**Содержание:**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Родоначальники авиации |  |
| 1.1 Развитие авиации |  |
| 1.2 Развитие авиации в Советское время |  |
| 1.3 Михаил Васильевич Ломоносов |  |
| 1.4 Михаил Александрович Рыкачев |  |
| 1.5 Дмитрий Иванович Менделеев |  |
| 1.6 Николай Егорович Жуковский |  |
| 1.7 Константин Эдуардович Циолковский |  |
| 2. Начало внедрения реактивной техники |  |
| 1.1 Введение |  |
| 1.2 Принцип работы и классификация реактивных двигателей |  |
| 1.3 Краткая история развития авиации |  |
| 1.4 Применение реактивной техники в гражданской авиации |  |
| 1.5 Заключение |  |
| Перечень условных обозначений, символов, единиц, сокращений и терминов |  |
| Введение |  |
| 1. Сравнительный анализ ЭРДУ |  |
| 1.1 Применение ЭРД |  |
| 1.2 Применение РИД |  |
| 1.3 Общие преимущества РИД |  |
| 1.4 Радиочастотный ионный движитель РИД-10 |  |
| 1.5 Радиочастотный ионный движитель РИД-26 |  |
| 1.6 Радиочастотный двигатель с магнитным полем (РМД) |  |
| 2 Разработка численной модели электроракетного двигателя с ВЧ нагревом рабочего тела |  |
| 2.1 Математический аппарат численной модели термогазодинамических процессов, имеющих место в камере и сопловом аппарате ракетного двигателя |  |
| 2.2 Термодинамические процессы, протекающие в камере электронагревного движителя |  |
| Заключение |  |
| Список используемых источников информации |  |

**Родоначальники авиации**

**Развитие авиации**

Человек не имеет крыльев и по отношению веса своего тела к весу мускулов он в 72 раза слабее птицы... Но я думаю, что он полетит, опираясь не на силу своих скул, а

на силу своего разума.

Н.Е.Жуковский

В протоколе заседания Российской Академии наук от 1 июля 1754 года имеется запись:

"Высокопочтенный советник Ломоносов показал изобретенную им машину, называемую им аэродромической (воздухобежной), которая должна употребляться для того, чтобы с помощью крыльев, движимых горизонтально, в различных направлениях силой пружины, какой обычно снабжаются часы, нажимать воздух (отбрасывать его вниз), отчего машина будет подниматься в верхние слои воздуха, с той целью, чтобы можно было обследовать условия (состяние) верхнего воздуха посредством метеорологических машин (приборов), присоединенных к этой аэродромической машине".

В том же году М. В. Ломоносов писал, что он сделал машину, которая, сама поднимаясь вверх, может поднять маленький термометр. Это была модель вертолета и первая в мире документированная практическая разработка летательного аппарата тяжелее воздуха - вертолета с соосными винтами. Однако для того времени реализация идеи вертолета оказалась слишком сложной.

Русские ученые и изобретатели продолжали работать над созданием аппаратов тяжелее воздуха.

В 1854-1855 гг. к идее создания самолета обращается военный моряк Российского флота А.М.Можайский. Серьезными поисками в этой области он стал заниматься несколько позже и пришел к выводу о необходимости разработать летательный аппарат с неподвижным крылом, в работе которого использовался бы принцип динамического полета.

Научный эксперимент - это был единственно возможный в то время путь исследования для оценки возможного значения подъемной силы при различных углах атаки, а также определения необходимой площади крыла и скорости полета, ведь аэродинамика как наука тогда еще не существовала, и лишь спустя 25-30 лет основы ее были заложены великим русским ученым Н. Е. Жуковским. Не было еще аэродинамических труб и аэродинамических весов для испытания моделей самолета. А.Ф.Можайский создал прибор - движущуюся тележку с прообразом аэродинамических весов. С помощью этого прибора можно было производить расчет лобового сопротивления и подъемной силы крыла самолета. Изготовленные Можайским модели самолета с приводом винтов от пружины демонстрировалась в полете в Петербургском манеже.

В марте 1879 г. был поставлен вопрос о постройке самолета в натуральную величину.\*) Изобретатель подготовил объяснительную записку, лично разработал чертежи самолета и смету необходимых расходов. Заявку на изобретение самолета с описанием аппарата и чертежи Можайский направил в Департамент торговли и мануфактур, а 15 ноября 1881 г. ему была выдана "привилегия" (патент) на "воздухоплавательный снаряд".

По проекту самолет должен был состоять из лодки (фюзеляжа), в которой предполагалось разместить экипаж, силовую установку и приборное оборудование, двух паровых двигателей и четырехколесного шасси. На самолете были предусмотрены тросовое управление, штурвал, емкости для горючего и некоторые приборы, в том числе и оптический прицел.

В конструкции первого самолета была применена монопланная схема, которая имеет наибольшее распространение и в современном самолётостроениии. Длина лодки в соответствии с принятыми в то время единицами измерения равнялась 20,5 аршина, длина каждого крыла - 15 аршинам, ширина крыла - 20 аршинам.

6 июля 1882 г. построенный самолет был осмотрен специальной комиссией Штаба войск гвардии и Петербургского военного округа. В протоколе комиссии от 22 февраля 1883 г. было записано, что масса самолета должна составлять 57 пудов. Испытания проводились под Петербургом, на военном поле в Красном селе, и продолжались до 1885 г., но на завершающем этапе по военным соображениям были засекречены. Об этом периоде сохранилось очень мало документов.

Велики заслуги Александра Федоровича Можайского перед отечественной и мировой наукой и техникой.

---------------------

\*) В январе 1887 г. работала первая комиссия, рассмотревшая и одобрившая предложение А.Ф.Можайского. В результате изобретателю были отпущены деньги (3 тыс. руб.), и он начал работать над созданием самолета. В состав комиссии входил Д. И. Менделеев.

Однако в то время были ученые, как, например, известный английский ученый Кельвин отрицающие возможность создания аппаратов тяжелее воздуха, отдавая предпочтение аппаратам легче воздуха.

В области исследования теории полета аппаратов тяжелее воздуха работал великий русский ученый Д.И.Менделеев. Его труд "О сопротивлении жидкостей и воздухоплавании", по словам Н.Е.Жуковского, является капитальной монографией по сопротивлению жидкостей и может служить основным руководством для лиц, занимающихся воздухоплаванием. В труде особо отмечается необходимость накопления опытных данных о сопротивлении среды. Менделеев писал, что когда-нибудь будет достигнута полная победа над воздухом, станет возможным управлять полетом. Только для этого необходимо точно знать сопротивление воздуха.

В 1894 г. увидела свет работа К.Э.Циолковского "Аэроплан, или птицеподобная (авиационная) летательная машина ", в которой автор обосновал идею создания аэроплана с неподвижным свободнонесущим крылом. На самолете предлагалось иметь крыло трапециевидной формы с поперечным V при изогнутости по типу чайки. На эскизе, помещенном в статье, были показаны тянущий винт, обтекающей формы корпус, хвостовое оперение и шасси. В 1905 г. Циолковский предложил ромбовидный и клиновидный профили крыла для аппаратов со сверхзвуковыми скоростями полета.

Несмотря на трудности, обусловленные незнанием законов аэродинамики, создание планеров и самолетов продолжалось. Конструкция их часто была очень сложной. Один из них (девятиплан) имел несущие поверхности в виде трех трипланов, горизонтальное оперение его состояло из четырёх поверхностей, двигатель имел мощность 55 л.с. и передавал ее на два толкающих винта посредством цепной передачи. Было построено несколько трипланов, однако работа над ними осталась незавершенной. Можно упомянуть также работы А. Г. Уфимцева, которого Максим Горький назвал "поэтом в области научной техники". Уфимцев построил четыре оригинальных двигателя и два самолета с крылом круглой формы в плане и круглым горизонтальным оперением. Постройкой самолетов и двигателей занимался в 1909-1910 гг. С.В.Гризодубов, отец известной летчицы, Героя Советского Союза и Героя Социалистического труда В. С. Гризодубовой. В 1912 г. на одном из своих самолетов он совершил несколько полетов.

В годы, предшествовавшие первой мировой войне, русские конструкторы работали над созданием легкого маневренного самолета, который обладал бы достаточной устойчивостью и управляемостью. В 1912 г. военным ведомством был объявлен конкурс на разработку самолета с максимальной скоростью не менее 114км/ч и полезной нагрузкой 450 кг (летчик-наблюдатель и груз). По чертежам, представленным на конкурс, было построено несколько машин, например самолет Пороховщикова. Но несмотря на некоторые преимущества его перед иностранными, на авиационных заводах России по лицензиям строились самолеты иностранных марок. Это сильно сдерживало развитие самолетостроения в России, особенно проектирование.

Несколько позже на конкурс были представлены другие самолеты, из которых биплан РБВЗ ( Русско - Балтийского вагонного завода ) завоевал первый приз.

Этот период характерен также поисками в области проектирования гидросамолетов, одним из создателей которых являлся Д.П.Григорович.

К авиационным конструкторам начального периода развития авиации в России относится советский ученый и конструктор Я.М.Гакель, впоследствии профессор, заслуженный деятель науки и техники. В 1910-1912 гг. он создал семь самолетов оригинальной конструкции, два из которых ( гидроплан - амфибия Г-V и биплан Г-VIII ) на воздухоплавательных выставках в Москве в 1911 и1912 гг. были удостоены большой серебряной и большой золотой медалей.

Особое место в развитии отечественной авиации принадлежит самолётам выпущенным авиационным отделом Русско - Балтийского вагонного завода в Петербурге. Одним из них являлся " РУССКИЙ ВИТЯЗЬ " - первый в мире четырехмоторный самолет. Это был биплан с размахом верхнего крыла 27 м и нижнего - 20 м. Полетная масса самолета составляла 4200 кг. Первый полет его состоялся 23 июля 1913 г. " РУССКИЙ ВИТЯЗЬ " - прототип тяжелых самолетов с двигателями, установленными в ряд на крыле.

Следующим в этой серии был " ИЛЬЯ МУРОМЕЦ ", первоначально имевший четыре двигателя мощностью 100 л.с. каждый, в дальнейшем заменённые более мощными - по 220 л.с. 4 июня 1914 года на самолете " ИЛЬЯ МУРОМЕЦ " был установлен мировой рекорд высоты полета с десятью членами экипажа на борту. В августе того же года этот самолет был принят на вооружение русской армии в качестве разведывательного. На последних модификациях машин этого класса экипаж состоял из семи - восьми человек, а вооружение включало восемь пулеметов, самолет мог брать до 30 пудов ( пуд = 16 кг. -Ф.С. ) бомб, частично размещаемых в фюзеляже. Всего было построено до 80 самолетов " ИЛЬЯ МУРОМЕЦ ", которые участвовали в первой мировой и гражданской войнах. Это были крупнейшие по тому времени воздушные корабли. По техническим данным, вооружению и бомбовой нагрузке " ИЛЬЯ МУРОМЕЦ " превосходил английский тяжелый бомбардировщик ВИМИ и немецкий самолет фирмы " ГОТАМ ФРИДРИХСХАФЕН " ( хотя последний являлся, по существу, несколько изменённой копией единственного сбитого за годы первой мировой войны самолета "ИЛЬЯ МУРОМЕЦ" ). Недаром французское военное министерство через своего атташе в Петрограде обратилось с просьбой сообщить данные, относящиеся к аэропланам типа " ИЛЬЯ МУРОМЕЦ ".

Однако не все созданные самолеты строились. На единственном в начале двадцатых годов комендантском аэродроме Петрограда в одном из старых ангаров можно было увидеть самолет " СВЯТОГОР " конструкции В. А. Слесарева. Самолет представлял собой гигантский биплан цельнодеревянной конструкции с двумя двигателями, расположенными в фюзеляже, причем трансмиссия к двум толкающим винтам диаметром 6 метров осуществлялась посредством канатной передачи. Размах верхнего крыла составлял 36 метров.

На завершающем этапе постройки самолета " СВЯТОГОР " В.А.Слесарев обратился к правительству с просьбой о предоставлении средств, но получил отказ, несмотря на то, что специальная комиссия под руководством Н.Е.Жуковского, проверявшая аэродинамический расчет этого самолета и расчет его на прочность, " единогласно пришла к выводу , что полет аэроплана Слесарева при полной нагрузке в 6,5 т и при скорости 114 км/ч является возможным , а посему окончание постройки аппарата Слесарева является желательным ". Однако Технический комитет Управления Воздушного Флота решил, " что достройка аэроплана Слесарева, даже и в том случае, если подсчет профессора Жуковского подтвердится, в действительности никакой практической пользы принести не может".

Тем не менее В.А.Слесарев, ободренный поддержкой Н.Е.Жуковского, продолжал строить самолет на личные средства, а так же пожертвования авиационных клубов. Работа двигалась очень медленно, а после гибели конструктора практически прекратилась. Испытания самолета так и не были завершены к 1918 г. Впоследствии он использовался при обучении курсантов Военно - технической школы.

Рассматривая начальный период развития авиации, следует более подробно остановиться на значении деятельности и основополагающих работ НИКОЛАЯ ЕГОРОВИЧА ЖУКОВСКОГО.

Н.Е.Жуковский - создатель теории подъемной силы крыла и автор одного из первых курсов по авиации " Теоретические основы воздухоплавания ". Его статья " О присоединенных вихрях ", опубликованная в 1906 г., явилась итогом большой работы в области исследования подъемной силы крыла. Активное участие в разработке этой проблемы принимал С.А.Чаплыгин, автор монографии " О газовых струях ", на основе которой были созданы впоследствии разделы аэродинамики больших скоростей.

Еще осенью 1898 г. на Х съезде русских естествоиспытателей и врачей Н.Е.Жуковский организовал воздухоплавательную подсекцию и выступил с обзорным докладом " О воздухоплавании ", в котором решительно высказался за развитие летательных аппаратов тяжелее воздуха. Докладчик говорил : "...Глядя на летающие живые существа, на стрижей и ласточек, которые со своим ничтожным запасом энергии носятся в продолжении нескольких часов в воздухе со скоростью, достигающей 50 км/ч, и могут пересекать моря, на орлов, которые описывают в синем небе красивые круги с неподвижно распростертыми крыльями, на неуклюжую летучую мышь , которая бесшумно переносится ветром во всевозможных направлениях, невольно задаешься вопросом : неужели для людей нет возможности подражать этим существам ? "

Сформулированная Н.Е.Жуковским теорема заключается в следующем :

"Величина подъемной силы крыла на метр размаха является произведением плотности воздуха на циркуляцию скорости и на скорость полета аэроплана."

Очевидно, что этот вывод - основа современного учения о подъемной силе крыла, фундамент теоретической аэродинамики. Без этого открытия невозможно было бы равитие авиационной науки.

Организованный Н.Е.Жуковским еще до революции кружок по изучению воздухоплавания успешно продолжал свои теоретические и практические исследования и после ее победы.

Ученики Жуковского не только основали школу, но и вели подготовку к созданию будущего Центрального аэрогидродинамического института ( ЦАГИ ). Решение об образовании национального русского центра авиаци было принято с одобрения В.И.Ленина. Н.Е.Жуковский и А.Н.Туполев посетили Высший совет народного хозяйства и получили не только согласие на организацию института, но и финансовую помощь. Аэродинамическая лаборатория в МВТУ им. Баумана была вначале основной базой экспериметальных работ ЦАГИ, который в настоящее время является мировым центром авиационной науки и техники.

Придавая особое значение развитию авиации, Советское правительство в 1919г. приняло решение о создании в Москве учебного заведения для подготовки инженерно - технических кадров. В сентябре того же года сотоялось первое заседание совета авиационного техникума под председательством Н.Е.Жуковского, а в сетябре 1920 г. техникум был реорганизован в Институт инженеров Красного Воздушного Флота им. Н.Е.Жуковского. Позднее на его базе создается Военно-воздушная академия, носящая в настоящее время имя Н.Е.Жуковского.

Деятельность великого русского, всю свою жизнь посвятившего исследованию вопросов теории авиации, ученого была очень высоко оценена Советским правительством. Специальным постановлением Совета Народных Комиссаров от 3 декабря 1920 г., в котором Н.Е.Жуковский именовался " отцом русской авиации, он был освобожден от обязательного чтения лекций и получил право " объявлять курсы более важного научного содержания ". Ученому устанавливался месячный оклад. Тем же постановлением учреждалась премия Н.Е.Жуковского за выдающиеся труды в области математики и механики. Было так же принято решение об издании трудов ученого.

В предисловии к переизданным в 1972 г. лекциям профессора Н.Е.Жуковского " Динамика аэропланов в элементарном изложении ", которые он читал слушателям теоретических курсов авиации, А.Н.Туполев писал о великом вкладе Н.Е.Жуковского в создание нашей русской авиации, о том, что " он (Н.Е.Жуковский - Ф.С.) всегда оставался истинным патриотом , глубоко любил свою Родину , радовался ее успехам , переживал неудачи и всегда хотел быть ей полезен ".

Жуковский был прекрасным учителем. Он учил просто, ясно, всегда чрезвычайно доброжелательно, и то, что хотел передать ученикам, западало им в душу не только как знание, но и как любовь к тому, что любил он сам.

А любил он науку, авиацию и очень любил эксперимент, считая его совершенно необходимым. Н.Е.Жуковский был не только великим ученым, но и инженером " высшего ранга ", поэтому его ученики не замыкались только в науке, а стремились к созданию оригинальных конструкций планеров, вертолетов, глиссеров, самолетов на основании научной теории и результатов экспериментов. Поэтому основанные на школе Николая Егоровича Жуковского авиационные институты - это не просто учебные заведения, а еще и научные организации, работающие над созданием российского воздушного флота.

А.Н.Туполев хотел, чтобы, получая памятный курс лекций, прочитанных Жуковским в 1913 г. и иданных в 1917 г., каждый почувствовал то уважение и тепло к Николаю Егоровичу Жуковскому , которое сохранили его ученики. Эти воспоминания А.Н.Туполева являются прекрасной характеристикой научных и личных качеств великого русского ученого.

Напомню основные этапы развития научно - исследовательских работ в области аэродинамики самолетов отечественной авиации.

В первые послереволюционные годы бурное развитие аэродинамики, как и в теоретическом, так и в прикладном смысле, и в первую очередь в изучении пограничного слоя, получило свое практическое применение. Были заложены основы норм устойчивости и управляемости, изучены флатбер и бафтинг в применении к конкретным типам летательных аппаратов, разработаны серии новых скоростных и несущих профилей крыла с механизацией.

Разработанные основы дозвуковой и трансзвуковой аэроинамики с введением в эксплуатацию новых аэродинамических труб позволили совершить скачок влетных данных самолетов. Этому способствовали и увеличение мощности двигателей, разработка воздушных винтов изменяемого шага, создание новых конструционных материалов на основе алюминия и новых технологических процессов для обработки.

Как и во всякой науке , ведущая роль в решении задач в области аэродинамики принадлежала фундаментальным теоретическим исследованиям, на базе которых строились расчетные инженерные методы, составляющие основу прикладной теории. Корифеи советской аэродинамики, такие,как Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплыгин, Б. Н. Юрьев, В. В. Голубев, М. В. Келдыш, С. А. Христианович, Г. П. Свищев, В. В. Струминский и многие другие, находились во главе прогресса авиации.

Трудность прикладного использования теоретических исследований состояла в том, что теоретические решения могли быть найдены только для отдельных форм профилей, крыльев, тел вращения. Это означало, что почти для всех практически используемых в авиации форм из-за отсутствия в то время ЭВМ, позволяющих использовать численные методы, большая часть теоретиков была занята конкретными расчетами. Правильность базовой теории и приближенных методов решения требовали экспериментальной проверки - подтверждения, а если необходимо, то и экспериментальных поправок, что имело и имеет место и до настоящего времени.

Для таких проверок была построена экспериментальная труба ЦАГИ диаметром 3 м и затем вторая - диаметром 6 м. В создании экспериментальной базы ЦАГИ особенно велика роль А.Н.Туполева. Здесь, по мнению Г.П.Свищева, с полной силой проявился талант Андрея Николаевича как организатора крупного масштаба. Создание аэродинамических труб с такими размерами и высокими скоростями потока сделало возможным испытание крупных по размерам моделей,позволяющих точно моделировать формы самолетов, отрабатывать их аэродинамические характеристики, а часто испытывать и натуральные элементы самолета, в том числе фюзеляж.

В числе первых достижений аэродинамиков тех лет была обклейка полотном гофра поверхностей фюзеляжа на самолете АНТ-4, что дало большой эффект по улучшению летных данных. В порядок допуска в воздух самолета в первый раз вмешался предшественник АТК ВВС, определивший, что без соответствующего свидетельства ЦАГИ ни одна машина не может подняться в воздух. От ЦАГИ летательный аппарат получает свой воздушный паспорт, дающий право на первый взлет.

Был создан справочник конструктора, в котрый были включены все разделы аэродинамики самолета : аэродинамика крыла и воздушных винтов, охлаждение двигателей, аэродинамический расчет, устойчивость и управляемость, проверка на штопор, методика испытаний в эродинамических трубах и методика летных испытаний.

Дальнейшим развитием этого направления было создание руководства для конструкторов, где давались рекомендации по вопросам от выбора геометрических форм самолёта до получения результатов испвтаний моделей в аэродинамической трубе позволяющие учесть особенности и детали реальной конструкции самолёта.

Вторым напралением развития прикладной науки является накопление фактов. В аэродинамике, как и в любой науке, говорил А. М. Черемухин, факты для развития теории и прикладных методов расчёта приносят познание явленй природы. Эти факты, кк правильно сказано, узнаются из "Неожиданных тел", возникающих при эксплуатации самолётов и их испытаниях, а также при изучении в аэродинамических трубах. На базе осмысления фактов идёт разработка теории, а затем уже на базе теории и накопленных экспериментальных данных создаются прикладные расчётные методы.

Лётные испытания всегда являлись отличнм источником информации, т.к. они проходят в натурных условиях и являются наиболее достоверными источниками для полученя научно-практических данных. Именно поэтому уже в прошлом в отечественных КБ создавались экспериментальные самолёты начиная с самолёта АНТ-4, о котором уже говорилось.

Однако, фудаментальные испытания оставались на стороне аэродинамических труб, кторые строились в нашей стране, и их объёмы и степень совершенства были уже таковыми, что в 1944 году в трубе Т-101 ЦАГИ испытывался самолёт ТУ-2, а в кабине самолёта находился лётчик-испытатель.

С появлением турбореактивных двигателей появилась возможность преодоления " звуквого барьера " и выхода самоёта на сверхзвуковую скорость. Для исследований новых эффектов была построена трансзвуковая аэродинамическая труба, а затем введены в эксплуатацию аэродинамические трубы больших сверхзвуковых скоростей.

Особое место в аэродинамике и самолётостроении занимает познание трансзвуковой скорости полёта, стоившей жизни многим лётчикам - испытателям и ставившей в трудное положение тех, кто строит самолёты и принимает их в эксплуатацию.

Переход военной и гражданской авиации к сверхзвуковым скоростям полета и совершение длительных полетов потребовали решения многих задач. Для этого прежде всего было необходимо существенно повысить аэродинамическое качество самолета на этих скоростях и решить вопросы устойчивости и балансировки самолета во всем диапазоне скоростей - от дозвуковой до сверхзвуковой. Вопросы теплостойкости конструкционных материалов, смазки и герметиков стали одними из определяющих для констукций, работающих в условиях циклического аэродинамического нагрева, характерного для высоких сверхзвуковых скоростей полета.

Последние 40-50 лет характеризовались бурным ростом скоростей, высот и значительным увеличением дальности полета на дозвуковой скорости, особенно для транспортных и пассажирских самолетов. За этот период авиация увеличила максимальные скорости примерно в 4 раза, высоту и дальность - в 2,5-3 раза. Этот скочок стал возможным благодаря широкому внедрению в авиацию реактивных двигателей.

За рубежом созданием аппаратов тяжелее воздуха занимались Хенсен, Венси, Лилиенталь, Адер, Шанют и др., а научными исследованиями в этой области и экспериментами в аэродинамических трубах - Эйфель во Франции, Кейли в Англии и Ленгли в США.

Полеты братьев Райт, Сантос - Дюмона, Блерио, Кертиса, Уточкина, Ефимова и др. положили начало систематическим полетам в воздухе.

САМОЛЕТОСТРОЕНИЕ В СОВЕТСКОЕ ВРЕМЯ

После победы революции партия и правительство очень быстро осознали необходимость создания и развития воздушного флота России. Вопросы развития авиации неоднократно были в центре внимания советских партийных и государственных органов и неоднократно рассматривались на партийных съездах, специальных заседаниях и совещаниях с участием высших советских партийных и государственных деятелей.

Отечественное самолетостроение в начале двадцатых годов базировалось на модернизации и серийном выпуске лучших образцов самолетов зарубежных марок. Параллельно велись работы по созданию собственных конструкций.

Одним из первых самолетов, построенных в советское время , был модернизированный вариант английской машины ДН - 9. Освоение ее было поручено Н. Н. Поликарпову, а самолет в различных модификаций имел наименование Р - 1. В это время на базе английской машины марки "АВРО" выпускался двухместный учебный самолет У-1, предназначенный для летных училищ.

Из очественных самолетов оригинальной конструкции, созданных в двадцатые годы, следует отметить пассажирский самолет АК-1 В. Л. Александрова и В. В. Калинина. Два самолета сконструировал летчик В. О. Писаренко и построил в мастерских севастопольской школы летчиков, где был инструктором. Большую известность имели конструкторские группы под руководством Д. П. Григоровича и Н. Н. Поликарпова, работавшие над созданием летающих лодок , пассажирских самолетов, а также истребителей.

В этот период в отечественном самолетостроении наметился переход к созданию летательных аппаратов из металла. В 1925 г. в ЦАГИ было создано конструкторское бюро АГОС ( авиация, гидроавиаци и опытное строительство ), руководителем которого стал А. Н. Туполев. Тематика работы АГОС отличалась большим разнообразием, и в составе бюро были образованы бригады. Возглавлявшие их инженеры стали впоследствии известными конструкторами.

Многие из созданных в бюро самолетов участвовали в международных выставках и перелетах на дальние расстояния. Так, на машинах АНТ - 3 ( Р-3 ) были совершены полеты по европейским столицам и дальневосточный перелет Москва - Токио. Тяжелый металлический самолет ТБ - 1 ( АНТ-4 ) в 1929 г. совершил перелет Москва - Нью-Йорк через Северный полюс. Самолеты этого типа применялись не только в дальней бомбардировочной авиации, но и в арктических экспедициях. Техническим руководителем проекта ТБ-1 являлся констуктор В. М. Петляков. В АГОС был также спроектирован пассажирский самолет АНТ-9, совершивший дальний перелет протяженностью 9037.

Одновременно отдел сухопутного самолетостроения ( ОСС ) под руководством Н. Н. Поликарпова строил самолеты - истребители И - 3, ДИ - 2. В этот же период был построен широкоизвестный самолет У - 2 ( По-2 ), прослуживший около 35 лет. Одной из весьма удачных оказалась созданная отделом сухопутного самолетостроения машина Р - 5, которая впоследствии выпускалась в различных вариантах - как разведчик , штурмовик и даже как легкий бомбардировщик.

Отдел морского самолетостроения, руководимый Д. П. Григоровичем, строил морские самолеты, в основном разведчики.

Наряду с боевыми и пассажирскими машинами конструировались авиетки и легкие самолеты по заказу спортивных организаций, среди них и первые самолеты А. С. Яковлева, именовавшиеся АИР.

В начале тридцатых годов самолеты имели старые формы - бипланную схему и не убирающееся в полете шасси. Обшивка металлических самолетов была гофрированной. В то же время в опытном самолетостроении происходила реорганизация, и на заводе " Авиаработник " были созданы бригады по типам самолетов.

Вначале задание на разработку самолета И-5 было выдано А. Н. Туполеву, а позже его созданием занимались Н. Н. Поликарпов и Д. П. Григорович. Этот самолет в различных модификациях состоял на вооружении почти десять лет, а истребители И-15, И-153, И-16 даже участвовали в боевых действиях начального периода Великой Отечественной войны.

Бригада И. И. Погосского проектировала гидросамолеты, в частности морской дальний разведчик МДР - 3 ( позже ее коллектив возглавлял Г. М. Бериев, который строил самолеты для авиации ВМФ вплоть до семидесятых годов ).

Бригада дальних бомбардировщиков под руководством С. В. Ильюшина несколько позже спроектировала самолет ДБ - 3, а затем широкоизвестный штурмовик ИЛ - 2. Бригада С. А. Корчигина в течение нескольких лет занимались проектированием штурмовика, котрый, правда, не получил применения. Под руководством А. Н. Туполева создавались тяжелые бомбардировщики, в том числе ТБ - 3 - один из лучших и наиболее известных самолетов этого типа.

Конструкторские бюро, руководимые А. И. Путиловым и Р. Л. Бартини, работали над созданием цельнометаллических стальных самолетов.

Успехи, достигнутые в самолетостроении и особенно проектировании двигателей, позволили приступить к созданию самолета рекордной дальности полета АНТ - 25. Этот самолет с двигателем М - 34 Р конструкции А. А. Микулина вошел в историю после выполненных на нем перелетов из Москвы через Северный полюс в США.

К началу сороковых годов в соответствии с постановлением Совета Народных Комиссаров "О реконструкции существующих и строительстве новых самолетных заводов" было введено в эксплуатацию несколько новых авиационных заводов, которые предназначались для выпуска новейших самолетов. В этот же период был объявлен конкурс на лучшую конструкцию самолета - истребителя. Над его созданием работали талантливые инженеры - конструкторы С. А. Лавочкин, В. П. Горбунов, М. И. Гудков, А. И. Микоян, М. И. Гуревич, М. М. Пашинин, В. М. Петляков, Н. Н. Поликарпов, П. О. Сухой, В. К. Таиров, И. Ф. Флоров, В. В. Шевченко, А. С. Яковлев, В. П. Яценко. Все они внесли огромный вклад в развитие не только советской, но и мировой авиации. В итоге конкурса в 1941 г. на вооружение стали поступать самолеты ЛаГГ, МиГ и Як - широкоизвестные истребители периода Великой Отечественной войны.

Слова К. Э. Циолковского о том, что за эрой аэропланов винтовых наступит эра аэропланов реактивных, оказались пророческими. эра реактивных самолетов практически началась в сороковые годы. По инициативе видного советского военачальника М. Н. Тухачевского, являвшегося в то время заместителем Наркома по вооружению, были созданы многие научно - исследовательские учреждения, работавшие в области ракетной техники.

Теоретические разработки и проведенные исследования в конце двадцатых годов позволили вплотную подойти к созданию ракетоплана. Такой планер был пострен Б. И. Черановским для ГИРД, а в 1932 г. планер модифицировали под опытный двигатель одного из основоположников отечественного ракетостроения - инженера Ф. А. Цандера.

В апреле 1935 г. С. П. Королев сообщил о намерении строить крылатую ракету - лабораторию для полетов человека на небольших высотах с использованием воздушно - ракетных двигателей.

Обеспечение максимальной скорости самолета было мечтой каждого конструктора. Проводились попытки снабдить поршневые самлеты реактивными ускорителями. Характерным примером может служить самолет Як - 7 ВРД, под крыло которого подвешивались два прямоточных воздушно - реактивных двигателя. При их включении скорость возрастала на 60- 90 км/ч.

Большая работа проводилась по созданию специального самолета - истребителя с ЖРД, который должен был иметь большие скороподъемность при значительной продолжительности полета.

Однако ни истребители с поршневыми двигателями и установленными на них ускорителями, ни самолеты с ракетными двигателями не нашли применения в практике боевой авиации.

В 1945 г. светская авиация перешагнула рубеж скорости в 825 км/ч после установки на самолеты И - 250 ( Микояна ) и Су - 5 ( Сухого ) мотрно - компрессорного двигателя, сочетавшего осбенности поршневого и реактивного двигателей.

Указанием Государственного Комитета Обороны работа по созданию и постройке реактивных самолетов была поручена Лавочкину, Микояну, Сухому и Яковлеву.

24 апреля 1946 года в один и тот же день взлетели самолеты Як - 15 и МиГ - 9, которые имели в качестве силовых установок турбореактивные двигатели. Позже был построен Ла -160, первый в нашей стране реактивный самолет со стреловидным крылом. Его появление сыграло значительную роль в повышении скоростей исребителей, но до скорости звука было еще далеко.

Второе поколение отечественных реактивных самлетов представляло собой более совершенные, более скоростные, более надежные машины, в их числе Як - 23, Ла - 15 и особенно МиГ - 15, признанный в сое время одним из лучших военных самолетов того времени.

Впервые в СССР скорость звука в полете со снижением была дстигнута в конце 1948 г. на опытном самолете Ла - 176 летчиком О. В. Соколовским. А в 1950 г. уже в горизонтальном полете самолеты МиГ - 17, Як - 50 проходили " звуковой барьер ". В сентябре - ноябре 1952 г. МиГ - 19 развивал скорость в 1,5 раза большую, чем скорость звука и превосходил по главным характеристикам " SUPER-SEIBR", котрый к тому времени являлся основным истребителем ВВС США. Преодолев " звуковой барьер ", авиация продолжала осваивать все большие скорости и высоты полета. Скорость достигла таких значений, при которых для дальнейшего ее увеличения требовались новые решения проблемы устойчивости и управляемости. Кроме того авиация вплотную подошла к " тепловому барьеру ". Проблема теплозащиты самолета требовала безотлагательного решения.

28 мая 1960 г. на самолете Т - 405 генерального конструктора П. О. Сухого летчик Б. Адрианов установил абсолютный мировой рекорд скорости полета - 2092 км/ч по замкнутому маршруту 100 км.

В итге наша авиация получила самолет, способный в течении 30 мин лететь со скоростью примерно 3000 км/ч. Полеты на этих самолетах свидетельствовали о том, что благодаря применению жаропрочных материалов и мощных систем охлаждения проблема "теплового барьера" для этих скорстей полета в основном была решена.

За послевоенные годы в СССР были созданы превосходные пассажирские и транспортные самолеты. Еще в 1956 г. на линиях Аэрофлота началась эксплуатация самолета Ту-104, который впервые в мире начал регулярные пассажирские перевозки. Ил-18, Ту-124, Ту-134, Ан-10 и Як-40 выдвинули в то время наш Гражданский воздушный флот на одно из ведущих мест в мире.

Новые отечественные пассажирские самолеты Ан-24, Ту-154М, Ил-62М и Як-42 осуществляют массовые воздушные перевозки внутри страны и за ее пределами. В конце семидесятых годов был создан сверхзвуковой пассажирский самолет Ту-144. Новый качественный и количественный уровень пассажирских перевозок был достгнут с введением в эксплуатацию самолета - аэробуса Ил-86. Военно-транспортная авиация получила самолеты Ан-22 и Ил-76Т, использующиеся для перевозки грузов военного и гражданского назначения. В 1984 г. началась эксплуатация самолета - гиганта Ан-124"РУСЛАН", а позже Ан-225"МРИЯ".

Вертолеты, которые только после второй мировой войны стали работоспособным и экономически целесообразным транспортным средством, в настоящее время получили широчайшее распространение. Советские авиационные конструкторы создали надежные винтокрылые машины различного назначения - легкие Ми-2 и Ка-26, средние Ми-6 и Ка-32 и тяжелые Ми-26 и другие для военной и гражданской авиации.

Успехи русской авиационной промышленности в деле создания самолетов боевой авиации были продемонстрированы в 1988г. на международной авиационной выставке в Фарнборо ( Англия ), где демонстрировался истребитель МиГ-29 ; этот же самолет, "Буран" и Су-27 демонстрировались в Париже в 1989 г.

До настоящего времени самолеты МиГ-29 и Су-27 являются непревзойденными лидерами в своем классе истребителй. Благодаря своей схеме и совершенству силовых установок, они могут выполнять уникальные фигуры высшего пилотажа, которые недоступны зарубежным аналогам этих истребителей.

Подводя черту подо всем вышесказанным можно сделать вывод, что, несмотря на все трудности и неудачи авиация в нашей стране сделала огоромный шаг в своем развитии. И мне хочется верить, что, благодаря гигантскому интеллектуальному потенциалу, накопленному в России, авиация и в дальнейшем будет развиваться не менее быструми темпами, чем прежде.

"смерд Никитка, боярского сына Лупатова холоп", летал на деревянных крыльях в Александровской слободе и "за сие дружество с нечистою силою" был по приказу Грозного казнен. Приговор будто бы гласил "...человек не птица, крыльев не имать... Аще же приставит себе аки крылья деревянны, противу естества творит. То не божье дело, а от нечистой силы. За сие дружество с нечистою силою отрубить выдумщику голову. Тело окаянного пса смердящего бросить свиньям на съедение. А выдумку, аки диавольскою помощью снаряженную, после божественныя литургии огнем сжечь".

Это одна из первых попыток в России летать, которая была засвидетельствована историками(в данном случае - историками Ивана Грозного). Так, ещё со времён Ивана Грозного наши соотечественники демонстрировали необычные для остального мира качества : изобретательность(я имею в виду умение из ничего сделать что угодно), инстинктивное понимание законов природы. Увы, здесь проявилась ещё одна традиционная российская черта, сохранившаяся до наших дней в России: вечное противопостояние науки и власти. Конечно, вряд ли можно причислить "смерда Никитку" к учёным, ведь перед полётом он в лучшем случае прикинул "на глаз" - полетит ли его аппарат или нет, однако основатели русской воздухоплавательной школы, о которых речь пойдёт ниже, выросли на тех же легендах и сказках, в которых говорилось о возможности человека летать, что и первые российские "воздухоплаватели". И, прежде чем приступить непосредственно к рассказу о создателях русской авиации, я хотел бы рассказать о первых попытках полётов в России.

Русский фольклор насчитывает немало сказок и легенд о фантастических существах и людях, обладающих "дьявольской" силой и умением летать по воздуху. Мысль о возможности летания жила в народе, переходя из поколения в поколение. До нас дошли былины о Тугарине Змеевиче, сказки о Коньке-Горбунке, о Кощее Бессмертном, о ковре-самолете, на котором летал Иван-царевич, о полете Ивана-царевича на сове. Ряд легенд говорит и о реальных попытках создать летающие механизмы и приспособления. Так, сохранилась относящаяся еще в 906 г. легенда о пуске по воздуху на осажденный князем Олегом Царьград каких-то снарядов. Другая легенда говорит о летающем искусственном орле, сделанном во времена Ивана III (1482-1505гг.). Известно сказание о спуске на устройстве, подобном парашюту, поповского сына Симеона и др.

Несомненно, что русские люди пытались летать на самодельных крыльях, причем полеты, по-видимому, преследовали увеселительные цели. В рукописи Даниила Заточкина, относящейся к Х III столетию и хранившейся ранее в Чудовом монастыре. есть указания на полеты людей. Перечисляя народные увеселения славян, Даниил Заточник пишет: "...а иные слетают с церкви или с высокого дома на шелковых крыльях. .. показывая крепость сердец своих..."

Как видно из этой записи, еще в ХIII столетии у славян "иный летает с церкви или с высоки паволочиты крилы", "Паволочиты крилы" - это крылья, сделанные из хорошего византийского шелка, С помощью таких крыльев, возможно, и совершали наши предки своеобразные планирующие спуски. Постройкой крыльев для полета в 1762 н. занимался "колодник расстрига" Федор Мелес. Он был убежден, что "... может человек совершенно подобию птице по воздуху, куда хочет летать". Мелес совершил побег из метрополичьего дома и двое суток мастерил крылья на небольшом островке возле Тобольска, намереваясь обтянуть их мешками из-под хлеба. Наступившие холода заставили прекратить опыты, На допросе Мелес показал, что "...намерен был отсель, из Тобольска, чрез те улететь прямо в Малороссию". Тобльский митрополит Павел, считая, что "диавол. .. показал ему безумный способ к летанию", распорядился "за содеянное безумие Мелесу каждую пятницу на неделе по сорок ударов плетями или лозами отчитывать вместо поклонений земных."

**МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ**

Возможно, такие попытки летать продолжались бы до поголовного истребления "изобретателей от сохи" но в XVIII веке за проблему воздухоплавания взялся основатель первого российского университета, Михаил Васильевич Ломоносов.

Михайло Ломоносов задолго до официально признанных изобретателей геликоптера построил и испытал аппарат в России. Правда, Леонардо да Винчи ещё в 1475 г. писал о возможности построить геликоптер, но Ломоносову эти работы Леонардо, обнародованные только в конце XVIII столетия, не были известны.

Ломоносов обратил внимание на циркуляцию свободного воздуха в шахте в зависимости от наружной температуры и 1 января 1745 г. Ломоносов изложил свои выводы "О вольном движении воздуха, в рудниках примеченном" конференции Академии наук. Это исследование наложило отпечаток и на изобретенный Ломоносовым геликоптер. Лопасти винта геликоптера сильно напоминали лопасти "ветрогонной машины", применявшейся на рудниках.

"Г-н сов. и проф. Ломоносов собранию представил о машинке маленькой, которая бы вверх подымала термометры и другие малые инструменты метеорологические и предложил оной же машины рисунок; того ради г-да заседающие оное его представление опробовали и положили канцелярию Академии наук репортом просить, чтоб соблаговолено было приказать реченную машину по приложенному при сем рисунку для опыта сего изображения сделать под его г-на авторасмотрением мастером Фуциусом. И о вышеописанном ввиду протокола академического собрания репортую марта 4 дня 1754 г."

Под непосредственным руководством Ломоносова и по его чертежам такая машина к июлю 1754 г. была создана и опробована. Это был небольшой геликоптер. В протоколах конференции от 1 июля 1754 г. сохранилось следующее описание этого геликоптера:

"Высокопочтенный советник Ломоносов показал изобретенную им машину, называемую им аэродромической (воздухобежной), которая должна употребляться для того, чтобы с помощью крыльев, движимых горизонтально в различных направлениях силой пружины, какой обычно снабжаются часы, нажимать воздух (отбрасывать его вниз), отчего машина будет подниматься в верхние слои воздуха с той целью, чтобы можно было обследовать условия (состояние) верхнего воздуха посредством метеорологических машин (приборов), присоединенных к этой аэродромической машине. Машина подвешивалась на шнуре, протянутом по двум блокам, и удерживалась в равновесии грузиками, подвешенными с противоположного конца. Как только пружина заводилась, (машина) поднималась в высоту и потому обещала достижение желаемого действия. Но это действие, по суждению изобретателя, еще более увеличится, если будет увеличена сила пружины и если увеличить расстояние между той и другой парой крыльев, а коробка, в которой заложена пружина, будет сделана для уменьшения веса из дерева. Об этом он (изобретатель) обещал позаботиться".

Скорее всего, исследования заняли все время Ломоносова и не дали ему возможности довести до "желаемого конца" постройку геликоптера, но приоритет Ломоносова в этом изобретении несомненен. Изобретателем же геликоптера до сих пор часто называют Пауктона, которому в 1768 г. действительно удалось сконструировать небольшой геликоптер.

Создание Ломоносовым геликоптера так же интересно тем, что даже значительно позднее - в 1782 г. - французская Академия наук (одна из самых элитных в то время) в лице астронома Лаланда признала летание невозможным.

Михаил Васильевич сделал первую в истории практическую попытку применить архимедов винт для воздушного плавания. Нельзя забывать, что винт в то время не был еще известен даже в качестве движетеля для морских судов. Тем значительнее это открытие русского ученого. Оно показывает, что Ломоносов один из первых понял действительные законы сопротивления воздуха и нашел силу, способную поддерживать и продвигать аппарат в полете. Так же интересно и то, что Ломоносов, очевидно, стремясь уничтожить реактивный момент, предусмотрел в своем геликоптере два винта, вращающихся в противоположные стороны.

Ломоносов, разрабатывая основы метеорологии (существование которой также необходимо для нормального развития авиации) одновременно с этим разработал основы аэродинамики, возникшей как наука только в конце XIX столетия.

Следующим из русских учёных, серьёзно занимающихся проблемой поднятия человека в воздух с помощью геликоптерного винта был Михаил Александрович Рыкачёв.

**МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ РЫКАЧЁВ**

Михаил Александрович Рыкачев, моряк по профессии, впоследствии академик и директор Главной физической обсерватории, заинтересовался проблемой летания в конце 60-х годов прошлого столетия. В 1868 г. Рыкачев поднимался на воздушном шаре для метеорологических наблюдений. В 1871 г. в "Московском сборнике" была опубликована его статья "Первые опыты над подъемной силой винта. вращаемого в воздухе”. Предпринятые исследования для определения мощности, необходимой для вращения винта определенных размеров, и веса груза, который можно поднять на воздух с помощью такого винта, Рыкачев проводил для того, чтобы построить геликоптер, на котором можно было бы, изменяя наклон оси винта, передвигаться в воздухе в желаемом направлении. Михаил Александрович тщательно проанализировал все проведенные до него опыты и расчеты, касающиеся сопротивления воздуха и воды. Он правильно отметил противоречие в коэффициентах Понселе и Дюшмена, установивших разные данные для неподвижной пластинки в текущей воде и для пластинки, двигающейся в воде с известной скоростью, свои опыты Рыкачев проводил с помощью специально сконструированного им прибора.

Прибор этот состоял из весов Роберваля, на одной чашке которых был установлен четырехлопастный винт, который приводился во вращение падающей гирей или часовыми пружинами. Движение передавалось на вал винта с помощью зубчатых колес. На другой чашке весов находилась гиря, уравновешивавшая прибор при неподвижных лопастях винта. Лопасти винта, имевшие форму трапеции, каждая площадь 2,8 кв.фута (0,26 мІ), могли быть установлены под разными углами к горизонту.

Результаты опытов, проведенных с 29 ноября 1870 г. по 14 марта 1871 г.. были сведены Рыкачевым в таблицы.

Рыкачев не ограничивался научно-исследовательской работой. Он был одним из инициаторов создания VII воздухоплавательного отдела Русского технического общества и первым председателем этого общества (1881-1884 гг.)

По инициативе Михаила Александровича русские воздухоплаватели в содружестве с учеными других стран приняли участие в международных наблюдениях за движением облаков (проводившихся в 1896-1897 гг.), позволивших сделать ряд интересных заключений. Рыкачевым в 1898 г. были осуществлены подъемы змеев с анемографом собственной конструкции. Михаил Александрович совместно с Валеном вычислил также средние температуры зимних месяцев для Европейсокй России.

Рыкачёв поддерживал в России интерес к научному воздухоплаванию. Еще в 1868 и 1873 гг. он совершал полеты на свободном аэростате, во время которых произвел ряд ценных метеорологических наблюдений. Благодаря его содействию в качестве директора Главной физической обсерватории многие из физиков обсерватории - В.В. Кузнецов, С.И.Савинов, Д.А.Смирнов и др. - принимали участие в полетах, организованных Международной ученой воздухоплавательной комиссией.

Как и Ломоносов, Рыкачёв одновременно занимался и проблемой поднятия человека в воздух, и проблемой исследования атмосферы, наверняка представляя неотделимость этих наук. Однако если Ломоносов пытался построить летательный аппарат для изучения свойств атмосферы, то Рыкачёв уже больше склонялся к мысли о том, что метеорология должна быть поставлена на службу авиации, "...вовремя предупреждая воздухоплавателей о возможности или невозможности полётов...".

Почти одновременно с Рыкачёвым проблемой воздухоплавания занимался и Дмитрий Иванович Менделеев, автор знаменитой "Периодической системы химических элементов".

**ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ МЕНДЕЛЕЕВ**

Начавшееся после Крымской войны и падения Севастополя перевооружение русской артиллерии, в частности, переход на нарезные и стальные дула орудий, а позже применение бездымного пороха остро поставили задачу изучения упругости газов. Менделеев, изучая по заданию Главного инженерного управления эту проблему, столкнулся с двумя сторонами вопроса. С одной стороны, в условиях высоких давлений газ должен быть близок к "предельному объему", с другой, - при незначительной плотности газа "... можно ждать уничтожения его упругости, т.е. прекращения в дальнейшем расширения. Тогда должно будет признать существование реальной границы для земной атмосферы", - писал Менделеев.

Считая вопрос "О сжимаемости газов при столь малых давлениях, какие только можно измерять" весьма важным и требующим разработки, Дмитрий Иванович невольно должен был заинтересоваться строением верхних слоев атмосферы. Он тщательно изучает работы в этой области знаменитого английского физика Глешера, неоднократно поднимавшегося на воздушном шаре с научными целями. Позже Дмитрий Иванович писал: "Меня так заняла гордая мысль подняться выше знаменитого англичанина и постичь закон наслоения воздуха при нормальном состоянии атмосферы, что временно я оставил все другие занятия и стал изучасть аэростатику". В статьях, опубликованных в отчетах французской Академии наук, разбирая вопрос о закономерности изменения температуры в атмосфере, Менделеев подчеркивает необходимость опытной проверки своих положений с помощью аэростата, который может подняться в верхние слои атмосферы.. Он разрабатывает и проект аэростата, "... допускающего возможность безопасно оставаться на больших высотах в атмосфере". В своем сообщении Химическому и физическому обществу при Петербургском университете он высказывает возможность "... прикреплять к аэростату герметически закрытый оплетенный упругий прибор для помещения наблюдателя, который тогда будет обеспечен сжатым воздухом и может безопасно для себя делать определения и управлять шаром". К этой мысли Д.И.Менделеев возвращается и в 1873 г., утверждая, что с помощью таких аэростатов можно "... изучать условия верхних слоев атмосферы, где надобно искать зародыш всех погодных изменений, в атмосфере совершающихся".

Таким образом, Менделеев еще в 1875 г. обосновал принцип создания стратостата с герметически закрытой кабиной, осуществленный лишь спустя полстолетия. Менделеев как бы продолжал работы М.В.Ломоносова по изучению высших слоев атмосферы. В 1875 г. ( исходя из опыта французского воздухоплавателя Дюпюи де Лома,с работами которого он был знаком) Менделеев составил эскиз управляемого аэростата и сделал необходимые расчеты.

Великий ученый мечтал собрать необходимые для постройки аэростата средства за счет продажи издаваемых им книг. В 1876 г., издавая под своей редакцией книгу немецкого ученого Мона "Метеорология или учение о погоде", Менделеев пишет в предисловии: "Издавая предлагаемое сочинение, я имею в виду приобрести через продажу и распространение его средства, необходимые для устройства аэростата, назначаемого для восхождения в верхние слои атмосферы". Единственной страной, имевшей опыт постройки аэростатов, была в эти годы Франция. Менделеев решает отправиться за границу для изучения этого вопроса. Он обращается в военно-морское министерство с письмом следующего содержания:

"...Воздухоплавание бывает и будет двух родов: одно в аэростатах, другое в аэродинамах.

Первые легче воздуха и всплывают в нем. Вторые тяжелее его и тонут. Так, рыба, недвижимая и мертвая, всплывает на воду, а птица тонет в воздухе. Подражать первой уже умеют в размерах, годных для практики. Подражение второй - еще в зародыше, в размерах, негодных в жизни людей, подобных полету бабочки, детской игрушке. Но этот род воздухоплавания обещает наибольшую будущность, дешевизну (в аэростатах дорогие оболочки и газ) и, так сказать, указывается самой природой, потому что птица тяжелее воздуха и есть аэродинам.

В изложении временного состояния дела и ведении опытов необходимо преследовать оба рода воздухоплавания, так сказать, в равной мере, потому что по тому и другому еще предстоит много неясного, и в будущей истории воздухоплавания важнейшее место займут не счастливых комбинаций догадки, а строго последованные опыты, от которых можно ждать решения практических задач. Хотя оба рода воздухоплавания одинаково заслуживают исследователя, но для практической потребности, какова, например, военная, только одни аэростаты обещают дать скорый и возможный результат, тем более, что весь вопрос с теоретической стороны в главных чертах здесь окончательно ясен. А потому прежде всего должно обратиться в практике к опытам в большом виде, над хорошо обдуманным управляемым аэростатом. Не задаваясь чем-либо невозможным или мечтательным, я думая и хорошо убежден, что большим аэростатом управлять возможно в такой же мере, как кораблем. У меня есть давно начатый проект такого аэростата. На днях я его сличил вновь с основными данными тех аэростатов, которые уже выполняли задачу, и, по исправлении некоторых подробностей, думаю, что мой проект представит некоторые немаловажные преимущества. Но я не изобретатель. А потому мое содействие делу должно состоять не в том, чтобы проводить свой проект прямо в практику и настаивать на его совершенстве, а в том: 1) чтобы ближе узнать практику дела и сообразно ей ввести в проект дальнейшие улучшения; 2) чтобы сделать недостающие, предварительные опыты, необходимые для рационального выполнения проекта; 3) чтобы предварительно не секретничать, а все изложить в подробностях, необходимо дать нечто зрелое, не одну основную идею. Вот это мне и желательно. Итак, задача: направлять аэростат, как корабль, к целям практической надобности - по моему разумению разрешима. Если заняться делом аэростатики, надо будет отложить те дела, для которых я командируешь от Университета, и необходимо сделать немало новых расходов: побывать в Англии, войти в сношение с многими лицами, на что мои заграничные связи дадут мне, полагаю, возможность; надо будет закупить новые книги, приборы и т.п.

В результате моей поездки должно быть два дела: а) выполнение проекта управляемого аэростата с изложением оснований с чертежами. Этот проект должен быть представлен мне для выполнения или опубликован во всей его подробности (если не пожелают почему-либо ни выполнять, ни публиковать, то я это право ударживаю за собой).

Кроме проекта моего аэростата, я предлагаю как результат своей поездки статью, выражающую общее современное состояние вопроса о воздухоплавании. Поездка с этой целью, имеющейся уже у меня материал и, то, что всего важнее, те связи с иностранными учеными, которые дают мне мои прежние труды, позволяют мне надеяться на то, что я могу лучше, чем многие другие, получить хорошие сведения, относящиеся до этого дела. Я предполагаю избежать истории (она изложена в куче книг), приключений и подробностей, касающихся аэростатов и аэродинамов, а хочу ограничиться описанием краткой теории дела (с указанием источников для подробностей), описанием опытов над сопротивлением воздуха, систематическим изложением результатов сделанных полетов, опытами над новыми приборами для воздухоплавания, проектами, как более самостоятельным и критическим сводом, относящимся ко всему изложенному, чтобы перейти затем к своему проекту".

В архиве сохранилась докладная записка Главного инженерного управления военному министерству " О действиях г.Менделеева". В этой записке военный инженер Недзеловский докладывал о просьбе Менделеева выделить ему 12 450 рублей на предварительные опыты, издание книги и на заказ двигателя для большого аэростата и моделей.Хотя управляющий морским министерством согласился с тем,что : "...профессор Менделеев. ..более кого-либо другого способен выполнить принимаемое им на себя дело",повторилась старая история : Менделееву дали только треть необходимых средств.. Этих денег хватило только на издание книги.

В 1887 г. Д.И.Менделлев был избран академиком Петербургской Академии наук. Менделеев продолжает свою научную работу над проблемой воздухоплавания. В 1887 г. великий ученый поднялся один на воздушном шаре до высоты 3350 м для наблюдения солнечного затмения; свой полет и сделанные наблюдения он подробно описал в статье "Воздушный полет из Клина во время затмения", опубликованный в № 11 "Северного вестника" за тот же год.

Этот полет, организованный военными воздухоплавателями, показал вместе с тем и крайне низкий уровень воздухоплавательной техники того времени. Аэростат, рассчитанный на подъем двух человек, мог поднять лишь одного, главным образом потому, что газ смешивался с воздухом при поступлении в оболочку. Крайне сложна была и техника наполнения шара водородом.

На основании опыта своего полета на воздушном шаре в Клину Менделеев предлагает для наполнения аэростатов газом применить особые подушки со сжатым водородом. Из письма видно, что Дмитрий Иванович пришел к мысли о таком способе наполнения аэростата еще в 1879 г. и обсуждал это в Париже с Дюпюи де Ломом. Менделеев заканчивает письмо следующими словами: "Я охотно готов содействовать успеху нашей военной аэронавтики; когда угодно, хотя для испытания чего-либо готов и полететь, с удовольствием поделюсь мнением и советом, только избавьте от комиссий".

На отпущенные ему 2500 руб. Менделеев организовал в своей лаборатории опыты по наполнению аэростатов с помощью специальных баллонов для водорода, изучая также и возможность добывать водород более совершенными способами. Проведенное исследование позволило прийти к выводу о возможности сохранять водород с помощью "цилиндрических вместилищ для сжатого водорода" под давлением 100-120 ат.

В августе 1888 г. в Англии начали применять для хранения газа специальные стальные трубы Норденфельда. Главное инженерное управление по справке по этому вопросу писало:

"На воздухоплавательном полигоне на Волковом Поле имеются доставленные из Англии стальные трубы Норденфельда, служащие для хранения и перевозки водорода, сжатого до 120 ат, а потому было бы полезно с помощью параллельных опытов сравнить эти трубы с вместилищами, предложенными профессором Менделеевым для этой же цели, причем желательно, чтобы означенные опыты производились в присутствии председателя и членов Комиссии по применению воздухоплавания к военным целям".

Надо сказать, что предложенный Менделеевым способ сохранения водорода в баллонах под давлением 120-200 ат широко принят современной техникой. Приоритет же Менделеева в этом открытии, несомненно, доказывают публикуемые документы.

Характерно, что Менделеева поддержал другой русский ученый - профессор Лачинов, который предложил для электролиза водорода батарею своей системы.

В случае осуществления предложений этих ученых Россия имела бы необходимые приборы для добывания и сохранения водорода. К сожалению, военное ведомство и на сей раз обошло молчанием эти предложения.

Дмитрий Иванович не ограничивался изучением аэродинамики. Он верил в конечную победу аэропланов, считая, что они имеют "наибольшую будущность". Менделеев внимательно изучает структуру птичьего крыла и делает наброски его остова. В январе 1877 г. в качестве члена предварительной комиссии он участвует в рассмотрении предложенного А.Ф.Можайским аэроплана и в мае 1877 г. дает заключение военному министерству о летательном аппарате доктора Арендта. (В приложении 4 приведено это заключение) В 1895 г. Дмитрий Иванович заинтересовался опытами с летающими моделями В.В.Котова и даже написал предисловие к его книге. К сожалению, эта книга так и не вышла в свет.

Д.И.Менделеев был глубоко убежден, что изобретение летательного снаряда "составит эпоху, с которой начнется новейшая история образованности".

К сожалению, дальнейшие разработки "летающего снаряда" привели к созданию ракет, используемых на поле боя. Да и дальнейшее развитие авиации свелось в основном к разработке военных самолётов, аэростатов, воздушных шаров, а в последствии и вертолётов.Возможно, это произошло из-за приближении первой мировой войны, а может быть из-за чего-то другого.Однако факт остаётся фактом: все воздухоплавательные средства имели военную основу ( забегая вперёд: ТУ -104 переделан из бомбардировщика - ракетоносца Ту-16).Поначалу воздухоплавательные аппараты использовались для наблюдения,а потом некоторые из лётчиков обнаружили, что предмет, брошенный с большой высоты может причинить сильные повреждения из-за развиваемой скорости.Также интерестны воспоминания командующих о том, что:". ..некоторые пилоты обстреливают пилотов вражеских самолетов из личного оружия, а иные для этой цели даже берут с собой карабины или гранаты. Последние употребляются для сброса на позиции неприятеля...".

Итак, первая мировая война дала мощный толчок развитию авиации и, естественно, это не могло не отразиться на направлении работы учёных воюющих государств.Как писал академик Б. Н. Юрьев: "Война с первых же дней указала на огромное значение авиации, и царское правительство вынуждено было начать организацию авиационной науки. Однако делалось это из рук вон плохо, денег на науку по-прежнему не давали, людей вернуть с фронтов также не удалось". Достойно удивления, что в этих условиях русские учёные сумели добиться серьёзных успехов в развитии авиационной науки. Центром авиационной мысли в России в годы первой мировой войны было Московское высшее техническое училище (МВТУ), где работал один из лучших учёных своего времени - Н.Е.Жуковский.

**НИКОЛАЙ ЕГОРОВИЧ ЖУКОВСКИЙ**

Отец русской авиации, Николай Егорович Жуковский, родился 5 (17) января 1847 г. в семье инженера путей сообщения Егора Ивановича Жуковского.

В 1876 г. Николай Егорович впервые получил возможность поехать за границу для того, чтобы познакомиться с выдающимися французскими и немецкими учеными. Во Франции Жуковский встречался с Дарбу и Резалем, в Германии - с Гельмгольцем и Кирхгоффом.

В 1879 г. Жуковский получил место профессора на кафедре аналитической механики в Московском высшем техническом училище. В 1882 г. он защитил докторскую диссертацию на тему: “О прочности движения".

Начиная с 1886 г. Жуковский читает в Московском университете курс гидроаэродинамики.

Проблемы летания заинтересовали Николая Егоровича еще в юности. В 1877 г. в Париже Жуковский познакомился с французскими исследователями, работавшими над созданием летательных аппаратов тяжелее воздуха и изучавшими полет птиц.Из этой поездки Николай Егорович привез много летающих моделей, которые демонстрировал на своих лекциях и докладах.

Вспоминая об этом периоде, Жуковский пишет: "При кабинете прикладной механики уже с 1889 г. проводились исследования по различным вопросам воздухоплавания - испытывались различные модели летательных машин и строились небольшие аэродинамические аппараты". Жуковский привез из-за границы и велосипед с громадным передним колесом, изобретенный французом Мишо. Николай Егорович разъезжал на этом велосипеде, укрепив за плечами большие крылья из ткани. Этими экспериментами он старался определить подъемную силу крыльев и изменения как величины этой силы, так и точки ее приложения (центр парусности).

Дальнейшие поездки за границу и знакомство с Отто Лилиенталем, знаменитым немецким планеристом, книга которого "Полет птиц, как основа искусства летания" стала для Жуковского настольной книгой, все больше и больше втягивали Николая Егоровича в изучение проблемы летания.

Жуковский вместе с тем правильно указал на значение восходящих потоков воздуха, так искусно используемых птицами. Он пишет:" Если на некоторой высоте над землей плывут громадные вихри с горизонтальными осями, то птица, забравшись с той стороны вихря, с которой имеется восходящий поток воздуха, и следя за движением вихря, может некоторое время оставаться в восходящем потоке и описывать благодаря ему в движении относительно некоторых подвижных осей горизонтальные круги".

Все это говорило о том, что Жуковский уже ясно представлял себе принципы полета аэроплана. Труд "О парении птиц" явился зрелой работой, в которой было критически оценено все сделанное за границей и в России в области теории летания. Здесь проявляется замечательная особенность Жуковского - не двигаться вперед, пока не изучено все главное, что сделано другими для решения рассматриваемой проблемы. Жуковский внимательно следит за успехами летания в Европе, ему хорошо знакомы работы Адера, Филиппса, Максима, сконструировавших летательные аппараты.

Жуковский, продолжая упорно работать над проблемой летания, опубликовал в 1897 г. статью "О наивыгоднейшем угле наклона аэропланов". В этой статье он пересмотрел выводы Джевецкого, относящиеся к данному вопросу, и определил оптимальный угол атаки крыла аэроплана.

Год спустя Николай Егорович подробно разобрал орнитоптерную теорию полета и на основании проведенных опытов (им была сконструирована специальная модель) отметил, что колеблющаяся пластинка получает сопротивление, в десять раз большее, "...нежели пластинка, движущаяся поступательным равномерным движением с той же средней скоростью". Опыт показал, что если быстро перевести пластинку из покоя в движение, то "... на каждый метр скорости и квадратный метр площади пластинки приходится 80 кг сопротивления воздуха".

Жуковский указывает, с одной стороны, на постепенное уменьшение массы двигателей, с другой, - правильно подчеркивает значение поступательной скорости для летательной машины. Он говорит: "Двигаясь под малым углом к горизонту с большой горизонтальной скоростью, наклонная плоскость сообщает громадному количеству последовательно прилегающего к ней воздуха малую скорость вниз и тем развивает большую подъемную силу вверх при незначительной затрате работы на горизонтальное перемещение".

Анализируя достигнутые успехи, Николай Егорович особое значение придает планеризму, заявляя, что "... проще прибавить двигатель к хорошо изученной скользящей летательной машине, нежели сесть на машину, которая никогда не летала с человеком".

В 1902 году Жуковский построил в Московском университете (МВТУ) аэродинамическую трубу квадратного сечения размером 75х75 см. Длина трубы 7 м, скорость потока 9 м/с. В университетской же лаборатории был установлен сконструированный Николаем Егоровичем прибор для испытания винтов без поступательной скорости. Аэродинамическая трубка Жуковского была одной из первых в Европе.

С помощью этих аппаратов Николай Егорович провел вместе со своими учениками ряд интересных исследований, в частности, о центре парусности, о вращении в потоке воздуха пластинок, ось которых перпендикулярна потоку, а также проверил законы Вельнера и Ренара для геликоптерного винта. Эти исследования позже позволили Жуковскому предложить весьма рациональный профиль (дужку) крыла с высокими аэродинамическими качествами. Этот профиль известен до сих пор во всем мире под названием "профиля Жуковского ". В 1904 году Н.Е. Жуковский "...нашёл источник поддерживающей планы силы...", - как пишет один из его коллег - ". ..безусловно, его открытия ведут к созданию аэродинамики...".

Николай Егорович сделал также немалый вклад и в развитие военной авиации.Под его руководством велись работы по созданию авиабомб большого калибра, в 1916 году он основал новую науку -аэробаллистику, опубликовав свою работу "Бомбометание с самолётов".В этой работе он научно обосновал полёт авиабомбы и его особенности, указал возможные типы бомбардировочных прицелов. Жуковский за свою жизнь написал : по теоретической механике(включая астрономические и математические задачи) - 40 печатных работ,по прикладной механике - 23, гидравлике и гидродинамике - 40, аэродинамике - 22, воздухоплавания - 21. Кроме всего вышеперечисленного, Николай Егорович помогал другим авиаконструкторам в разработке новых аппаратов и усовершенствовании старых. В качестве эксперта давал заключения о пригодности или непригодности к использованию летательных аппаратов, проверял модели строящихся самолётов в аэродинамических трубах и так далее.В общем, Николай Егорович принес наибольшую практическую пользу России и его труды вполне оправдывают звание "отца русской авиации".

Русские учёные не были только теоретиками.Перечисление всех проектов русских конструкторов - это тема для отдельного реферата, но нельзя не рассказать о гордости русской авиации - самолётах "Русский витязь" и "Святогор", которые в то время не имели аналогов.

Самолёт "Русский витязь" был cконструирован И. И. Сикорским, причём проект этого аэроплана Сикорский обдумывал ещё в 1911 году, когда ни один самолёт не поднимал груза больше 635 кг (рекорд грузоподъёмности на 1911 год принадлежал французскому лётчику Дюси, пролетевшему 800 метров с грузом 600 кг). Аэроплану предрекали полный провал, однако 13 мая 1913 года были успешно проведены первые испытания "Русского витязя". Как рассказывали очевидцы: " Самолёт легко оторвался от земли, и, совершив несколько больших кругов, плавно опустился у ангара, при бурном ликовании собравшихся зрителей...". За границей долго не хотели верить сообщениям о полёте "Русского витязя", считая эти сообщении газетной уткой. Это неверие вполне естественно для того времени,

ведь считалось,что самолёт, подобный "Русскому витязю" полететь не мог.

"Русский витязь" представлял собой четырёхмоторный многостоечный биплан, нижнее крыло которого было короче верхнего. Общая площадь несущих поверхностей составляла 120 мі (верхнее крыло 66 м І и нижнее крыло 54 м І). Размах верхнего крыла составлял 27 м, а нижнего - 20 м. Штурвальное управление было дублировано.Общая масса "Русского витязя " без нагрузки равнялась 3500 кг, а полезная нагрузка составляла 1440 кг. Крылья двухлонжеронной конструкции были прямоугольной формы и имели глубину 2,5 м, причём расстояние между крыльями также равнялось 2,5 м.

Опасения за устойчивость такого самолёта заставили сделать его достаточно длинным (20 м ). Фюзеляж представлял собой деревянную ферму прямоугольного сечения, обшитую снаружи фанерными листами. В фюзеляже была расположена капитанская рубка (с двойным рулевым управлением), две пассажирские каюты и помещение для запасных частей и инструмента. Перед капитанской рубкой вперёд выдавалась площадка для прожектора и пулемёта. Поперечная остойчивость обеспечивалась элеронами на верхних крыльях. В движение самолёт приводили четыре двигателя "Аргус", установленные попарно в тандем ( самолёт был спроектирован как двухмоторный ).

Самолёт оказался достаточно устойчивым в полёте. После первых полётов (10 - 27 мая 1913 года ) было установлено, что по кабине можно вполне свободно ходить, причём это не отражалось на устойчивости. "Русский витязь" отделялся от земли после пробега в 700 метров и развивал скорость в 90 км/ч.

Еще одним шедевром самолётостроения того времени был самолёт "Святогор", построенный вскоре после "Ильи Муромца" (которого я не касаюсь, так как он достаточно известен ). Этот двухмоторный биплан был спроектирован Василием Андриановичем Слесарёвым и был самым большим самолетом в мире. Его запроектированные размеры и расчетные данные были следующие: площадь крыльев 180 м І, площадь хвостогого оперения 20 м І, размах верхнего крыла 36 м, угол установки крыльев 4,5°, длина самолёта 21 м, полётная масса 6500 кг, причём нагрузка составляла около 50 % полётной массы, продолжительность полёта 30 ч, высота полёта 2500 м, скорость свыше 100 км/ч, общая мощность моторов 440 л. с.

Форма крыльев, по очертаниям напоминавших крылья стрижа, использование обтекаемых наружных стоек, тщательное сглаживание выступов говорили об огромной исследовательской работе, проделанной изобретателем.

Святогор был гораздо совершеннее "Ильи Муромца" и других самолётов того времени. Чего стоило хотя бы нововведение Слесарёва: двигатели помещались в корпусе, близко к центру тяжести и приводили винты в движение с помощью тросовой передачи.

Предыдущие исследования Слесарёва в области аэродинамики и его сотрудничество при создании тяжёлых самолётов типа "Илья Муромец" создали ему авторитет, достаточный для признания его проекта. Тем не менее выполнимость такого проекта вызывала сомнения и проект Слесарёва был предоставлен на рассмотрение технической комиссии особого комитета Воздухоплавательного отдела. Расчёт и обоснование проекта были признаны убедительными; комитет единогласно признал, что проект осуществим, и рекомендовал приступить к постройке самолёта.

Предварительные переговоры позволили установить срок постройки в 3 месяца, причём стоимость равнялась 100 000 рублей. Кстати, правительство и на этот раз отказалось финансировать проект, и эту обязанность взял на себя богатый польский помещик М. Э. Малынский. Заказ на постройку самолёта был передан заводу Лебедева в Петербурге.

К 22 июня 1915 года "Святогор" был собран, но война 1914 года сильно осложнила положение конструктора.Во-первых, Слесарёв лишился возможности купить двигатели "Мерседес", а установка двигателей "Рено" ( и то полученных только в 1916 ) перетяжелила самолёт. Во-вторых, по требованиям военных, Слесарёв должен был обеспечить десятикратную прочность всех ответственных деталей (зачем это понадобилось? "Святогор" и так обладал достаточной прочностью - он изначально предназначался для военных целей) что ещё больше перетяжелило самолет, а так же вызвало смещение центра тяжести.

К этим проблемам добавилось отсутствие средств и нежелание военной комиссии финансировать эти работы. Мнение профессора Н. Л. Кирпичёва, председателя комиссии: "...при мощности двигателей в 440 л. с. аэроплан мог бы обладать общей грузоподъёмностью в 6500 кг при скорости около 60 км/ч, однако для этого он должен был бы иметь поддерживающие поверхности площадью не менее 440 м І...". Соответственным было и решение комиссии: "...затрата на достройку этого аппарата даже самой ничтожной суммы является недопустимой...". Однако конфликт между комиссиями привел к тому, что на проект Слесарёва обратил внимание Н. Е. Жуковский. Самолет был тщательнейшим образом проверен в лабораториях, также был сделан расчет прочности основных элементов. Кроме того, впервые в России был проведён полный аэродинамический расчёт самолёта. На основании проведенных исследований и расчетов комиссия под председательством Жуковского 11 мая 1916 года "единогласно пришла к выводу, что полет аэроплана Слесарёва при полной нагрузке в 6,5 т и при скорости в 114 км/ч является возможным, а посему окончание постройки аппарата Слесарёва является желательным".

В марте 1916 года состоялись первые испытания аэроплана. "Святогор пробежал по земле около 200 м, как поломались некоторые детали правого двигателя и обнаружились неполадки в передаточном механизме. По мере устранения одних недоделок стали обнаруживаться другие. Они не порочили саму конструкцию самолёта, а являлись следствием доделки самолёта в кустарной мастерской Слесарёва, где не могли изготовить детали с достаточно большим запасом прочности. То разлетался вентилятор, то ломался вал, то разваливалось колесо.

Слесарёв вынужден был переделывать всю трансмиссию из - за непригодности шарниров Гука.Но переделка трансмиссии затянулась и самолет не был испытан до 1917 года.

В 1922 - 1923 годах была сделана попытка достроить и испытать этот самолёт. Слесарёва уговаривали отказаться от централизованных моторных установок и установить на крылья два двигателя "Либерти" мощностью по 400 л. с. Работы по восстановлению "Святогора" были прерваны смертью Слесарёва.

**КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ ЦИОЛКОВСКИЙ**

Рассказывая о работах русских изобретателей нельзя не рассказать о работах Константина Эдуардовича Циолковского.Его труды охватывали все горизонты авиации: от дирижаблей до космических кораблей, и тем не менее признание он получил только после революции, как и Слесарёв.Как и подавляющее большинство людей, опередивших свое время, Циолковский остался непонятым своими современниками, тем не менее его работы вспоминают и сейчас, так как только в наше время появились возможности для воплощения его проектов в реальные аппараты (такая же история произошла в своё время с Леонардо да Винчи : спроектировав экскаватор, да Винчи оставил свой проект без двигателя - паровой двигатель изобрели гораздо позже).

Константин Эдуардович Циолковский родился 5 (17) сентября 1857 года в селе Ижевское (сейчас - Спасский район Рязанской области). Родившись в семье лесничего и не получив никакого специального образования, он тем не менее успешно защитил диплом на звание учителя. Свою работу учителем он совмещал с научной деятельностью. Также Циолковский писал рассказы, которые являлись дополнением к его исследованиям.

Например его произведения "На луне", "Изменение относительной тяжесть на Земле", "Вне Земли" и "Грёзы о Земле и небе..." представляют собой сплав популярных сведений о физических законах, научно- технического предвидения и утопии. Тем не менее в произведениях такого необычного жанра Константин Эдуардович сумел правильно предсказать некоторые явления(например, невесомость).

Большинство научно-фантастических рассказов Циолковского были опубликованы ещё в 1887-1906 годах, однако действительно ценные научные труды Циолковского получили признание только после революции(приблизительно в 1920 году).

**Начало внедрения реактивной**

**техники**

**1. Введение**

История авиации характеризуется непрекращающейся борьбой за повышение скорости полета самолетов. Первый официально зарегистрированный мировой рекорд скорости, установленный в 1906 году, составлял всего 41,3 километра в час. К 1910 году скорость лучших самолетов возросла до 110 километров в час. Построенный на Русско-Балтийском заводе еще в начальный период первой мировой войны самолет-истребитель РБВЗ-16 обладал максимальной скоростью полета – 153 километра в час. А к началу второй мировой войны уже не отдельные машины – тысячи самолетов летали со скоростями, превышавшими 500 километров в час.

Из механики известно, что мощность, необходимая для обеспечения движения самолета, равна произведению силы тяги на его скорость. Таким образом, мощность растет пропорционально кубу скорости. Следовательно, чтобы увеличить скорость полета винтомоторного самолета в два раза необходимо повысить мощность его двигателей в восемь раз. Это ведет к возрастанию веса силовой установки и к значительному увеличению расхода горючего. Как показывают расчеты, для удвоения скорости самолета, ведущего к увеличению его веса и размеров, нужно повысить мощность поршневого двигателя в 15-20 раз.

Но начиная со скорости полета 700-800 километров в час и по мере приближения ее к скорости звука сопротивление воздуха увеличивается еще более резко. Кроме того, коэффициент полезного действия воздушного винта достаточно высок лишь при скоростях полета, не превышающих 700-800 километров в час. С дальнейшим ростом скорости он резко снижается. Поэтому, несмотря на все старания авиаконструкторов, даже у лучших самолетов-истребителей с поршневыми моторами мощностью 2500-3000 лошадиных сил максимальная скорость горизонтального полета не превышала 800 километров в час.

Как видим, для освоения больших высот и дальнейшего увеличения скорости был нужен новый авиационный двигатель, тяга и мощность которого с увеличением скорости полета не падали бы, а возрастали.

И такой двигатель был создан. Это – авиационный реактивный двигатель. Он был значительно мощнее и легче громоздких винтомоторных установок. Использование этого двигателя в конце концов позволило авиации перешагнуть звуковой барьер.

**2. Принцип работы и классификация реактивных двигателей.**

Чтобы понять принцип работы реактивного двигателя, вспомним, что происходит при выстреле из любого огнестрельного оружия. Каждому, кто стрелял из ружья или пистолета, известно действие отдачи. В момент выстрела пороховые газы с огромной силой равномерно давят во все стороны. Внутренние стенки ствола, дно пули или снаряда и дно гильзы, удерживаемой затвором, испытывают это давление.

Силы давления на стенки ствола взаимно уравновешиваются. Давление пороховых газов на пулю (снаряд) выбрасывает ее из винтовки (орудия), а давление газов на дно гильзы и является причиной отдачи.

Отдачу легко сделать и источником непрерывного движения. Вообразим себе, например, что мы поставили на легкую тележку станковый пехотный пулемет. Тогда при непрекращающейся стрельбе из пулемета она покатится под влиянием толчков отдачи в сторону, противоположную направлению стрельбы.

На таком принципе и основано действие реактивного двигателя. Источником движения в реактивном двигателе служит реакция или отдача газовой струи.

В закрытом сосуде находится сжатый газ. Давление газа равномерно распределяется на стенки сосуда, который при этом остается неподвижным. Но если удалить одну из торцовых стенок сосуда, то сжатый газ, стремясь расшириться, начнет быстро вытекать из отверстия наружу.

Давление газа на противоположную по отношению к отверстию стенку уже не будет уравновешиваться, и сосуд, если он не закреплен, начнет двигаться. Важно отметить, что чем больше давление газа, тем больше скорость его истечения, и тем быстрее будет двигаться сосуд.

Для работы реактивного двигателя достаточно сжигать в резервуаре порох или иное горючее вещество. Тогда избыточное давление в сосуде вынудит газы непрерывно вытекать в виде струи продуктов сгорания в атмосферу со скоростью тем большей, чем выше давление внутри самого резервуара и чем меньше давление снаружи. Истечение газов из сосуда происходит под влиянием силы давления, совпадающей с направлением выходящей через отверстие струи. Следовательно неизбежно появится и другая сила равной величины и противоположного направления. Она-то и заставит резервуар двигаться. Эта сила носит название силы реактивной тяги.

Все реактивные двигатели можно подразделить на несколько основных классов. Рассмотрим группировку реактивных двигателей по роду используемого в них окислителя.

В первую группу входят реактивные двигатели с собственным окислителем, так называемые ракетные двигатели. Эта группа в свою очередь состоит из двух классов: ПРД – пороховых реактивных двигателей и ЖРД – жидкостных реактивных двигателей.

В пороховых реактивных двигателях топливо одновременно содержит горючее и необходимый для его сгорания окислитель. Простейшим ПРД является хорошо всем известная фейерверочная ракета. В таком двигателе порох сгорает в течение нескольких секунд или даже долей секунды. Развиваемая при этом реактивная тяга довольно значительна. Запас топлива ограничен объемом камеры сгорания.

В конструктивном отношении ПРД исключительно прост. Он может применяться как непродолжительно работающая, но создающая все же достаточно большую силу тяги установка.

В жидкостных реактивных двигателях в состав топлива в состав топлива входит какая-либо горючая жидкость (обычно керосин или спирт) и жидкий кислород или какое-нибудь кислородосодержащее вещество (например, перекись водорода или азотная кислота). Кислород или заменяющее его вещество, необходимое для сжигания горючего, принято называть окислителем. При работе ЖРД горючее и окислитель непрерывно поступают в камеру сгорания; продукты сгорания извергаются наружу через сопло.

Жидкостный и пороховой реактивные двигатели, в отличие от остальных, способны работать в безвоздушном пространстве.

Вторую группу образуют воздушно-реактивные двигатели – ВРД, использующие окислитель из воздуха. Они в свою очередь подразделяются на три класса: прямоточные ВРД (ПВРД), пульсирующие ВРД (ПуВРД), и турбореактивные двигатели (ТРД).

В прямоточном (или бес компрессорном) ВРД горючее сжигается в камере сгорания в атмосферном воздухе, сжатом своим собственным скоростным напором. Сжатие воздуха осуществляется по закону Бернулли. Согласно этому закону, при движении жидкости или газа по расширяющемуся каналу скорость струи уменьшается, что ведет к повышению давления газа или жидкости.

Для этого в ПВРД предусмотрен диффузор – расширяющийся канал, по которому атмосферный воздух попадает в камеру сгорания.

Площадь выходного сечения сопла обычно значительно больше площади входного сечения диффузора. Кроме того по поверхности диффузора давление распределяется иначе и имеет большие значения, чем на стенках сопла. В результате действия всех этих сил возникает реактивная тяга.

КПД прямоточного ВРД при скорости полета 1000 километров в час равен примерно 8-9%. А при увеличении этой скорости в 2 раза КПД в ряде случаев может достигнуть 30% - выше, чем у поршневого авиадвигателя. Но надо заметить, что ПВРД обладает существенным недостатком: такой двигатель не дает тяги на месте и не может, следовательно, обеспечить самостоятельный взлет самолета.

Сложнее устроен турбореактивный двигатель (ТРД). В полете встречный воздух проходит через переднее входное отверстие к компрессору и сжимается в несколько раз. Сжатый компрессором воздух попадает в камеру сгорания, куда впрыскивается жидкое горючее (обычно керосин); образующиеся при сгорании этой смеси газы подаются к лопаткам газовой турбины.

Диск турбины закреплен на одном валу с колесом компрессора, поэтому горячие газы, проходящие через турбину, приводят ее во вращение вместе с компрессором. Из турбины газы попадают в сопло. Здесь давление их падает, а скорость возрастает. Выходящая из двигателя газовая струя создает реактивную тягу.

В отличие от прямоточного ВРД турбореактивный двигатель способен развивать тягу и при работе на месте. Он может самостоятельно обеспечить взлет самолета. Для запуска ТРД применяются специальные пусковые устройства: электростартеры и газотурбостартеры.

Экономичность ТРД на до звуковых скоростях полета намного выше, чем прямоточного ВРД. И только на сверхзвуковых скоростях порядка 2000 километров в час расход горючего для обоих типов двигателей становится примерно одинаковым.

3.Краткая история развития реактивной авиации.

Самым известным и наиболее простым реактивным двигателем является пороховая ракета, много столетий назад изобретенная в древнем Китае. Естественно, что пороховая ракета оказалась первым реактивным двигателем, который попытались использовать в качестве авиационной силовой установки.

В самом начале 30-х годов в СССР развернулись работы, связанные с созданием реактивного двигателя для летательных аппаратов. Советский инженер Ф.А.Цандер еще в 1920 году высказал идею высотного ракетного самолета. Его двигатель “ОР-2”, работавший на бензине и жидком кислороде, предназначался для установки на опытный самолет.

В Германии при участии инженеров Валье, Зенгера, Опеля и Штаммера начиная с 1926 года систематически производились эксперименты с пороховыми ракетами, устанавливавшимися на автомобиль, велосипед, дрезину и, наконец, на самолет. В 1928 году были получены первые практические результаты: ракетный автомобиль показал скорость около 100 км/час, а дрезина – до 300 км/час. В июне того же года был осуществлен первый полет самолета с пороховым реактивным двигателем. На высоте 30 м. Этот самолет пролетел 1,5 км., продержавшись в воздухе всего одну минуту. Спустя немногим более года полет был повторен, причем была достигнута скорость полета 150 км/час.

К концу 30-х годов нашего века в разных странах велись исследовательские, конструкторские и экспериментальные работы по созданию самолетов с реактивными двигателями.

В 1939 году в СССР состоялись летные испытания прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД) на самолете “И-15” конструкции Н.Н.Поликарпова. ПВРД конструкции И.А.Меркулова были установлены на нижних плоскостях самолета в качестве дополнительных моторов. Первые полеты проводил опытный летчик-испытатель П.Е.Логинов. На заданной высоте он разгонял машину до максимальной скорости и включал реактивные двигатели. Тяга дополнительных ПВРД увеличивала максимальную скорость полета. В 1939 году были отработаны надежный запуск двигателя в полете и устойчивость процесса горения. В полете летчик мог неоднократно включать и выключать двигатель и регулировать его тягу. 25 января 1940 года после заводской отработки двигателей и проверки их безопасности во многих полетах состоялось официальное испытание - полет самолета с ПВРД. Стартовав с Центрального аэродрома имени Фрунзе в Москве, летчик Логинов включил на небольшой высоте реактивные двигатели и сделал несколько кругов над районом аэродрома.

Эти полеты летчика Логинова в 1939 и 1940 годах были первыми полетами на самолете со вспомогательными ПВРД. Вслед за ним в испытании этого двигателя приняли участие летчики-испытатели Н.А.Сопоцко, А.В.Давыдов и А.И.Жуков. Летом 1940 года эти двигатели были установлены и испытаны на истребителе И-153 “Чайка” конструкции Н.Н.Поликарпова. Они увеличивали скорость самолета на 40-50 км/час.

Однако при скоростях полета, которые могли развивать винтовые самолеты, дополнительные бес компрессорные ВРД расходовали очень много горючего. Есть у ПВРД еще один важный недостаток: такой двигатель не дает тяги на месте и не может, следовательно, обеспечить самостоятельный взлет самолета. Это означает, что самолет с подобным двигателем должен быть обязательно снабжен какой-либо вспомогательной стартовой силовой установкой, например винтомоторной, иначе ему не подняться в воздух.

В конце 30-х – начале 40-х годов нашего столетия разрабатывались и испытывались первые самолеты с реактивными двигателями других типов.

Один из первых полетов человека на самолете с жидкостным реактивным двигателем (ЖРД) был также совершен в СССР. Советский летчик В.П.Федоров в феврале 1940 года испытал в воздухе ЖРД отечественной конструкции. Летным испытаниям предшествовала большая подготовительная работа. Спроектированный инженером Л.С.Душкиным ЖРД с регулируемой тягой прошел всесторонние заводские испытания на стенде. Затем его установили на планер конструкции С.П.Королева. После того, как двигатель успешно прошел наземные испытания на планере, приступили к летным испытаниям. Реактивный самолет отбуксировали обычным винтовым самолетом на высоту 2 км. На этой высоте летчик Федоров отцепил трос и, отлетев на некоторое расстояние от самолета-буксировщика, включил ЖРД. Двигатель устойчиво работал до полного израсходования топлива. По окончании моторного полета летчик благополучно спланировал и приземлился на аэродроме.

Эти летные испытания явились важной ступенью на пути создания скоростного реактивного самолета.

Вскоре советский конструктор В.Ф.Болховитинов спроектировал самолет, на котором в качестве силовой установки был использован ЖРД Л.С.Душкина. Несмотря на трудности военного времени, уже в декабре 1941 года двигатель был построен. Параллельно создавался и самолет. Проектирование и постройка этого первого в мире истребителя с ЖРД были завершены в рекордно короткий срок: всего за 40 дней. Одновременно шла подготовка и к летным испытаниям. Проведение первых испытаний в воздухе новой машины, получившей марку “БИ”, было возложено на летчика-испытателя капитана Г.Я.Бахчиванджи.

15 мая 1942 года состоялся первый полет боевого самолета с ЖРД. Это был небольшой остроносый самолет-моноплан с убирающимся в полете шасси и хвостовым колесом. В носовом отсеке фюзеляжа помещались две пушки калибром 20 мм, боезапас к ним и радиоаппаратура. Далее были расположены кабина пилота, закрытая фонарем, и топливные баки. В хвостовой части находился двигатель. Полетные испытания прошли успешно.

В годы Великой Отечественной войны советские авиаконструкторы работали и над другими типами истребителей с ЖРД. Конструкторский коллектив, руководимый Н.Н.Поликарповым, создал боевой самолет “Малютка”. Другой коллектив конструкторов во главе с М.К.Тихонравовым разработал реактивный истребитель марки “302”.

Работы по созданию боевых реактивных самолетов широко проводились и за рубежом.

В июне 1942 года состоялся первый полет немецкого реактивного истребителя-перехватчика “Ме-163” конструкции Мессершмитта. Только девятый вариант этого самолета был запущен в серийное производство в 1944 году.

Впервые этот самолет с ЖРД был применен в боевой обстановке в середине 1944 года при вторжении союзнических войск во Францию. Он предназначался для борьбы с бомбардировщиками и истребителями противника над немецкой территорией. Самолет представлял собой моноплан без горизонтального хвостового оперения, что оказалось возможным благодаря большой стреловидности крыла.

Фюзеляжу была придана обтекаемая форма. Наружные поверхности самолета были очень гладкие. В носовом отсеке фюзеляжа размещалась ветрянка для привода генератора электросистемы самолета. В хвостовой части фюзеляжа устанавливался двигатель – ЖРД с тягой до 15 кН. Между корпусом двигателя и обшивкой машины имелась огнеупорная прокладка. Баки с горючим были размещены в крыльях, а с окислителями – внутри фюзеляжа. Обычного шасси на самолете не было. Взлет происходил с помощью специальной стартовой тележки и хвостового колеса. Сразу же после взлета эта тележка сбрасывалась, а хвостовое колесо убиралось внутрь фюзеляжа. Управление самолетом производилось посредством руля поворота, установленного, как обычно, за килем, и размещенных в плоскости крыла рулей высоты, которые одновременно являлись и элеронами. Посадка производилась на стальную посадочную лыжу длиной около 1,8 метра с полозом шириной 16 сантиметров. Обычно самолет взлетал, используя тягу установленного на нем двигателя. Однако по замыслу конструктора была предусмотрена возможность использования подвесных стартовых ракет, которые сбрасывались после взлета, а также возможность буксировки другим самолетом до нужной высоты. При работе ЖРД в режиме полной тяги самолет мог набирать высоту почти по вертикали. Размах крыльев самолета составлял 9,3 метра, его длина – около 6 метров. Полетный вес при взлете был равен 4,1 тонны, при посадке – 2,1 тонны; следовательно, за все время моторного полета самолет становился почти вдвое легче – расходовал примерно 2 тонны топлива. Длина разбега была более 900 метров, скороподъемность – до 150 метров в секунду. Высоту в 6 километров самолет достигал через 2,5 минуты после взлета. Потолок машины был 13,2 километра. При непрерывной работе ЖРД полет продолжался до 8 минут. Обычно по достижении боевой высоты двигатель работал не непрерывно, а периодически, причем самолет то планировал, то разгонялся. В результате общая продолжительность полета могла быть доведена до 25 минут и даже более. Для такого режима работы характерны значительные ускорения: при включении ЖРД на скорости 240 километров в час самолет достигал скорости 800 километров в час спустя 20 секунд (за это время он пролетал 5,6 километров со средним ускорением 8 метров в секунду квадрат). У земли этот самолет развивал максимальную скорость 825 километров в час, а в интервале высот 4-12 километров его максимальная скорость возрастала до 900 километров в час.

В тот же период в ряде стран велись интенсивные работы по созданию воздушно-реактивных двигателей (ВРД) различных типов и конструкций. В Советском Союзе, как уже говорилось, испытывался прямоточный ВРД, установленный на самолете-истребителе.

В Италии в августе 1940 года был совершен первый 10-минутный полет реактивного самолета-моноплана “Кампини-Капрони СС-2”. На этом самолете был установлен так называемый мотокомпрессорный ВРД (этот тип ВРД не рассматривался в обзоре реактивных двигателей, так как он оказался невыгодным и распространения не получил). Воздух входил через специальное отверстие в передней части фюзеляжа в трубу переменного сечения, где поджимался компрессором, который получал вращение от расположенного позади звездообразного поршневого авиамотора мощностью 440 лошадиных сил.

Затем поток сжатого воздуха омывал этот поршневой мотор воздушного охлаждения и несколько нагревался. Перед поступлением в камеру сгорания воздух смешивался с выхлопными газами от этого мотора. В камере сгорания, куда впрыскивалось топливо, в результате его сжигания температура воздуха повышалась еще больше.

Газо-воздушная смесь, вытекавшая из сопла в хвостовой части фюзеляжа, создавала реактивную тягу этой силовой установки. Площадь выходного сечения реактивного сопла регулировалась посредством конуса, могущего перемещаться вдоль оси сопла. Кабина пилота располагалась вверху фюзеляжа над трубой для потока воздуха, проходящей через весь фюзеляж. В ноябре 1941 года на этом самолете был совершен перелет из Милана в Рим (с промежуточной посадкой в Пизе для заправки горючим), длившийся 2,5 часа, причем средняя скорость полета составила 210 километров в час.

Как видим, реактивный самолет с двигателем, выполненным по такой схеме, оказался неудачным: он был лишен главного качества реактивного самолета – способности развивать большие скорости. К тому же расход горючего у него был весьма велик.

В мае 1941 года в Англии состоялся первый испытательный полет экспериментального самолета Глостер “Е-28/39” с ТРД с центробежным компрессором конструкции Уиттла.

При 17 тысячах оборотов в минуту этот двигатель развивал тягу около 3800 ньютонов. Экспериментальный самолет представлял собой одноместный истребитель с одним ТРД, расположенным в фюзеляже позади кабины пилота. Самолет имел убирающееся в полете трехколесное шасси.

Полтора года спустя, в октябре 1942 года, было проведено первое летное испытание американского реактивного самолета-истребителя “Эркомет” Р-59А с двумя ТРД конструкции Уиттла. Это был моноплан со среднерасположенным крылом и с высоко установленным хвостовым оперением.

Носовая часть фюзеляжа была сильно вынесена вперед. Самолет был оснащен трехколесным шасси; полетный вес машины составлял почти 5 тонн, потолок – 12 километров. При летных испытаниях была достигнута скорость 800 километров в час.

Среди других самолетов с ТРД этого периода следует отметить истребитель Глостер “Метеор”, первый полет которого состоялся в 1943 году. Этот одноместный цельнометаллический моноплан оказался одним из наиболее удачных реактивных самолетов-истребителей того периода. Два ТРД были установлены на низко расположенном свободнонесущем крыле. Серийный боевой самолет развивал скорость 810 километров в час. Продолжительность полета составляла около 1,5 часов, потолок – 12 километров. Самолет имел 4 автоматические пушки калибра 20 миллиметров. Машина обладала хорошей маневренностью и управляемостью на всех скоростях.

Этот самолет был первым реактивным истребителем, применявшемся в боевых воздушных операциях союзной авиации в борьбе против немецких самолетов-снарядов “V-1” в 1944 году. В ноябре 1941 года на специальном рекордном варианте этой машины был установлен мировой рекорд скорости полета – 975 километров в час.

Это был первый официально зарегистрированный рекорд, установленный на реактивном самолете. Во время этого рекордного полета ТРД развивали тягу примерно по 16 килоньютонов каждый, а потребление горючего соответствовало расходу приблизительно 4,5 тысячи литров в час.

В годы второй мировой войны несколько типов боевых самолетов с ТРД было разработано и испытано в Германии. Укажем на двухмоторный истребитель “Ме-262”, развивавший максимальную скорость 850-900 километров в час (в зависимости от высоты полета) и четырех моторный бомбардировщик “Арадо-234”.

Истребитель “Ме-262” был наиболее отработанной и доведенной конструкцией среди многочисленных типов немецких реактивных машин периода второй мировой войны. Боевая машина была вооружена четырьмя автоматическими пушками калибром 30 миллиметров.

На заключительном этапе Великой Отечественной войны в феврале 1945 года трижды Герой Советского Союза И.Кожедуб в одном из воздушных боев над территорией Германии впервые сбил реактивный самолет врага – “Ме-262”. В этом воздушном поединке решающим оказалось преимущество в маневренности, а не в скорости (максимальная скорость винтового истребителя “Ла-5” на высоте 5 километров была равна 622 километра в час, а реактивного истребителя “Ме-262” на той же высоте – около 850 километров в час).

Интересно отметить, что первые немецкие реактивные самолеты оснащались ТРД с осевым компрессором, причем максимальная тяга двигателя была менее 10 килоньютонов. В то же время английские реактивные истребители были оборудованы ТРД с центробежным компрессором, развивающим примерно вдвое большую тягу.

Уже в начальный период развития реактивных машин прежние знакомые формы самолетов претерпевали более или менее значительные изменения. Весьма необычно выглядел, например, английский реактивный истребитель “Вампир” двух балочной конструкции.

Еще более непривычным для глаза был экспериментальный английский реактивный самолет “Летающее крыло”. Этот бес фюзеляжный и бесхвостый самолет был выполнен в виде крыла, в котором размещались экипаж, горючее и т.д. Органы стабилизации и управления также были установлены на самом крыле. Достоинством этой схемы является минимальное лобовое сопротивление. Известные трудности представляет решение проблемы устойчивости и управляемости “Летающего крыла”.

При разработке этого самолета ожидалось, что стреловидность крыла позволит добиться большой устойчивости в полете при одновременном существенном уменьшении сопротивления. Английская авиационная фирма “Де-Хевиленд”, построившая самолет, предполагала использовать его для изучения явлений сжимаемости воздуха и устойчивости полета при больших скоростях. Стреловидность крыла этого цельнометаллического самолета составляла 40 градусов. Силовая установка состояла из одного ТРД. На концах крыльев в специальных обтекателях находились противоштопорные парашюты.

В мае 1946 года самолет “Летающее крыло” был впервые испытан в пробном полете. А в сентябре того же года во время очередного испытательного полета он потерпел аварию и разбился. Пилотировавший его летчик трагически погиб.

В нашей стране в годы Великой Отечественной войны начались обширные исследовательские работы по созданию боевых самолетов с ТРД. Война ставила задачу – создать самолет-истребитель, обладающий не только большой скоростью, но и значительной продолжительностью полета: ведь разработанные реактивные истребители с ЖРД имели весьма малую продолжительность полета – всего 8-15 минут. Были разработаны боевые самолеты с комбинированной силовой установкой – винтомоторной и реактивной. Так, например, истребители “Ла-7” и “Ла-9” были снабжены реактивными ускорителями.

Работа над одним из первых советских реактивных самолетов началась еще в 1943-1944 годах. Эта боевая машина создавалась конструкторским коллективом, возглавляемым генералом инженерно-авиационной службы Артемом Ивановичем Микояном. То был истребитель “И-250” с комбинированной силовой установкой, которая состояла из поршневого авиадвигателя жидкостного охлаждения типа “ВК-107 А” с воздушным винтом и ВРД, компрессор которого получал вращение от поршневого мотора. Воздух поступал в воздухозаборник под валом винта, проходил по каналу под кабиной летчика и поступал в компрессор ВРД. За компрессором были установлены форсунки для подачи топлива и запальная аппаратура. Реактивная струя выходила через сопло в хвостовой части фюзеляжа. Свой первый полет “И-250” совершил еще в марте 1945 года. Во время летных испытаний была достигнута скорость, значительно превышающая 800 километров в час.

Вскоре этот же коллектив конструкторов создал реактивный истребитель “МИГ-9”. На нем устанавливались два ТРД типа “РД-20”. Каждый двигатель развивал тягу до 8800 ньютонов при 9,8 тысячах оборотов в минуту. Двигатель типа “РД-20” с осевым компрессором и регулируемым соплом имел кольцевую камеру сгорания с шестнадцатью горелками вокруг форсунок для впрыска топлива. 24 апреля 1946 года летчик-испытатель А.Н.Гринчик совершил на самолете “МИГ-9” первый полет. Как и самолет “БИ”, эта машина мало отличалась по своей конструктивной схеме от поршневых самолетов. И все же замена поршневого мотора реактивным двигателем повысила скорость примерно на 250 километров в час. Максимальная скорость “МИГ-9” превышала 900 километров в час. В конце 1946 года эта машина была запущена в серийное производство.

В апреле 1946 года был совершен первый полет на реактивном истребителе конструкции А.С.Яковлева. Для облегчения перехода к производству этих самолетов с ТРД был использован серийный винтовой истребитель “Як-3”, у которого передняя часть фюзеляжа и средняя часть крыла были переделаны под установку реактивного двигателя. Этот истребитель применялся как реактивный тренировочный самолет наших ВВС.

В 1947-1948 годах прошел летные испытания советский реактивный истребитель конструкции А.С.Яковлева “Як-23”, который обладал более высокой скоростью.

Это было достигнуто благодаря установке на нем турбореактивного двигателя типа “РД-500”, который развивал тягу до 16 килоньютонов при 14,6 тысячах оборотов в минуту. “Як-23” представлял собой одноместный цельнометаллический моноплан со среднерасположенным крылом.

При создании и испытании первых реактивных самолетов наши конструкторы столкнулись с новыми проблемами. Оказалось, что одного увеличения тяги двигателя еще недостаточно для осуществления полета со скоростью, близкой к скорости распространения звука. Исследования сжимаемости воздуха и условий возникновения скачков уплотнения проводились советскими учеными начиная с 30-х годов. Особенно большой размах они приобрели в 1942-1946 годах после летных испытаний реактивного истребителя “БИ” и других наших реактивных машин. В результате этих исследований уже к 1946 году был поставлен вопрос о коренном изменении аэродинамической схемы высокоскоростных реактивных самолетов. Встала задача создания реактивных самолетов со стреловидным крылом и оперением. Наряду с этим возникли и смежные задачи – потребовалась новая механизация крыла, иная система управления и т.д.

Настойчивая творческая работа научно-исследовательских, конструкторских и производственных коллективов увенчалась успехом: новые отечественные реактивные самолеты ни в чем не уступали мировой авиационной технике того периода. Среди скоростных реактивных машин, созданных в СССР в 1946-1947 годах, выделяется своими высокими летно-тактическими и эксплуатационными характеристиками реактивный истребитель конструкции А.И.Микояна и М.И.Гуревича “МИГ-15”, со стреловидным крылом и оперением. Применение стреловидного крыла и оперения повысило скорость горизонтального полета без существенных изменений его устойчивости и управляемости. Увеличению скорости самолета во многом способствовало также повышение его энерговооруженности: на нем был установлен новый ТРД с центробежным компрессором “РД-45” с тягой около 19,5 килоньютонов при 12 тысячах оборотов в минуту. Горизонтальная и вертикальная скорости этой машины превосходили все достигнутое ранее на реактивных самолетах.

В испытаниях и доводке самолета принимали участие летчики-испытатели Герои Советского Союза И.Т.Иващенко и С.Н.Анохин. Самолет имел хорошие летно-тактические данные и был прост в эксплуатации. За исключительную выносливость, простоту в техническом обслуживании и легкость в управлении он получил прозвище “самолет-солдат”.

Конструкторское бюро, работающее под руководством С.А.Лавочкина, одновременно с выпуском “МИГ-15” создало новый реактивный истребитель “Ла-15”. Он имел стреловидное крыло, расположенное над фюзеляжем. На нем было мощное бортовое вооружение. Из всех существовавших тогда истребителей со стреловидным крылом “Ла-15” имел наименьший полетный вес. Благодаря этому самолет “Ла-15” с двигателем “РД-500”, имевшим меньшую тягу, чем двигатель “РД-45”, установленный на “МИГ-15”, обладал примерно такими же летно-тактическими данными, как и “МИГ-15”.

Стреловидность и специальный профиль крыльев и оперения реактивных самолетов резко уменьшили сопротивление воздуха при полетах со скоростью распространения звука. Теперь на волновом кризисе сопротивление возрастало уже не в 8-12 раз, а всего в 2-3 раза. Это подтвердили и первые сверхзвуковые полеты советских реактивных самолетов.

**4.Применение реактивной техники в гражданской авиации.**

Вскоре реактивные двигатели стали устанавливаться и на самолетах гражданской авиации.

В 1955 году за рубежом начал эксплуатироваться многоместный пассажирский реактивный самолет “Комета-1”. Эта пассажирская машина с четырьмя ТРД обладала скоростью около 800 километров в час на высоте 12 километров. Самолет мог перевозить 48 пассажиров.

Дальность полета составляла около 4 тысяч километров. Вес с пассажирами и полным запасом горючего составлял 48 тонн. Размах крыльев, имеющих небольшую стреловидность и относительно тонкий профиль, - 35 метров. Площадь крыльев – 187 квадратных метров, длина самолета – 28 метров. Однако после крупной аварии этого самолета в Средиземном море его эксплуатация была прекращена. Вскоре стал использоваться конструктивный вариант этого самолета – “Комета-3”.

Представляют интерес данные об американском пассажирском самолете с четырьмя турбовинтовыми двигателями Локхид “Электра”, рассчитанном на 69 человек (включая экипаж из двух пилотов и бортинженера). Число пассажирских мест могло быть доведено до 91. Кабина герметизирована, входная дверь двойная. Крейсерская скорость этой машины – 660 километров в час. Вес пустого самолета – 24,5 тонн, полетный вес – 50 тонн, в том числе 12,8 тонн горючего для рейса и 3,2 тонны запасного горючего. Заправка и обслуживание самолета на промежуточных аэродромах занимали 12 минут. Выпуск самолета был начат в 1957 году.

Американская фирма “Боинг” с 1954 года проводила испытания самолета “Боинг-707” с четырьмя ТРД. Скорость самолета – 800 километров в час, высота полета – 12 километров, дальность – 4800 километров. Этот самолет был предназначен для использования в военной авиации в качестве “воздушного танкера” – для заправки боевых самолетов горючим в воздухе, но мог быть переоборудованным и для применения в гражданской транспортной авиации. В последнем случае на машине могло быть установлено 100 пассажирских мест.

В 1959 году началась эксплуатация французского пассажирского самолета “Каравелла”. У самолета был круглый фюзеляж диаметром 3,2 метра, в котором был оборудован герметизированный отсек длиной 25,4 метра. В этом отсеке размещалась пассажирская кабина на 70 мест. Самолет имел стреловидное крыло, скошенное назад под углом 20 градусов. Взлетный вес самолета – 40 тонн. Силовая установка состояла из двух ТРД с тягой по 40 килоньютонов каждый. Скорость самолета была около 800 километров в час.

В СССР уже в 1954 году на одной из воздушных авиалиний доставка срочных грузов и почты производилась скоростными реактивными самолетами “Ил-20.

С весны 1955 года реактивные почтово-грузовые самолеты “Ил-20” начали курсировать на воздушной трассе Москва-Новосибирск. На борту самолетов – матрицы столичных газет. Благодаря использованию этих самолетов жители Новосибирска получали московские газеты в один день с москвичами.

На авиационном празднике 3 июля 1955 года на Тушинском аэродроме под Москвой впервые был показан новый реактивный пассажирский самолет конструкции А.Н.Туполева “ТУ-104.

Этот самолет с двумя ТРД тягой по 80 килоньютонов каждый имел отличные аэродинамические формы. Он мог перевозить 50 пассажиров, а в туристическом варианте – 70. Высота полета превышала 10 километров, полетный вес – 70 тонн. Самолет имел прекрасную звуко- и теплоизоляцию. Машина была герметична, воздух в салон отбирался от компрессоров ТРД. В случае отказа одного ТРД самолет мог продолжать полет на другом. Дальность беспосадочного перелета составляла 3000-3200 километров. Скорость полета могла достигать 1000 километров в час.

15 сентября 1956 года самолет Ту-104 совершил первый регулярный рейс с пассажирами по трассе Москва-Иркутск. Через 7 часов 10 минут летного времени, преодолев с посадкой в Омске 4570 километров, самолет приземлился в Иркутске. Время в пути по сравнению с полетом на поршневых самолетах сократилось почти втрое. 13 февраля 1958 года самолет Ту-104 стартовал в первый (технический) рейс по авиалинии Москва-Владивосток - одной из самых протяженных в нашей стране.

“ТУ-104” получил высокую оценку и в нашей стране и за рубежом. Иностранные специалисты, выступив в печати, заявили, что начав регулярную перевозку пассажиров на реактивных самолетах “ТУ-104”, Советский Союз на два года опередил США, Англию и другие западные страны по массовой эксплуатации пассажирских турбореактивных самолетов : американский реактивный самолет «Боинг-707» и английская «Комета-IV» вышли на воздушные линии только в конце 1958 года, а французский «Каравелла» - в 1959 году.

В гражданской авиации также использовались самолеты с турбовинтовыми двигателями (ТВД). Эта силовая установка по устройству похожа на ТРД, но в ней на одном валу с турбиной и компрессором с передней стороны двигателя установлен воздушный винт. Турбина здесь устроена таким образом, что раскаленные газы, поступающие из камер сгорания в турбину, отдают ей большую часть своей энергии. Компрессор потребляет мощность значительно меньше той, которую развивает газовая турбина, а избыточная мощность турбины передается на вал винта.

ТВД – промежуточный тип авиационной силовой установки. Хотя газы, выходящие из турбины, и выпускаются через сопло и их реакция порождает некоторую тягу, основная тяга создается работающим винтом, как у обычного винтомоторного самолета.

ТВД не получил распространения в боевой авиации, так как он не может обеспечить такую скорость движения, как чисто реактивные двигатели. Также он непригоден на экспрессных линиях гражданской авиации, где решающим фактором является скорость, а вопросы экономичности и стоимости полета отходят на второй план. Но турбовинтовые самолеты целесообразно использовать на трассах различной протяженности, рейсы по которым совершаются со скоростями порядка 600-800 километров в час. При этом нужно учитывать, что, как показал опыт, перевозка на них пассажиров на расстояние 1000 километров обходится на 30% дешевле, чем на винтовых самолетах с поршневыми авиадвигателями.

В 1956-1960 годах в СССР появилось много новых самолетов с ТВД. Среди них “ТУ-114”(220 пассажиров), “Ан-10”(100 пассажиров), “Ан-24”(48 пассажиров), “Ил-18”(89 пассажиров).

**5.Заключение.**

Изобретение реактивного авиационного двигателя предопределило резкий скачок в развитии авиации. Новые самолеты с реактивными силовыми установками были значительно быстрее и мощнее свих аналогов, оснащенных поршневыми авиамоторами.

Реактивный двигатель позволил самолетам преодолеть звуковой барьер, что было практически неосуществимо при использовании поршневых авиамоторов. Современные реактивные самолеты способны двигаться со скоростями, в несколько раз превышающими скорость звука.

Активное развитие реактивной авиации предзнаменовало наступление космической эры. Ведь первые ракетные реактивные двигатели были по конструкции похожи на авиационные жидкостные реактивные двигатели.

Изобретение турбовинтового двигателя позволило снизить стоимость пассажирских авиаперевозок, а внедрение турбореактивного двигателя в гражданскую авиацию – повысить их скорость. Все это способствовало популяризации гражданских авиаперевозок среди населения и ускорило общий научно-технический прогресс.

# Перечень условных обозначений, символов, единиц, сокращений и терминов

|  |  |
| --- | --- |
| **Обозначения** | **Индексы** |
| а – скорость звука, м/с; | \* - равновесный параметр; |
| В – индукция магнитного поля, Тл; | а – выходное сечение параметра; |
| F – сила, Н; | кр – критическое сечение сопла; |
| Iс – ток катушки, А; | к – сечение камеры сгорания |
| Ib – ток ионного пучка, А; | реактивного двигателя; |
| k – показатель адиабаты; | max – максимальный; |
| m – масса, кг; | min – минимальный; |
| - массовый расход, кг/с; | opt – оптимальный; |
| N –мощность, Вт; | б – бак; |
| n –концентрация частиц, м-1; | к – камера; |
| P – давление, Па; | 0 – начальный; |
| T – температура, К; |  |
| U – напряжение, В; |  |
| W – скорость, м/с; |  |
| ρ - плотность, кг/м3; |  |
| P, R – тяга ракетного двигателя, Н; |  |
| η - тяговый КПД; |  |
| τ - приращение по времени, с; |  |
| φ - потенциал ионизации, эВ; |  |
| σ - сечение ионизации, см2; |  |
| ω - частота, 1/с; |  |

**Сокращения**

АЭД – автоэмиссионный двигатель;

ВЧ – высокочастотный;

ИПД – импульсный плазменный двигатель;

КА – космический аппарат;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПИД – плазменный ионный двигатель;

РД – ракетный двигатель;

РИД – радиочастотный ионный двигатель;

РМД - радиочастотный ионный двигатель с магнитным полем;

СПД – стационарный плазменный двигатель;

СПУ – стационарный плазменный ускоритель;

СХПРТ – система хранения и подачи рабочего тела;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЭРД – электроракетный двигатель;

ЭТД – электротермический двигатель.

# 

**Введение**

Как было показано последними исследованиями, энергетика (энергообеспечение) космических аппаратов с ресурсом 1-20 лет всегда будет первостепенной проблемой. Двигатели малых тяг, которые осуществляют коррекцию и стабилизацию таких космических аппаратов, обладают некоторыми особенностями, например, длительным ресурсом, высокой надежностью, оптимальной «ценой» тяги (отношение энергетических затрат к единице тяги). Для обеспечения долгосрочного ресурса необходимо уменьшить температуру конструктивных элементов плазменных движителей, плазма не должна взаимодействовать с элементами конструкции. В основном скорость истекающей плазмы (характеристическая скорость) определяет удельный импульс движителя. Чем больше значение характеристической скорости, тем больше и удельный импульс. Для осуществления длительных работ (программ) в космосе необходимо иметь надежные, высокоэффективные электроракетные двигатели со скоростями истечения плазмы 103-105 м/с и более.

Мы получили следующие результаты: при скоростях истечения рабочего тела 1000-9000 м/с термоэлектрические движители работают надежно, а в настоящее время создаются движители со скоростями истечения рабочего тела 2000-20000 м/с.

Использование электродуговых плазменных движителей для этих целей продемонстрировало, что в данном диапазоне скоростей негативные явления наблюдаются лишь вследствие эксплуатации движителя больше заданного времени ресурса.

Повышение температуры плазмы в движителях такого типа приводят к повышению удельного импульса. Но почти 50% электрической энергии подводимой к электродам, превращается в тепло и не участвует в повышении скорости плазменного пучка, а электроды испаряются (уменьшаются), что уменьшает ресурс движителя.

В нашем университете многие годы ведется детальная разработка таких движителей. Сравнение современных достижений по типовым движителям приведено в таблице 1.

Одним из современных направлений развития плазменных ускорителей является разработка двигателей малых тяг, работающих на принципе безэлектродного создания электромагнитной силы в форме ВЧ- и СВЧ-полей в плазменном объеме, удержании плазмы и ее ускорении в магнитном поле заданной формы. В этом случае предлагается концепция термоэлектрического движителя с высокочастотным нагревом рабочего тела, такого как водород. Это позволяет существенно уменьшить взаимодействие плазмы на элементы плазменного ускорителя, исключить потери энергии на электродах и использование магнитного сопла значительно повысят КПД движителя. Таким образом, преимущества этого типа движителей очевидны. Они заключаются в следующем:

* высокий КПД (0,4 – 0,5);
* длительный ресурс работы на борту (до 2-х лет);
* высокая надежность и безопасность;
* использование экологически чистого топлива;
* такие движители обеспечивают характеристическую скорость в требуемом диапазоне скоростей истечения, которую движители других типов не могут обеспечить;
* массовые характеристики, «цена» тяги и стоимость сборки не превышают существующих.

Это может стать возможным, если мы будем использовать некоторые достижения современной технологии и учтем некоторые нюансы:

1. Из всех рабочих тел водород обладает минимальной атомной массой, то есть скорость истечения водородной плазмы из ВЧ-ускорителя будет максимальной.
2. Водород – экологически чистое рабочее вещество и необходимость его использования несомненна.
3. Сейчас у нас есть технология безопасного хранения связанного водорода в виде гибридов металлов на борту космического летательного аппарата. Это увеличивает КПД движителя и повышает эффективность работы системы в целом.
4. Известно, что при ионизации водорода в любом типе электрического разряда потери при передачи энергии от электронной компоненты к ионной минимальны из-за минимальных массовых различий и потому, что для атомов водорода возможна лишь однократная ионизация.

В таблице 1 приведены основные характеристики ионных двигателей разрабатываемых и применяемых в Европе в настоящее время.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п.п | Характеристики движителя | | | | | | | |
| Тип движителя | Рабочее тело | Характеристическая тяга, г | Характеристическая скорость, м/с | Цена тяги, Вт/г | КПД, % | Особенности, ограничивающие ресурс | Примечание |
| 1 | Стационарный плазменный движитель (СПД) | Ксенон  (газ) | 1…5 | 18000…  25000 | ≥150 | 30…50 | Ресурс катода компенсатора и керамических изоляторов |  |
| 2 | Движитель с анодным слоем (ДАС) | Газ, жидкий металл | 1…3 | 25000…  35000 | ≥200 | 30…45 | Ресурс катода компенсатора, ресурс электродов |  |
| 3 | Плазменный ионный движитель (ПИД) | Газ, жидкий металл | 1…10 и более | 30000…  100000 | ≥300 | 30…45 | Ресурс катода компенсатора и ионно-оптической системы | Увеличение тяги приводит к увеличению размеров |
| 4 | Торцевой холовский движитель (ТХД) | Газ, жидкий металл | 1…3 | 25000…  35000 | ≥300 | 25…40 | Электроды и катодный узел | Увеличение тяги пропорционально уменьшению ресурса |
| 5 | Электро-нагревный движитель (ЭНД) | Газ | 1…5 | 1000…  4000 | 50…150 | 20…30 | Нагреватель |  |
| 6 | ВЧ-движитель | Газ | 1…10 | 3000…  15000 | 30…100 | 40…50 | Отсутствуют |  |

**1.** Сравнительный анализ ЭРДУ

Применение ионных плазменных двигателей малой тяги на геостационарных спутниках имеет следующие преимущества: уменьшение стартовой массы, увеличение массы полезного груза и ресурса спутника.

Сравнение ЭНД, СПД и РИД, используемых в системе стабилизации Север – Юг, проведено на рисунке 1 и рисунке 2.



Рисунок 1,2. Стартовая масса спутника и зависимость сухой массы спутника от применяемой на нем двигательной установки.

Как показано на рисунке 1, стартовая масса спутника, включающая в себя сухую массу спутника (без массы ЭРДУ), составит:

4050 кг при использовании ЭНД;

3900 кг – СПД;

3670 кг – РИД.

Это означает, что стартовая масса спутника при использовании РИД вместо электродугового двигателя или СПД уменьшается на 380 и 230 кг соответственно. Уменьшение массы приводит к снижению стоимости запуска.

На рис. 2 показана зависимость сухой массы спутника от массы применяемой на нем двигательной установки (стартовая масса – 4050 кг):

2090 кг при использовании ЭНД;

2170 кг – СПД;

2310 кг – РИД.

Масса полезного груза может быть увеличена при использовании РИД:

на 220 кг по сравнению с ЭНД;

на 140 кг – с СПД.

Оба преимущества: уменьшение стартовой массы и увеличение массы полезного груза, - приводят к уменьшению стоимости спутника.

РИД с диаметром ионизатора 10 см и тягой 10 мН был запущен на EURECA. Сейчас такой же двигатель, но с тягой 15 мН проходит квалификационные испытания для использования его на экспериментальном спутнике связи ESA Artemis. Его вывод на орбиту планируется в 2000 году японским ракетоносителем Н-2. Коммерческая версия этого двигателя сможет создавать тягу на уровне 25 мН.

РИД с диаметром ионизатора 15 см и тягой 50 мН сейчас исследуется в Гессенском университете.

РИД 26 с тягой до 200 мН разрабатывают в Dasa/ESA Technology. Планируется его использование в качестве основного движителя.

***1.1*** Применение ЭРД

Основные задачи, выполняемые с помощью РД, на геостационарных спутниках:

- переход на более высокую орбиту 1500 м/с за маневр;

- системы стабилизации Север – Юг 47 м/с в год;

- системы стабилизации Запад – Восток <5 м/с в год;

- ориентирование ЛА <5 м/с в год;

- сход с орбиты 5 м/с.

Рассмотрим задачи для ЭРД, характеризующиеся большими приращениями скорости:

**Переход на более высокую орбиту**. При использовании химических двигателей 40% стартовой массы спутника составляет топливо. Для перевода спутника с промежуточной орбиты на гео-орбиту требуется 10 дней.

Если для этого маневра использовать ЭРД, то потребуется около трех месяцев. В этом случае тяга должна быть на уровне 400 мН и более. Такая тяга может быть получена одним двигателем или связкой.

Уровень тяг ограничен мощность солнечных батарей (10 – 15 кВт).

Вывод КЛА на орбиты выше геосинхронных приведет к уменьшению изменения скорости.

**Системы стабилизации Север – Юг**. Среднее приращение скорости на 47 м/с в год приводит к общему Δv=750 м/с.

Уровень тяги должен обеспечивать выполнение этой задачи, по крайней мере, за 3 часа в день. Это требование обусловливает необходимую тягу 25 мН и более.

Учитывая современный уровень развития ионных двигателей, ввод ЭРД в эксплуатацию на коммерческих геостационарных спутниках может проводиться по следующей схеме:

1) Использовать плазменные ионные двигатели с тягой 25 мН для систем стабилизации Север – Юг. Остальные задачи, как и ранее, осуществлять с помощью химических двигателей.

2) Системы спутника используются в том виде, в каком они существуют сейчас, т.е. дополнительные разработки приостанавливаются.

Использование ЭРД для вывода спутников на орбиты потребует двигателей с большими тягами, что повлечет за собой необходимость в изменении конструкции систем спутника. Несмотря на это, применение ЭРД для этих целей рассматривается как второй шаг в программе ввода в эксплуатацию двигателей этого типа, который потребует полного изменения систем спутника и дополнительных доработок ионных движителей.

Конечная цель программы – выполнение всех космических задач с помощью ЭРД в сочетании с маховиками и карданными механизмами, «все спутники на ЭРД». Это сильно повлияет на конструкцию систем спутников, как и во втором случае.

***1.2*** Применение РИД

Уже многие годы РИД разрабатываются во многих странах. Были исследованы ГРК диаметрами от 10 до 35 см. Наиболее изучен РИД 10, позволяющий получить тягу до 25 мН.

Для применения этих двигателей в космических целях уровень тяг должен быть поднят до 25 мН. Конструкция в дальнейшем может быть усовершенствована для серийного производства, т.е. необходимо уменьшить себестоимость производства до цены, удовлетворяющей требованиям рынка.

Большие тяги могут быть получены путем увеличения диаметра ГРК, что позволяет увеличить диаметр ионного пучка.

В нашем университете исследуется РИД 15, который может создавать тягу 50 мН.

Используя ГРК диаметром 20 см можно получить тягу 80 мН.

Действующая модель РИД 26 с тягой 200 мН готова к испытаниям. В этом двигателе используется принцип ВЧ ионизации и ИОС, изготовленная из молибдена.

## Общие преимущества РИД

По сравнению с другими двигателями РИДУ обладают следующими преимуществами:

1) Не требуется эмиттер электронов. Для ВЧ ионизации рабочее тело ионизируется в ГРК ВЧ полем с частотой 10 МГц. Электроны, рождающиеся в ГРК или поступающие из нейтрализатора, используются для организации столкновений с нейтральными атомами газа.

2) Высокая надежность нейтрализатора. Полые катоды хорошо изучены и продемонстрировали высокую надежность эксплуатации и большой ресурс.

3) Используется трехсеточная ИОС. При ускорении ионов в трехсеточной ИОС получаем:

* постоянную скорость истечения ионов;
* точное направление вектора тяги;
* малое рассеивание пучка.

4) Простота регулирования тяги. Ток ионного пучка устанавливается регулированием ВЧ мощности двигателя.

5) Ускоряющий электрод изготовлен из углерода, что значительно увеличивает ресурс.

6) Простая система контроля расхода рабочего тела.

7) Уменьшение массы системы.

***1.4 Радиочастотный ионный движитель РИД-10***

Радиочастотный ионный движитель исследуется в нашем университете в течение последних 2 лет. Это двигатель РИД-10, который был разработан для разрядной камеры диаметром 10 см. (рисунок 1).

Своим названием двигатель РИД обязан используемому в нем принципу ионизации. Нейтральное рабочее тело Xe поступает в разрядную камеру через изоляторы и анод. Для инициации разряда анод находится под большим положительным потенциалом, чтобы притягивать электроны нейтрализатора. При прохождении через разрядную камеру эти электроны накапливают энергию от высокочастотного поля (10 МГц подается на катушку вне камеры). Возбужденные таким образом электроны неупруго сталкиваются с нейтральными атомами топлива, ионизируя их. Потенциал анода уменьшают, а в камере устанавливается самоподдерживающийся разряд, использующий электроны, рождающиеся в неупругих столкновениях. Положительные ионы мигрируют к электроду, поддерживающему разряд, на выходе из камеры и ускоряются парой ускоряюще-замедляющих электродов. В РИД 10 используется полый катод-нейтрализатор. Номинальная тяга РИД-10 –15 мН, во время испытательных запусков была получена тяга порядка 0,3 – 18 мН. Максимальная тяга – около 24 мН. Номинальный удельный импульс 3150 с ; он составляет примерно Iуд=1120 с при P=1 мН и при максимальной тяге – Iуд=3324 с. Двигатель включает радиочастотный генератор, блок регулирования мощности, блок топливного контроля. Энергопотребление такой установки 70 Вт, при P=15 мН – 510 Вт. Контроль тяги проводится с помощью контрольных параметров: первичных (входная мощность), вторичных (расход топлива).

***1.5 Радиочастотный ионный движитель РИД-26***

Этот двигатель интегрирует в себе весь опыт, накопленный в этой области. Радиочастотный безэлектродный разряд и ионно-оптическая система, разработанная для ПИД 10, и нейтрализатор образуют ядро этого двигателя. Потребляя 6 кВт энергии, этот двигатель может развить тягу до 200 мН.

***1.6 Радиочастотный двигатель с магнитным полем (РМД)***

В последние годы был разработан новый подход к радиочастотным ионным двигателям. Он основан на использовании высокочастотного поля и осесимметричного магнитного поля в разрядной камере для ионизации топлива (рисунок 3). В установке магнитные поля располагаются следующим образом: есть две коллинеарных магнитных катушки, одна из них расположена в задней части разрядной камеры, а другая – на наружной стенке камеры. Рабочее тело поступает в камеры через входное отверстие и газораспределитель, затем с помощью катода-нейтрализатора инициируется разряд. После установления устойчивого разряда в плазме в месте расположения оптимального значения напряженности магнитного поля возникает стоячая волна. В этом случае ток пучка максимален. Двигатель развивает тягу на уровне 1 –10 мН и удельный импульс Iуд=3000 с. Данные, полученные в результате эксперимента, показывают цену тяги около 35 Вт/мН; таким образом этот двигатель относится к той же категории, что и два других ионных двигателя, концепция которых представлена выше. Контроль тяги возможно производить по той же схеме, что и в РИД, а именно посредством измерения ВЧ мощности и расхода рабочего тела. Дополнительно для повышения КПД возможно использовать круговые токи. Эта особенность действительно даст возможность двигателю работать с максимальным КПД даже при очень низких уровнях тяги, что является усовершенствованием по сравнению с предыдущими концепциями.

# Разработка численной модели электроракетного двигателя с ВЧ нагревом рабочего тела

## Математический аппарат численной модели термогазодинамических процессов, имеющих место в камере и сопловом аппарате ракетного двигателя

Физическая модель процессов, протекающих в электронагревном реактивном двигателе, описывается общей системой уравнений гидрогазовой динамики. Однако на практике наиболее часто используется не она, а набор полуэмпирических формул, полученных на основании обработки большого количества экспериментальных данных, а также некоторые уравнения из общей системы, приведенные к более простому виду благодаря введению ниже перечисленных допущений:

* считается, что скорость рабочего тела, поступающего в камеру РД, равна нулю (wк=0);
* рабочее тело полагается подчиняющимся законам идеального газа, т.е. для него справедливы уравнения состояния идеального газа;
* принимают, что в процессе движения рабочего тела вдоль сопла не происходит теплообмена между рабочим телом и стенками сопла, т.е. процесс истечения адиабатный (Q=0);
* пренебрегают действием внешних сил на поток рабочего тела (Fвн=0);
* пренебрегают вязкостью рабочего тела (ν=0);
* процесс подвода энергии к рабочему телу в камере в высокочастотном разряде считают происходящим в эффективном объеме камеры, составляющем 20% от общего объема камеры.

Приведем основные зависимости параметров рабочего тела в камере РД с учетом вышеизложенных допущений. Скорость истечения газа из реактивного сопла:

(2.1)



где k – показатель адиабаты рабочего тела;

Rμ=8314 Дж/(кмоль К), универсальная газовая постоянная;

μ – молекулярная масса рабочего тела, кмоль;

Тк - температура в камере сгорания, К;

ра - давление на срезе сопла, Па;

ра – давление в камере,Па.

Площадь среза сопла определяется выражением:



или

(2.2)



где fкр – удельная площадь критического сечения сопла, м2с/кг;

fа – удельная площадь среза сопла, м2с/кг;

- степень расширения рабочего тела в сопле.



Удельный импульс двигателя:

, (2.3)



где рн – давление окружающей среды, Па;

- удельная площадь среза сопла, м2с/кг.



Тяга двигателя определяется по формуле:

, (2.4)



где - расход рабочего тела через камеру, кг/с;



Fa –площадь среза сопла, м.

Удельная площадь произвольного сечения камеры сгорания и сопла определяется по формуле:

, (2.5)



где - число Маха в данном сечении сопла;



w – скорость течения рабочего тела в данном сечении сопла, м/с;

- cкорость звука в данном сечении, м/с.



Зависимость между степенью расширения рабочего тела в сопле ε и числом Маха на срезе сопла выражается следующей формулой:



. (2.6)



Зависимость между поперечными размерами сопла на срезе fa и степенью расширения газа в сопле ε определяется так:

, (2.7)



Нерасчетный режим работы сопла, когда ра<рн, называется режимом перерасширения и сопровождается проникновением скачков уплотнения внутрь сопла. Начало этого проникновения совпадает с моментом появления скачков уплотнения на срезе сопла, при ра<(0,2 – 0,4)рн. В ходе экспериментов было установлено, что число Маха в сечении, где располагается граница скачков уплотнения при их проникновении внутрь сопла, может быть найдено из уравнения:

, (2.8)



где Мх – число Маха в сечении границы скачков уплотнения;

ξ – поправочный коэффициент.

После нахождения из этого уравнения числа Мх можем определить:

* местоположение сечения Х:

, (2.9)



* удельный импульс двигателя:

, (2.10)



* скорость потока рабочего тела в сечение Х:

, (2.11)



* температуру рабочего тела в сечении Х:

(2.12)



## Термодинамические процессы, протекающие в камере электронагревного движителя

Обобщенно можно представить ТД процессы, протекающие в ЭРД с ВЧ нагревом рабочего тела, следующим образом (см. рисунок 17):

Рисунок 3. Схема электронагревного ракетного движителя



Запишем уравнение баланса энергии в интегральной форме для промежутка времени в предположении установившегося процесса работы двигателя:



, (2.13)



где Qрас –потери энергии в двигателе, связанные с рассеянием ее в стенки камеры и сопла и др.;

Ср0, Сра – изобарные теплоемкости рабочего тела соответственно при температурах рабочего тела на входе в камеру и на выходе из сопла, Дж/(кг\*К);

Т0, Та - температуры рабочего тела соответственно на входе в камеру и на выходе из сопла, К;

w0, wа – скорости потока рабочего тела соответственно на входе в камеру и на выходе из сопла, м/с.

Разделим все члены записанного уравнения на (), т.е. приведем его к удельной форме:



, (2.14)



Его можно записать иначе:

, (2.15)



где .



Связь параметров рабочего тела на срезе сопла с параметрами в камере определяется следующей зависимостью:



или

. (2.16)



С учетом допущения об идеальности рабочего тела:

. (2.17)



Исходя из предположения адиабатности течения, получим:

, (2.18)



хотя на самом деле течение является изоэнтропным, в данной формуле, так же как и в последующих, следует вместо k писать nиз, причем nиз<k.

Исходя из вышеприведенных формул, имеем:

. (2.19)



Связь параметров рабочего тела в критическом сечении сопла с параметрами в камере:



или

,



, (2.20)



,



.



Определим связь параметров рабочего тела в камере с площадью критического сечения сопла. Из уравнения:

, (2.21)



получим:

. (2.22)



Моделирование основных газодинамических процессов в ЭНД с ВЧ нагревом рабочего тела, в качестве которого использовались различные водород содержащие и водород не содержащие газы, осуществлялось с использованием вышеприведенных формул.

**Заключение**

С использованием приведенных выше формул были проведены численные расчеты рабочих характеристик реактивного двигателя для рабочих тел (как водород содержащих Н2, NН3, Н2О, так и водород не содержащих СО2, N2, Не2, Аr). Все расчеты производились для одинаковых термодинамических параметров в камере двигателя, для одних и тех же геометрических размеров камеры и сопла, и баллонов системы хранения и подачи рабочего тела. Полеченные результаты расчета сведены в таблицу 2 и графически представлены на рисунке 4. На рисунке 4 представлены зависимости удельного импульса ракетного двигателя, массы необходимого рабочего тела, массы СХП этого рабочего тела, и суммарной массы СХП, и рабочего тела от рода рабочего тела (проще говоря, от М и к рабочего тела). Из этой зависимости вытекает вывод о преимущественном использовании в качестве рабочих тел веществ с низкой молекулярной массой. Одним из наиболее доступных и широко распространенных веществ с низкой молекулярной массой является молекулярный водород. Здесь же представлена зависимость массы потребного рабочего тела и массы необходимой для его хранения СХП баллонного типа от рода рабочего тела.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Газ** | | | | | | |
| **Водо-**  **род** | **Гелий** | **Ам-**  **миак** | **Азот** | **Воз-**  **дух** | **Аргон** | **Ксе-**  **нон** |
| **Хим. формула** | Н2 | Не2 | NН3 | N2 |  | Ar | Xe |
| **Молекулярная масса, кг/моль** | 2 | 4 | 17 | 28 | 29 | 40 | 131 |
| **Газовая постоянная, Дж/(кг К)** | 4157 | 2078,5 | 489,06 | 296,93 | 286,69 | 207,85 | 63,466 |
| **Показатель адиабаты** | 1,4 | 1,66 | 1,29 | 1,4 | 1,4 | 1,66 | 1,66 |
| **Удельный импульс, с** | 5197,4 | 3191,5 | 1949 | 1388,8 | 1365,9 | 1010,6 | 567,06 |
| **Масса РТ, кг** | 9,6203 | 15,66 | 25,65 | 36 | 36,607 | 48,05 | 80,76 |
| **Масса СХП, кг** | 212,64 | 181,02 | 89,512 | 90,623 | 90,339 | 101,75 | 115,86 |
| **Масса всей системы, кг** | 222,26 | 196,68 | 115,16 | 126,62 | 126,94 | 149,8 | 196,62 |

Из анализа этого графика следует, что по критерию минимальной массы системы хранения и рабочего тела наилучшим рабочим телом является аммиак. Однако следует принять во внимание тот факт, что в случае применения в качестве СХП водорода такой системы хранения как, например, хранение водорода в металлогидридах или в связанном состоянии, суммарная масса такой СХП рабочего тела водорода может быть снижена и станет ниже массы газобаллонной СХП других рабочих тел. Необходимо учитывать тот факт, что в отличие от аммиака, который является химически активным и, соответственно, требует для своих СХП использования дорогих конструкционных материалов и систем предотвращения утечки, и имеет достаточно низкий удельный импульс, не токсичный и не химически активный водород позволяет упростить структуру СХП.

Рисунок 4. Зависимости удельного импульса РД, массы необходимого рабочего тела, массы СХП этого рабочего тела, и суммарной массы СХП и рабочего тела от рода рабочего тела.



При использовании водорода в качестве рабочего тела мы можем достичь больших значений скоростей истечения (т.е. большего удельного импульса) и получить более безопасную систему с точки зрения хранения рабочего тела и эксплуатации двигательной установки. Кроме того при рассмотрении в качестве варианта нагрева рабочего тела в камере РД способа ВЧ нагрева следует учитывать тот факт, что для достижения наибольшего КПД процесса передачи энергии от ВЧ разряда к рабочему телу необходима полная или частичная ионизация, или активация последнего, что в случае аммиака представляет собой достаточно серьезную проблему.

**Список литературы:**

1. Арлазаров М.С. “Гражданская реактивная техника создавалась так…”. Москва, 1976.
2. Баев Л.К. “Реактивные самолеты”. Москва, 1958.
3. Новиков А.А. “Реактивная техника в транспортной авиации”. Ленинград, 1963.
4. Безэлектродный разряд высокого давления. ЖТФ, №36, т.5, 1966г., с.913-919
5. Особенности развития импульсных СВЧ разрядов в различных газах. ЖТФ, №4, т.68, 1998г, с.33-36
6. Получение атомарного водорода в высокочастотном газовом разряде и масс-спектрометрическая диагностика процесса. ЖТФ, №5, т.67, 1997г., с.140-142
7. K.H. Groh, H.J. Letter. RIT 15 – a medium range radio-frequency ion thruster.
8. А.Н.Пономарев "Советские авиационные конструкторы"

МОСКВА. Воениздат. 1990 г.

1. А.Н.Пономарев "Авиация на пороге в космос"

МОСКВА. Воениздат. 1971 г.

1. И.К.Костенко " Летающие крылья "

МОСКВА. Машиностроение. 1988 г

1. Г.Ф.Байдуков " Первые перелеты через Ледовитый океан. Из воспоминаний летчика ". МОСКВА. 1977 г.