

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Кафедра молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества

КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему:

«Применение плазменных технологий в авиации и космонавтике»

Выполнил:

студент 2 курса 214 группы

Руденко Стивен

Научный руководитель:

Знаменская Ирина Александровна

Москва 2020

Содержание	
Введение	3
Прямоточный Воздушно-Реактивный Двигатель	3
Устройство и принцип действия ПВРД	3
Гиперзвуковой Прямоточный Воздушно-Реактивный двигатель	5
Устройство и особенности ГПВРД	6
Плазменные космические двигатели	9
Плазма	9
Типы плазменных двигателей	10
Ионный двигатель	10
Двигатель Холла	10
VASIMR.....	11
Выводы	11
Список литературы	12

Введение

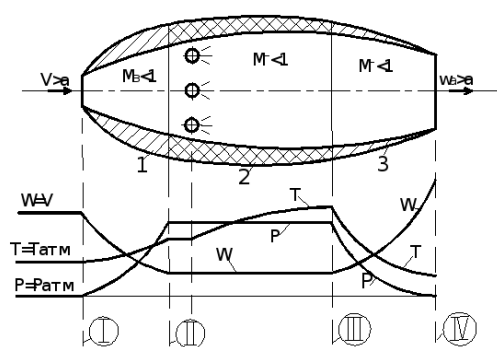
В данной работе представлено описание гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя, а так-же описание перспективных плазменных космических двигателей. Подробное изучение подобных технологий поможет их оптимизировать для дальнейшего применения в тех или иных целях.

Прямоточный Воздушно-Реактивный Двигатель

ПВРД – воздушно-реактивный двигатель прямой реакции, это значит, что тяга создается за счет реактивной струи, истекающей из сопла. Сжатие воздуха происходит только за счет скоростного напора, а тепло подводится при постоянном давлении.

Особенностью ПВРД является зависимость его КПД от скорости полёта, и полная неработоспособность при нулевых скоростях. С ростом скорости степень сжатия воздуха увеличивается, что приводит к улучшению характеристик. Более того, при скоростях $M > 3$ (M – число Маха) данный тип двигателя имеет лучшие удельные показатели (удельная тяга, удельный вес, и др.), по сравнению с Турбореактивным Двигателем (ТРД). Так же к преимуществам ПВРД можно отнести простоту и надежность конструкции, небольшой вес двигателя, большую выносливость.

Устройство и принцип действия ПВРД



Прямоточный ВРД для дозвуковых скоростей (меньше 1 М, или 340 м/с) состоит из диффузора (1), камеры сгорания (2), сопла (3). Так же на рис. 1 обозначены характерные сечения

газо-воздушного тракта.

Рис. 1. Схема ПВРД дозвуковых скоростей.

Набегающий воздушный поток тормозится в основном до входа в диффузор и частично в нем самом. В соответствии уменьшения скорости потока, увеличивается давление.

$$\frac{p}{p_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_n^2\right)^{\frac{k}{k-1}} - \text{степень повышения давления} \quad (1)$$

p — давление в полностью заторможенном потоке;

p_0 — атмосферное давление;

M_n — полётное число Маха (отношение скорости полёта к скорости звука в окружающей среде),

k — показатель адиабаты, для воздуха равный 1,4

Отсюда видно, что чем больше скорость полёта, тем выше степень сжатия газа. Далее сжатый воздух поступает в камеру сгорания, где он нагревается в результате горения топлива. Подача топлива осуществляется с помощью специальных форсунок. Воспламенение смеси происходит только на старте двигателя, далее горение поддерживается с помощью постоянной подачи воздуха и топлива.

На входе в КС стоят турбулизаторы, обеспечивающие создание устойчивых очагов возгорания. Давление газа внутри КС немного падает в следствии нагрева и гидравлического сопротивления.

Продукты сгорания попадают в сужающийся канал – сопло. В нем газ расширяется и разгоняется до скоростей, выше скорости встречного потока, что и создает тягу.

При сверхзвуковых скоростях (от 1 до 5 М) полёта сжатие и расширение встречного потока сопровождается переходом скорости потока через скорость звука. Из опыта понятно, что процесс расширения происходит, как правило, плавно и с малыми потерями при любых перепадах давления. Однако, из-за возникновения ударной волны (Ударная волна — поверхность разрыва, которая движется внутри среды со сверхзвуковой скоростью, при этом давление, плотность, температура и скорость испытывают скачок).на входе в

двигатель и, следовательно, резкого уменьшения скорости и возрастания давления, необходимость в диффузоре такой формы пропадает.

Такой переход от сверхзвуковых до звуковых скоростей сопровождается высокими потерями, давление торможения значительно ниже, чем при адиабатическом сжатии, что приводит к резкому уменьшению тяги двигателя. Поэтому на таких скоростях, процесс торможения струи воздуха стараются осуществить при помощи системы косых скачков.

Косые скачки достигаются при помощи специальной профилированной иглы, расположенной в диффузоре двигателя.

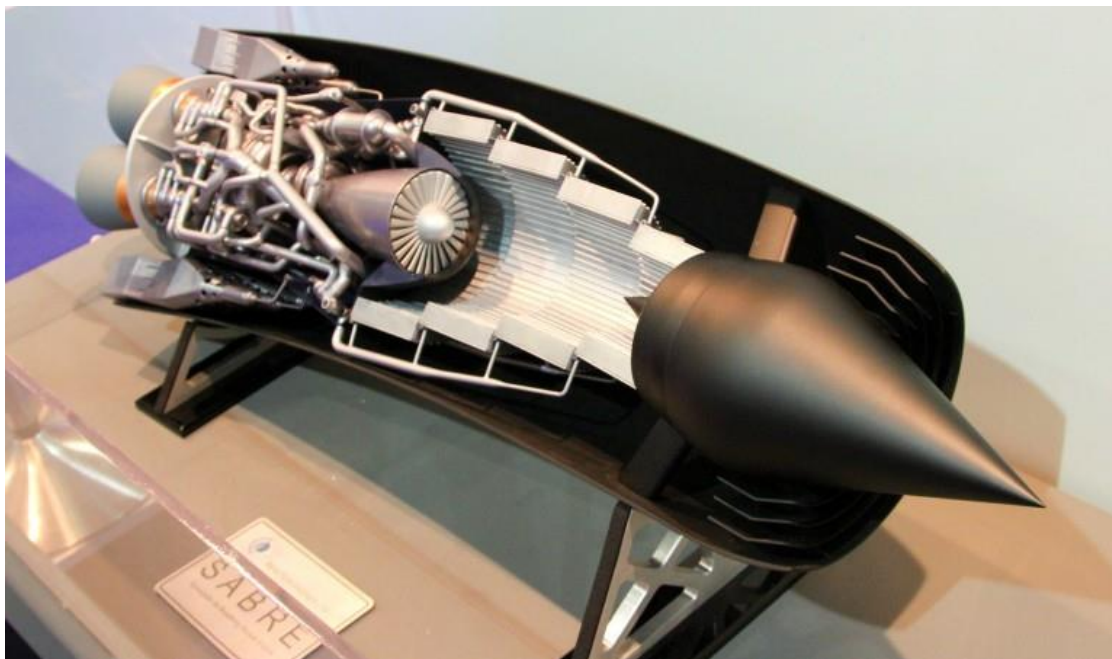


рис. 2. Поперечное сечение ПВРД, предназначенного для сверхзвуковых скоростей.

Гиперзвуковой Прямоточный Воздушно-Реактивный двигатель

Отличительной особенностью данного двигателя при сравнении с ПВРД является область рабочих скоростей – от 4 до 12 М (Верхний предел варьируется от 12 до 24 М. Скорость выше 7М уже считается гиперзвуковой скоростью). Несложно провести аналогию с ракетными двигателями, область рабочих скоростей которых совпадает с областью ГПВРД, однако, в отличие от ракет, ГПВРД в качестве окислителя использует атмосферу.

Устройство и особенности ГПВРД

В случае Турбореактивного Двигателя и ПВРД на сверхзвуковых скоростях сильно возрастает температура торможения встречного потока, из-за чего приходится уменьшать величину подогрева топлива в КС, так как существует ограничение максимально допустимой температуры газа, связанное с прочностными свойствами турбины. Помимо этого, на таких скоростях возникают ударные волны, которые значительно увеличивают силу сопротивления, которая, при пороговых скоростях, перестаёт компенсироваться тягой. Следовательно основная цель ГПВРД – избегание этих проблем.

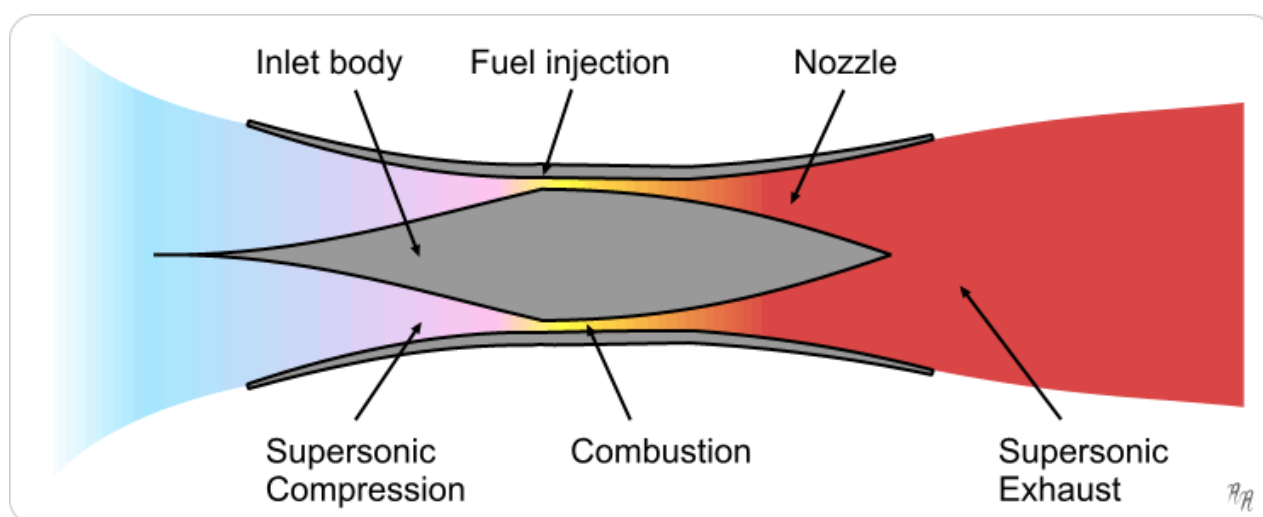


Рис. 3. Схема простейшего варианта ГПВРД

В узкой части воронки происходит сжатие встречного потока, смешивание с топливом, сжигание смеси. В сопле происходит расширение и ускорение газа. Такая схема обеспечивает низкое сопротивление и высокую эффективность сгорания рабочего тела, что достигается за счет прохождения воздуха через весь двигатель практически с одной скоростью. Однако у такой схемы есть значительные проблемы: топливо должно очень быстро смешиваться с газом, а любые нарушения в геометрии двигателя приведут к значительному увеличению трения.

Любой ГПВРД имеет воздухосборник, камеру сгорания с инжекторами и сопло (см. рис. 4).

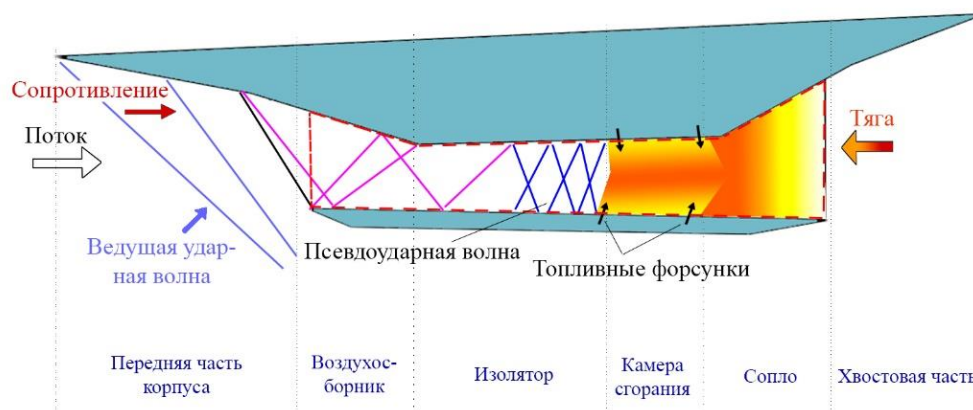


Рис. 4. Схема ГПВРД.

Конструкция ГПВРД преследует цель уменьшения трения, а не увеличения тяги. Дело в том, что на таких высоких скоростях кинетическая энергия воздуха гораздо выше энергии, выделяющейся при сжигании топлива, вне зависимости от используемого топлива.

По мимо этого возникает сложность управления потоком внутри камеры сгорания. На сверхзвуковых скоростях нет обратного распространения процессов в камере сгорания, что делает невозможным регулирование тяги изменением размера входа в сопло. Также газ должен эффективно смешиваться с топливом и иметь достаточно времени для сгорания. Для этого необходимо максимально оптимизировать впрыск и смешивание топлива, как и порядок его впрыскивания, а давление и температур газа должны оставаться в довольно узких пределах, что накладывает ограничение на траекторию и скорость полёта.

Минимальная скорость работы ГПВРД определяется тем, что сжатый поток должен иметь достаточно большую температуру для сгорания топлива, а давление должно быть достаточно велико для завершения реакции до выхода газа из сопла. Снижение скорости может привести к увеличению степени торможения газа на входе в КС. При снижении скорости газа до 1М, в двигателе возникают ударные волны, и он глохнет. Поэтому для сохранения принадлежности двигателя к классу ГПВРД и для максимальной эффективности и устойчивости, летательный аппарат должен поддерживать сверхзвуковую скорость на протяжении всего полёта.

Исходя из этих особенностей, можно сформировать ряд ключевых задач, которые необходимо решить до серийного выпуска данного типа двигателей:

- максимально точное представление о состоянии и эволюции течения в пограничном слое на внешней поверхности Гиперзвуковых Летательных Аппаратов и в канале силовой установки
- разработка максимально эффективного механизма смешивания топлива с потоком воздуха и дальнейшего сжигания смеси
- обеспечение теплозащиты поверхности Гиперзвуковых Летательных Аппаратов

Плазменные космические двигатели

Основной принцип работы данного типа двигателей заключается в создании плазмы с помощью электрического и магнитного поля, а затем разгон этой плазмы теми же полями. Данный тип двигателя обладает большим удельным импульсом.

Плазма

Плазма – частично или полностью ионизированный газ. Плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы, поэтому плазма считается электрически нейтральной системой.

Ионизация газа может происходить несколькими способами:

- Термическая ионизация — ионизация, при которой необходимую энергию для отрыва электрона от атома дают столкновения между атомами вследствие повышения температуры;
- Ионизация электрическим полем — ионизация вследствие повышения значения напряженности внутреннего электрического поля выше предельного значения. Из этого следует отрыв электронов от атомов газа.
- Ионизация ионизирующим излучением

Специфические свойства плазмы позволяют ее рассматривать как четвертое состояние вещества. Из-за большой подвижности частицы плазмы легко перемещаются под действием электрических и магнитных полей. Поэтому любое нарушение электрической нейтральности отдельных областей плазмы, вызванное скоплением частиц одного знака заряда, быстро ликвидируется. Возникающие электрические поля перемещают заряженные частицы до тех пор, пока электрическая нейтральность не восстановится, и электрическое поле не станет равным нулю.

Между частицами плазмы действуют кулоновские силы, которые относительно медленно убывают с ростом расстояния. Каждая частица

взаимодействует сразу с большим числом соседних частиц. Благодаря этому, частицы плазмы могут участвовать в разнообразных упорядоченных коллективных движениях. Так, в плазме легко вызвать колебания и волны.

Типы плазменных двигателей

Космические плазменные двигатели разделяют на 3 типа:

- Ионный двигатель
- Двигатель Холла
- Электромагнитный ускоритель с изменяемым удельным импульсом (VASIMR)

Далее подробнее изучим их.

Ионный двигатель

Ионизация топлива происходит за счет бомбардировки рабочего тела высокоэнергетическими электронами. Для «отфильтровывания» электронов используется трубка с катодными сетками, которая притягивает к себе электроны. Положительные ионы притягиваются к системе из 2-3 сеток, между которыми поддерживается высокая разность потенциалов. Это напряжение позволяет разогнать и выбросить ионы в пространство, что и создает тягу. Электроны так же выбрасываются, но под небольшим углом к соплу и ионам. Это делается для нейтрализации заряда корабля, а также для нейтрализации уже вылетевших ионов.

Двигатель Холла

Двигатель Холла состоит из кольцевой камеры между анодом и катодом, вокруг которого расположены магниты. С «входной» стороны подается рабочее тело, а с другой – происходит истекание плазмы. Электроны, эмитируемые с катода, производят нейтрализацию положительного заряда из плазмы.

В кольцевую камеру подаётся рабочее тело (в основном ксенон), а между катодом и анодом обеспечивается разность потенциалов. Происходит разгон ионов в

осевом направлении под действием электрического поля. Так же на ионы действует магнитное поле, которое вызывает ток с помощью эффекта Холла. Это движение электронов осуществляет ионизацию газа.

Как правило, данный тип двигателя имеет большую тягу, нежели ионный двигатель.

VASIMR

Отличительной чертой данного двигателя является то, что его действие почти полностью основано на использовании радиоволн. С помощью них происходит ионизация топлива и дальнейший разогрев. После разогрева, рабочее тело ускоряется магнитами, в результате чего происходит переход тепловой энергии, в кинетическую энергию реактивной струи. Величина удельного импульса зависит от количества рабочего тела и от количества энергии, потраченной на разогрев. Чем больше создается тяга, тем меньше удельный импульс.

При наличии достаточно мощного источника питания, VASIMR способен выдавать тягу, которая в десятки раз больше тяги ионного двигателя.

Выводы

Как видно, недостатков у гиперзвукового ПВРД на данный момент больше преимуществ. Связаны они, в основном, с ограничениями нынешних технологий и недостаточной изученности вопроса. Более того, испытания ГПВРД крайне дорогостоящие. Поэтому до полного введения данной технологии на постоянное использование нужно решить ряд сложных технических проблем.

Список литературы

1. Стечкин Б.С., Казанджан П.К. и др. Теория реактивных двигателей.
2. Wikipedia. Гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель
3. Новости зарубежной науки и техники. Техническая информация. Выпуск 1-2. Январь-Июнь 2012 г.
4. Тех. Термодинамика, Диденко В.Н.
5. В. А. Алешкевич. Электромагнетизм. Лекция 9. Плазма
6. Choueiri, Edgar Y. (2009) New dawn of electric rocket
7. Principal VASIMR Results and Present Objectives