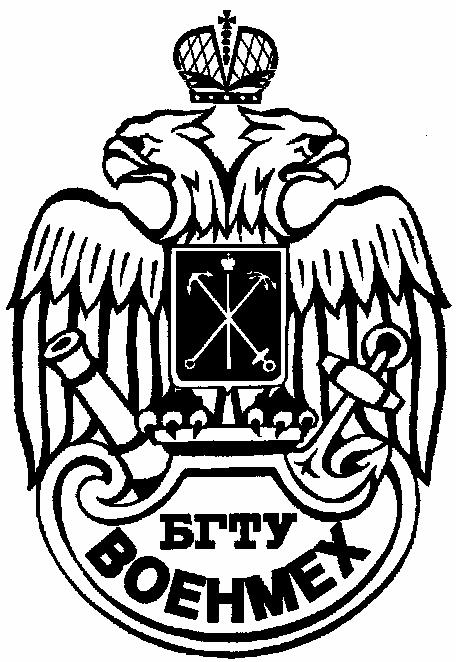
|  |
| --- |
| МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 |



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Факультет | А | Информационные и управляющие системы |
| Кафедра | А8 | Инжиниринг и менеджмент качества |
| Дисциплина | История, философия и методология науки и техники | |

Реферат на тему: «Испытания авиационных ГТД**»**.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнила студент группы | | | | А8М31 |
| Тетерин Р.О. | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | |
| **ПРЕПОДАВАТЕЛЬ** | | | | |
| Семёнов О.П. | |  | | |
| Фамилия И.О.                                     Подпись | | | | |
| Оценка |  | |  | |
| «\_\_\_\_\_» |  | | 2018 г. | |

Санкт-Петербург

2018г.

[Введение 3](#_Toc513729098)

[1. Классификация испытаний 4](#_Toc513729099)

[2. Стенды испытательные авиационных ГТД 7](#_Toc513729100)

[2.1 Назначение испытательных стендов 7](#_Toc513729101)

[2.2 Функциональные требования, компоновка и аэродинамика испытательного стенда 8](#_Toc513729102)

[2.3 Основные документы, регламентирующие испытания 10](#_Toc513729103)

[2.4 Основная техническая документация при испытаниях ГТД 12](#_Toc513729104)

[3. Основные средства измерений параметров авиационных ГТД при автоматизации испытаний 13](#_Toc513729105)

[3.1 Измерение температуры 14](#_Toc513729106)

[3.2 Измерение давления 15](#_Toc513729107)

[3.3 Тензометрические датчики давления 16](#_Toc513729108)

[4. Методы определение крутящего момента и мощности ГТД со свободной турбиной 18](#_Toc513729109)

[4.1 Воздушный тормоз 18](#_Toc513729110)

[Электрический тормоз 18](#_Toc513729111)

[4.2 Гидравлический тормоз 19](#_Toc513729112)

[Заключение 22](#_Toc513729113)

[Список использованных источников 23](#_Toc513729114)

# Введение

Каждый авиационный двигатель, пройдя этапы проектирования, конструирования и изготовления подвергается испытанию. Для объективной и полной оценки работы двигателя при влиянии различных условий используются следующие режимы работы двигателя:

* Взлетный – режим работы двигателя, характеризуемый максимальными значениями частоты вращения и температуры газа, установленными для условий нормального взлета.
* Номинальный – режим работы двигателя, характеризуемый пониженными (по сравнению с максимальным режимом) значениями частоты вращения ротора и температуры газа, при которых двигатель может работать в установленный промежуток времени.
* Крейсерский – режим работы двигателя, характеризуемый пониженными параметрами работы двигателя, но без ограничения времени по работе в пределах своего ресурса.
* Форсированный – режим повышенной тяги, получаемый за счет работы форсажной камеры, впрыска воды и т.д. Эти режимы различаются по степени форсажа от бесфорсажной максимальной тяги.

Непосредственная оценка характеристик двигателя получается путём проведения испытаний. Испытания -  экспериментальное определение (оценивание) количественных и качественных характеристик свойств объекта испытаний, как результат воздействия на него при его функционировании.

Основными характеристиками ВРД считаются дроссельная и высотно-скоростная.

При постоянной высоте и скорости полета дроссельной характеристикой называется зависимость тяги, температура газов за турбиной и удельный расход топлива от числа оборотов вала двигателя. Данная характеристика получается путем проведения стендовых испытаний и часто называется тяговой.

Высотно-скоростной характеристикой называется семейство зависимостей тяги и удельного расхода от скорости полета для различных высот полета. Данная характеристика получается при испытании на специальном «высотном» стенде.

# Классификация испытаний

Все виды испытаний ВРД по их назначению и в последовательности создания ВРД классифицируются на:

1. Исследовательские
   1. Модельные
   2. Натурные
2. Опытные
   1. Доводочные
      1. Узлов и агрегатов
      2. Двигателя в целом
      3. Наземные
      4. Летные
      5. Стендовые
   2. Государственные
      1. Длительные (на ресурс)
      2. Испытания в термобарокамере
      3. Летные
3. Серийные
   1. Кратковременные
   2. Длительные
      1. За месячную программу
      2. За квартальную программу
      3. Технологические
      4. До полного разрушения

Классификация испытаний является условной, поскольку происходит наложение испытаний в процессе выполнения различных задач. Так, например, длительные стендовые испытания на серийном заводе для проверки надежности лопаток турбины являются заводскими технологическими испытаниями. В то же время это – это часть исследовательской работы по выявления оптимальной технологии изготовления лопаток турбин.

Наиболее эффективными являются узловые испытания, поскольку являются эффективным средством опережающей отработки новых технических решений, которые позволяют сократить объем, стоимость и общие сроки выполнения работ по созданию нового ГТД или оптимизации ранее созданного двигателя. Узловые испытания компрессора проводятся на стендах. Привод такой установки, как правило, электродвигатель или газовая турбина, так же может быть включен редуктор (мультипликатор) с необходимым передаточным числом. Стенд должен быть оснащен устройствами для дросселирования потока на выходе и средствами измерения крутящего момента привода. На рис.1 продемонстрирована схема открытого стенда для испытания компрессоров.

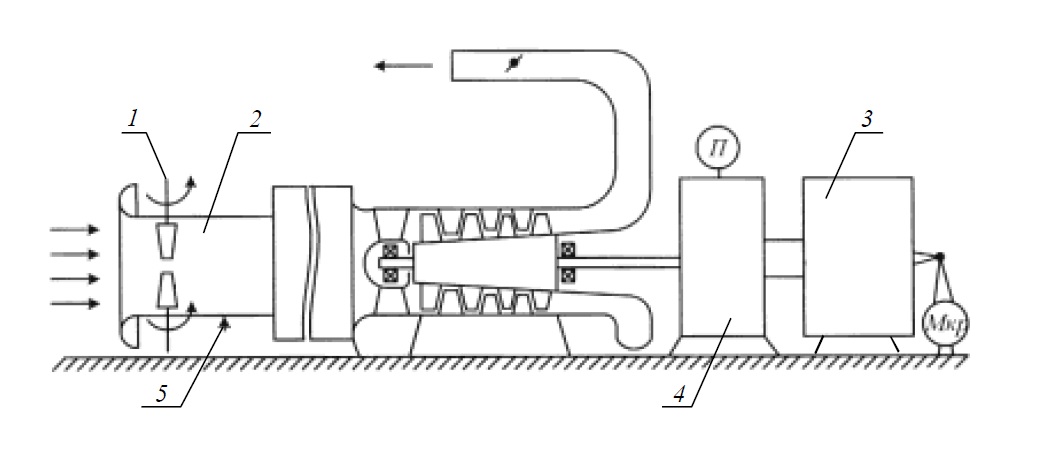


Рисунок 1 - Схема открытого стенда для испытания компрессоров:

1 – входной дроссель или интерцептор; 2 –входной патрубок; 3 –электродвигатель; 4 – мультипликатор; 5 – мерное сечение

При испытаниях на автономном турбинном стенде (см. рис. 2) помимо газо-динамических исследований проводят термометрирование и тензо-метрирование лопаток, дисков и корпусов. В автономных испытаниях основной камеры сгорания выбранной конструкции (для кольцевых камер допускается испытание отсека) проверяются ее гидравлические характеристики, эффективность горения топлива, устойчивость горения, высотность запуска, отсутствие виброгорения, уровень дымления и выделения вредных веществ.

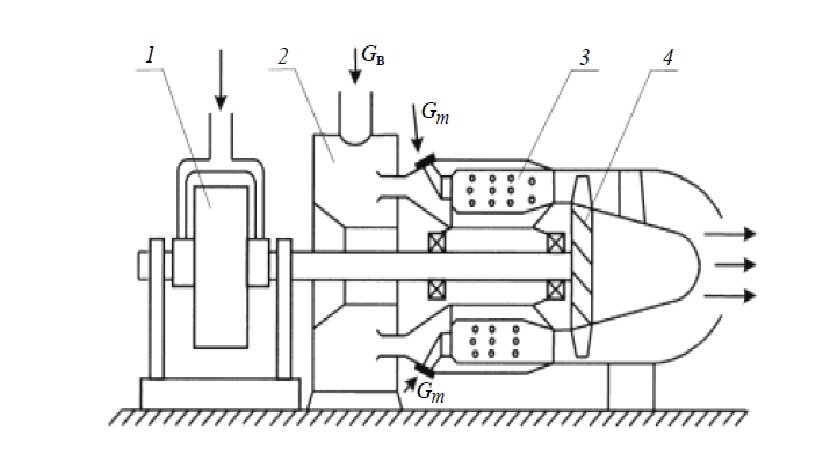


Рисунок 2 - Схема стенда для испытаний турбин в натурных условиях:

1 – гидротормоз; 2 – ресивер подвода сжатого воздуха;

3 – камера сгорания; 4 – испытываемая турбина

Экспериментальные данные требуют проверки в реальной компоновке двигателя или газогенератора, поскольку всегда есть разница между фактическими и рассчитанными значениями параметров испытания. Эффективность таких испытаний велика не только на ранних стадиях работы, но и в период доводки, оптимизации узлов двигателя с целью поиска решения по увеличению потенциала использования и увеличению КПД и уменьшение массы.

Основной ролью при разработке ГТД является испытание газогенератора, поскольку он собирается из узлов создаваемого двигателя и имеет конструктивно определяющее значение. Газогенератор является наиболее напряженным пакетом узлов ГТД, требующим наибольшей экспериментальной обработки. Его испытания могут быть проведены на начальной стадии работы

Значительную роль при разработке ГТД играют испытания газогенератора,

который собирается из узлов создаваемого двигателя. Газогенератор является

наиболее напряженным комплексом узлов, требующим наибольшей экспериментальной отработки. Он может быть создан и испытан на начальной стадии работы, когда еще окончательно не определены многие параметры двигателя, и является базой для создания целого семейства различных двигателей. Это позволяет рассматривать такой процесс как одно из направлений обеспечения опережающего научно-технического задела.

# 2. Стенды испытательные авиационных ГТД

# 2.1 Назначение испытательных стендов

В состав испытательной станции входят: боксы, в которых устанавливаются объекты испытания и оборудование, необходимое для проведения испытаний; примыкающие к боксам вспомогательные технологические помещения, где размещены часть измерительного оборудования, кабины управления, системы обеспечения топливом, маслом, сжатым воздухом, электроэнергией и некоторые другие (например: система подачи и отвода воды при гидротормозных испытаниях ТВД, система поглощения электроэнергии, вырабатываемой генераторами, гидросистема загрузки самолетных агрегатов и т. д.); обменный пункт; мастерские; отделение контрольно-измерительных приборов; центральное топливное хранилище; помещения технических и административно- хозяйственных служб.

Испытательную станцию располагают с подветренной относительно завода стороны, чтобы уменьшить попадание отработанных газов и ослабить действие шума.

Под испытательным стендом авиационного ГТД понимается единый комплекс средств и испытательного оборудования, предназначенный для проведения испытаний авиационных ГТД в наземных или имитируемых эксплуатационных условиях.

Испытательные стенды авиационных серийных ГТД предназначены для проверки качества, определения параметров и выходных характеристик ГТД испытаниями в наземных или частично имитируемых эксплуатационных условиях и должны обеспечивать проведение всех видов и категорий контрольных и ресурсных испытаний, предусматриваемых общими техническими условиями (ОТУ) для серийного производства, а также после их ремонта.

Испытательные стенды авиационных опытных ГТД, их систем и сборочных единиц (в составе ГТД) предназначены для проведения испытаний, исследований и доводки опытных ГТД в наземных или частично имитируемых эксплуатационных условиях и должны обеспечивать проведение исследовательских, доводочных, определительных, предварительных, межведомственных, государственных, ресурсных, специальных испытаний.

# 2.2 Функциональные требования, компоновка и аэродинамика испытательного стенда

Типовая схема испытательного стенда, размещение испытываемого ГДТ, основного оборудования и измерительных систем, аэродинамическая схема воздуха проводящих и газоотводящих устройств выбираются исходя из назначения стенда, особенностей конструкции, компоновки и характеристик ГТД, вида и назначения проводимых испытаний.

Для проведения стендовых испытаний современных ГТД могут создаваться испытательные стенды, где испытываемый ГТД размещается в испытательном боксе или на специально оборудованной открытой площадке.

Конструкция и эксплуатационные свойства испытательного стенда, компоновка и размещение основного оборудования должны обеспечивать:

- свободный подвод воздуха к входу в ГТД и в эжекторно-выхлопное устройство стенда и минимальное влияние аэродинамики стенда на основные параметры испытуемого ГТД;

- управление технологическим процессом испытания и измерение предусмотренных параметров и сигналов испытываемого ГТД как в автоматическом, так и в режиме с погрешностями, не превышающими допустимых значений;

- надежную работу и функционирования всех систем и оборудования испытательного стенда в соответствии с их назначением;

- свободный подход к испытываемому ГТЛ и оборудованию испытательного стенда для проведения необходимых технологических операций, технического обслуживания и замены агрегатов;

- возможность подогрева воздуха на входе в ГТД в соответствии с программой испытаний;

- возможность подогрева топлива и масла на входе в ГТД в соответствии с программой испытаний;

- выполнение требований ТБ, санитарных норм и защиты окружающей среды в процессе подготовки, проведения испытаний и технического обслуживания ГТД.

Испытательные стенды, выполненные по схеме с открытой площадкой для установки испытываемого ГТД, должны удовлетворять следующим требованиям, обусловленной спецификой их компоновки:

- испытательный стенд должен быть оборудован газоотводящим устройством, обеспечивающим безопасный отвод газовой струи от работающего на площадке ГТД для исключения прямого воздействия на окружающие постройки, растительность и почвенный покров, а также попадание газов на вход работающего ГТД;

- должно быть обеспечено экранирование работающего на площадке ГТД для исключения разлета обломков конструкции в случае его разрушения при испытаниях;

- размещение испытательной площадки на территории испытательной станции должно обеспечить уровень шума от работающего ГТД, не превышающий допустимых значений;

- испытательная площадка с установленным ГТД должна быть оборудована навесом и легко съемными устройствами для защиты обслуживающего персонала от ветра и атмосферных осадков при техническом обслуживании испытываемого ГТД;

- испытательная площадка должна иметь круговое ограждение для исключения случайного попадания в зону работающего ГТД людей, животных, средств транспорта и т. д.

Стенды для испытаний вертолетных, вспомогательных и других типов ГТД должны быть оборудованы загрузочными устройствами в соответствия с назначением и использованием конкретного типа ГТД на ЛА, для которого предназначен двигатель.

Аэродинамические характеристики испытательного стенда должны соответствовать следующим основным требованиям:

- затенение проточной части испытательного бокса не должно быть более 10% от его поперечного сечения. Не допускается хранение в испытательном боксе вспомогательного оборудования и агрегатов, затеняющих его проточную часть;

- потеря любого давления в боксе не должна превышать 1,330кПа (10мм.рт.ст.), а для вновь строящихся и реконструируемых испытательных стендов с закрытыми боксами при первичной аттестации - более 1,064кПа (8мм.рт.ст.)

- средняя скорость массы воздушного потока в проточной части испытательного бокса перед ГТД не должна превышать 15м/с;

- средняя скорость массы воздушного потока в живом сечении системы шумоглушения в зоне всасывания с закрытым боксом не должна превышать 25м/с;

- расстояние от среза сопла ГТД до цилиндрической части эжекторной части трубы должно быть не менее 1,50 диаметра среза сопла; для ранее построенных стендов, находящихся в эксплуатации, - не менее 1,25 диаметра среза сопла ГТД (на стендах для испытания вертолетных и вспомогательных ГТД - не регламентируется);

- неравномерность распределения давления перед входным устройством ГТД не должна превышать 10% от потери полного давления в боксе в сечении не ближе трех калибров ГТД и не более 2% от замеряемых перепадов давления в мерном сечении входного устройства.

# 2.3 Основные документы, регламентирующие испытания

Требования к испытаниям опытных и серийных ГТД в разные периоды определялись следующими документами: ОТУ-81 (общие технические условия на изготовление, приемку и поставку авиационных серийных двигателей действовали до 31.12.86 г.).

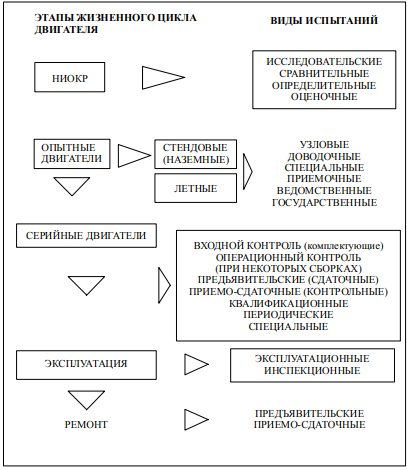


Рисунок 3 – Схема классификация испытаний

В этот комплекс были включены следующие документы:

1. Перечень основных технических данных авиационных двигателей.

2. Перечень технической документации и технических условий на изготов-

ление, приемку и поставку двигателей.

3. Программы стендовых испытаний.

4. Методики измерения и обработки результатов испытаний.

5. Стенды испытательные (перечень).

Затем вместо ОТУ-81 действовали ОТУ-91 (общие технические условия на изготовление, приемку и поставку авиационных двигателей для летательных аппаратов). В 1979 – 1994 годы весьма эффективно применялся документ ЕНЛГС (единые нормы летной годности самолетов) гражданских самолетов для стран СЭВ. Этот комплекс содержал требования, направленные на обеспечение безопасности полетов. В главе 6 имелись требования по всем видам испытаний для сертификации двигателя до установки на самолет. С 1994 года в Российской Федерации действуют «Авиационные правила» часть 33, в которой регламентированы нормы летной годности двигателей воздушных судов.

# 2.4 Основная техническая документация при испытаниях ГТД

1. Программа испытаний.

Это основной документ, регламентирующий проведение испытания и его подготовку. В программе указывается цель испытания, объект, параметры, подлежащие измерению, и необходимое препарирование, методика проведения эксперимента, режимы, ограничения, перечень зависимостей, которые необходимо получить, и порядок обработки измеренных величин.

2. Технологическая карта испытания (сокращенная программа для механика, управляющего двигателем). Порядок и последовательность установки режимов, время наработки и время измерений на каждом режиме, детальный перечень измерений и т.п.

3. Протокол испытаний.

В протоколе фиксируют: № двигателя, время и дату поступления двигателя на испытание, № стенда, № программы, вид испытания, наработка двигателя до и во время испытания, анализ масла и топлива. Результаты всех измерений, а также осмотров двигателя до и после испытания.

# 

# 3. Основные средства измерений параметров авиационных ГТД при автоматизации испытаний

Параметры, характеризующие ГТД, можно разделить на две группы.

Первая группа включает в себя параметры, выражающиеся абсолютной величиной и зависящие от размерности двигателя. Важнейшие из них:

* Реактивная тяга – для двигателей прямой реакции (ТРД, ТРДФ, ТРДД);
* Мощность на выходном валу – для ГТД непрямой реакции (вертолетных ГТД);
* Расход топлива;
* Расход воздуха на входе в двигатель;
* Сухая масса и т.д.

Такие параметры, как мощность, расход топлива и воздуха зависят от многих факторов, поэтому эти факторы указываются при стандартных атмосферных условиях для основных режимов и условий полета.

Например, для военных ТРДФ и ТРДДФ в земных условиях обычно указываются параметры на взлетном режиме, как без использования форсажа, так и с включенной ФК. Указанные абсолютные параметры используются при проектировании летательного аппарата для определения его летно-технических характеристик.

Сравнительную оценку уровня технического совершенства ГТД используются удельные параметры, не зависящиеот размерности двигателя:

* Удельная тяга Rуд – отношение тяги к расходу воздуха
* Удельная мощность Nуд – отношение мощности на валу к расходу воздуха
* Удельный расход топлива – отношение часового расхода топлива к тяге или мощности
* Удельная масса – отношение сухой массы к тяге или мощности
* Лобовая тяга – отношение тяги к площади входа в двигатель

В процессе испытаний авиационного ГТД измеряется большое количество параметров. При подготовке отдельного узла можно установить большое число датчиков системы измерений, а при испытаниях имеется возможность определить его характеристики и параметры на таких режимах, которые трудно воспроизвести на реальном двигателе.

При испытании компрессора на автономном стенде необходимо обеспечить, в первую очередь, надежное измерение параметров, по которым строится характеристика, - расхода воздуха, осредненных значений полного давления и температуры торможения потока воздуха на входе и выходе, частоты вращения и крутящего момента.

## **3.1 Измерение температуры**

При испытании ГТД измерение температуры производят в проточной части, в маслосистеме, в топливной системе и в отдельных элементах конструкции двигателя. Наибольшее распространение получили термопары. Принцип их основание на возникновении термоЭДС в цепи, состоящей из разнородных проводников (термоэлектродов). Спай термопары, помещенный в измеряемую среду, называется горячим спаем. Спай, температура которого поддерживается постоянной называется свободным спаем. Как правило, он находится в термостате.

Одна из возможных схем подключения термопары в измерительную цепь представлена на рис. 4.

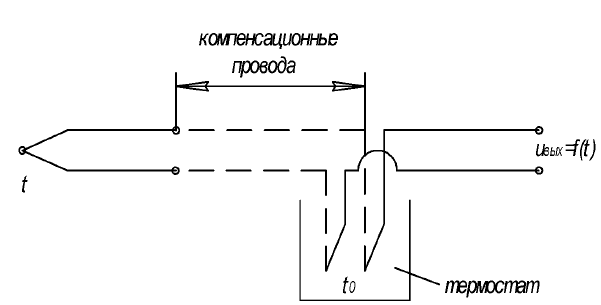


Рисунок 4 – Схема подключения термопары в измерительную цепь

Термопары стандартизованы. Они выпускаются в промышленных масштабах и имеют градуированные характеристики, которые нормируются по ГОСТ Р 8.585-2001[1].. Далее будет представлена табл.1, в которой представлены некоторые характеристики промышленных термопар.

Таблица 1. Характеристики промышленных термопар

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал  термоэлектродов | Обозна-чение | Пределы измерений | | Типичная погрешность термопары, % |
| Нижний, °C | Верхний, °C |
| Платинародий-платина | ПП | 0 | 1450 | 0,5 |
| Хромель-алюмель | ХА | -50 | 1150 | 1,0 |
| Хромель-копель | ХК | -50 | 600 | 0,6 |
| Никелькобальт-спецалюмель | НК-СА | 500 | 900 | 1,0 |
| Никельжелезо-спецкопель | НЖ-П-СК | - | 900 | 1,0 |

При испытании ГТД широко используются термометры сопротивления (ТС). Принцип их действия основан на свойстве проводников (полупроводников) изменять свое сопротивление при изменении температуры.

Диапазон работы ТС: платиновых - 260...+750°С, медных -50.. ,+180°С.

Рабочим органом является чувствительный элемент, выполненный из платиновой или медной проволоки и помещенный в тонкостенный металлический чехол, в который насыпают керамический порошок и затем герметизируют.

Основным преимуществом ТС является их высокая точность. Применение ТС позволяет обеспечить измерения с погрешностью 0,1...-0,5 %,

Недостатки: значительная инерционность, трудность измерения температуры в точке, трудность создания термогребенок из-за сравнительно больших габаритов.

## **3.2 Измерение давления**

В практике испытаний ГТД измерение давлений встречается наиболее часто. Различают измерения заторможенного (полного) и статического давления. Для того чтобы измерить давления, необходимо поместить в поток соответствующие приемники или производить измерение давления непосредственно на стенке, которую омывает поток. Приемники заторможенного давления с протоком имеют погрешность порядка 0,3 %.

Применяемые для измерения статического давления специальные зонды имеют обычно погрешность порядка 1,5 %.

Среди датчиков давления наибольшее распространение при автоматизации испытаний ГТД получили электрические преобразователи индуктивного, потенциометрического, тензорезисторного и частотного типов. Для создания стендовых автоматизированных измерительных систем в принципе пригодны любые датчики давлений, имеющие электрический выходной сигнал. Однако из достаточно широкого круга датчиков давления по ряду причин применяются в основном потенциометрические, индуктивные и тензометрические.

**3.3 Тензометрические датчики давления**

Способ измерения давлений с помощью тензорезисторов, расположенных на деформируемой измеряемым давлением мембране, позволяет создать довольно простые датчики. Однако выполненные по такой схеме датчики из-за отсутствия термокомпенсации и низкого качества сцепления тензоэлементов с мембраной не позволяют получить высоко-точные характеристики. Погрешность измерения давления с помощью таких датчиков составляет 1.. .5%, что является их существенным недостатком. Такой большой погрешности не имеют датчики типа Сапфир.

Схема датчика Сапфир-22 приведена на рис.4. Датчик устроен следующим образом. Мембранный тензопреобразователь 3 размещен внутри основания 9. Внутренняя полость 4 тензопреобразоваталя заполнена кремнийорганической жидкостью и отделена от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 6, приваренной по наружному контуру к основанию 9. Полость 10 сообщена с окружающей средой. Измеряемое давление подается в камеру 7 фланца 5, который уплотнен прокладкой 8.

Измеряемое давление воздействует на мембрану 6 и через жидкость на мембрану 3 тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается в электронное устройство 1 по проводам через термовывод 2. Датчики Сапфир-22, предназначенные для измерения абсолютного, избыточного давления и перепада давлений, имеют унифицированное электронное устройство 1 и отличаются конструкцией измерительного блока.



Рисунок 5 – Схема датчика давления Сапфир-22

Чувствительным элементом тензопреобразователя является пластина 11, состоящая из монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами 12, прочно соединенных с металлической мембранной тензопреобразователя.

**4. Методы определение крутящего момента и мощности ГТД со свободной турбиной**

Крутящий момент в ГТД со свободной турбиной определяют следующими способами:

1. По реакции в редукторе двигателя (при помощи специальных измерителей крутящего момента ИКМ)
2. По реактивному моменту на корпусе двигателя (на балансирном силоизмерительном устройстве)
3. По тормозному моменту (с гидравлическим тормозом, с воздушным тормозом и т. п.).

**4.1 Воздушный тормоз**

В качестве воздушных тормозов применяют воздушные винты двигателей или мулинетки. Мулинетка – это воздушный тормоз, служащий для измерения мощности двигателя. Она, вращаясь на валу двигателя, потребляет механическую мощность и расходует ее на преодоление сил сопротивления воздуха. Обладая заданной формой, она позволяет установить зависимость междучастотойвращения ипотребляемой мощностью. По частоте вращения мулинетки можно определить мощность двигателя, при данной частоте вращения вала.

Из формулы (1) следует, что мощность N (л.с.), потребляемая мулинеткой, зависит от частоты вращения (тыс. об/мин), диаметра мулинетки D (мм), коэффицента мощности К и плотности воздуха :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Воздушные тормоза применяют при испытании двигателей как на жестких, так и на балансирных силоизмерительных устройствах.

Электрический тормоз

Электрический тормоз двигателя основывается на свойстве обратимости электрического двигателя. Если статор двигателя установить на подшипники или сделать балансирным, то можно измерить величину силы реакции на нем, которая будет зависеть от поглащаемой мощности. Схема электрического тормоза представлена на рис. 6.

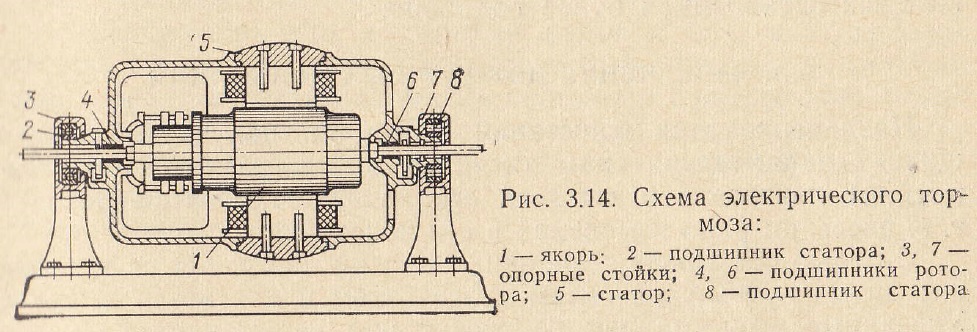


Рисунок 6 – Схема электрического тормоза

Изменяя напряжение в якоре (у машин с независимым возбуждением) или ток возбуждения (у машин с ограниченной областью плавного регулирования), осуществляется регулирование электрического тормоза. Регулирование электрических тормозов переменного тока осуществляется путем изменения частоты или с помощью муфт скольжения. В качестве таковых применяются асинхронные машины с короткозамкнутым ротором. Электротормоза постоянного тока являются уникальными и достаточно дорогими, зато они могут поглощать мощность до 30000 л.с.

**4.2 Гидравлический тормоз**

Наиболее доступным и эффективным считается гидравлический тормоз. Принцип его действия основан на использовании сопротивления, возникающего при вращении дисков в жидкости.

Принципиальная схема гидравлического тормоза приведена на рис.7. Тормозной диск 2 закреплен на валу 7, вращающийся в корпусе статора 5, который может поворачиваться в подшипниках. К центру диска 2 подается вода, которая далее под действием центробежной силы отбрасывается к периферии диска. Толщину слоя воды регулируют поворотными патрубками 8 при помощи червячного колеса 9.

Гидравлическое сопротивление, действующее на диск при его вращении в слое воды, создает тормозной момент. Последний направлен против вращения диска и уравновешивает равный ему момент, приложенный к валу тормоза. Кожуху через воду передается момент, равный тормозному моменту, но противоположно направленный. Этот момент поворачивает кожух в направлении вращения ротора. Величину этого момента измеряют при помощи динамометров.

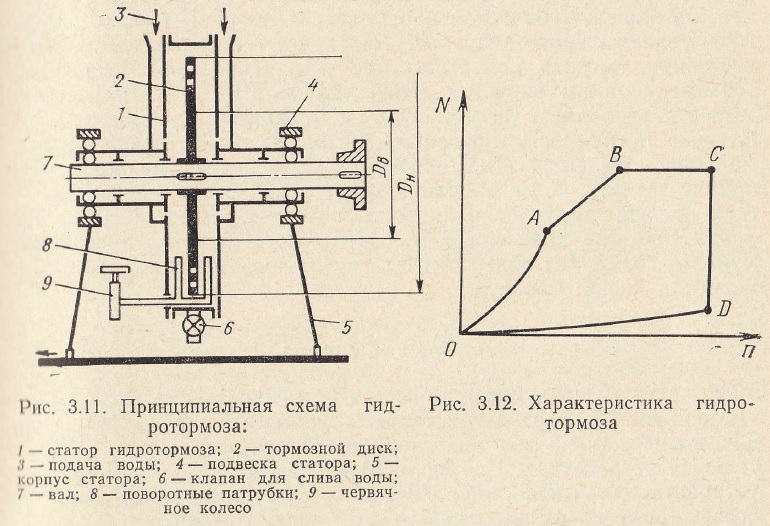


Рисунок 7 – Принципиальная схема гидротормоза



Рисунок 8 – Характеристика гидротормоза

Характеристика гидравлического тормоза приведена на рис. 8. Начальный участок характеристика ОА соответствует работе тормоза с максимальным наполнением водой. В точке А момент достигает максимального значения. Дальнейшее повышение частоты допустимо при понижении слоя воды в тормозе с таким условием, чтобы на участке АВ крутящий момент оставался постоянным и был равным максимальному. В точке В мощность поглощаемая тормозом, достигает максимального значения. Дальнейшее ее повышение приводит к закипанию воды. В точке С достигается предельная угловая скорость ротора тормоза. Линия OD показывает минимальную мощность, поглощаемую тормозом без воды за счет трения в подшипниках ротора и трения диска.

**Заключение**

Каждый авиационный двигатель, пройдя этапы проектирования, конструирования и изготовления подвергается испытанию. В ходе испытаний проверяется большое количество параметров авиационного ГТД. В данной работе была представлена классификация испытаний и на мой взгляд, самые надежные и эффективные средства контроля и измерения крутящего момента, давления и температуры.

На сегодняшний день применение микро-ГТД на аппаратах с взлетным весом порядка 100 кг представляется наиболее разумной перспективой. С уровнем тяг 200-300 Н микро-ГТД могут обеспечить высокие дозвуковые скорости полета БЛА легкого класса. С точки зрения массового совершенства двигательная установка с малоразмерным ГТД привлекательна. Низкий удельный вес микро-ГТД особенно ярко проявляется при небольшой продолжительности полета (до 30 мин.). При ограничении продолжительности полета до 15-20 мин. на основе микро-ГТД может быть создан высокоманевренный БЛА с тяговооруженностью более 0.5.

# Список использованных источников

1. ГОСТ Р 8.585-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования// [Электронный ресурс] Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200028583
2. Ю.И. Добряков. Проблемы разработки эффективного вертолетного ГТД. // “Двигатель” №2, 2009г.
3. Кулагин И. И.. Теория авиационных двигателей. – Оборонгиз. –1958г.
4. Конструкция авиационных газотурбинных двигателей// под ред. А. В.Штоды. –Москва, Воениздат. –1961г.
5. Леонтьев В.Н. Сиротин С.А. Теверовский А.М. Испытания авиационных двигателей и их агрегатов— Москва: Машиностроение, 1976. — 212 с.
6. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. ОАО "Авиадвигатель", 2006. — 1204 с.
7. Испытания авиационных двигателей. Межвузовский научный сборник. Выпуск № 18. Уфа: УАИ, 1991. — 157 с.
8. Инструкция по соблюдению правил пожарной безопасности испытательной станции Г.В.Заяц, Ю.Р.Авербух, ЗМКБ "Прогрес", 1996г.
9. Солохин Э.Л. "Испытания авиационных воздушно-реактивных двигателей", Москва, "Машиностроение", 1975г.
10. Папаев С. Т. "Охрана труда", Москва, Издательство стандартов, 1988г.
11. А.Н.Семенов, А.В.Антонов «Обеспечение динамической взаимозаменяемости роторов ГТД модульной конструкции путем раздельной балансировки с имитаторами». Вестник РГАТА. Рыбинск. 2008. № 1