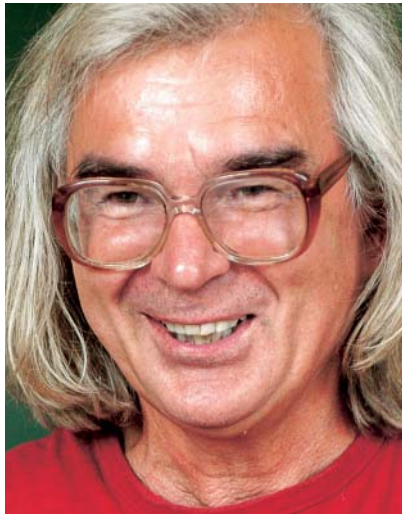


ЭВОЛЮЦИЯ РЕАКТИВНЫХ САМОЛЕТОВ





ФОМИН Василий Михайлович — член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, директор Института теоретической и прикладной механики СО РАН (Новосибирск)



ГУНЬКО Юрий Петрович — кандидат технических наук, заведующий сектором Института теоретической и прикладной механики СО РАН (Новосибирск)



МАЖУЛЬ Игнатий Иванович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и прикладной механики СО РАН (Новосибирск)

Двадцатый век стал эрой авиации и полетов в космос. Но если ракеты достигли космических скоростей (более 7,9 км/сек), то самые быстрые самолеты пока летают с куда более скромными, почти на порядок меньшими скоростями. Преодоление этого скоростного разрыва гиперзвуковыми воздушно-реактивными летательными аппаратами будет означать наступление новой эры — эры воздушно-космических кораблей. И тогда перелет из Нью-Йорка до Парижа займет не более 1—2 часов, что сравнимо с обычной загородной поездкой. Расстояния между континентами станут несущественными, а наша родная планета — «меньше». Вокруг света за 8 часов — вот реальность завтрашнего дня!

Сегодня в небе господствуют самолеты с турбореактивными двигателями, работающие на привычном нам углеводородном топливе — керосине. Современные двигатели могут обеспечить авиалайнерам скорость, ненамного превышающую сверхзвуковую. Не говоря уж о пассажирских авиалайнерах, летающих на дозвуковых скоростях (кроме уже отлетавших «Конкорда» и Ту-144), максимальная скорость даже боевых реактивных самолетов только втрое больше скорости звука.

Что же мешает самолетам достигать бóльших скоростей и выходить в околоземное пространство, перейдя в новое качество — воздушно-космических кораблей?

Понятно, что чем больше скорость самолета, тем более мощным должен быть его двигатель. Может быть, будущее за самолетами с ракетными двигателями?

Действительно, наибольшая скорость для пилотируемых самолетов

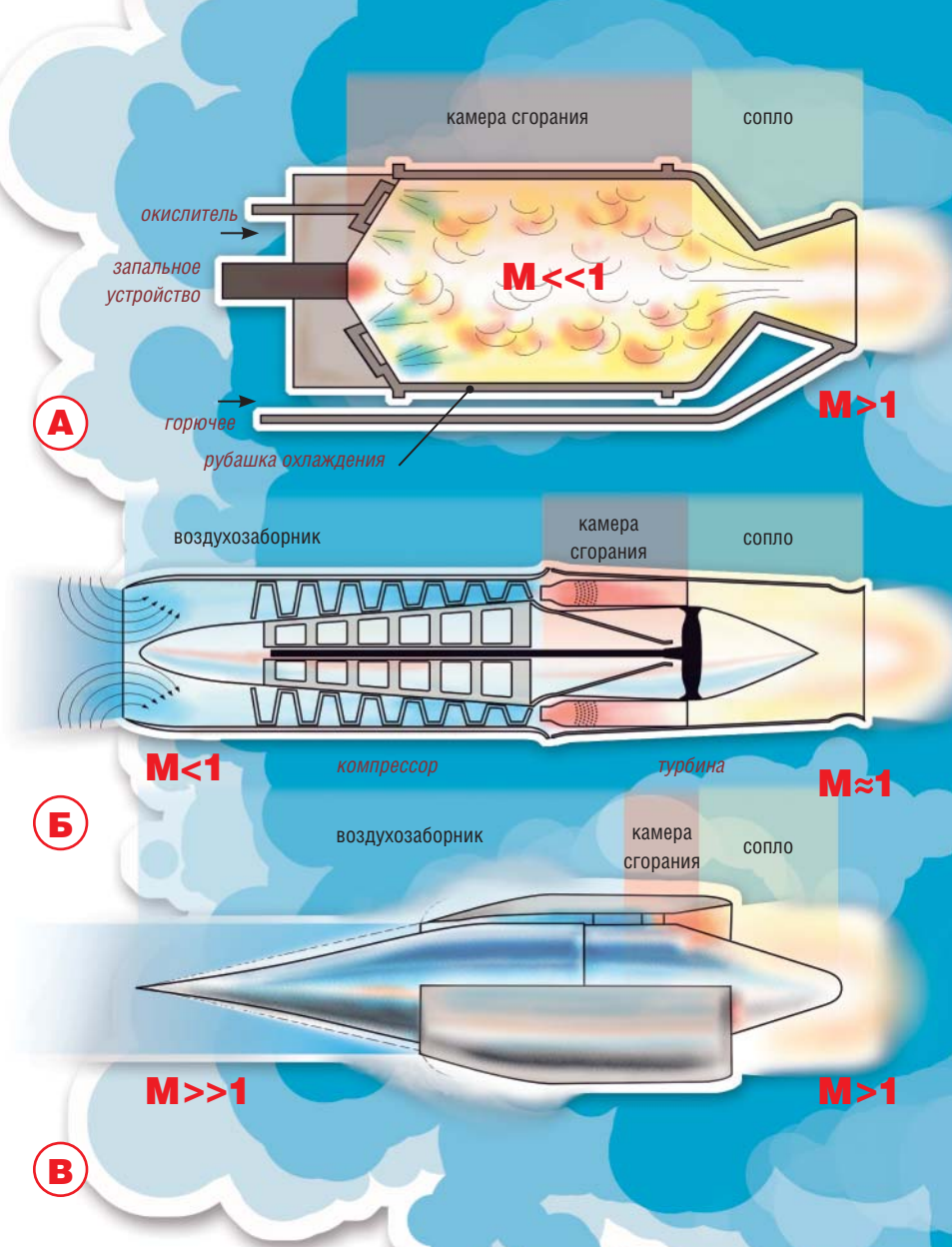
С ростом скоростей **аэродинамическая форма самолетов меняется**: планер как бы «утолщается», так как растет площадь поперечного сечения потока, захватываемого воздухозаборником двигателя. В итоге самолет все более приобретает форму «летающего двигателя», интегрированного с планером в единую конструкцию



достигнута еще в 1967 г. американским экспериментальным самолетом X-15 с ракетным двигателем. Но у подобного двигателя есть существеннейший недостаток: он работает, используя горючее и окислитель, запасаемые на борту ракеты. И эти компоненты расходуются в таком громадном количестве, что совершенно исключает использование таких двигателей для длительных полетов в атмосфере.

Выход из этого положения один: освоение ракетных скоростей летательными аппаратами с воздушно-реактивными двигателями. Последние в качестве окислителя используют кислород из воздуха, расход топлива у них существенно меньше, что позволяет в несколько раз увеличить экономичность полетов в атмосфере. К сожалению, современные авиационные двигатели не могут работать при гиперзвуковых скоростях ($M > 3-4$) из-за чрезвычайного нагрева воздуха при его торможении в воздухозаборнике двигателя. Для освоения гиперзвуковых скоростей необходимо создать совершенно новые воздушно-реактивные силовые установки.

Основой реактивного принципа движения является закон сохранения импульса, в простейшем случае представляющий собой равенство $MV = mv$. (Слева — масса и скорость летательного аппарата, справа — масса и скорость продуктов сгорания топлива, выбрасываемых из двигателя в противоположном направлении). Этот закон позволяет летать реактивным самолетам, ракетами — отрываться от Земли и уходить в космос, и он же является причиной отдачи при стрельбе



Ракетный двигатель (А) при работе использует горючее и окислитель, запасаемые в огромных количествах на борту ракеты, что не подходит для длительных полетов в атмосфере.

Турбореактивный самолетный двигатель (Б) имеет компрессор и турбину, с лопатками на вращающихся элементах. Для эффективной работы двигателя скорость набегающего воздушного потока должна быть не очень велика.

В прямоточном реактивном двигателе (В) воздухозаборник просто захватывает струю воздуха из набегающего потока, который может иметь большую сверхзвуковую скорость. Струя тормозится на входе в камеру сгорания до таких давлений и температур, при которых топливо сгорает эффективно. Процесс может происходить сначала при дозвуковой скорости воздушного потока в камере сгорания, затем — при сверхзвуковой. Высокоэнергетические продукты сгорания истекают из сопла с большой сверхзвуковой скоростью, создавая реактивную тягу

Гиперзвуковая летающая лаборатория Холод (Россия) предназначена для летных испытаний двухрежимного прямого двигателя осесимметричной конфигурации. Модуль двигателя установлен вместо головной части баллистической ракеты SA-5, которая стартует с передвижной пусковой установки и выходит на баллистическую траекторию полета, достигая $M=3,5-6,5$ на высотах 15–35 км, где и запускается сам двигатель



Зачем самолетам летать, как ракеты?

Наибольший интерес к высокоскоростным воздушно-реактивным летательным аппаратам проявляют военные. В директиве министра обороны США (1999 г.) операции в космосе названы сферой жизненных интересов государства и краеугольным камнем американской военной стратегии в XXI веке. И это понятно: воздушно-космические аппараты и гиперзвуковые

самолеты смогут достигать любой точки на поверхности Земли с любого аэродрома за десятки минут и наносить удары по стратегическим наземным объектам, перехватывать высоколетящие цели различного типа на дальних подступах к защищаемым объектам.

Но такие гиперзвуковые аппараты пригодятся не только военным. Многоступенчатые аэрокосмические системы, состоящие из самолета-разгонщика и возвращаемого орбитального аппарата, обеспечат не только многократное использование средств

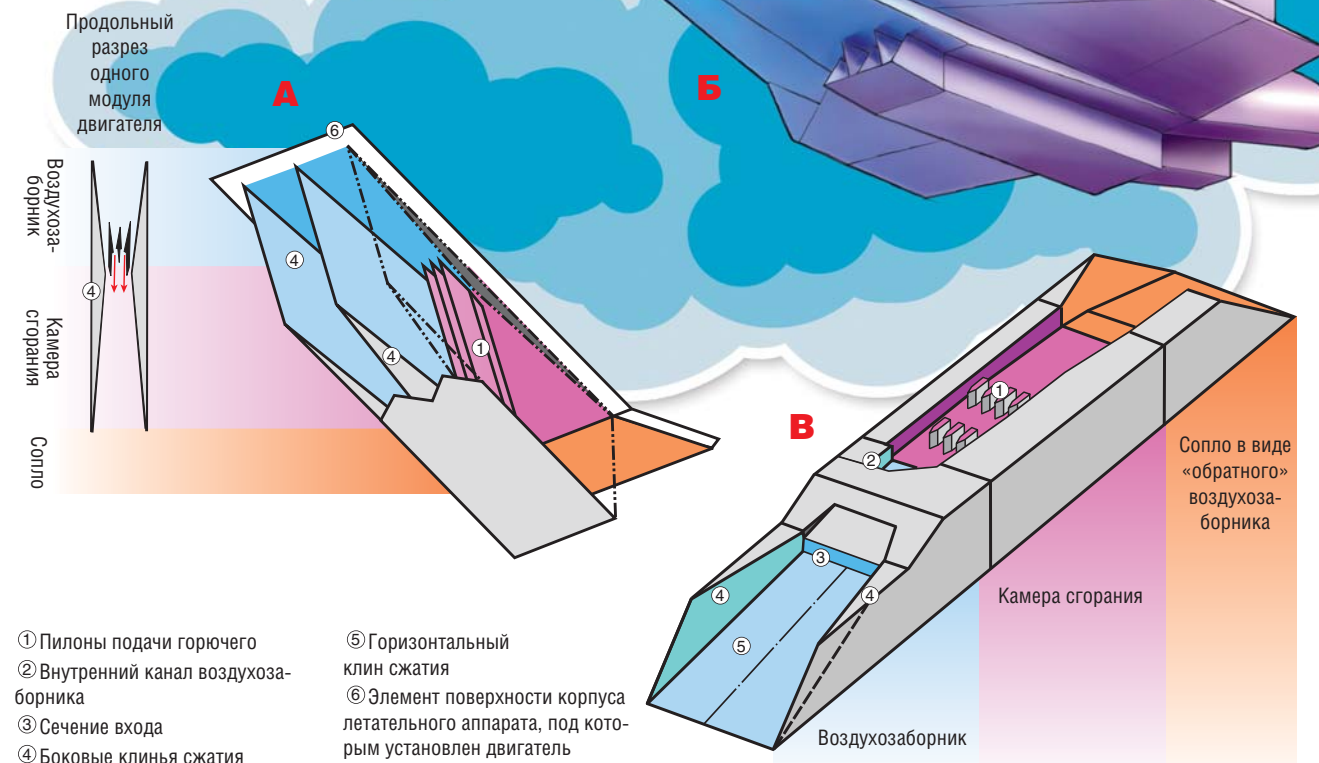
доставки, но и увеличат полезную нагрузку, доставляемую на орбиту. По мере увеличения транспортных потоков по маршруту «земля—орбита—земля» это значительно удешевит доставку грузов, не говоря уж о возможном развитии космического туризма.

Для обычного человека выгода будет заключаться в существенном ускорении и интенсификации пассажирских перевозок на дальних, межконтинентальных маршрутах. Самолеты со скоростью 10М за время, не слишком утомительное для пассажиров, — всего лишь половину рабочего дня — смогут перелететь из США или Европы в Австралию, то есть преодолеть 16–17 тыс. км!

Словом, перспективы создания гиперзвуковой авиации выглядят многообещающими. Но возникает вопрос: насколько это технически осуществимо и в какой мере готовы к этому страны, добившиеся наибольшего прогресса в авиационно-космических технологиях?

Сегодня промышленные технологии существуют лишь для производства самолетов, оснащенных турбореактивными двигателями на керосине и рассчитанных на скорости не более 3М. Для самолетов, способных достичь скоростей 5–6М, применимы существующие конструкции из титана и сплавов, которые выдерживают температуры до 500–600 °С, однако их турбореактивные или турбопрямоточные реактивные двигатели должны работать на более теплостойком углеводородном топливе. Поскольку такие разработки уже имеются, потребуется лишь некоторое усовершенствование существующих технологий.

А вот для гиперзвуковых самолетов с $M>5-6$ и воздушно-космических кораблей нужны совершенно новые технологии, отличные как от современных самолетных, так и от ракетно-космических. Силовая установка для подобных аппаратов должна быть не только экономичной. Ей необходимо работать в беспрецедентно широком диапазоне скоростей — от дозвуковых до гиперзвуковых.



- 1 Пилоны подачи горючего
- 2 Внутренний канал воздухозаборника
- 3 Сечение входа
- 4 Боковые клинья сжатия
- 5 Горизонтальный клин сжатия
- 6 Элемент поверхности корпуса летательного аппарата, под которым установлен двигатель

А — Модульный ГПВРД с воздухозаборником, имеющим вертикальные стреловидные клинья сжатия, разработан в рамках американской программы NASP. Длина экспериментального двигателя — 1,5 м, натурного — 4,5 м. Широко использовался в различных проектах гиперзвуковых летательных аппаратов.

Б — Модульный ГПВРД с воздухозаборником, имеющим вертикальные клинья сжатия прямой и обратной стреловидности, разработан в ЦИАМ (Москва). Длина — 2,3 м. Для его испытаний предназначался экспериментальный беспилотный исследовательский аппарат ИГЛА, который должен был запускаться ракетой-носителем на высоту до 50 км и достигать в планирующем полете скоростей $M=6-14$.

В — Модульный ГПВРД с воздухозаборником, имеющим боковые вертикальные стреловидные клинья сжатия. Длина — 0,86 м. Прошел испытания в аэродинамических трубах ИТПМ по программе совместных исследований с французской компанией *Dassault Aviation*

Решение проблемы — гиперзвуковой прямоточный?

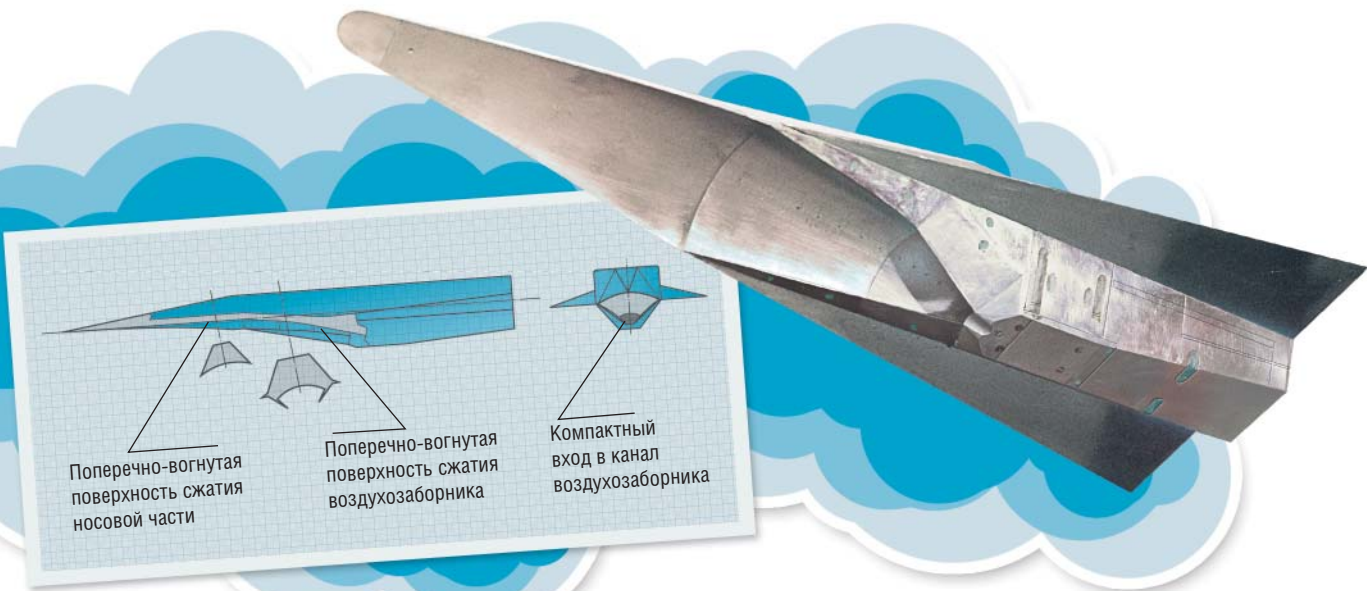
Первые идеи по созданию гиперзвукового двигателя были выдвинуты и обоснованы в конце 1950-х — начале 1960-х годов русским ученым Е. С. Щетинковым и рядом исследователей за рубежом. Был изобретен так называемый ГПВРД (так «окрестил» его сам автор) — прямоточный реактивный двигатель со сжига-

нием горючего при сверхзвуковой скорости в камере сгорания.

Вообще-то прямоточный реактивный двигатель может эффективно работать только при сверхзвуковых скоростях ($M>2$), на режимах взлета и посадки он непригоден. Поэтому для гиперзвуковых самолетов в этих случаях должны дополнительно использоваться обычные турбореактивные или ракетные двигатели. Еще один вариант — разнообразные комбинированные или

гибридные силовые установки.

Экономичность воздушно-реактивных двигателей можно повысить благодаря переходу на ракетное горючее — жидкий водород или, например, жидкий метан. Водород вообще является идеальным авиационным топливом. Во-первых, он обладает большой теплотворной способностью, давая при сгорании максимум энергии в расчете на единицу массы горючего. Во-вторых, при сжигании он превращается



Конфигурация летательного аппарата с конвергентной поверхностью сжатия носовой части и интегрированным с нею конвергентным воздухозаборником, разработанная в ИТПМ.

При испытании модельного двигателя с подобным воздухозаборником в аэродинамической трубе в 1978 г. впервые в мировой практике исследований

ГПВРД была получена избыточная тяга, под действием которой модель двигалась навстречу набегающему потоку воздуха.

В ИТПМ проводились испытания моделей работающих проточных двигателей и других конфигураций, а также обширные экспериментальные исследования аэродинамики различных конфигураций летательных аппаратов с ГПВРД

в обычную воду, являясь экологически чистым горючим, что немаловажно.

Сейчас общепризнано, что для испытаний и отработки полномасштабных ГПВРД в натуральных условиях целесообразнее всего использовать специальные беспилотные экспериментальные аппараты, которые выводятся на траекторию с гиперзвуковой скоростью полета «принудительно», ракетой или самолетом-носителем. Такие системы получили название *гиперзвуковых летающих лабораторий*, примером здесь может служить российский «Холод».

В 1990-е годы в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ) в рамках государственной программы «Орел» были начаты разработки гиперзвуковой летающей лаборатории нового поколения – исследовательского аппарата «ИГЛА», на котором планировалось провести испытания нового модульного ГПВРД – с воздухозаборником, имеющим вертикальные клинья сжатия прямой и обратной стреловидности.

В США аналогичные разработки проводились в рамках программ NASP (*National AeroSpace Plane*) и *Hypex-X*. Что касается последней, ее задачей является демонстрация достижений в области разработки гиперзвукового двигателя непосредственно в реальном полете. Для этих целей был создан беспилотный летательный аппарат X-43, который при испытаниях

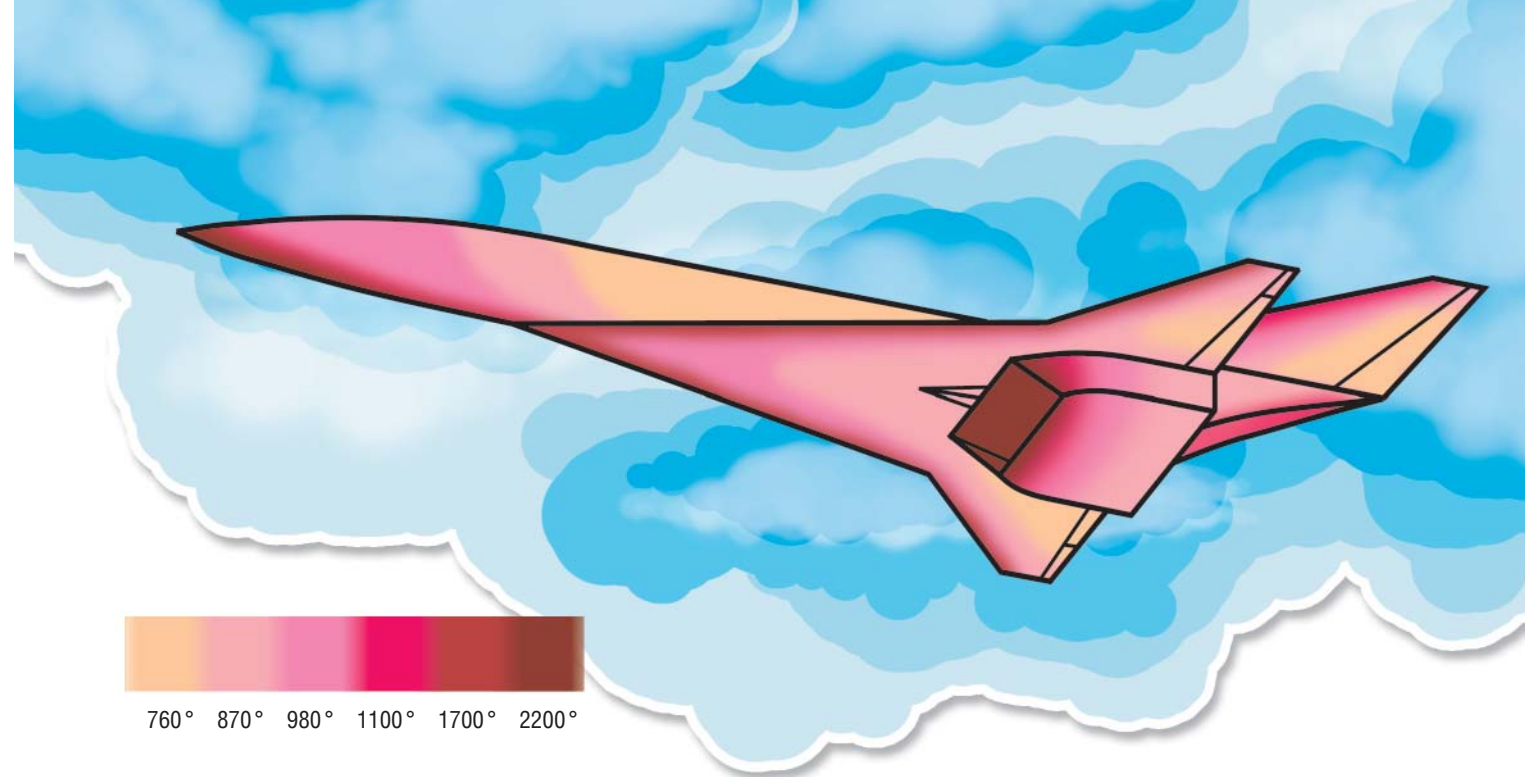
в 2004 г. разогнался до скорости более 11 тыс. км/час, что в 10 раз превышает скорость звука.

Разработки ГПВРД, начатые более 40 лет назад, сейчас продолжаются во многих странах с развитой авиакосмической промышленностью: в России, США, Великобритании, Франции и др. Однако несмотря на достигнутые большие успехи, задача создания двигателя, который мог бы быть использован в реальном проекте гиперзвукового летательного аппарата, остается пока до конца не решенной.

Как бороться с аэродинамическим нагревом

Одной из самых критических проблем в создании гиперзвуковых и воздушно-космических самолетов является интенсивный нагрев летательных аппаратов при движении на сверхзвуковых скоростях. Проблема эта касается как конструкций планера и силовой установки (летный ресурс которых должен составлять не менее 30–60 тыс. часов), так и авиационного топлива, о чем уже упоминалось выше.

К нашему времени технологии производства теплоустойчивых конструкций созданы применительно к возвращаемым орбитальным аппаратам. Так, в конце 1950-х



годов были разработаны неохлаждаемые так называемые *горячие конструкции* из жаропрочных сплавов, примером которых может служить сотовая обшивка. Подобные конструкции могут быть использованы и для гиперзвуковых самолетов.

Кроме «горячей» конструкции, были предложены еще два типа. Первый – так называемая *экранированная конструкция* с теплоизоляцией и экраном, отделяющим от теплозащитного слоя силовые элементы двигателя и планера. В этом случае последние работают при умеренных температурах, поэтому для них можно использовать обычные, более легкие материалы.

Другой подход заключается в активном охлаждении наружной обшивки аппарата. Привлекательным хладагентом является жидкий водород, используемый в качестве горючего для двигателя. Наиболее эффективная конструкция предполагает сочетание системы охлаждения с системой конвекции жидкого топлива и с тепловыми экранами, отделенными воздушным зазором от охлаждаемых элементов. Хладоресурс топлива при этом затрачивается для охлаждения как самого двигателя, так и планера.

Американские исследования показали, что для охлаждения гиперзвукового транспортного самолета, достигающего скоростей 6М и имеющего ГПВРД обычной, например осесимметричной, конфигурации, должен быть затрачен практически весь хладоресурс топлива. Именно поэтому так важно разрабатывать конструкции воздухозаборника, которые обеспечивают снижение неизбежных тепловых нагрузок на самолет.

С начала 1970-х годов в ИТПМ СО РАН проводятся исследования по разработке трехмерных, так называемых *конвергентных* воздухозаборников. Струя воздуха,

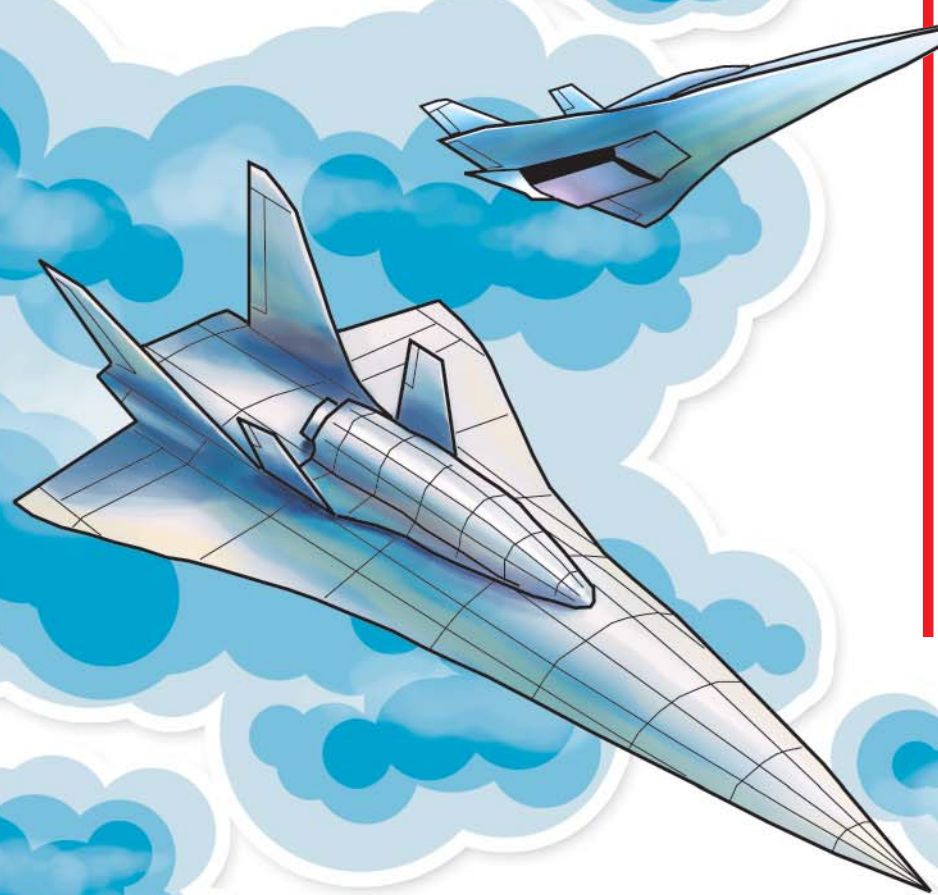
Аэродинамический нагрев — одна из важнейших проблем гиперзвуковой авиации.

На схеме указаны ожидаемые температуры (в °С) на поверхности самолета с «горячей» конструкцией планера при длительном полете с M=8 на высоте 27 км. При M=10 ожидаемые температуры будут выше на 150–200°С, при M=12 — на 250–300°С

захватываемая таким воздухозаборником, сжимается по сходящимся направлениям. В результате поперечное сечение внутреннего канала двигателя приобретает компактную, близкую к круговой форму, чем обеспечивается относительно небольшая (омываемая) площадь наиболее теплонапряженных стенок воздухозаборника и камеры сгорания. Это существенно упрощает теплозащиту двигателя по сравнению, например, с конструкцией с осесимметричным воздухозаборником, имеющим целевидную форму внутреннего канала двигателя. Конвергентные воздухозаборники обеспечивают также большую степень сжатия при меньших углах наклона поверхностей сжатия.

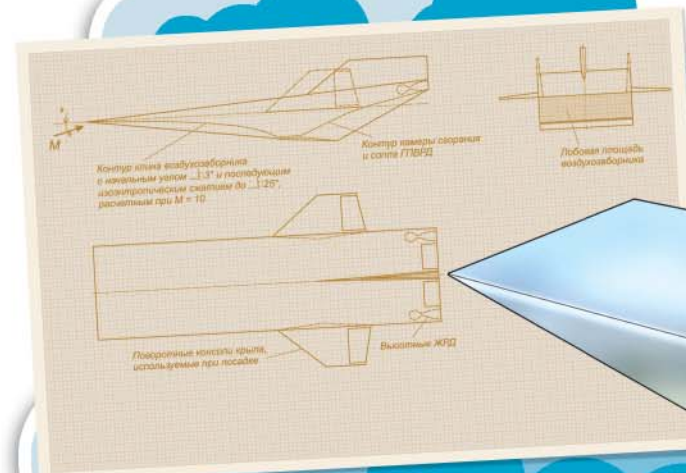
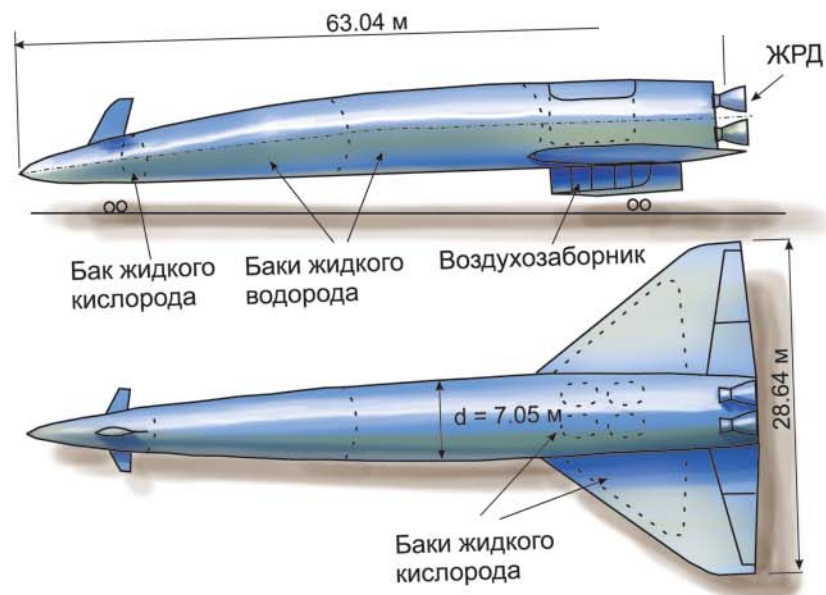
Вчера и сегодня гиперзвуковой авиации

Активнее всего исследования по созданию гиперзвуковых воздушно-реактивных и воздушно-космических самолетов проводились в СССР/России, США и в странах НАТО (Великобритании, Франции, Германии, Италии). Проекты воздушно-космических систем, разрабатываемые в 1980–1990-х годах в этих странах, оказали большое влияние на развитие подобных исследований в азиатском регионе — в Индии, Японии, Китае.



Двухступенчатая авиационно-космическая система Sänger (Германия) состоит из гиперзвукового самолета-разгонщика с турбопрямоточной силовой установкой на жидком водороде и отделяемой орбитальной ступени с кислородно-водородным ракетным двигателем. Турбореактивный двигатель самолета предназначен для взлета и разгона (до $M=3,5$). Дальнейший подъем, крейсерский полет (при $M=4,4$) и разгон до отделения ступени (при $M=6,6$) выполняются с помощью прямоточных реактивных двигателей, работающих ~ 80% от времени полета. Стартовый вес — 340 т, вес первой ступени — 244 т, полезная нагрузка — 3,3–14 т

Одноступенчатая воздушно-космическая система HOTOL (Великобритания) — беспилотный аппарат многоразового использования. В комбинированной силовой установке происходит сжижение воздуха, захватываемого воздухозаборником, и выделение окислителя — жидкого кислорода. Аппарат запускается со скоростью отрыва около 540 км/час с помощью разгонной тележки. После накопления жидкого кислорода (при горизонтальном полете в атмосфере, $M=3,5-8$) включаются кислородно-водородные ракетные двигатели и система выходит на орбиту. Садится «по-самолетному», со скоростью около 300 км/час. Вес аппарата 196–230 т, полезная нагрузка — 7–11 т



Первый российский одноступенчатый воздушно-космический корабль проектировался с комбинированной силовой установкой, состоящей из ракетного и прямоточных воздушно-реактивных двигателей на жидком водороде. Последовательное включение двигателей должно было обеспечивать взлет корабля с обычного аэродрома, разгон до $M=20$ в атмосфере и вывод на околоземную орбиту. Расчетный стартовый вес — 150–250 т, вес полезной нагрузки — 6–11 т

Самая широкомасштабная программа по созданию перспективных воздушно-космических систем проводилась в 1985–1994 годах в США. Программа NASP предполагала в основном создание систем военного назначения. Помимо этого в рамках NASP предусматривалось создание гиперзвукового пассажирского самолета *Orient Express*, предназначенного для межконтинентальных маршрутов. В ФРГ в рамках национальной программы гиперзвуковых технологий в 1985–1986 годах разрабатывался проект двухступенчатой воздушно-космической системы *Sänger*, одной из целей при этом было обеспечение автономии Европы в области космических полетов. Перспективным направлением в разработках аэрокосмических аппаратов является создание комбинированного воздушно-реактивного двигателя. В аппаратах с такой силовой установкой захватываемый воздух сжижается, затем из него в жидком виде выделяется окислитель — кислород. Накопление жидкого кислорода происходит в фазу достаточно длительного полета в атмосфере, после чего включаются кислородно-водородные ракетные двигатели и аппарат выходит на

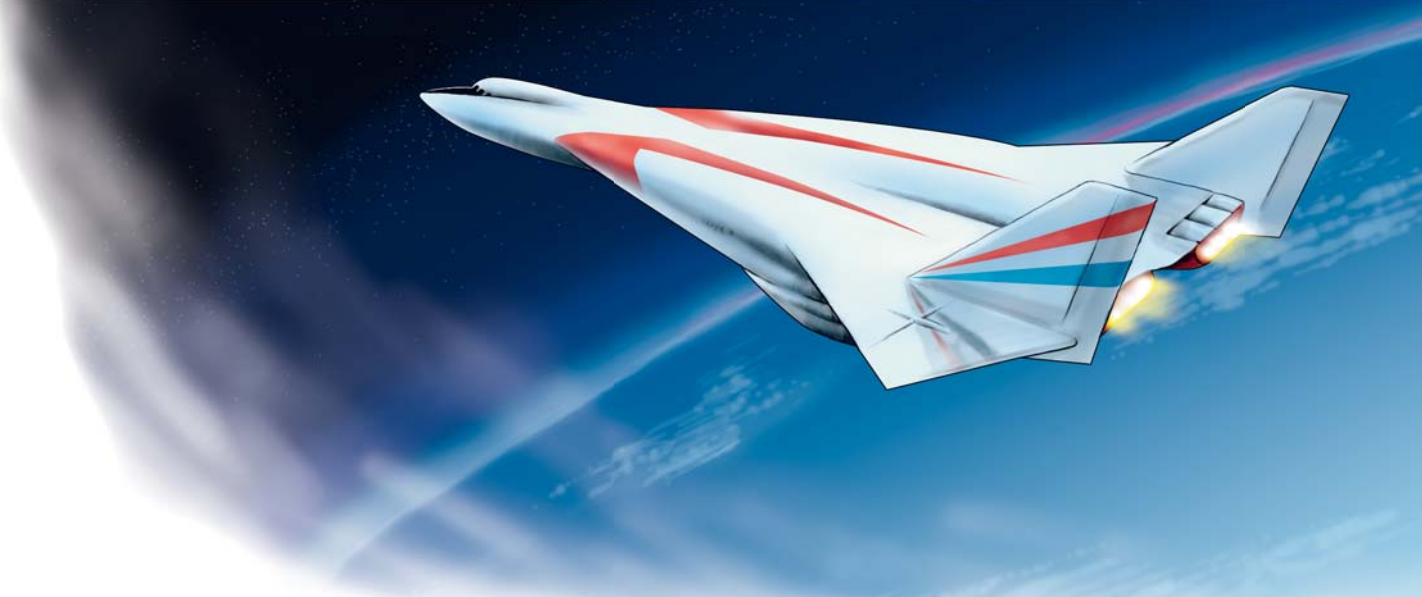
орбиту. Исследования в этом направлении проводятся в России, США и других странах. Одна из самых известных — многоразовая воздушно-космическая система *HOTOL* — создана в Великобритании. Первый отечественный проект воздушно-космического корабля был разработан в 1966 г. в НИИ-1 (ныне *Научно-исследовательский центр им. М.В. Келдыша*), первой государственной ракетной организации страны, где в то время работал Е. С. Щетинков. Почти в это же время проектированием гиперзвуковых летательных аппаратов различного назначения занялись и в ряде опытно-конструкторских бюро Министерства авиационной промышленности. Первый советский проект многоразовой авиационно-космической системы — «*Спираль*» — начал разрабатываться в ОКБ А. И. Микояна всего через 4 года после полета в космос Ю. Гагарина. В 1970–1980-х годах в ОКБ А. Н. Туполева (ныне *АНТК им. А. Н. Туполева*) разрабатывался проект многоразового одноступенчатого воздушно-космического самолета Ту-2000. Для практического освоения технологии криогенных топлив был построен



Воздушно-космический самолет Ту-2000 должен совершать взлет и посадку с обычных аэродромов и выполнять автономный орбитальный полет на высоте 200 км продолжительностью до суток. Стартовый вес — около 260 т, вес полезной нагрузки — 8–10 т



Воздушно-космическая система Спираль состоит из гиперзвукового самолета-разгонщика, оснащенного турбореактивным двигателем, и орбитального самолета с ракетным ускорителем. Отделение орбитальной ступени происходит на высоте 24–30 км при $M=6$. После схода с околоземной орбиты и планирующего спуска в атмосфере орбитальный аппарат совершает посадку на обычный аэродром с помощью турбореактивного двигателя. Взлетный вес всей системы — 115 т, вес одноместного орбитального самолета — 10 т



Гиперзвуковой пассажирский самолет Orient Express (США) с комбинированной силовой установкой на водороде. Планировался для перевозки 200–300 пассажиров на межконтинентальных маршрутах дальностью 9000–13000 км. Предполагалось, что он сможет преодолевать расстояние от Нью-Йорка до Парижа за 2 часа вместо 7 часов, необходимых для дозвукового Boeing-747 или 3 часов — для сверхзвукового Concorde

исследовательский дозвуковой самолет Ту-155, а для исследования процессов горения в ГПВРД и аэродинамических явлений при полетах со скоростями при $M>6-8$ разрабатывался специальный экспериментальный аппарат, близкий по размерам к проектируемому. Однако в трудный послеперестроечный период работы по проекту были приостановлены и продолжены уже в наше время.

В 1995–2000-х годах в *ОКБ им. А.И. Микояна* проводились разработки авиационно-космической системы «*МиГАКС*», включающей гиперзвуковой самолет-разгонщик и орбитальный самолет, предназначенный для вывода полезных грузов (до 17–18 т) на круговую орбиту высотой 200 км. Рассматривались различные варианты конструкции силовой установки самолета-разгонщика и потенциального топлива (керосин, метан, водород), которые бы соответствовали не только современному, но и прогнозируемому на ближайшие два десятилетия уровню развития технологий.

Разработки гиперзвуковых летательных аппаратов различного уровня сложности с ГПВРД или комбинированными силовыми установками проводились и в других научно-исследовательских организациях — в *Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ)*, в *ЦИАМ*, в новосибирском *ИТПМ*. Эти экспериментальные и теоретические исследования касались,

в частности, проблем горения топлив в сверхзвуковом потоке, аэродинамики и аэродинамического нагрева, важных для летно-технической эффективности аппарата в целом.

Слово об Аяксе

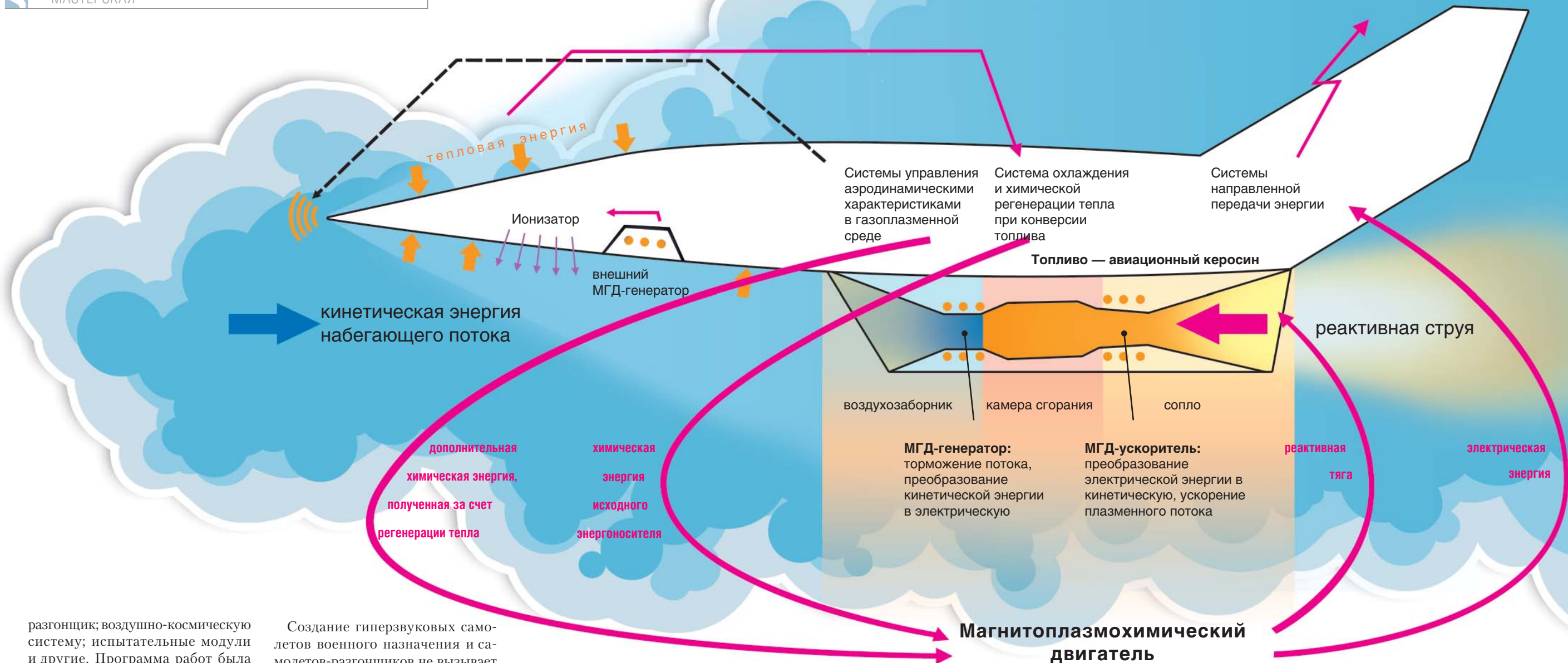
В начале 1990-х годов санкт-петербургским *Государственным научно-исследовательским предприятием гиперзвуковых систем (ГНИПГС)* была разработана национальная программа «*Аякс*». В ее основу была положена концепция создания необычного гиперзвукового летательного аппарата — с активным энергетическим взаимодействием планера и двигателя с внешней средой, атмосферой.

В уникальном прямоточном реактивном двигателе «*Аякса*» должны происходить ионизация и магнетогазодинамическое (МГД) торможение воздушного потока, при этом высвобождавшаяся кинетическая энергия будет преобразовываться в электрическую.

«*Бесплатное*» тепло от аэродинамического нагрева корпуса аппарата и канала двигателя используется для улучшения характеристик потребляемого топлива. Суть идеи состоит в том, что исходный энергоноситель (обычный авиационный керосин) подвергают паровой конверсии, для чего к нему добавляют воду и прогоняют через систему активного охлаждения летательного аппарата, которая включает реакторы химической регенерации тепла, встроенные в обшивку планера и канала двигателя.

В результате из углеводородного топлива вырабатывается свободный водород, который, смешиваясь с керосином, образует топливную смесь — *конвертин*. Эта реакция сопровождается сильным поглощением тепла, что обеспечивает охлаждение нужных частей аппарата. Сам конвертин поступает в камеру сгорания, обеспечивая лучшее горение, чем исходное топливо.

В рамках проекта предполагалось разработать летательные аппараты различного назначения: транспортно-пассажирский самолет; самолет-



разгонщик; воздушно-космическую систему; испытательные модули и другие. Программа работ была рассчитана на 20 лет, но, к большому сожалению, государственной поддержки не получила. Хотя нужно заметить, что уникальные технологии, которые могли бы быть созданы в рамках «Аякс», нашли бы широкое применение в народном хозяйстве.

Что будет завтра?

В ближайшие 10–15 лет можно ожидать практическую реализацию проектов гиперзвуковых крылатых ракет и отдельных разработок экспериментальных летательных аппаратов с ГПВРД.

Создание гиперзвуковых самолетов военного назначения и самолетов-разгонщиков не вызывает принципиальных технических затруднений. Основные препятствия на этом пути — высокая стоимость и неопределенность их востребованности в условиях современной международной обстановки.

Введение же в эксплуатацию гиперзвуковых транспортных и пассажирских самолетов будет определяться двумя факторами: скоростью роста пассажиропотоков на дальние расстояния и возможностью повышения экономичности аппаратов, что требует значительного технологического прогресса.

Будущее гиперзвуковой авиации сегодня просматривается довольно отчетливо. Но даже если бы гипер-

звуковые и воздушно-космические самолеты никогда не оторвались от земной поверхности, появившиеся благодаря им современные высокие технологии не стали бы «лишними» человечеству. Теплостойкие материалы и конструкции, результаты исследований процессов горения в до- и сверхзвуковых воздушных потоках, теплостойкие и криогенные топлива, различные подсистемы, работающие в сложнейших условиях, и другие разработки найдут свое место в самых различных, в том числе — неавиационных, отраслях промышленности.

Схема энергетических взаимодействий гиперзвукового летательного аппарата Аякс на крейсерском участке полета в атмосфере. Мощность МГД-генератора может составить более 100 МВт — столько дает электростанция средних размеров. Электрическая энергия обеспечивает работу приемно-передающего радиоэлектронного оборудования аппарата и преобразуется бортовой системой в управляемое излучение, которое может быть использовано для разных целей. Например — для создания вокруг аппарата газоплазменной среды, что уменьшает сопротивление при движении на гиперзвуковых скоростях

Рациональные доводы в пользу необходимости создания «гиперзвуковых» технологий можно приводить долго, но в глубине души, наверное, каждого из нас таится еще и понятное детское желание — взглянуть на родную планету с высоты полета воздушно-космического корабля...

Авторы и редакция благодарят АНТК им. А.Н. Туполева, ЦИАМ и ЛИИ, НПО «Молния» за предоставленные иллюстративные материалы