: <http://weapons-collection.com/5/15889-kitay-sozdal-esche-odnu-aerodinamicheskuyu-trubu-fl-64-dlya-giperzvukovyh-razrabotok.html> (accessed: 15.08.2022).

*Материалы получены редакцией 28.08.2022*