

МАТЕРИАЛЫ IX МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ «ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ», г. Москва, 12 ноября 2013 г.

DOI: 10.12731/2306-1561-2013-4-1

*Летел звездолет по космической трассе.
И встречные звезды сверкали и гасли.
Как мог в безвоздушном пространстве повеять
Упругий под птичьими крыльями ветер?
Как мог из каких перелетов и странствий,
Он вдруг оказаться в межзвездном пространстве?...*

Н. Сапрыгина «Космический лебедь»

Исследование истории развития и конструкций реактивных двигателей

Докладчик: Остроух Мария Андреевна,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
Лицей №1581

МОСКВА - 2013

Цель работы – расширить представления о физических основах, областях применения, конструкции и перспективах развития современных реактивных двигателей.

В докладе проработаны следующие основные вопросы:

1. Физические основы реактивного движения и реактивных двигателей
2. Краткая история создания реактивных двигателей
3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)
4. Некоторые конструктивные и технологические особенности современных авиационных реактивных двигателей
5. Перспективные разработки реактивных двигателей

1. Физические основы реактивного движения и реактивных двигателей

1.1. Реактивное движение в природе и технике

Реактивное движение - движение тела, при котором от тела отделяется и движется какая-то его часть, в результате чего само тело приобретает противоположно направленный импульс.



1.2. Физические основы реактивного движения

Реактивная тяга — сила, возникающая в результате взаимодействия двигательной установки с истекающей из сопла струей расширяющихся жидкости или газа, обладающих кинетической энергией.

Ракета — это система двух тел — оболочки ракеты и топлива.

До старта вся система находится в покое относительно Земли, потому:

$$0 = m_{об} \vec{v}_{об} + m_{Г} \vec{v}_{Г}$$

При запуске топливо сгорает, превращаясь в газ высокого давления и высокой температуры. Газ с большой скоростью выбрасывается из сопла, оболочка приобретает скорость в противоположном направлении:

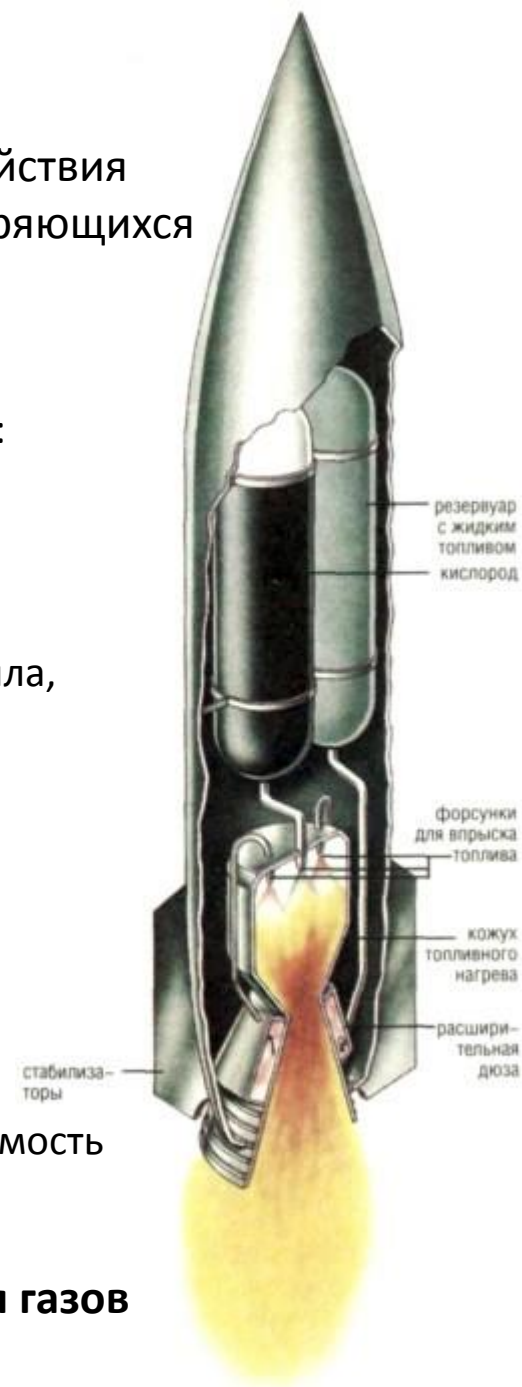
$$m_{об} v_{об} - m_{Г} v_{Г} = 0,$$

откуда:

$$v_{об} = \frac{m_{Г}}{m_{об}} v_{Г}$$

Здесь мы считали, что весь образовавшийся при сгорании топлива газ выбрасывается одновременно. (Для тел переменной массы эта зависимость будет сложнее и рассчитывается по формула Мещерского).

Скорость ракеты тем больше, чем больше скорость истечения газов $v_{Г}$, и чем больше отношение $m_{Г}/m_{об}$.



1.3. Физические основы воздушно-реактивного двигателя

Воздушно-реактивный двигатель (ВРД) — тепловой реактивный двигатель, в качестве рабочего тела которого используется смесь забираемого из атмосферы воздуха и продуктов окисления топлива кислородом, содержащимся в воздухе.

Динамику ВРД можно представить следующим образом:

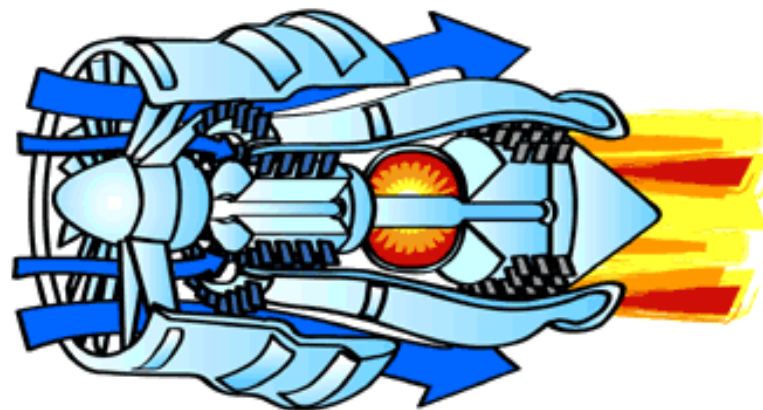
рабочее тело, поступает в двигатель со скоростью полёта, а покидает его со скоростью истечения реактивной струи из сопла.

Из баланса импульса, получается простое выражение для реактивной тяги ВРД:

$$P = G(c - v)$$

где **P** — сила тяги, **v** — скорость полёта, **c** — скорость истечения реактивной струи (относительно двигателя), **G** — секундный расход массы рабочего тела через двигатель.

Очевидно, ВРД эффективен (создаёт тягу) только в случае, когда скорость истечения рабочего тела из сопла двигателя превышает скорость полёта: **c > v**.



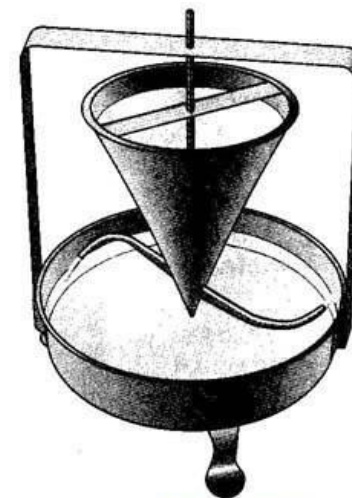
2. Краткая история создания реактивных двигателей

2.1. Первые разработки реактивных двигателей



Геронов шар (II век н.э.) — это прообраз современных реактивных двигателей. Представляет собой полый железный шар, закрепленный так, что может вращаться вокруг горизонтальной оси. Из закрытого котла с кипящей водой пар по трубке поступает в шар, из шара он вырывается наружу через, изогнутые трубки, при этом шар приходит во вращение. Внутренняя энергия пара превращается в механическую энергию вращения шара.

Сегнерово колесо (1750 г.) — реактивное колесо, которое сконструировал венгерский физик Я.А. Сегнер. Вода из сосуда, куда открыт сверху доступ воздуха, вытекает по двум загнутым трубкам и вращает силой реакции весь сосуд вокруг вертикальной оси.



Упрощенный экипаж, использующий для движения реактивную силу струи пара. Котел с водой поставлен на колеса. Внизу помещается топка. Пар, вырываясь из отверстия сзади, дает реакцию, которая должна двигать повозку. Рисунок выполнен неизвестным художником согласно указаниям Исаака Ньютона.

2. Краткая история создания реактивных двигателей

2.2. Выдающиеся русские ученые, изобретатели и конструкторы , изучавшие проблемы реактивного движения



Николай Иванович Кибальчич
(31.10.1853—15.04.1881)

Разработал оригинальный проект пилотируемого ракетного летательного аппарата .
Разработал устройство порохового реактивного двигателя.



Константин Эдуардович Циолковский

(17.09.1857—19.09.1935)
Русский советский учёный и изобретатель в области аэродинамики, ракетодинамики, теории самолёта и дирижабля; основоположник современной космонавтики.

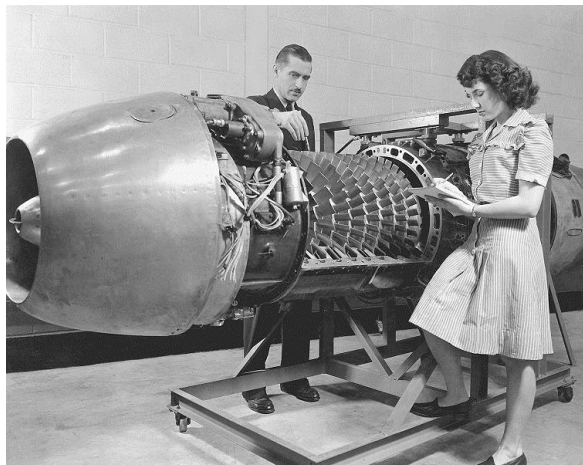


Сергей Павлович Королёв
(12.01.1907—14.01.1966)

Выдающийся конструктор и ученый, создатель отечественного стратегического ракетного оружия средней и межконтинентальной дальности и основоположник практической космонавтики.

2. Краткая история создания реактивных двигателей

2.3. Первые летательные аппараты массового производства с реактивными двигателями



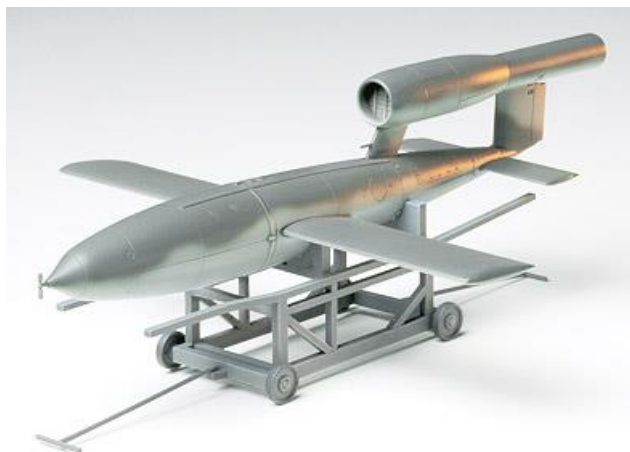
Двигатель Jumo-004 — первый в мире крупносерийный турбореактивный двигатель



Мессerschмитт Me-262 «Крылатый Хищник» с двигателями **Jumo-004**. Является первым в мире реактивным самолётом, участвовавшим в боевых действиях.



Вальтер Новотны
(7.12.1920 - 8.11.1944)
Германский летчик – асс,
воевавший на **Me-262**



Самолет-снаряд (крылатая ракета) **ФАУ-1**.
Впервые использовался реактивный пульсирующий двигатель



Старт германского оружия возмездия –
ракеты ФАУ-2



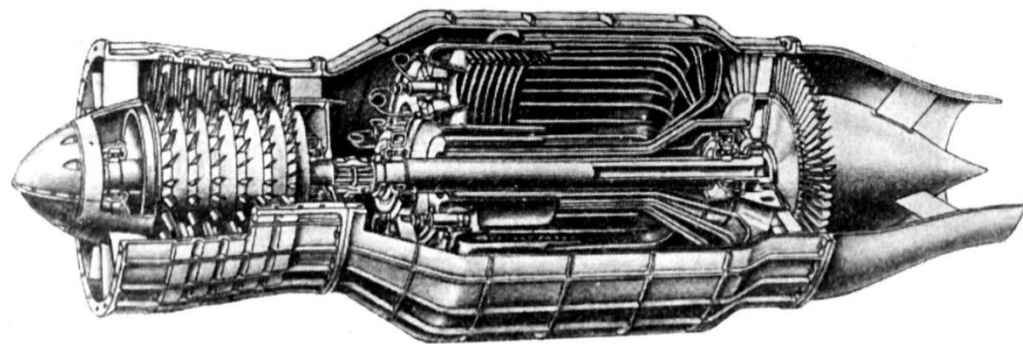
Вернер фон Браун
(20.03.1912 - 16.06.1977)
Главный конструктор
ракеты **ФАУ-2**

2. Краткая история создания реактивных двигателей

2.4. Первые реактивные двигатели в России (СССР)



Архип Михайлович Люлька
(10.03.1908— 01.06.1984) — советский учёный
и конструктор авиационных двигателей,
академик АН СССР.



Первый советский турбореактивный двигатель с осевым компрессором **РД-1** (1939 г.), конструкции А.М. Люльки

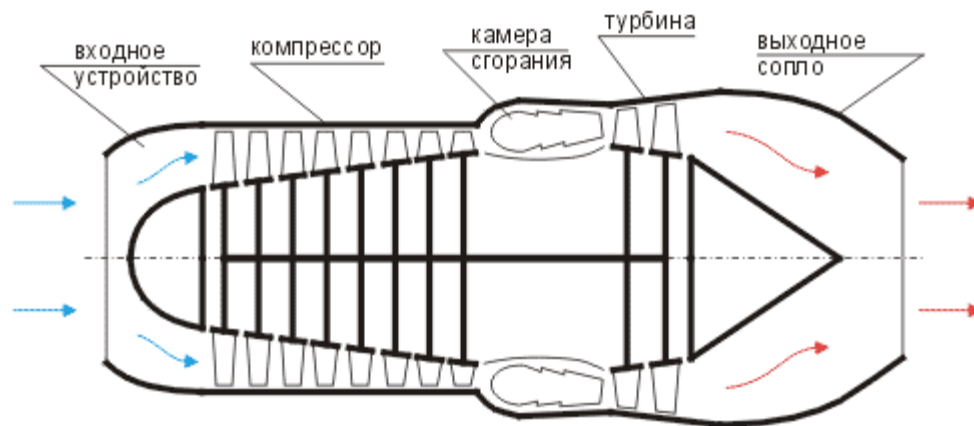


Самолет **СУ-11** (1947 г.) с первым советским серийным турбореактивным двигателем **ТР-1**.
Главный конструктор самолета П.О. Сухой, главный конструктор двигателя А.М. Люлька.

3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.1. Турбореактивный двигатель

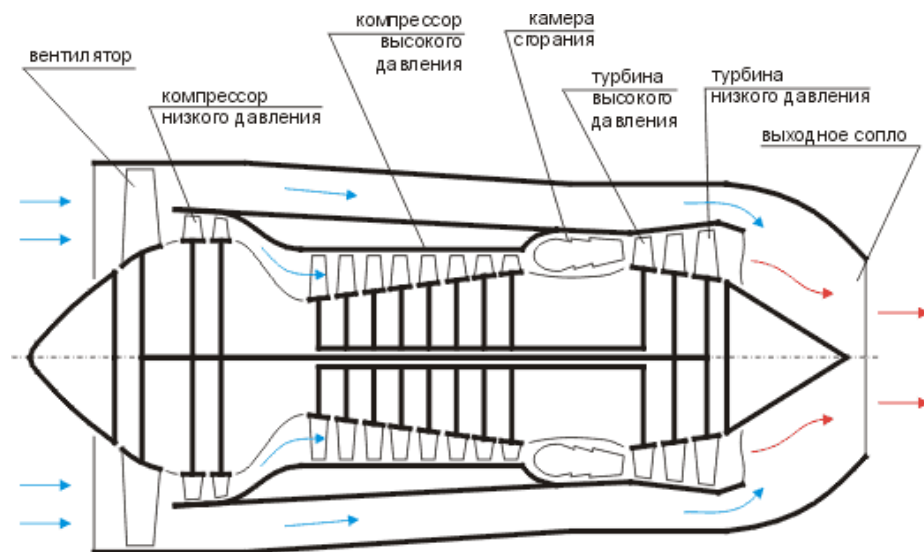
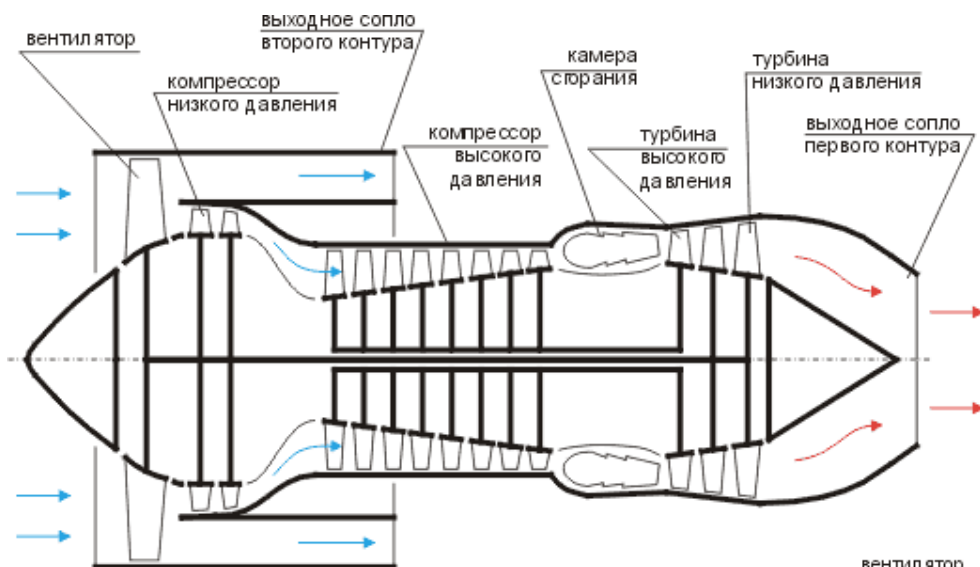
В **турбореактивном двигателе** (ТРД, англ. turbojet engine) сжатие рабочего тела на входе в камеру сгорания и высокое значение расхода воздуха через двигатель достигается за счёт совместного действия встречного потока воздуха и компрессора, размещённого в тракте ТРД сразу после входного устройства, перед камерой сгорания.



3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.2. Двухконтурный турбореактивный двигатель (турбовентиляторный)

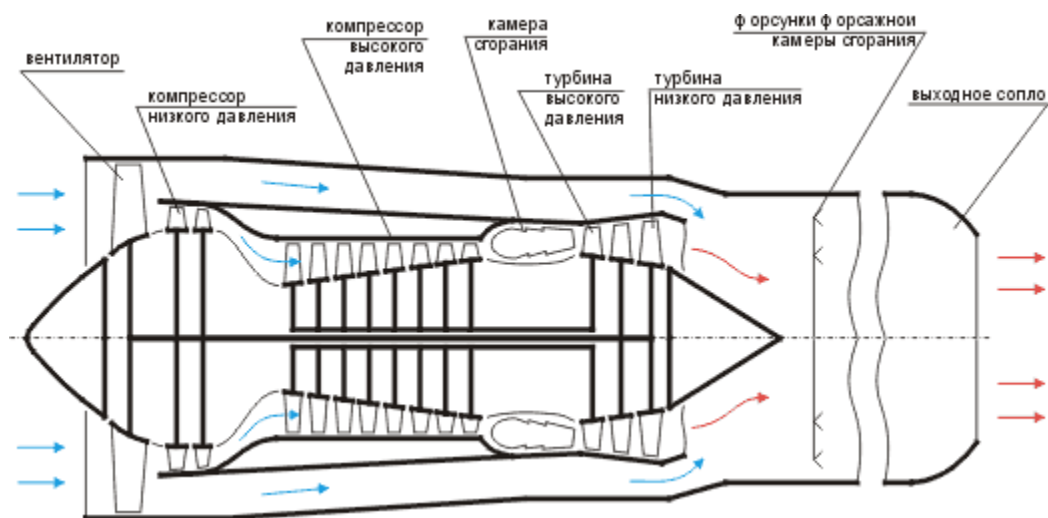
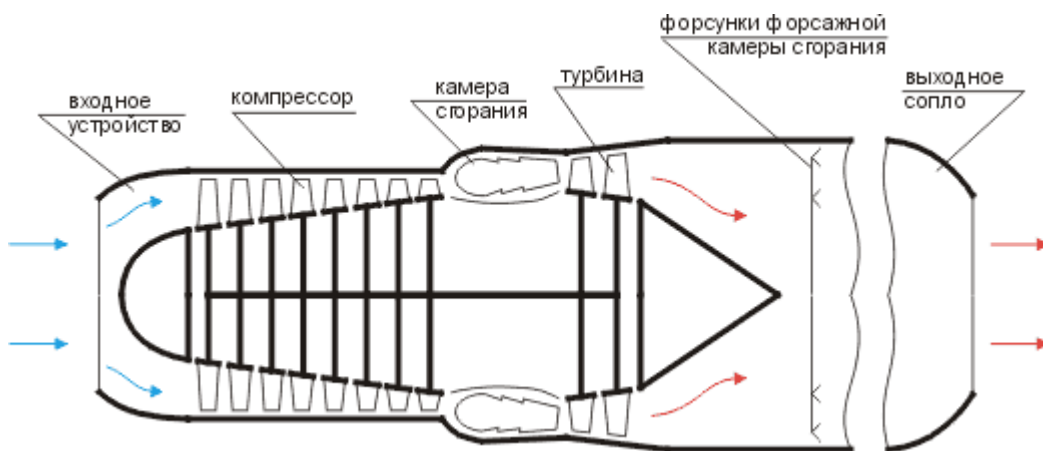
Двухконтурный турбореактивный двигатель (ТРДД, англ. Turbofan) — ТРД с конструкцией, позволяющей перемещать дополнительную массу воздуха, проходящую через внешний контур двигателя.



3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.3. Турбореактивные двигатели с форсажной камерой

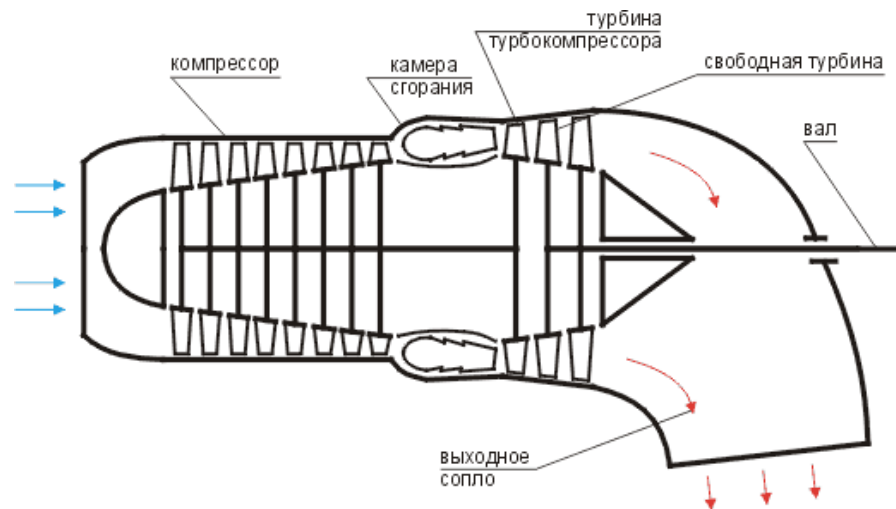
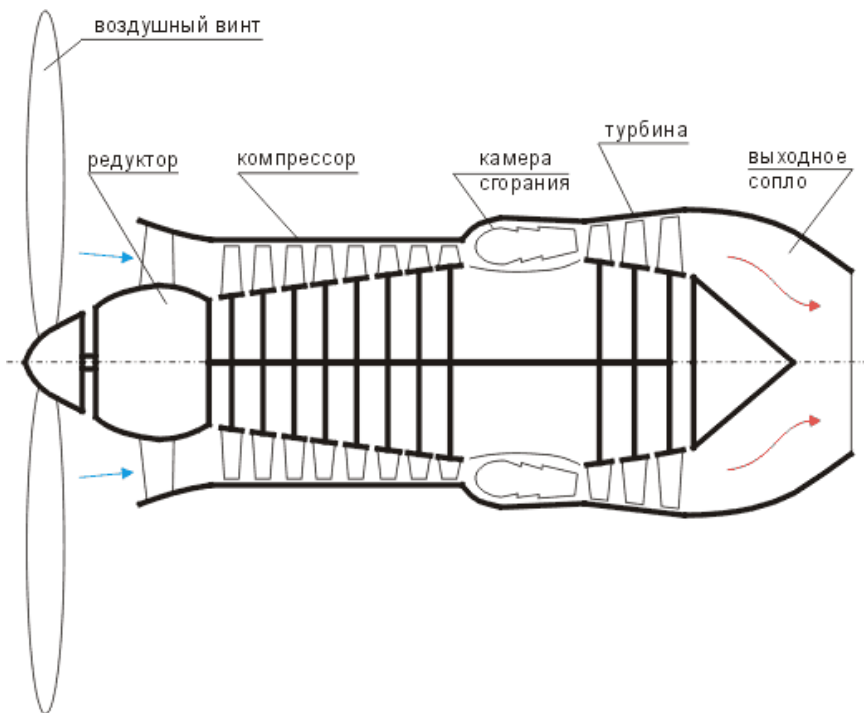
Форсаж — режим работы некоторых реактивных двигателей, применяемый для временного увеличения тяги в случае необходимости (взлёт, разгон до сверхзвуковой скорости, манёвр воздушного боя).



3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.4. Турбовинтовой двигатель

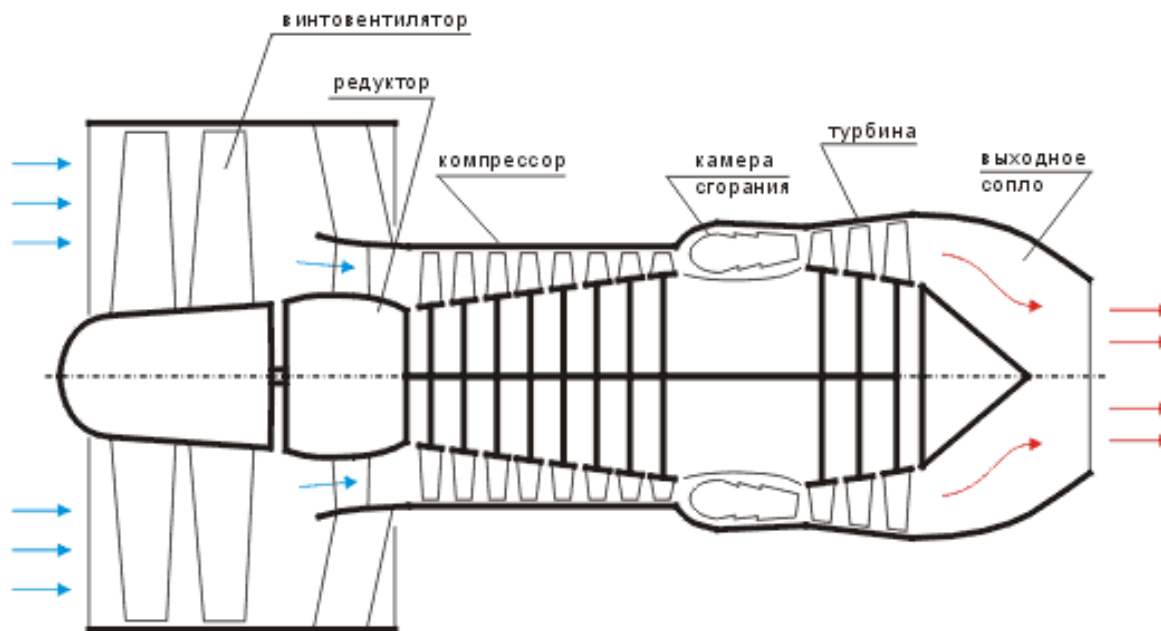
Турбовинтовой двигатель (ТВД) состоит из тех же основных элементов, что и ТРД, но, помимо того, снабжен воздушным винтом, вал которого соединен с валом турбокомпрессора через редуктор.



3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.5. Турбовинтовентиляторный двигатель

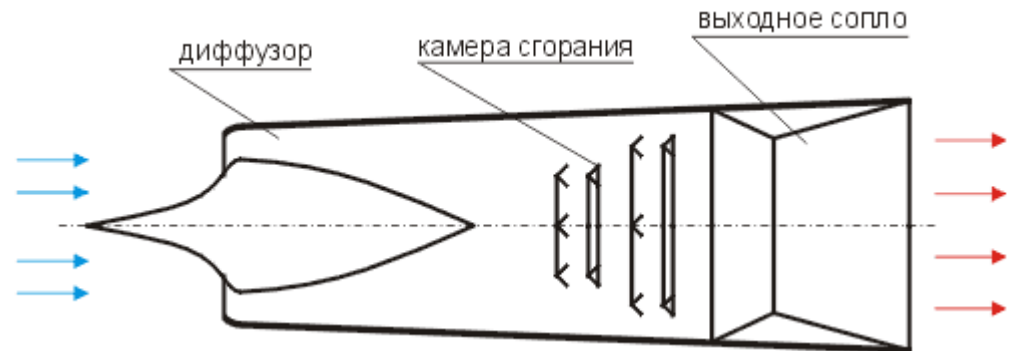
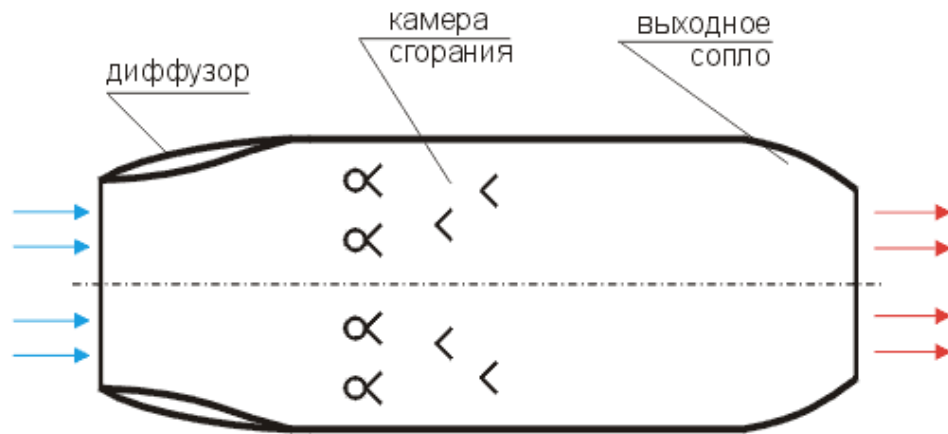
В **турбовинтовентиляторном двигателе (ТВВД)** взамен винта применяется винтовентилятор, представляющий собой малогабаритный высоконагруженный многолопастный воздушный винт изменяемого шага.



3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.6. Прямоточный двигатель

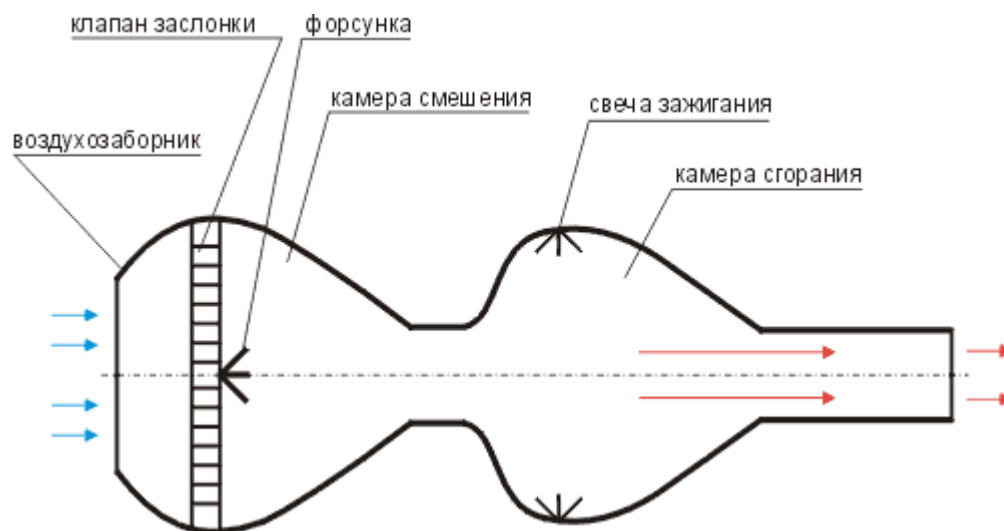
Прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД, англ. Ramjet) является самым простым в классе ВРД по устройству. Необходимое для работы двигателя повышение давления достигается за счёт торможения встречного потока воздуха.



3. Типы реактивных двигателей (на примере авиационных)

3.7. Пульсирующий двигатель

Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (ПуВРД, англоязычный термин англ. Pulsejet), как следует из его названия, работает в режиме пульсации, тяга развивается в виде серии импульсов, следующих друг за другом.



4. Некоторые конструктивные и технологические особенности современных авиационных реактивных двигателей

4.1. Управление вектором тяги



Су-35 - российский реактивный сверхманевренный многоцелевой истребитель четвертого поколения. На нем установлены два двухконтурных турбореактивных двигателя «АЛ-41Ф1С» с форсажной камерой и управляемым в одной плоскости вектором тяги. С целью увеличения числа ракурсов отклонения тяги двигателя и создания псевдо-всеракурсности, оси поворота отклоняемых сопел наклонены - сопла при этом отклоняются вниз-внутри и вверх-наружу.

Управление вектором тяги (УВТ)

реактивного двигателя — отклонение реактивной струи двигателя от направления, соответствующего крейсерскому режиму.

В настоящее время управление вектором тяги обеспечивается, в основном, за счет поворота всего сопла или его части.

Сопла с изменяемым вектором тяги придают машине исключительную маневренность, и прежде всего позволяют отклонять нос от направления полета на длительные периоды времени (эту способность долгие годы не могли воспроизвести на западных самолетах). Вектор тяги отклоняется на 15° в вертикальной плоскости. Это позволяет свободно менять направление полета как по вертикальной, так и по горизонтальной оси.

4.2. Лопатки турбины компрессора



Лопатки турбины компрессора реактивного двигателя



Процесс ионной химико-термической обработки



Борис Николаевич Арзамасов
Учёный-металловед,
заслуженный деятель науки и
техники РФ

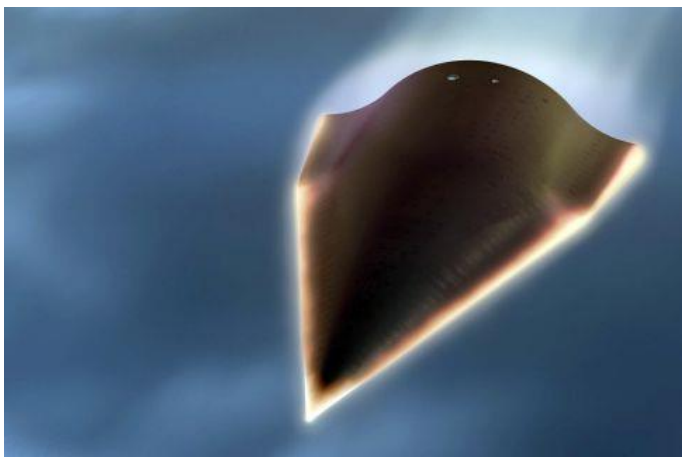
Лопатка турбины компрессора - самая дорогая деталь в авиационном реактивном двигателе. Ввиду особых механических и технологических свойств, которыми они должны обладать, лопатки изготавливают по особым технологиям монокристаллического литья из жаропрочных сплавов с добавлением дорогих легирующих элементов. Лопатки можно было делать из золота – они были бы дешевле, но золото не выдерживает высоких температур и быстро плавится. Значительный вклад в разработку новых технологий литья лопаток и их последующей химико-термической обработки внес Б.Н. Арзамасов, долгое время возглавлявший кафедру МТ8 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

5. Перспективные разработки реактивных двигателей

5.1. Гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель



Экспериментальный гиперзвуковой летательный аппарат X-43



Falcon HTV-2 (сокр. англ. Hypersonic Test Vehicle) — «гиперзвуковой летательный аппарат» (ГЗЛА), предназначенный для полёта в атмосфере с гиперзвуковой скоростью

Гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ГПВРД, англ. Scramjet) — ПВРД, работающий на скоростях полёта свыше пяти Махов (скоростей звука) и предназначенный для полётов в стратосфере.

Существует несколько программ разработок гиперзвуковых ПВРД в разных странах, но на начало XXI века этот тип двигателя оставался гипотетическим.

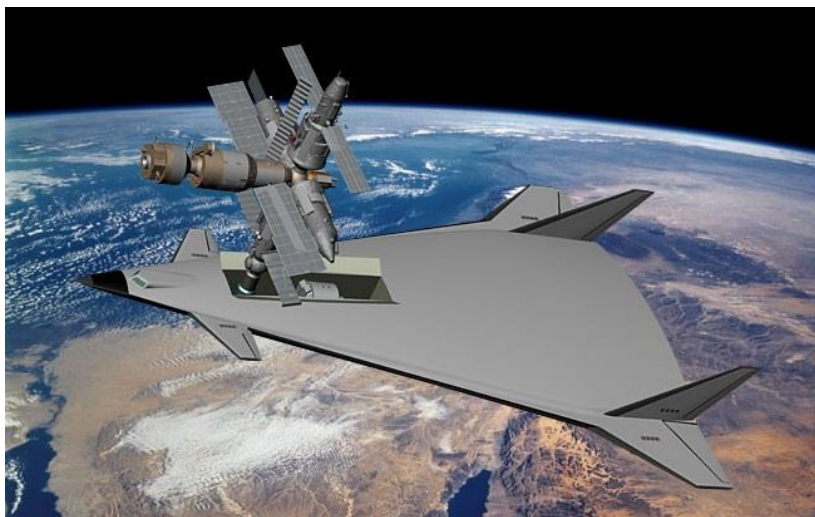
20 апреля 2010 года в США состоялся первый полет гиперзвукового аппарата Falcon HTV-2, аппарат стартовал на борту ракеты-носителя Minotaur IV с базы ВВС США Ванденберг в Калифорнии. HTV-2 должен был пролететь 4,1 тысячи морских миль (7,6 тысячи километров) за полчаса. Предположительно, аппарат сумел развить скорость в 20 Махов в верхних слоях атмосферы.

5. Перспективные разработки реактивных двигателей

5.2. Ядерный прямоточный двигатель



Внешний вид атомолета **проекта WS-12 (1951 г.)** с двумя ядерными двигателями.



Проект МГ-19 (1974 г.) - одноступенчатый воздушно-космический самолет с двигательной установкой в составе ядерного реактора и комбинированного прямоточного водородного ЖРД.

Во второй половине 50-х годов, в эпоху холодной войны, в США и СССР разрабатывались **проекты реактивных двигателей с ядерным реактором.**

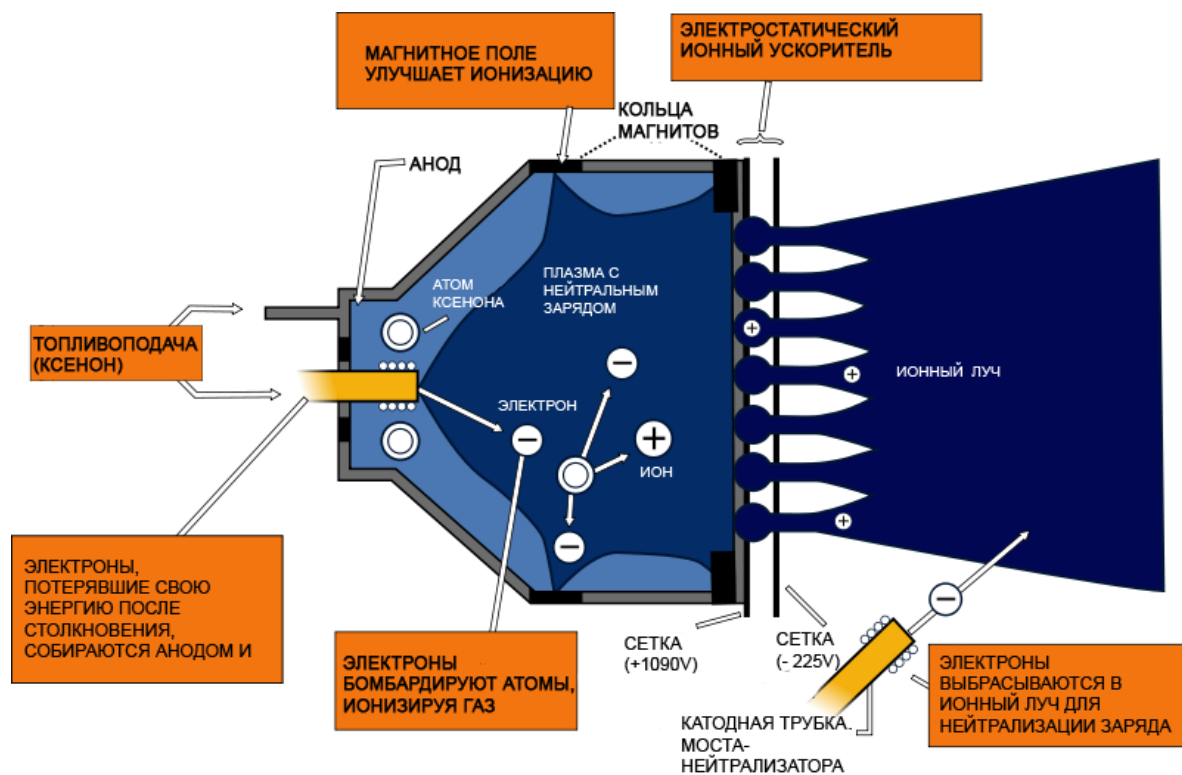
Источником энергии этих двигателей является не химическая реакция горения топлива, а тепло, вырабатываемое ядерным реактором, размещённым на месте камеры сгорания. Воздух из входного устройства в таком ПВРД проходит через активную зону реактора, охлаждает его и нагревается сам до температуры около 3000 К, а затем истекает из сопла со скоростью, сравнимой со скоростями истечения для самых совершенных жидкостных ракетных двигателей. В обеих странах были созданы компактные малоресурсные ядерные реакторы, которые вписывались в габариты ракеты и самолета.

Планировалось, что до 1957 г. атомолеты уже будут широко использоваться.

5. Перспективные разработки реактивных двигателей

5.3. Ионно-плазменный двигатель

В **ионно-плазменном двигателе** рабочим телом выступает не сгорающее топливо, как в традиционных реактивных двигателях, а разогнанный магнитным полем до огромных скоростей поток ионов.



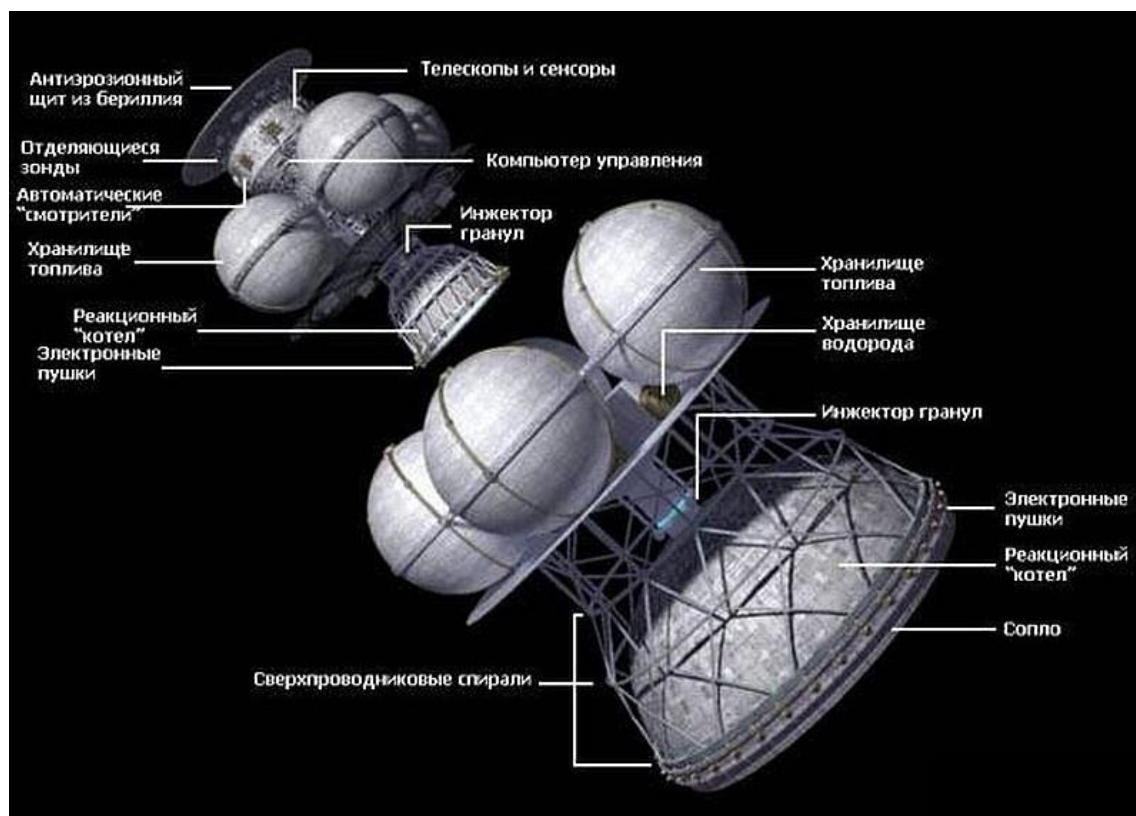
Источником ионов служит как правило газ: аргон, водород или ксенон, но может использоваться и ртуть. Бак с газом стоит в самом начале двигателя, оттуда газ подается в отсек ионизации, получается холодная плазма, которая разогревается в следующем отсеке посредством ионного циклотронного резонансного нагрева. После нагрева, высокоэнергетическая плазма подается в магнитное сопло, где она формируется в поток посредством магнитного поля, разгоняется и выбрасывается в окружающую среду. Таким образом достигается тяга.

5. Перспективные разработки реактивных двигателей

5.5. Прямоточный аннигиляционный фотонный двигатель

Фотонный (квантовый) двигатель — гипотетический реактивный двигатель, где источником энергии служит тело, которое излучает свет. Фотон имеет импульс, и, соответственно, при истекании из двигателя, свет создает реактивную тягу.

Аннигиляционный двигатель работает за счет столкновения античастиц в результате чего частицы уничтожают друг друга и при этом выделяется огромное количество энергии (света, фотонов, квантов).



Проект космического корабля **«Дедал» (1973 г.)**, который должен был передвигаться за счет выброса продуктов термоядерных реакций.

Выводы

1. Физической основой реактивного движения является следствие закона сохранения импульса. Сила тяги реактивного двигателя находится в прямой зависимости от скорости истечения реактивной струи. Реактивный двигатель эффективен только в случае, когда скорость истечения рабочего тела из сопла двигателя превышает скорость полёта.
2. Первые прототипы реактивных двигателей были разработаны более 1800 лет назад. Однако, наиболее существенные теоретические результаты исследования проблем реактивного движения были получены лишь в конце 19 века.
3. Разработкой реактивных двигателей занимались ученые и конструкторы разных стран мира. Существенные практические результаты, направленные на массовое производство реактивных двигателей, были получены в развитых странах: Германии, СССР, США, Великобритании в период Второй Мировой войны и первые послевоенные годы.
4. Наиболее распространенными в настоящее время являются двухконтурные воздушно-реактивные (турбовентиляторные) двигатели. Двигатели этого типа применяются на большинстве гражданских и военных самолетов. Для военных самолетов существуют также модификации двигателей, в которых есть форсажная камера.
5. Среди конструктивных и технологических особенностей современных реактивных двигателей следует выделять управление вектором тяги и технологию изготовления качественных лопаток турбин компрессоров.
6. Для дальнейшего улучшения тактико-технических характеристик реактивных двигателей следует применять принципиально новые технологии и конструкции, ориентированные на практическое применение последних достижений в области исследований по ядерной физике, физике плазмы, термоядерного синтеза, наноматериалов и нанотехнологий.

Список информационных источников

1. Физика в школе. [Электронный ресурс]: <http://markx.narod.ru/pic/>
2. Реактивное движение. [Электронный ресурс]: <http://900igr.net/prezentatsii/fizika/Reaktivnoe-dvizhenie/Reaktivnoe-dvizhenie.html>.
3. Прямоточный гиперзвуковой воздушно-реактивный двигатель ScramJet. [Электронный ресурс]: <http://greenwaybot.com/hypersonic-engine-scramjet>
4. Воздушно-реактивный двигатель. [Электронный ресурс]: <http://ru.wikipedia.org>
5. Ионные двигатели. [Электронный ресурс]: http://lab-37.com/futures/ion_engines/