Региональная конференция по научно – техническому творчеству школьников «Лабиринты науки»

секция Техника

Летательные аппараты, опередившие своё время

Работа выполнена

Булиным Егором Максимовичем,

учеником 11 «Б» класса МОУ СОШ № 30

Рыбинска Ярославской области

Научные руководители

Карелин Олег Олегович

кандидат технических наук, доцент кафедры авиационных двигателей РГАТУ

Большакова Любовь Александровна

учитель физики МОУ СОШ № 30

Рыбинска Ярославской области

2021

Оглавление

Введение 3
Основное содержание 4
Инновации авиастроения 4
История разработки СПС Ту-144Д и двигателя РД36-51 4
Сравнение и описание СПС Ту-144Д и «Конкорд» 6
Особенности двигателей РД36-51 и «Олимп» 7
Сравнение основных характеристик двигателей РД36-51 и «Олимп» 8
Исследование поворота лопатки в потоке воздуха 8
Заключение 9
Источники информации 10
Приложения 11

1. Введение

Актуальность работы: человек старается летать выше и быстрее, и в настоящее время, в связи с достижениями и постоянным развитием научно-технического прогресса, растут требования к совершенствованию и строительству летательных аппаратов, многие из которых были выполнены образцами, изобретёнными ранее и опередившими своё время.

Гипотеза: за всю историю авиастроения был разработан ряд летательных аппаратов, опередивших своё время, имеющих особые конструктивные особенности. Один из них – пассажирский самолёт Ту-144Д, имеющий инновационный двигатель РД36-51.

Цель работы: доказать, что система регулирования компрессора двигателя РД36-51 является инновационной.

Задачи работы:

1) изучить конструктивные особенности двигателя РД36-51;
2) представить схему конструкции двигателя;
3) изучить особенности механизации компрессора двигателя;
4) рассмотреть имитацию поворота лопатки в потоке воздуха в большой аэродинамической трубе, установленной в лаборатории кафедры авиационных двигателей Рыбинского государственного авиационного технического университета;
5) выявить закономерность изменения поворота лопатки двигателя от газодинамического угла;
6) обработать результаты в программе Microsoft Excel.

Методы исследования: теоретическое исследование, анализ, моделирование, эксперимент, визуализация.

2. Основное содержание

2.1. Инновации авиастроения

Человек всегда старается летать выше и быстрее, поэтому он разрабатывает летательные аппараты, соответствующие его мечте. Многие летательные аппараты опередили своё время. Яркими представителями являются дирижабль «Гинденбург», уникальный летательный аппарат, который совершил 17 трансконтинентальных перелётов с пассажирами на борту и советская ракета-носитель Н-1, которая была предназначена для высадки космонавтов на Луну. Между данными инновационными разработками стоят сверхзвуковые пассажирские самолёты Ту-144Д и «Конкорд», имеющие инновационные двигатели, конструктивные особенности которых мы исследовали.

2.2. История разработки СПС Ту-144Д и двигателя РД36-51

В начале 60-х годов 20 века значительно усилился интерес к созданию сверхзвуковых пассажирских самолетов (СПС), которые могли существенно сократить продолжительность грузовых и пассажирских перевозок.

Специалисты КБ генерального конструктора А. Н. Туполева, которому было поручено создание СПС, склонялись к применению двухконтурного турбореактивного двигателя с форсажной камерой (ДТРДФ), обладавшего на дозвуковом бесфорсажном режиме меньшим удельным расходом топлива по сравнению с одноконтурным ТРД. Они рассчитывали, при необходимости, увеличить тягу двигателя за счет увеличения степени форсирования. КБ генерального конструктора Н. Д. Кузнецова разрабатывало двухконтурный турбореактивный двигатель НК-144, схема которого представлена в приложении 1.

Рыбинскому КБ, стремившемуся получить это задание, было разрешено провести расчетно-конструкторские работы и подготовить свои предложения по данному вопросу. Расчеты показали, что высокотемпературный ТРД с большей степенью повышения давления в компрессоре, с высокими

значениями КПД основных узлов обеспечивает СПС-1 большую дальность, чем ДТРДФ. Этот вывод подтверждается и тем, что для англо-французского СПС «Конкорд» был выбран одноконтурный ТРДФ «Олимп» 593.

Основные преимущества одноконтурного ТРД, по сравнению с ДТРДФ, примененным на первом этапе эксплуатации СПС-1, заключаются в следующем:

- более низкий удельный расход топлива на крейсерском сверхзвуковом режиме полета;
- более высокая величина удельной тяги. Повышение удельной тяги ДТРДФ за счет форсажа резко увеличивает удельный расход топлива. Для обеспечения заданной тяги при оптимальных параметрах ТРД и ДТРДФ, последний должен иметь большие габариты, больший по габаритам воздухозаборник и более сложную систему его механизации. Все это увеличивает массу силовой установки, ухудшает качество самолета и увеличивает потребную тягу. При выполнении полета по типовому маршруту с одинаковой платной нагрузкой взлетный вес самолета с ДТРДФ оказывается больше массы самолета с ТРД за счет большей массы силовой установки и большего количества топлива, необходимого для полета.
- ТРД конструктивно проще, чем ДТРДФ.

С целью дальнейшего развития самолета, в августе 1972 года Рыбинское КБ получает задание создать более совершенную модификацию РД36-51А - двигатель РД36-51 со следующими основными данными:

- взлетная тяга $R_{взл}$ = 23000-24000 кгс;
- тяга на крейсерском режиме полёта $R_{кр}$ = 5000-5300 кгс;
- удельный расход топлива 1,23-1,24 кг/кгс·ч (при $R_{кр}$ = 5000 кгс, Н = 18 км, М = 2,2);
- масса 4200 кг (без реверса);

- масса реверса 500 кг.

Такой двигатель был разработан для Ту-144Д, модификации Ту-144 с увеличенной дальностью полета. Он позволял возить 150 пассажиров на расстояние более 8000 км и 200 пассажиров на 6500 км. Результаты испытаний двигателя РД36-51А показали, что его можно усовершенствовать, и Рыбинское КБ существенно изменило камеру сгорания и компрессор. Новая модификация получила название РД36-51.

РД-36-51 — первый в мире газотурбинный двигатель, предназначенный для осуществления длительного сверхзвукового полёта без использования форсажной камеры. Его схема представлена в приложении 3. Двигатель РД36-51 прошёл все государственные стендовые и лётные (на самолёте Ту-144Д) испытания в 1973-1975 годах.

2.3. Сравнение и описание СПС Ту144 и «Конкорд»

ТУ-144 и Конкорд внешне похожи. На иллюстрациях (приложение 6) видно и самое заметное внешнее отличие «Ту-144» — наличие «усов» в носовой части. Они выдвигались при взлёте и посадке, выполняя роль горизонтального оперения, а также направляли воздушный поток под крыло. Благодаря этому решению, «Ту» мог заходить на посадку с меньшим углом атаки и меньшей мощности двигателей.

Одной из основных особенностей Конкорда стало треугольное крыло с непрерывно меняющимся по размаху углом стреловидности: от очень большого у корня (75° -85°) до средних значений в концевой части (50° - 65°), получившее название «оживального». Использование «оживального» крыла снижало смещение аэродинамического фокуса при преодолении «звукового барьера», но для сохранения равновесного состояния самолета в этот момент топливо перекачивалось в специальные центровочные баки.

Детальные характеристики данных самолётов представлены в приложении 5.

2.4. Особенности двигателей РД36-51 и «Олимп»

I. РД36-51 — авиационный турбореактивный двигатель, разработанный в ОКБ-36 (ныне ПАО «ОДК-Сатурн»).

Компрессор двигателя 14-ступенчатый со сверхзвуковой первой ступенью. Рабочие лопатки первых трех ступеней имеют антивибрационные полки. Регулирование компрессора производится по приведенной частоте вращения направляющими аппаратами пяти передних и пяти задних ступеней. Корпус и ротор компрессора, а также гидравлическая часть камеры сгорания выполнены по традиционным для ОКБ схемам. Силовая схема камеры конструктивно выполнена на одной опоре. К конструктивным особенностям трехступенчатой турбины двигателя относятся: расположение ротора между опорами; упругое демпфирующее устройство с гибкими элементами в опоре; компрессор с 11 регулируемыми ступенями; коническая форма вала.

На двигателе применено всережимное сверхзвуковое сопло с центральным телом. Регулирование площади критического и выходного сечений сопла осуществляется перемещением в осевом направлении конуса центрального тела относительно неподвижной профилированной наружной обечайки. Конус управляется следящим силовым гидроцилиндром двустороннего действия. Площадь критического сечения сопла изменяется по положению рычага управления двигателем. Двигатель имеет систему струйного шумоглушения, подающую воздух в газовый поток через отверстия в центральном теле.

II. Олимп 593 — 2-вальный турбореактивный двигатель с тиристорным управлением. Компрессоры имели по 7 ступеней и приводились в движение одноступенчатой турбиной. Из-за высоких температур воздуха на входе в крейсерскую скорость 2 Маха - свыше 120 °C - барабаны и лопатки компрессора были изготовлены из титана, за исключением последних 4 ступеней, которые были изготовлены из никелевого сплава Nimonic 90. Никелевые сплавы обычно требовались только в более горячих областях

турбины, но высокие температуры, возникающие на последних ступенях компрессора при сверхзвуковых скоростях полета, диктовали его использование и в компрессоре. Лопатки роторов турбин были охлаждены.

Для обеспечения требуемой взлетной тяги был установлен частичный подогрев (20%-ый наддув тяги). Он также использовался для околозвукового ускорения от 1 Маха до 1,7 Маха; самолет летел сверхзвуковым образом без перегрева выше этой скорости, а на крейсерском режиме двигатель давал 8% тяги, создаваемой полной двигательной установкой.

2.5. Сравнение основных характеристик двигателей «Олимп» и РД36-51

Сравнение основных характеристик двигателей представлено в приложении 7.

РД-36-51 – двигатель, в котором сосредоточены все передовые технологии времени его разработки. В отличие от своего зарубежного конкурента, РД36-51 позволял лететь на сверхзвуковой скорости без форсажа. Англо-французский «Конкорд» с двигателями «Олимп» значительно уступал советскому РД36-51 по всем основным параметрам. У отечественного двигателя стоит выделить очень важную конструктивную особенность: компрессор с 11 регулируемыми ступенями.

2.6. Исследование поворота лопатки в потоке воздуха

В ходе эксперимента рассмотрена имитация поворота лопатки в потоке воздуха в большой аэродинамической трубе, установленной в лаборатории кафедры авиационных двигателей Рыбинского государственного авиатехнического университета (приложение 8).

Мы определили газодинамический угол с помощью угломера потока воздуха (приложение 11), соответствующий геометрическому углу, который был измерен угломером поворота лопатки (приложение 10), при котором уровни дифференциального манометра (приложение 9) уравновешены.

По итогам эксперимента составлена таблица полученных значений (приложение 12) и построен график их зависимости (приложение 13) в программе Microsoft Excel.

График угла потока воздуха от угла поворота лопатки – ломаная линия, т.к. причиной расхождения значений углов является отставание потока воздуха.

В ходе работы было выяснено, что благодаря инновационной системе регулирования компрессора двигателя РД36-51 достигаются максимальные показатели тяги и минимальный расход топлива двигателя.

3. Заключение

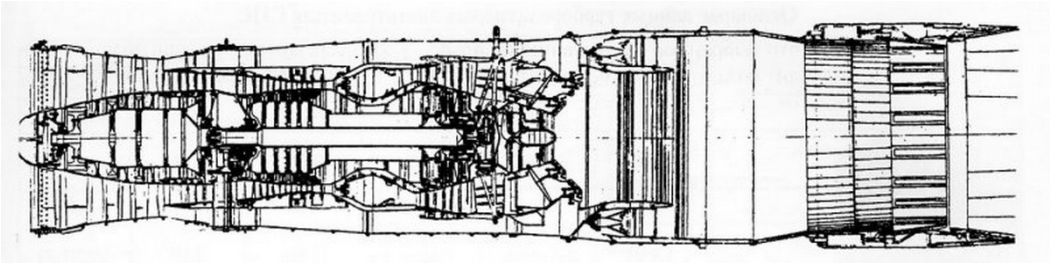
В ходе проведённой работы мы изучили историю разработки двигателя РД36-51, разработанного Рыбинским КБ, и сравнили его с англо-французским двигателем Олимп-593. Мы убедились, что советский двигатель во многом опередил зарубежного конкурента. Было доказано, что механизация компрессора двигателя РД36-51 является инновационной. В эксперименте был исследован принцип работы, обработаны результаты в программе Microsoft Excel. Можно сделать вывод, что РД36-51 – двигатель, имеющий лучшие показатели характеристик ТРД века его разработки. Данное изобретение Рыбинского КБ может послужить основой дальнейших открытий авиации России, ведь этот двигатель имеет показатели, являющиеся инновационными и по сей день. Бесценный опыт, накопленный при его создании, будет использоваться при создании СПС следующих поколений.

4. Источники информации

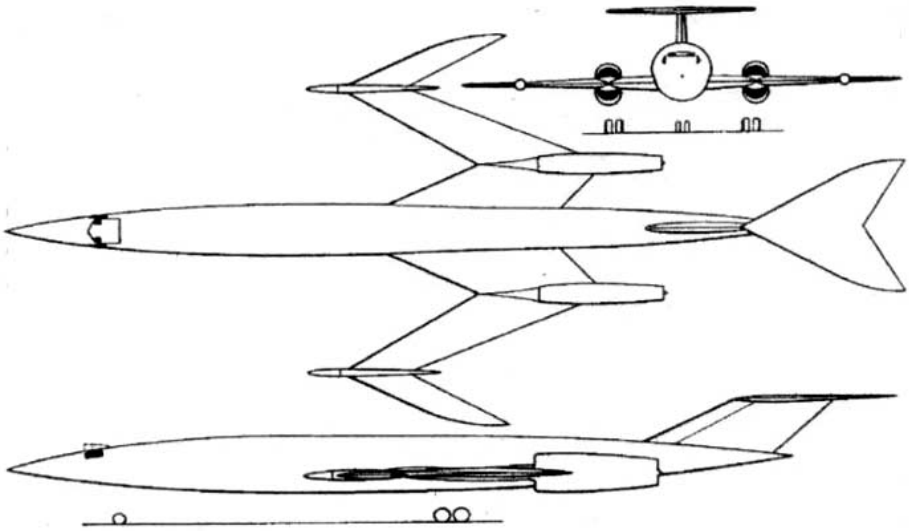
1) https://www.planers32.ru/mc_1264.html
2) Августинович В. Г. Битва за скорость. Великая война авиамоторов [Текст, иллюстрации]: военная проза, документальная литература / В. Г. Августинович, — Яуза: Эксмо, 2010. — 448 с.: ил.
3) Дынкин А. Л. Самолёт начинается с двигателя. Книга вторая. [Текст, иллюстрации]: заметки о Рыбинском КБ / А. Л. Дынкин, – Рыбинск: Издательство «Рыбинское подворье», 1998. — 544 с.
4) Зрелов В. А. Отечественные ГТД [Иллюстрации]: учебное пособие / В.А. Зрелов, – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2002. — 210 с.
5) Ковалевская А. Е., Хачатуров К. Р. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. [Текст]: учебник для студентов вузов / А. Е. Ковалевская, К. Р. Хачатуров, – Ленинград: Издательство «Машиностроение», 1989. — 368 с.;
6) Лукичев М., Шаульская Н. Александр Леонидович Дынкин. К 100-летию со дня рождения конструктора авиационных двигателей. [Текст]: книга-альбом / М. Лукичев, Н. Шаульская, – Рыбинск, Ярославль: Издательство «РМП», 2015. — 192 с.;

Приложения

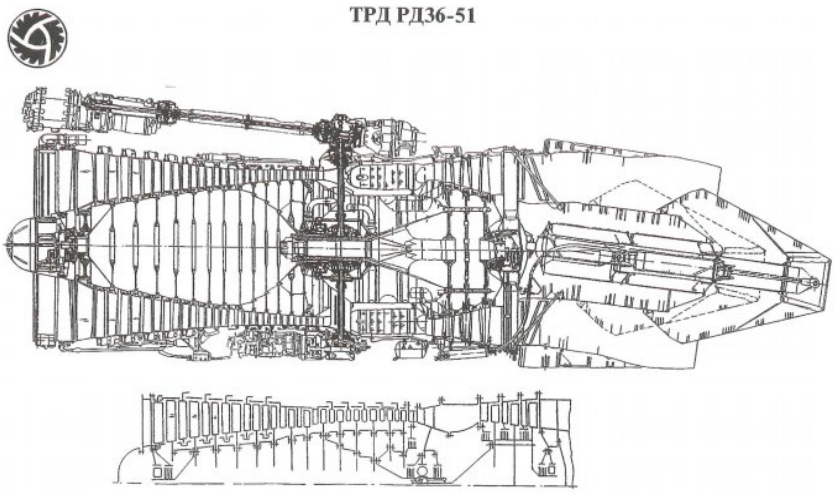
Приложение 1. Схема двигателя НК-144



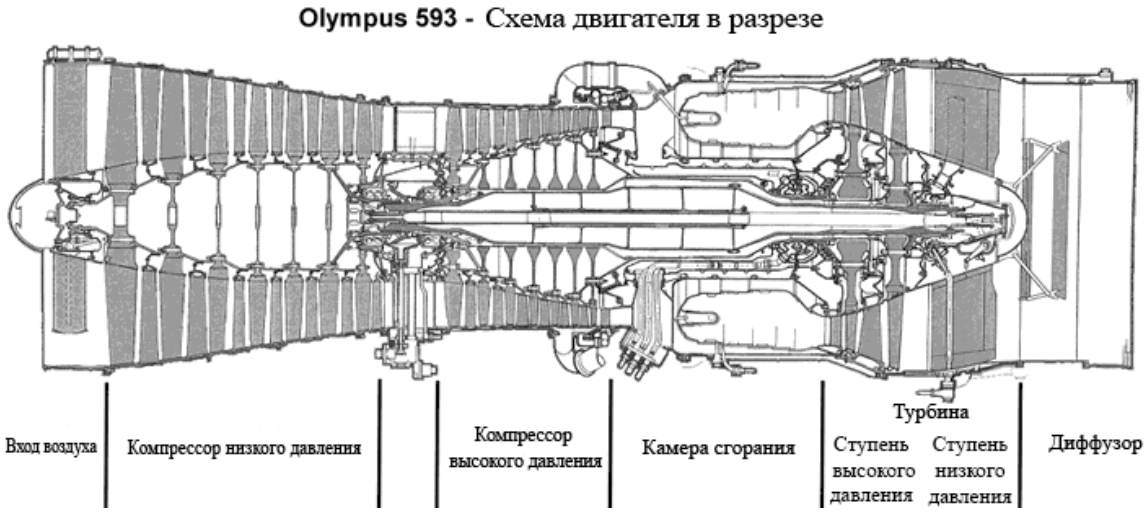
Приложение 2. Проект СПС ВАС-223



Приложение 3. Схема двигателя РД36-51



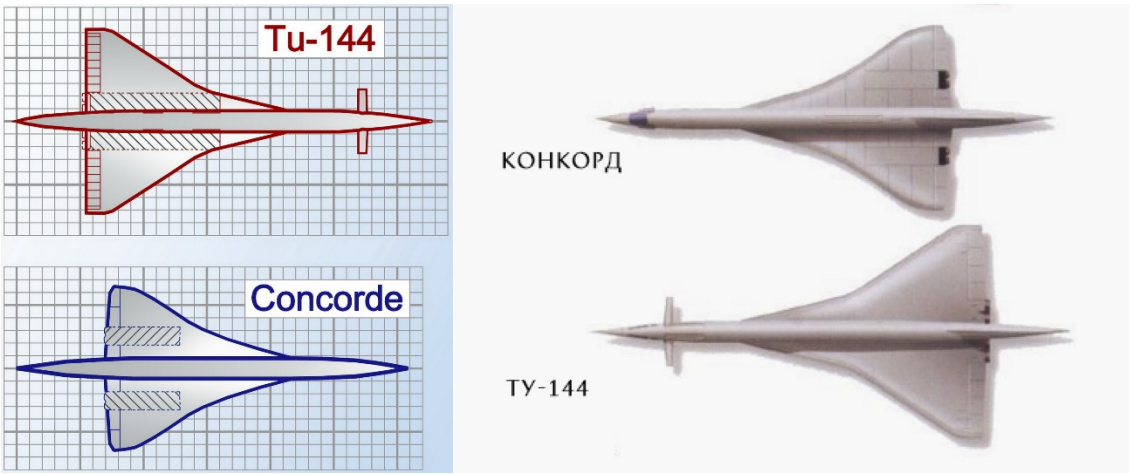
Приложение 4. Схема двигателя Олимп 583



Приложение 5. Таблица. Сравнение самолётов «Конкорд» и ТУ-144Д

Характеристика	**«Конкорд»**	**Ту-144Д**
Максимальное количество пассажиров	108	150
Дальность полёта (км) • Количество пассажиров	6300 90	6300 150
Скорость полёта ($^{км}/_{час}$)	2200	2300
Скорость захода на полосу ($^{км}/_{час}$)	300	280
Потребная длина ВПП	3500	3380
Шум на местности	119,5	112,6
Стоимость самолёта	60 млн долл.	28 млн руб.
Взлётно-посадочная механизация	—	Передние крылья и зависающие элевоны
Аэродинамическое качество	7,2/10	7,8/12

Приложение 6. Модельное сравнение самолётов Ту-144 и «Конкорд»



Приложение 7. Таблица. Сравнение параметров двигателей РД36-51 и «Олимп»

Параметр	**РД36-51**	**«Олимп»**
Тяга, кг Без форсажа С форсажем	 21000 —	 14000 17400
Расход воздуха, кг/с	282	188
Температура газа перед турбиной, ºС	1170	1180
Степень сжатия	15	14
Степень двухконтурности	0	0
Схема (количество ступеней компрессора и турбины)	14+3	7+7-1+3

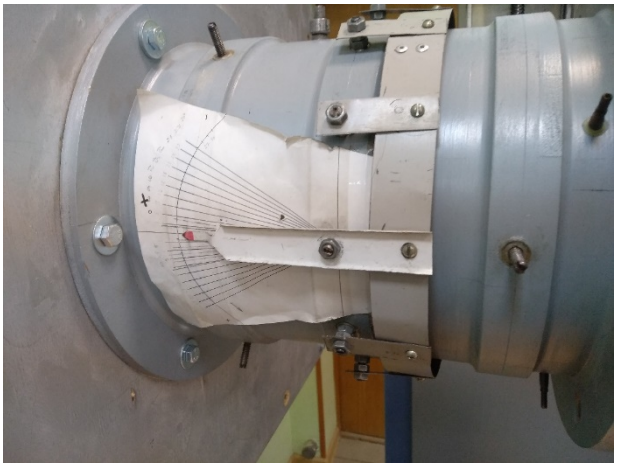
Приложение 8. Фото аэродинамической трубы РГАТУ



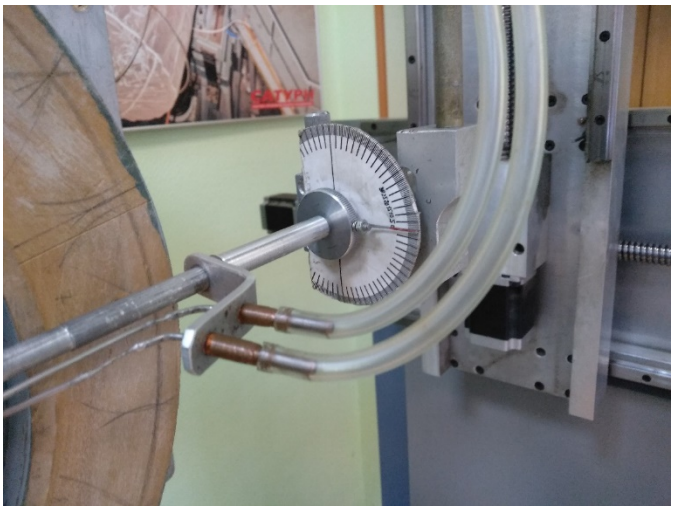
Приложение 9. Фото дифференциального манометра



Приложение 10. Фото угломера поворота лопатки



Приложение 11. Фото угломера потока воздуха



Приложение 12. Таблица значений угла поворота лопатки (установки) и потока воздуха.

∠α установки	∠α потока
0	0
5	6
10	10
15	12
20	15
25	19
30	22
35	25

Приложение 13. График зависимости значения угла поворота лопатки (установки) от значения угла потока воздуха, построенный в программе Microsoft Excel.

