

ГОУ Гимназия №1505

«Московская городская педагогическая гимназия-лаборатория»

РЕФЕРАТ

Турбореактивный двигатель

Автор: ученик 9 класса «Б»

Сидоренко Аркадий

Руководитель: Наумов А.Л.

Москва

2013-2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	стр.2
Глава 1-Закон сохранения количества движения.....	стр.3
Глава 2-Турбореактивный двигатель.....	стр.10
Заключение.....	стр.15
Список источников.....	стр.15

ВВЕДЕНИЕ

ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Работа посвящена турбореактивным двигателям. Основной целью работы будет рассмотрение принципа работы турбореактивного двигателя и его устройства. Помимо указанного будет рассмотрена теория, а именно: импульс, закон сохранения импульса, реактивное движение. Это позволит понять принцип работы турбореактивного двигателя.

Данная тема сейчас очень актуальна, поскольку в настоящее время всё в большей сфере деятельности человека используются турбореактивные двигатели и установки, а потенциал улучшения их положительных качеств (коэффициент полезного действия, экологичность) ещё не исчерпан.

Настоящая работа будет разбита на 2 главы.

Глава 1 содержит теоретическую часть. В ней будут рассмотрены такие понятия, как импульс, закон сохранения импульса, а также реактивное движение.

Глава 2, в ней я подробно опишу процесс работы двигателя, а также найду различия между разными типами турбореактивных двигателей, рассмотрю их техническое устройство.

Данная работа может быть интересна для всех читателей, которых интересуют турбореактивные двигатели, а также для тех, кто хочет расширить своё представление о реактивном движении и увидеть, как оно применяется на практике.

ГЛАВА 1

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ

В данной главе будет рассмотрен важнейший физический закон, на котором основывается работа всех реактивных двигателей, в том числе и турбореактивных.

Как известно, с помощью законов Ньютона, записанных в силах и ускорениях, можно решить любую механическую задачу, рассчитать любое движение во всех его деталях. Однако имеется ряд причин, которые заставляют нас искать новые формы записи этих законов. Есть большая группа задач, в которых нас не интересует, как именно происходил процесс изменения состояния тел, но нам нужно знать только конечный результат их взаимодействия.

Например, человеку, играющему в бильярд, важно знать только то, как будут двигаться шары после удара, а как изменяются скорости шаров, его не интересует.

Конечная скорость движения тела определяется не только самой силой, приложенной к нему, но и временем её действия. Поэтому можно попытаться найти такое уравнение второго закона Ньютона, которое содержало бы время действия силы на тело, его конечную и начальную скорости.

Уравнение второго закона Ньютона запишем так:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Здесь \vec{F} - вектор равнодействующей силы, приложенной к телу, m - масса тела, \vec{a} - вектор ускорения, приобретаемый телом под действием силы. Но вектор ускорения - это вектор разности начальной и конечной скоростей материальной точки, поделённый на промежуток

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_0}{dt}$$

времени, за которое произошло это изменение, то есть

Подставим полученный результат в записанное ранее уравнение:

$$\vec{F} = m \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_0}{dt}$$

Умножив обе части равенства на dt , получим:

$$\vec{F} dt = m\vec{v}_1 - m\vec{v}_0$$

Мы связали время действия силы на материальную точку, её начальную и конечную скорости, но получили новые физические величины. В левой части полученного нами уравнения стоит физическая величина, получившая название импульса силы

$$\vec{F} dt$$

Это сложная физическая величина. Она одновременно описывает значение модуля вектора действующей силы, его направление и время действия этой силы. Очевидно, что импульс силы является векторной величиной, равняясь произведению вектора силы на промежуток времени, в течение которого эта сила действовала на тело. Единица измерения импульса силы $H \cdot c$.

В правой части нашего уравнения стоит разность какой-то физической величины. Эта величина получила название импульса тела или количества движения тела, она

обозначается как \vec{p} , а единица измерения $\frac{кг \cdot м}{с}$. Она, также как и импульс силы, является вектором, так как равна произведению вектора скорости тела на его массу, следовательно, направление вектора импульса тела всегда совпадает с направлением вектора скорости.

Теперь можно прочитать второй закон Ньютона следующим образом:

Изменение импульса тела равно импульсу суммы всех сил, действовавших на тело.

Именно в таком виде закон был сформулирован самим Ньютоном.

Рассмотрим теперь замкнутую систему, состоящую из двух тел, то есть такую систему, где тела, входящие в неё, взаимодействуют только друг с другом. Пусть тела

провазимодействовали друг с другом. Это взаимодействие длилось dt времени. Тогда силы, с которыми взаимодействовали тела, по третьему закону Ньютона равны по модулю

и направлены противоположно: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Пусть массы тел равны m_1 и

m_2 . Запишем уравнение второго закона Ньютона для каждого тела:

$$F_1 dt = m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_0$$

$$F_2 dt = m_2 \vec{u}_1 - m_2 \vec{u}_0$$

Теперь мы можем подставить эти уравнения в уравнение третьего закона Ньютона:

$$\frac{m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_0}{dt} = - \left(\frac{m_2 \vec{u}_1 - m_2 \vec{u}_0}{dt} \right)$$

Домножив обе части уравнения на dt и перенеся начальные импульсы тел в левую часть уравнения, а конечные импульсы тел в правую часть, получим:

$$-m_1 \vec{v}_0 - m_2 \vec{u}_0 = -m_1 \vec{v}_1 - m_2 \vec{u}_1$$

или

$$m_1 \vec{v}_0 + m_2 \vec{u}_0 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{u}_1$$

Мы получили результат,показывающий,что при любых взаимодействиях тел замкнутой системы геометрическая сумма их количества движения остаётся постоянной.Это утверждение названо законом сохранения количества движения.Этот закон относится к наиболее фундаментальным законам физики и лежит в основе не только механики ,но и всей современной физики.

Отметим,что закон сохранения количества движения действителен только для замкнутых(изолированных) систем тел,где тела взаимодействуют только между собой.Однако наблюдаются случаи,когда действия тел,не входящих в подобные системы,компенсируют друг друга,и их суммарное действие на систему тел можно считать равной нулю.

Например,представим такую ситуацию:два шарика находятся на горизонтальной, ровной,гладкой поверхности,где коэффициент трения равен нулю;эти шарики имеют некоторую скорость,следовательно,импульс этой системы равен сумме импульсов этих тел.Хотя шарики подвержены воздействию силы тяжести со стороны земли,не входящей в данную систему,эта сила компенсируется силой реакции опоры со стороны поверхности,на которой они перемещаются.К системе,состоящей из этих двух шариков приложены внешние силы,равнодействующая которых равна нулю. Следовательно,можно утверждать,что количество движения этой системы постоянно и не изменится при любых взаимодействиях шариков.Если же сумма импульсов внешних сил не равна нулю,то количество движения системы изменится ,а это изменение будет равно сумме импульсов этих сил.

Таким образом,новая формулировка третьего закона Ньютона,полученная нами,позволяет узнать результат взаимодействия тел,даже когда неизвестны силы взаимодействия между этими телами. Запишем окончательное уравнение закона сохранения импульса :

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

где \vec{p}_1 и \vec{p}_2 -начальные импульсы тел,а \vec{p}'_1 и \vec{p}'_2 соответственно конечные импульсы тел.

Заметим, что закон сохранения количества движения справедлив не только для замкнутой системы, состоящей из двух тел. Он справедлив для любого количества тел, составляющих замкнутую систему.

Также как и все законы Ньютона, закон сохранения количества движения справедлив только в том случае, когда система тел рассматривается относительно инерциальной системы отсчёта, в которой если на тело не действуют никакие силы, или равнодействующая этих сил равна нулю, то тело покоится или движется равномерно и прямолинейно. В противном случае закон сохранения количества движения недействителен.

Реактивное движение и расчёт реактивной силы тяги

Одно из важнейших практических применений закон сохранения количества движения нашёл при решении задач о движении тел переменной массы. Такое движение называется реактивным. Примером реактивного движения в природе может служить передвижение кальмара под водой. В современной технике широко используются двигатели, основанные на принципе реактивного движения. Преимущество таких двигателей заключается в том, что для передвижения им не нужно вступать в контакт с внешними телами.

При реактивном движении от тела с некоторой скоростью отделяются его частицы, вследствие чего самому телу также сообщается некоторый импульс силы.

Рассмотрим работу самого простого по устройству реактивного двигателя-ракетного. Такие двигатели используются для выведения на земную орбиту ракет с космическими кораблями.

Основными частями ракетного двигателя являются камера сгорания и сопло. При работе ракетного двигателя в камере сгорания происходит химическая реакция между топливом и окислителем, подаваемыми туда с помощью специальных насосов. В результате выделения тепловой энергии газообразные продукты химической реакции имеют большую температуру. В камере сгорания возникает много большее давление, чем в окружающей

среде, и продукты химической реакции истекают из сопла двигателя с большой скоростью.

Ракетный двигатель и выбрасываемые им газы взаимодействуют между собой. Обозначим

силу, с которой газы воздействуют на двигатель, $\vec{F}_{тяги}$. На основании закона сохранения количества движения при отсутствии внешних сил сумма импульсов взаимодействующих тел остаётся постоянной. До запуска сумма импульсов топлива и двигателя была равна нулю. Следовательно, и после работы двигателя импульс системы будет равен нулю:

$$m_{дв} \vec{v} + m_m \vec{u} = 0$$

где $m_{дв} \vec{v}$ - конечный импульс двигателя, а $m_m \vec{u}$ - конечный импульс топлива. Отсюда следует, что

$$m_{дв} \vec{v} = -m_m \vec{u}$$

В течение работы на двигатель воздействует реактивная сила тяги $\vec{F}_{тяги}$.

Так как до начала работы импульс двигателя был равен нулю, то импульс силы тяги составляет его конечный импульс, то есть

$$\vec{F}_{тяги} dt = m_{дв} \vec{v}$$

В соответствии с предыдущим уравнением

$$\vec{F}_{тяги} dt = -m_m \vec{u}$$

откуда

$$\vec{F}_{тяги} = \frac{-m_m \vec{u}}{dt}$$

где $\frac{m_m}{dt}$ -секундный расход топлива,а \vec{u} - скорость истекающих газов относительно двигателя.

Таким образом,мы нашли формулу,дающую возможность вычислить силу тяги реактивного двигателя по известным значениям скорости истечения реактивной струи и массы вещества,выбрасываемой двигателем за одну секунду.

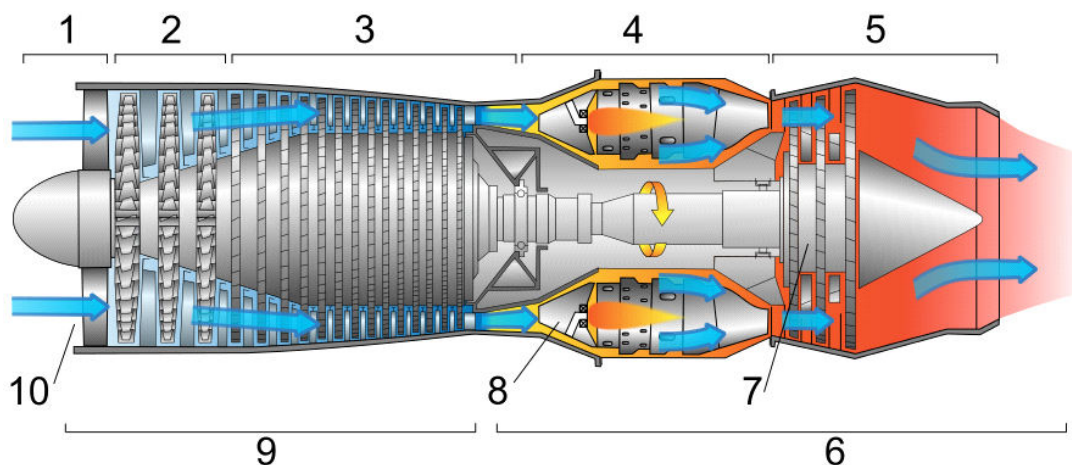
Глава 2

ТУРБОРЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Турбореактивный двигатель является тепловым двигателем ,преобразовывая химическую энергию топлива в кинетическую энергию истекающих из него газов.Рабочим телом является смесь ,состоящая из забираемого из атмосферы воздуха и продуктов окисления топлива кислородом,содержащимся в воздухе.В этом есть главное отличие турбореактивного двигателя от ракетного двигателя,который использует для работы окислитель,находящийся на борту того транспортного средства,на котором он установлен.

История турбореактивных двигателей неразрывно связана с историей авиации.Первым самолётом,поднявшимся в небо с помощью турбореактивного двигателя,был He178 с двигателем HeS3 конструкции немецкого инженера фон Охайна.

Принципиальная схема турбореактивного двигателя приведена на рисунке.



Под цифрой 1 обозначено входное устройство. Входное устройство предназначено для предварительного сжатия поступающего в компрессор воздуха. При этом кинетическая энергия потока набегающего газа расходуется на его сжатие. Поэтому при скоростях полёта близких к скорости звука значение входного устройства возрастает, так как удаётся использовать энергию потока воздуха на его сжатие. Далее воздух идёт вперёд по тракту двигателя.

Под цифрами 2 и 3 обозначены соответственно компрессор низкого и высокого давления. На данном рисунке изображён компрессор аксиального (осевого) типа. В компрессоре происходит повышение полного давления поступающего воздуха, вследствие чего достигается высокое массовое значение расхода воздуха через двигатель. Аксиальный компрессор состоит из ступеней. Каждая ступень образована вращающимся рабочим колесом (диском), с закреплёнными на нём лопатками, и статором, представляющим собой ряд неподвижных спрямляющих лопаток, закреплённых на кожухе двигателя. Все рабочие колёса закреплены на одном вращающемся валу, который располагается вдоль двигателя. Воздух в компрессоре совершает сложное движение: поступательное и вращательное. Поток воздуха закручивается рабочим колесом и раскручивается статором, и так от ступени к ступени. Проходя через многоступенчатый осевой компрессор воздух сжимается, и его давление многократно (в 10-40 раз) повышается. Отношение давления воздуха на выходе из компрессора к давлению перед входом называется степенью повышения давления.

Далее воздух поступает в камеру сгорания, обозначенную цифрой 4. Примерно 25-35% воздуха попадает непосредственно в камеру сгорания, где, смешиваясь с горючим, распыляемым форсунками 8, вступает с ним в химическую реакцию, разогревается и устремляется через суживающийся сопловой аппарат камеры сгорания в следующую часть двигателя. Воспламенение топлива производится на старте с помощью электрических свечей, установленных в камере сгорания, далее горение самоподдерживается. Остальная часть воздуха обтекает камеру сгорания, тем самым охлаждая её, и смешивается с продуктами горения на выходе из камеры сгорания, которые также приобретают более низкую температуру.

Это позволяет поддерживать температуру газовой смеси на уровне, определяемом

жаростойкостью материалов, из которых изготовлены лопатки турбины, обозначенной цифрой 5. Турбина представляет собой устройство, похожее на компрессор, но не сжимающее воздух, а отбирающее часть кинетической энергии истекающих выхлопных газов для вращения компрессора двигателя. Механическое движение от турбины к компрессору передаётся с помощью вала 7, на котором они установлены. Лопатки турбины изготавливаются из особо прочных и жаростойких материалов, а для охлаждения внутри них делаются каналы, по которым проходит воздух, отбираемый из компрессора.

Также как и в случае с компрессором, различают турбины высокого и низкого давления. Они работают в разных условиях: турбина высокого давления располагается сразу же за соплом камеры сгорания, отбирая основную часть кинетической энергии газа, а турбина низкого давления работает в менее напряжённых условиях, с истекающими газами меньшей температуры и скорости. В современных двигателях применяются двухкаскадные валы турбина-компрессор. На меньшем вале, который проходит сквозь второй полый вал, устанавливаются компрессор и турбина низкого давления; на втором вале устанавливаются компрессор и турбина высокого давления. Такое инженерное решение позволяет повысить газодинамическую устойчивость двигателя.

Основная часть энергии продуктов сгорания идёт на ускорение газового потока в выходном устройстве (сопле), то есть на создание реактивной силы тяги. Хотя ТРД является реактивным двигателем и не нуждается в контакте с другими телами для движения, формула его реактивной силы тяги выглядит несколько иначе, чем было показано в главе 1:

$$\vec{F}_{\text{тяги}} = G(c - v),$$

где G - секундный расход топлива, c - скорость истекающих газов относительно двигателя, v - скорость полёта летального аппарата. Эта закономерность накладывает ограничения на максимальную скорость полёта.

Форсаж и управление вектором тяги

Иногда, в целях обеспечения безопасности летального аппарата, быстрого набора предельной скорости и расширения летальных характеристик требуется кратковременное увеличение тяги двигателя. Один из способов достижения этой цели решается установкой форсажной камеры на турбореактивном двигателе.

В турбореактивном двигателе имеется избыток кислорода в камере сгорания, но этот резерв мощности не удаётся реализовать подачей большего количества топлива в камеру сгорания из-за конструктивных ограничений. Для этого сразу за турбиной устанавливают форсажную камеру.

Форсажная камера представляет собой "трубу", в которой распыляется и сжигается дополнительное количество топлива, в следствие чего внутренняя энергия рабочего тела повышается перед расширением в сопле. В результате скорость истечения выхлопных газов значительно увеличивается, увеличивается и тяга двигателя. В некоторых случаях отношение тяги двигателя, работающего в режиме форсажа, к тяге двигателя, работающего на максимальном бесфорсажном режиме, превышает 1,5. Как правило, двигатели с форсажными камерами оборудованы сложной автоматикой, включающей в себя сопла с регулируемым сечением и регулируемые воздухозаборники. Так как во время работы в режиме форсажа оказывается максимальная тепловая и механическая нагрузка на элементы двигателя, а расход топлива резко увеличивается, форсажными камерами обычно оборудуют самолёты военного назначения для преодоления противовоздушной обороны противника, набора и поддержания сверхзвуковой скорости полёта, взлёта с авианосца.

Некоторые сопла турбореактивных двигателей позволяют отклонять струю истекающих газов с помощью изменения своей геометрии, изменяя тем самым направление вектора тяги. Отклонение вектора тяги приводит к дополнительным потерям тяги, усложнению управления полётом, но эти недостатки полностью компенсируются резким повышением маневренности летательного аппарата, уменьшению расстояния его разгона и пробегов. Двигатели с подобным оборудованием используются исключительно в боевой авиации.

Требуемые характеристики ТРД

Как и любой двигатель, ТРД должен удовлетворять требованиям, заданным перед его разработкой, чтобы в полной мере соответствовать задачам, предоставляемым при его эксплуатации.

Ниже приведён список ключевых характеристик турбореактивного двигателя:

1. Создаваемая двигателем тяга
2. Удельный расход топлива (Масса топлива потребляемая за единицу времени для создания единицы тяги/мощности)
3. Расход воздуха (Масса воздуха проходящего через каждое из сечений двигателя за единицу времени)
4. Степень повышения полного давления в компрессоре
5. Температура газа на выходе из камеры сгорания
6. Масса и габариты

Одной из важнейших характеристик ТРД является выше упомянутое значение повышения полного давления воздуха в компрессоре, то есть давление воздуха на выходе из компрессора перед камерой сгорания. От него также зависит коэффициент полезного действия двигателя в целом. С развитием технологий конструирования ТРД степень повышения полного давления воздуха в компрессоре значительно увеличилась, что позволило добиться от ТРД высоких эксплуатационных характеристик.

Экологичность ТРД

За время своей работы турбореактивный двигатель пропускает через себя огромное количество воздуха, сжигая в нём порой тонны топлива, представленным, как правило, авиационным керосином. Вследствие этого в атмосферу выбрасываются вещества-окиси углерода, азота, несгоревшие углеводороды, образование которых происходит в камере сгорания при высоких температурах. Они пагубно влияют на окружающую среду. Для решения этой проблемы стали изготавливать так называемые бездымные камеры сгорания. Благодаря им топливно-воздушная смесь становится бедной топливом, что не позволяет образовываться саже на стенках камеры сгорания, прогоранию

самых стенок.

Запуск ТРД

Запуск ТРД является переводом турбореактивного двигателя из выключенного состояния в режим малого газа. Для этого необходимо первоначально раскрутить ротор ТРД до заданной частоты. Эта задача решается установкой системы запуска ТРД. Система состоит из стартера (электрического или ДВС двигателя), соединённого с ротором ТРД, топливной системы, системы автоматического запуска, включающей в себя вычислительные и исполнительные устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ТРД является важным типом двигателей, основанным на принципе реактивного движения. В данном реферате мы продемонстрировали закон сохранения количества движения, нашли формулу для расчёта реактивной силы тяги. Также мы подробно рассмотрели устройство турбореактивного двигателя и основные принципы его работы. Поэтому задачи, поставленные в начале работы, можно считать выполненными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зубов В.Г. Механика(1978)

А.А.Гарькавый Двигатели летательных аппаратов

Турбореактивный двигатель//<http://wikipedia.org/>. Ссылка действительна на 09.04.14.

