

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**Лабораторный практикум
к курсу «Конструирование основных узлов
и систем авиационных двигателей»**

САМАРА
2010

УДК 621.452.221.3.01(075)

Составители: Старцев Николай Иванович
Новиков Дмитрий Константинович

В лабораторном практикуме содержатся лабораторные работы по курсу «Конструирование основных узлов и систем авиационных двигателей».

Лабораторный практикум предназначен для студентов факультета двигателей летательных аппаратов, обучающихся по магистерской программе «Интегрированные информационные технологии в авиадвигателестроении».

Подготовлен на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.

Содержание

1. Лабораторная работа «Опоры ротора»	5
2. Лабораторная работа «Конструктивные методы снижения роторной вибрации» ...	18
3. Лабораторная работа «Редукторы ВРД»	22
4. Лабораторная работа «Конструктивные методы повышения вибропрочности лопаток компрессора и турбины»	34
5. Лабораторная работа «Размещение агрегатов на двигателе. Виброизоляция неприводных агрегатов».....	40
6. Лабораторная работа «Трубопроводы»	46

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПОРЫ РОТОРА»

Цель лабораторной работы. В данном случае это комплекс учебных задач, вытекающих из функций опоры в составе конкретного ВРД: изучение и анализ конструкции опоры как элемента силовой схемы «ротор-корпус», связанного с подвеской двигателя на самолете, как основного объекта маслосистемы и системы суфлирования, как части газоздушного канала двигателя. Понимание работы уплотнительных устройств, подшипников, демпферов, шестерен, системы маслоподвода, защиты масляной полости опоры от тепловых потоков извне, отвода тепла прокачкой масла через опору и др. позволяет охватить все проблемы, связанные с созданием опоры, и таким образом перенять опыт проектирования.

Порядок выполнения работы

1. Ответить на контрольный вопрос (тест) и получить допуск на выполнение работы.
2. Внести в отчет название и номер работы. Получить индивидуальное задание.
3. Прочитать пособия по своим двигателям.
4. Ответить на 1-й вопрос задания при помощи натурального макета, чертежа, рисунка, фотографии, схемы двигателя. В ответе должно быть дано описание опоры как элемента силовой схемы, как элемента газового тракта, как элемента системы «ротор-корпус», показаны маслосистема, система суфлирования, уплотнения опоры. Необходимо зарисовать конструктивную схему опоры, описать и показать, где реализуются вышеуказанные функции.
5. Ответить на 2-й вопрос задания. Вопрос построен на сравнении опор различных двигателей. Необходимо сделать четкие рисунки и попытаться в отчете дать ответ на вопрос, почему в данном случае принято такое решение и какой из рассматриваемых вариантов предпочтительней.
6. Ответить на 3-й вопрос задания. Он касается чаще одного конкретного элемента, конструкцию которого нужно изучить, зарисовать и описать принцип работы, показать преимущества и недостатки.
7. За 30 - 40 минут до окончания занятия нужно представить отчет по лабораторной работе преподавателю, ответить на вопросы и получить оценку за работу.

Индивидуальные задания

Вариант 1

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры трехвального ТРДД Д-36 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:
 - место опоры в конструктивной схеме двигателя;
 - схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
 - конструктивное оформление РУН с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
 - подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
 - управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.
 Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.
2. Изучить конструкцию средней опоры двигателей НК-8 и Д-18Т или Д-36 и НК-93, зарисовать конструктивные схемы и дать анализ конструкции уплотнений и мотивировать выбор конструктором того или иного уплотнения.

3. Анализируя работу РТКУ передней опоры двигателя Д-36, зарисовать конструкцию РТКУ, показать эффективность его работы на режиме и останове. Какова роль канавок Рэлея? Материалы кольца и других элементов РТКУ. Технология доводки кольца и контртела.

Вариант 2

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД АИ-25 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опор турбин двигателей F100 и Д-20П или P11Ф-300 и JT9D (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы и показать систему охлаждения и теплоизоляции опор. Обосновать оптимальные решения.

3. Анализируя принцип действия пластинчатого демпфера в средней опоре двигателя НК-8 (ротор ВД), зарисовать его и показать, как обеспечивается осевая фиксация РУП и разгрузка демпфера от силы веса ротора. Какова необходимость разгрузки и подвода масла к демпферу?

Вариант 3

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДФ P11Ф2-300 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опор с РУП двигателей P11Ф2-300 и Д-36 или Д-20П и F101 (по чертежу), рассматривая их как часть маслосистемы двигателя, зарисовать конструктивную схему опор и отдельно масляную полость с подшипником и уплотнениями. Показать подвод масла к подшипнику, включая штуцер на опоре и форсунку, и слив масла. Показать особенности и назвать оптимальный вариант.

3. Анализируя конструктивную схему опоры с РУП двигателя Д-36, показать, какие элементы воспринимают силу веса ротора, разность давлений, температурные деформации и вибрацию ротора. Пояснить, какова роль упругого элемента и гидродинамического демпфера.

Вариант 4

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД Д20-П и изучить назначение ее элементов, выделив при этом: место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опоры турбины двигателя ПС-90А и CFM56 фирмы Дженерал Электрик (по чертежу), зарисовать конструктивную схему, включая систему уплотнений и уравнивание давлений в уплотнениях перед и за опорой объяснить смысл такого шага. Зарисовать конструктивные схемы опор турбин двигателей Д-20П или Д-18Т и показать, как здесь решаются эти проблемы.

3. Анализируя конструкцию опоры турбины двигателя Д-18Т, зарисовать вес элементы маслоподвода опоры от подводящего штуцера до смазки роликов и слива масла. Сформулировать правила проектирования элементов маслосистемы расположенных в опоре.

Вариант 5

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДДФ НК-144 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом: место опоры в конструктивной схеме двигателя схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию средних и задних опор двигателей Д-18Т или ПС-90А. Зарисовать конструктивные схемы и показать, как повлияли на конструкцию опор элементы подвески, расположенные на них (усиление отдельных ребер, дополнительные фланцы и др.)

3. Анализируя конструкцию охлаждения и теплоизоляции задней опоры двигателя НК-144, зарисовать их и показать места, где не обеспечена защита маслосистемы от тепловых потоков.

Вариант 6

1. Изобразить конструктивную схему передней опоры ТРДД ПС-90А и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить поры турбины двигателей ПС-90А и НК-144 или Д-18Т и РW2000 (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы и отдельно маслополости с уплотнениями и теплоизоляцией и пояснить тенденцию к уменьшению объема маслополости турбинных опор в сравнении со средними опорами.

3. Анализируя центрирование сепараторов подшипников и посадку подшипников по наружному и внутреннему диаметрам в опорах турбины двигателей НК-8 и Д-18Т, объяснить, почему в одних случаях центрирование сепаратора осуществляется по наружному диаметру, в других по внутреннему. Какие различия это вызывает в организации смазки и охлаждения тел качения?

Вариант 7

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД НК-56 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия:

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опор двигателей RB211-535 (по чертеж) и ГТД-3Ф или Д-36 и F100 (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы опор и отдельно уплотнения маслополостей. Попробуйте мотивировать выбор конструктором в одних случаях бесконтактных уплотнений, в других контактных и смешанных.

3. Анализируя работу РУП опор ротора одного из вышеназванных двигателей, показать мотивы использования двух-, трех- и четырехточечных подшипников, обосновать выбор посадок подшипника в корпус и на вал, включая межвальный подшипник.

Вариант 8

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТВД НК-12МВ и изучить назначение ее элементов, выделив при этом: место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опор турбин двигателей Д-18Т и НК-56, зарисовать конструктивные схемы и маслополости с уплотнениями и показать источники тепла, нагревающие масло. Пояснить мотивы выбора места размещения опор в конструктивной схеме турбины, назвать лучший вариант.

3. Анализируя конструкцию лабиринтных уплотнений опор двигателей Д-20П и РW2000 (по чертежу), можно видеть различия. Пояснить принцип работы лабиринтных уплотнений и причины отличий.

Вариант 9

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД Д-18Т и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корте, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор с межвальными подшипниками у двигателей НК-8 и Д-20П или RB211-535 (по чертежу) и НК-56 зарисовать конструктивные схемы опор и особо подвод и отвод масла. Пояснить мотивы выбора такого решения. Недостатки межвальных подшипников.

3. Двигатель Д-18Т устанавливается на пилонах под крылом самолета. Показать схему подвески и влияние ее на конструкцию средней и задней опоры.

Вариант 10

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД Д-36 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опор турбины двигателей НК-144 и Д-36 или Д-18Т и F100 (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы корпус подшипников с уплотнениями и теплоизоляцией. Мотивировать выбор конструктором теплозащиты масло полости опор и оптимально решение.

3. Анализируя работу роликоподшипников, включая межвальный в опорах турбины двигателя V2500 (по чертежу), зарисовать корпус опоры с подшипниками и уплотнениями, показать и мотивировать центрирование сепаратора (по внутреннему или наружному кольцу).

Вариант 11

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД НК-8 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве; управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опор турбины и их элементов у двигателей НК-8 и Д-18Т или CFM56-5С (наклонные стойки по чертежу) V2500 (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы и показать, как обеспечивается тепловое согласование (исключение тепловых деформаций) между наружным и внутренним кольцом и между внутренним кольцом и корпусом подшипников.

3. Анализируя конструкцию опор турбины двигателей НК-8, Д-18Т и Д-20П, зарисовать маслополость и показать подвод смазки к роликам. Пояснить различия в подводе и отводе масла.

Вариант 12

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД НК-144 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;
 схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
 конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
 подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
 управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор двигателей НК-12 (задняя) и Д-36 (передняя и средняя) или Д-30КУ (вес по чертежу) и F100 (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы, выделив диафрагму между внутренним кольцом и корпусом подшипников. Показать роль упругого элемента во всех случаях: как нелинейный элемент или как упругий элемент в совокупности с демпфером.

3. Анализируя конструкцию форсунок для подвода масла к подшипникам, показать порядок их проектирования (число, место размещения, направление факела, диаметр сопла и т.д.) на примере двигателей НК-144.

Вариант 13

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД Д-18Т и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;
 схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
 конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
 подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
 управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. При постановке опоры перед турбиной возникают два варианта силовой схемы

корпуса: двойная замкнутая и двойная незамкнутая связь. Изучить конструкции таких опор у двигателей Р11Ф2-300 и НК-12 или Д-20П и F100 (по чертежу), зарисовать конструктивную схему опор и связи, показать, где какой вариант реализован и как обеспечивается подвод и слив масла и суфлирование во всех случаях. Назовите предпочтительное исполнение.

3. Анализируя конструкцию вала НД двигателя V2500 (по чертежу), обосновать увеличение диаметра при установке подшипников в передней и задней опорах.

Вариант 14

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры с РУП ТВаД М601 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор двигателей НК-8 и Д-18Т. зарисовать конструктивные схемы и дать анализ конструкции по элементам: наружное и внутреннее кольцо, корпус подшипников, диафрагма уплотнения, демпферы (или другие элементы), мотивировать действия конструктора по выбору схемы и конструкции элементов.

3. Анализируя конструкцию средних опор двигателей Д-18Т и ПС-90А. зарисовать форму тракта и объяснить выбор формы канала с точки зрения гидравлических потерь, неравномерности потока перед КВД и сепарации твердых частиц.

Вариант 15

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД Д-30 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор, где установлен РУП у двигателей Д-30, Д-36 и НК-8. Зарисовать конструктивные схемы и отдельно конструкцию узла с РУП и демпферами. Показать, каким образом конструктор решает проблему осевой фиксации РУП без влияния этой фиксации на работу демпфера.

3. Анализируя работу роликоподшипников в теплонапряженных опорах турбины, можно выделить проблему выбора посадок и центрирование сепаратора. На примере двигателя НК-56 и Д-18Т (зарисовать подшипниковый узел) показать порядок назначения посадок колец, центрирования сепараторов и организации подвода масла к телам качения.

Вариант 16

1. Изобразить конструктивную схему опоры турбины ТРДД PW2000 (по чертежу) и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узла подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенка экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера др.

2. Изучить конструкции опоры турбины ВД двигателя Д-36. Зарисовать конструктивную схему и показать, как монтируются ребра опоры и лопатки, какова конструкция трубопроводов подвода и слива масла, проходящих через «горячую» зону.

3. Анализируя конструкции опор двигателя CFM-56-5C можно видеть, что система суфлирования смонтирована на вал НД. Зарисовать и показать, как работает динамический суфлер и как выбрасывается воздух на срез сопла, назвать преимущества и недостатки такого решения перед традиционным исполнением.

Вариант 17

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры каскада ВД в зоне камеры сгорания ТРДД Д-30 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
- подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
- управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Анализируя температурный режим опор и их элементов у двигателя АИ-25, изобразить конструктивные схемы опор и указать на рисунке примерные температуры элементов опоры и из каких материалов изготавливается корпус опоры и ее основные элементы.

3. Зарисовать гидродинамические демпферы опор ротора ВД двигателя АИ-25, оценить тип демпфера по принятой классификации и назвать недостатки исполнения гидродинамических демпферов на этом двигателе.

Вариант 18

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДД ПС-90А и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

- место опоры в конструктивной схеме двигателя;
- схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
- конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), инструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры, (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции средних опор двигателей НК-8 и PW2000 (по чертежу) или Д-20П и CFM56-5С (по плакату), зарисовать конструктивные схемы опор и показать, каким образом обеспечивается их суфлирование. Принцип работы динамического суфлера с осевым и радиальным входом. Преимущества и недостатки систем суфлирования на этих двигателях.

3. Анализируя работу ТКУ и РТКУ (включая межвальные) в опорах двигателей НК-8 и Д-36, изобразить их и показать различия в работе их в обычном и межвальном варианте.

Вариант 19

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДДФ АЛ-31Ф и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы; конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию средней опоры двигателей F101 (по чертежу) и Д-36 или Д-30 (по чертежу) и НК-56, зарисовать конструктивные схемы и отдельно межвальные уплотнения. Мотивировать выбор конструкции межвальных уплотнений, назвать оптимальную по критериям: минимальный расход масла и долговечность.

3. Анализируя конструкцию опоры турбины двигателя Д-36, зарисовать и обосновать конструктивные меры, которые позволяют уменьшить подвод тепла в маслополость.

Вариант 20

1. Изобразить конструктивную схему опоры турбины ТРДД Д-30 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор двигателей НК-8 и V2500 (по чертежу) или F101 (по чертежу) и Д-36, зарисовать конструктивные схемы и мотивировать расположение опор ближе к центру тяжести ротора компрессора и турбины. Показать, как такое решение влияет на жесткость системы «ротор-корпус», на радиальные зазоры.

3. Анализируя конструкцию гидродинамических демпферов опор двигателей Д-36 и F101 (по

чертежу), изобразить опоры с демпферами, показать принцип работы и указать тип демпфера («короткий», «длинный», с торцевым зазором и т.д.).

Вариант 21

1. Изобразить конструктивную схему средней турбины ТРДДФ АЛ-31Ф и изучить назначение ее элементов, выделив при этом: место опоры в конструктивной схеме двигателя; схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры; конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия; подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве; управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкцию опоры турбины с моновальным подшипником двигателя АЛ-31Ф, НК-8 и CFM56-5С, зарисовать конструктивные схемы и сравнить эти три опоры по конструктивному исполнению подвода и слива масла, суфлирования и защиты маслополости от внешних тепловых потоков. Назвать предпочтительное решение.

3. Анализируя силовую схему опор турбины двигателя АЛ-31Ф и CFM56-5С (по чертежу), показать, каким образом обеспечивается компенсация тепловых деформаций на участке "наружное кольцо-ребра-внутреннее кольцо".

Вариант 22

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТВаД ТВ2-117 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;
 схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;
 конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;
 подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;
 управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор с РУЛ двигателей ТВ2-117 и ГТЗ-3Ф или М-601 и FJ44 (по чертежу), выполнить конструктивные схемы и показать особенности конструкции уплотнителей опор ротора в составе малоразмерных двигателей, проведя сравнение с опорой турбины ротора В Д двигателя PW 2000.

3. Анализируя конструкцию системы подвода масла к РУП каскада ВД двигателя НК-8, зарисовать ее в двух проекциях, показать размещение форсунок относительно подшипника.

Вариант 23

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТРДДФ РД-33 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;
 схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор с РУП двигателей РД-33, АЛ-31Ф и RB199 (по чертежу), выполнить конструктивные схемы и провести анализ конструкции по следующим критериям: применяемые типы уплотнений опор и демпфирующих устройств, способ подвода масла к подшипникам, сделать заключение о положительных и отрицательных сторонах каждого решения.

Анализируя конструкцию передней опоры двигателя CFM56-5C (по чертежу), дать схему наддува уплотнений ротора НД, ротора ВД и межвальных уплотнений, пояснить основную идею наддува, исключаящую течения воздуха внутри опоры (так называемый "сквозняк").

Вариант 24

1. Изобразить конструктивную схему средней опоры ТВВД ВК-93 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор с РУП двигателей НК-93, Д-36 и W2500 (по чертежу), зарисовать конструктивные схемы и провести анализ выполнения демпферов опор: присутствие и конструкция упругого элемента, тип демпфера, принцип действия, положительное и отрицательное влияние демпферов на уровень колебаний системы "ротор-опоры".

3. Анализируя конструкцию опоры турбины двигателя НК-8, зарисовать систему суфлирования опоры: тип динамического суфлера и процесс динамического воздухоотделения и сброса воздуха на срез сопла.

Вариант 25

1. Изобразить конструктивную схему опоры турбины ТРДД НК-56 и изучить назначение ее элементов, выделив при этом:

место опоры в конструктивной схеме двигателя;

схему восприятия осевых и радиальных сил, передачу этих сил на подвеску, конструкцию и наклон диафрагмы, конструкцию узлов подвески на корпусе опоры;

конструктивное оформление РУП с учетом направления осевой силы, исполнение демпферов и уплотнений, их тип и принцип действия;

подвод масла к подшипникам и шестерням (наружный, внутренний), конструкция трубопроводов, форсунок и их положение в пространстве;

управление тепловым состоянием опоры (многослойные стенки, экраны, охлаждение воздухом), организация слива масла и суфлирование.

Указать материалы: вала (втулки) при посадке подшипников на вал и в корпус, самого корпуса, элементов уплотнений, деталей демпфера и др.

2. Изучить конструкции опор турбины трехвалных ТРДД НК-56, RB211-535 и Д-36, зарисовать их в составе турбины и провести анализ температурного состояния места расположения опор, дать заключение по предпочтительной конструкции и по расположению опоры.

3. Анализируя конструкцию опор турбины двигателей НК-56 и CFM56-5C (по чертежу), сравнить тепловую защиту опор по числу теплозащитных стенок.

Материалы к работе

Список литературы

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей/Под ред. Хронина Д.В. М.: Машиностроение. 1989. Гл. 4, разд. 4.5.4; Гл. 7, разд. 7.8; Гл. 12, разд. 12.1.4.
2. Степаненко Н.Д. Компрессор двигателя НК-8/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.
3. Степаненко Н.Д. Турбина двигателя НК-8 /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.
4. Фролов В.А. Компрессор двигателя Д-20П/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990.
5. Новиков Д.К. Турбина двигателя Д-20П/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990.
6. Ермаков А.И., Фролов В.А. Компрессор двигателя Р11Ф2-300/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987.
7. Николаев Н.С. Турбина двигателя Р11Ф2-300 /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1974.
8. Ермаков А.И. Компрессор двигателя Д-36 /Самар. Гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1993.
9. Новиков Д.К. Турбина двигателя Д-36 /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев 1987.
10. Фролов В.А. Компрессор двигателя АИ-24 / Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев, 1990.
11. Новиков Д.К. Турбина двигателя АИ-24 /Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев, 1987.
12. Николаев Н.С. Компрессор и КС двигателя НК-12МВ /Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев. 1971.
13. Николаев Н.С. Турбина и система смазки двигателя НК-12МВ/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1971.
14. Шайморданов Л.Г. Компрессор и КС двигателя ГТД-3Ф /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1975.
15. Шайморданов Л.Г. Турбина двигателя ГТД-3Ф /Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев, 1983.
16. Ермаков А.И., Фролов В.А. Компрессор двигателя ТВ2-117/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987.
17. Новиков Д.К. Турбина двигателя ТВ2-117 /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987.
18. Зрелов В.А. Редуктор, компрессор, КС, турбина двигателя М-601/Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1993.

Макеты двигателей

НК-12МВ	ВК-1	Д-18Т	ТВД-	НК-8
Д-30	Д-36	ПС-	ГТД-	Д-20П
АЛ-31Ф	ГТД-	ТВ2-	Д-30КУ	Р11Ф2-
АИ-24	АИ-25	М601	НК-144	АИ-20
НК-56				

Чертежи двигателей

RB211	F404	Д-30КУ	ТВД-10Б
RB199	JT9D	PW2000	АЛ-31Ф
V2500	M53	F101	GE-90
«Конвэй»	M88	НК-93	CFM56
НК-86	F100	ТВ-0-100	
LF507	PW300		

Рисунки и проспекты двигателей

АЛ-31Ф	CFM56	RB199	CRISP	HK-16CT
HK-56	PW6000	ATF-3	FJ44	

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ РОТОРНОЙ ВИБРАЦИИ»

Цель работы. Анализируя конструкцию выполненных нелинейных элементов и демпферов опор, чётко уяснить принципы их работы, положительные и отрицательные стороны конструкций.

Выполнить весь комплекс работ по определению типа и геометрических характеристик демпфера при $\varepsilon_{рез} = \frac{l}{\delta_0} = 0,8$ и коэффициенте передачи $\mu = 0,4 - 0,8$ для ротора из сквозного курсового проекта.

Индивидуальное задание

- Изучить конструкцию нелинейного элемента РУП КВД двигателя CFM-56, описать его конструкцию и принцип действия.
- Изучить конструкцию ГДД РУП КВД двигателя PW 6000, сделать описание конструкции и принципа действия.
- Спроектировать ГДД для опоры ротора вентилятора двигателя АД-83.

Нелинейные элементы (упругие втулки) не обеспечивают демпфирования колебаний (рассеивания энергии), а лишь ограничивают амплитуду за счёт касания втулкой корпуса. Из этого следует, что такие системы стоит использовать только для частот, лежащих ниже частоты малого газа.

При работе с увеличением оборотов происходит увеличение амплитуды до точки С, касание вибратором корпуса, резкое увеличение жёсткости системы, скачкообразный спад амплитуды и дальнейшая работа на участке Е-Ф. При снижении оборотов на участке D-B происходит скачкообразный рост прогиба.

Рассмотрим конструкцию нелинейного элемента – упругой втулки типа «белчье колесо» радиально-упорного подшипника ротора газогенератора двигателя CFM56-7:

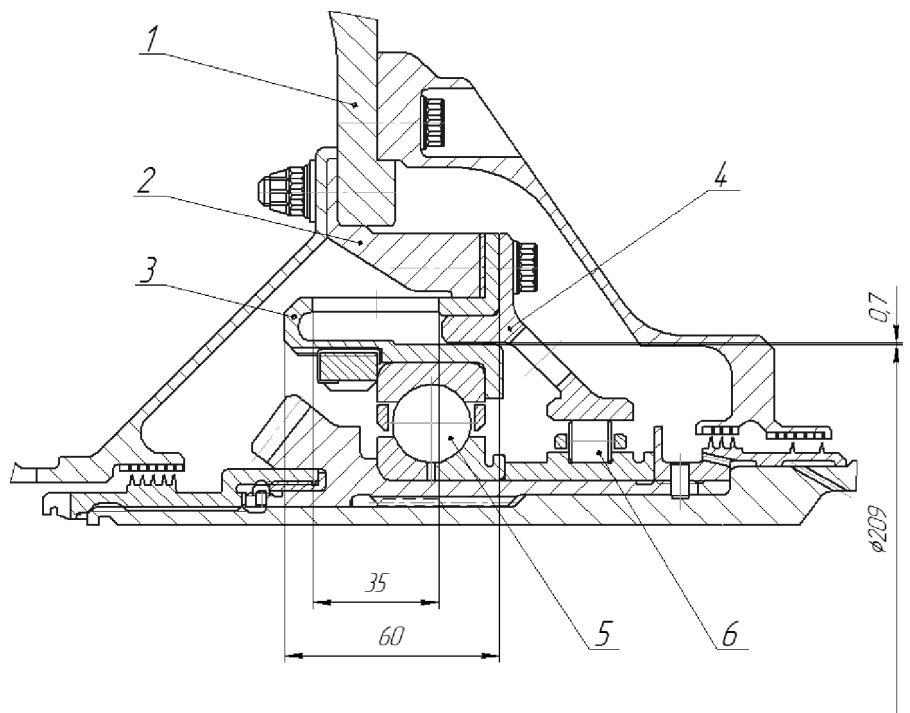


Рисунок 1. Опора РУП КВД двигателя CFM56-7

1 – фланец средней опоры, 2 – кольцо, 3 – втулка типа «белчье колесо»,
4 – диафрагма, 5 – радиально-упорный подшипник, 6 – роликовый подшипник.

К фланцу средней опоры (1) винтом крепится массивное кольцо (2), несущее втулку типа «беличье колесо» (3) для опоры радиально-упорного подшипника (5) и диафрагму (4), одновременно являющуюся внешним кольцом роликового подшипника (6). Требуемая жёсткость втулки (3) обеспечивается за счёт вариации размером, расположением и количеством прорезей-окон. Аналогичным образом требуемая жёсткость диафрагмы (4) достигается за счёт вариации размером и количеством отверстий в ней.

Заметим, что за счёт своей сложной изогнутой формы втулка (3) передаёт на опору не только радиальную, но и осевую нагрузку, исключая перекося подшипника.

Анализ конструкции гидродинамического демпфера

Конструкция ГДД состоит из наружного не вращающегося кольца подшипника, установленного в корпус с радиальным зазором $0,1...0,3\text{мм}$, в который подводится масло из маслосистемы.

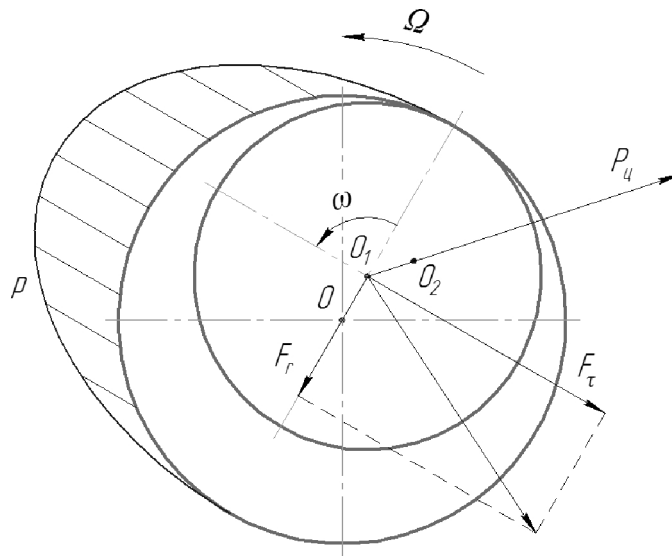


Рисунок 2. Схема ГДД

Центр масс ротора (O_2) смещён относительно оси вращения (O_1) на величину остаточного дисбаланса Δ . При вращении на ротор действует центробежная сила:

$$P_u = 2 \cdot M \cdot \Delta \cdot \omega^2$$

Под действием P_u вал со втулкой, размещенной на наружной обойме подшипника (так называемый вибратор) смещается в сторону от оси корпуса (O). Зазор в направлении $O_1 - O_2$ уменьшается, а давление в слое жидкости увеличивается. На вибратор со стороны жидкости вдоль линии центров $O_1 - O$ действует динамическая упругая сила F_r (радиальная составляющая гидродинамической силы), а перпендикулярно ей – сила демпфирования $F_t = d \cdot e \cdot \Omega$, где e - эксцентриситет, Ω - частота прецессии.

При колебаниях вибратора масло перетекает вдоль оси демпфера и по окружности. Снижение амплитуды колебаний ротора происходит за счет рассеивания энергии при действии вязких сил трения, возникающих между слоями жидкости.

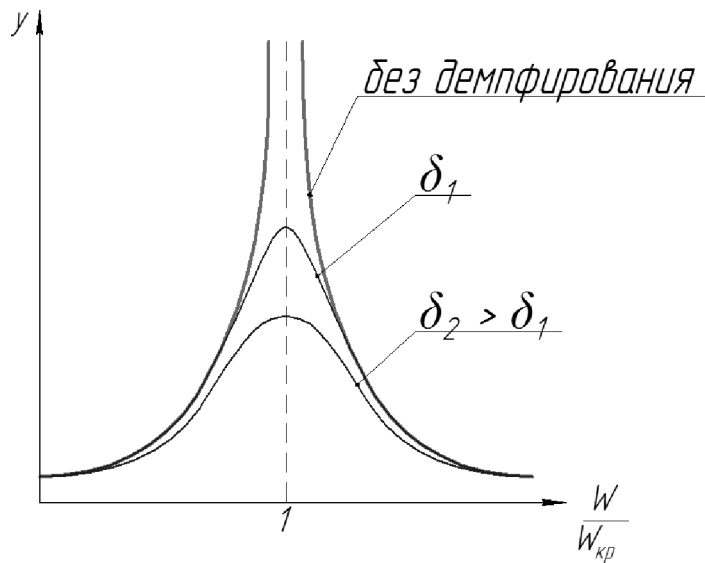


Рисунок 3. Влияние коэффициента демпфирования на амплитудную характеристику

Рассмотрим конструкцию гидродинамического демфера радиально-упорного подшипника ротора газогенератора двигателя PW 6000:

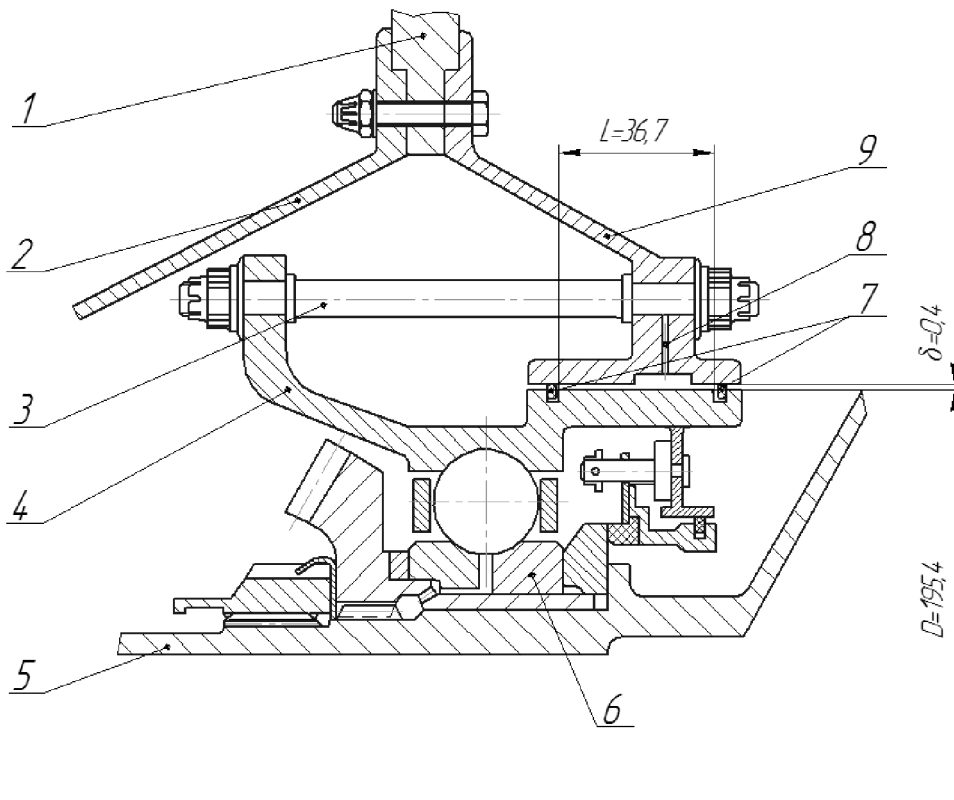


Рисунок 4. ГДД РУП КВД двигателя PW 6000

- 1 – фланец средней опоры, 2 – внутренняя диафрагма, 3 – стяжная шпилька, 4 – втулка,
 5 – носок вала компрессора, 6 – радиально-упорный подшипник,
 7 – уплотнительные кольца, 8 – канал подвода масла, 9 – наружная диафрагма.

К фланцу средней опоры (1) болтом крепится наружная диафрагма (9) опоры. К ней стяжными шпильками (3) закрепляется втулка (4), имеющая сложную форму и являющаяся

одновременно внешним кольцом радиально-упорного подшипника. Эта втулка выполняет роль вибратора в системе гидродинамического демпфера. В зазор между ней и наружной диафрагмой (9), который уплотнён уплотнительными кольцами (7), через канал (8) подаётся масло под давлением порядка 4 атм.

За счёт изменения геометрии и количества стяжных шпилек (3) достигается требуемая жёсткость опоры.

При изготовлении втулки (4) заведомо реализуется эксцентриситет оси наружного кольца подшипника относительно оси опоры. Устанавливается втулка смещённой стороной вверх. При установке ротора компрессора втулка «провисает» под его весом и занимает центральное положение.

За счёт своей сложной формы втулка передаёт на шпильки (3) не только радиальную, но и осевую нагрузку, исключая перекоп подшипника.

3. ЛАБОРАТРИНАЯ РАБОТА «РЕДУКТОРЫ ВРД»

Цель лабораторной работы. Зная принципы проектирования редукторов из курса «Детали машин», выявить их функции в конструкции воздушно-реактивных двигателей разных типов (ТВД, ТВаД, ТРДД, ТВВД), отметить особенности авиационных редукторов по нагруженности зубчатых передач, по системе смазки и теплоотвода, по массе и по применяемым материалам.

Понять мотивы выбора редуктора и места его расположения относительно входного устройства, связь редуктора с винтом изменяемого шага, назначение и принцип действия ИКМ.

И таким образом осмыслить и перенять опыт проектирования.

Порядок выполнения работы

1. Ответить на контрольный вопрос (тест) и получить допуск на выполнение работы.
2. Внести в отчет номер работы. Получить индивидуальное задание.
3. Прочитать базовое пособие по редукторам и другие материалы, предложенные преподавателем.
4. Ответить на 1-й вопрос задания при помощи натурального макета, чертежа, рисунка, фотографии схемы двигателя. Ответ должен сопровождаться рисунками и располагаться в следующем порядке:
 - функции редуктора в рассматриваемом воздушно-реактивном двигателе, тип редуктора и анализ конструктивной схемы;
 - расположение редуктора на двигателе и влияние редуктора и воздушного винта на равномерность поля скоростей и давлений на входе в компрессор;
 - работа системы «винт-редуктор» (передаточное отношение, флюгирование, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление втулки ВИШ к валу редуктора);
 - ИКМ: назначение и конструктивная схема;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкция основных элементов редуктора: корпус как опора двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водило (сателлитодержатель), сателлиты, ведущие и ведомые колеса, валы, подшипники;
 - материалы основных деталей редуктора;
5. Ответить на 2-й вопрос задания. Вопрос построен на сравнении исполнений одного и того же элемента редуктора различных двигателей. Необходимо сделать четкие рисунки элементов и попытаться в отчете дать ответ на вопрос, почему в данном случае принято такое решение и какой из рассматриваемых вариантов предпочтительней.
6. Ответить на 3-й вопрос задания. Он касается чаще одного конкретного элемента, конструкцию которого нужно изучить, зарисовать и описать принцип работы, показать преимущества и недостатки.
7. За 30 - 40 минут до окончания занятия нужно представить отчет по лабораторной работе преподавателю, ответить на вопросы и получить оценку за работу.

Индивидуальные занятия

Вариант 1

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД НК-12МВ с $N_{э} = 15000$ л.с., выделить при этом:
 - назначение редуктора, тин и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ. крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;

- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников.

- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений;

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей **НК-12МВ** и **М-601**, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя **М-601** и сравнить редукторы по типу и месту расположения относительно входного устройства, по типу и принципу действия ИКМ. Показать мотивы выбора места редуктора в составе двигателя и роль в этом мощности передаваемой редукторам.

3. Изучить и описать систему противообледенения винта и редуктора двигателя **НК-12МВ**.

Вариант 2

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТРДД LF-507 американской фирмы Текстрон Лайкоминг с $P_0=31.14$ кН (по чертежу), выделить при этом:

назначение редуктора, тип и кинематическую схему;

- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;

- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;

- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей LF507 и НК-4, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-4 и сравнить редукторы по назначению, типу, кинематической схеме и конструктивным особенностям (место РУЦ, маслоподвод и др.).

3. Изучить ИКМ двигателя НК-4. Почему нет ИКМ в редукторе двигателя LF507?

Вариант 3

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД НК-4 (по чертежу) с $N_3=4000$ л.с, выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;

- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;

- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;

- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей одного типа и назначения НК-4 и АИ-20,

изобразить конструктивную схему редуктора двигателя АИ-20 и сравнить редукторы по типу, по числу деталей (по массе), конструкции ИКМ. Чем оправдано усложнение конструкции редуктора двигателя АИ-20?

3. Изучить и описать систему противообледенения винта и редуктора двигателя АИ-20.

Вариант 4

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД АИ-20 (по чертежу) с $N_3=4000$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей одного типа и назначения АИ-20 и ТВД-1500 (по чертежу, проспекту), изобразить конструктивную схему редуктора ТВД-1500 и сравнить редукторы по типу, по месту размещения на двигателе, по числу шестерен. Каковы преимущества и недостатки выносного редуктора?

3. Изучить и систематизировать типы уплотнений в редукторе и ВИШ двигателя АИ-20.

Вариант 5

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД АИ-24 (по чертежу) с $N_3=2550$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей АИ-24 и Д-27 (по чертежу), изобразить конструктивную схему редуктора двигателя Д-27 и сравнить редукторы по типу, по числу шестерен, по принципу действия ИКМ. Каковы мотивы выбора редуктора замкнутого типа для АИ-24?

3. Как изменилась бы кинематическая схема редуктора АИ-24 в случае использования ИКМ по типу НК-4?

Вариант 6

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД М-601В с $N_3 = 740$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;

- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей М-601В и ТВ-0-100, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя ТВ-0-100 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по местоположению в составе двигателя, указав при этом мотивы такого размещения.
 3. Изучить и показать преимущества и недостатки переднего и заднего расположения редуктора. Возможна ли компоновка АИ-24 с толкающим винтом?

Вариант 7

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВаД ГТД-350 с $N_3=400$ л. с., выделить при этом:
 - назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников.
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ГТД-350 и Д-27, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя Д-27 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по расположению в составе двигателя. Каковы преимущества и недостатки расположения редуктора на рассматриваемых двигателях?
3. Можно ли использовать ИКМ двигателей АИ-24 и НК-4 в конструкции редуктора двигателя М-300? Каким образом?

Вариант 8

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД Д-27 (по чертежу) с $N_3=14000$ л.с., выделить при этом:
 - назначение редуктора, ига и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;

- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей Д-27 и М-601В и сравнить редукторы по типу, по размещению относительно входа в двигатель, по числу шестерен. Учитывая, что передаваемые редукторами мощности у двигателей Д-27 и М-601В различаются значительно, показать, в каких случаях это сравнение нельзя считать корректным.

3. В конструктивной схеме редуктора двигателя Д-27 не просматривается система маслоподвода к шестерням и подшипникам. Предложить систему смазки и охлаждения, нанеся ее на конструктивную схему редуктора.

Вариант 9

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД ТВ7-117 (по чертежу) с $N_Э=2500$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тин и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников:
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВ7-117 и НК-4, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-4 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по числу шестерен и подшипников, по восприятию осевой и радиальной силы на выходном валу, по принципу действия ИКМ.

3. Используя современные представления о предпочтительном способе подвода масла к шестерням редуктора, предложить такую систему для редуктора двигателя НК-4.

Вариант 10

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД-1500 (по чертежу) с $N_Э=1550$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ. крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВД- 1500 и НК-12МВ, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-12МВ и сравнить редукторы по типу, по назначению, по передаваемой мощности, по числу шестерен и подшипников.

3. Как изменится конструктивный облик редуктора двигателя ТВД-1500, если винт сделать толкающим? И где возможно разместить при этом ИКМ, заимствованный с НК-12МВ?

Вариант 11

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВ-022 (по чертежу) с $N_3=5000$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВ-022 и НК-93, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-93 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по передаваемой мощности, по конструктивной схеме и схеме восприятия осевой и радиальной силы на двух выходных валах.

3. Изучить и описать принцип действия ИКМ двигателя НК-93.

Вариант 12

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВВД НК-93 с $P_0=177$ кН, выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газовой тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Сравнить редукторы двигателей НК-93 и АИ-24 по типу кинематической схеме, по назначению. Двигатель АИ-24 проектировался в 50-е годы, НК-93 – в 80-е. Каковы причины возвращения к схеме ТВВД, и какие преимущества этой схемы? Поясните конструктивное оформление слива пограничного слоя в тракте редуктора НК-93.

3. Изучить ИКМ того и другого двигателей и показать их преимущества и недостатки.

Вариант 13

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВВД НК-102 (по чертежу) с задним расположением винта (толкающий винт) $P_0=177$ кН, выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;

- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей НК-102 и LF507 изобразить конструктивную схему редуктора двигателя LF507 и сравнит редукторы, один из которых имеет заднее расположение редуктора, другой - переднее, по типу, кинематической схеме, по назначению показать преимущества и недостатки переднего и заднего расположения редуктора.
3. Изучить проблему выбора подшипников сателлитов в двигателе НК-93. Определить преимущества и недостатки подшипников скольжения и качения.

Вариант 14

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД СТ7-9 фирмы Дженерал Электрик (по чертежу) с $N_3=1625$ л.с., выделить при этом:
- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей СТ7-9 и М-601В, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя М-601В и сравнить редукторы по типу, по назначению, по кинематической схеме. Сформулировать преимущества и недостатки схемы ТВД с выносным редуктором.
3. Изучить проблему подвески ТВД с выносным редуктором на самолете, определить пояса подвески и их число, выполнить конструктивную схему подвески.

Вариант 15

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД-10Б (по чертежу) с $N_3=960$ л.с., выделить при этом:
- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВД-10Б и НК-4, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-4 и сравнить редукторы по назначению,

типу, кинематической схеме, сформулировать причины, приведшие к компоновке двигателя ТВД-10Б с выносным редуктором.

3. Показать, как воспринимается осевая и радиальная сила на выходном валу редуктора двигателя ТВД-10Б. Какова должна быть схема крепления редуктора к корпусу двигателя?

Вариант 16

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД Д-27 (по чертежу) с $N_3=14000$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей Д-27 и НК-12МВ. изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-12МВ и сравнить редукторы по типу, по назначению, по конструктивной схеме, по принципу действия ИКМ. Учитывая, что двигатель Д-27 создавался на 40 лет позднее НК-12МВ, показать, какие усовершенствования внесены в редуктор этого двигателя.

3. Изучить и сформулировать преимущества и недостатки ТВД одновального и ТВД со свободной турбиной.

Вариант 17

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД ТВ-022 (по чертежу) с $N_3=5000$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВ-022 и НК-4, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-4 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по числу шестерен и подшипников, по схеме передачи мощности на движитель (винт).

3. В конструкции редуктора ТВ-022 нет ИКМ. Возможно ли использовать конструкцию ИКМ редуктора двигателя НК-4 на двигателе ТВ-022. Показать на рисунке один из вариантов решения задачи.

Вариант 18

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД ТВ7-117 (по чертежу) с $N_Э=2500$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тин и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВ7-117 и М-601В, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя М-601В и сравнить редукторы по назначению, типу, кинематической схеме, по конструктивной схеме, по типу зубчатых цилиндрических передач.

3. Сравнить ИКМ редукторов этих двигателей и показать их преимущества и недостатки.

Вариант 19

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД НК-12МВ с $N_Э=15000$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тин и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
- конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
- систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
- материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей НК-12МВ и АИ-20, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя АИ-20 и сравнить редукторы по типу, кинематической схеме, по сложности (числу основных деталей - шестерен, валов, подшипников), по схеме ИКМ.

3. Изучить систему флюгирования винтов на двигателе НК-12МВ и составить схему системы флюгирования.

Вариант 20

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД АИ-24 с $N_Э=2550$ л.с., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;

- назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкции редукторов двигателей АИ-24 и НК-93, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-93 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по принципу действия ИКМ. Показать преимущества и недостатки одновального двигателя и двигателя со свободной турбиной.
3. Показать передачу усилий от винта на корпус двигателя при реверсировании тяги двигателей АИ-24 и НК-93. Как при этом воспринимаются осевые силы в РУП редукторов?

Вариант 21

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВаД ТВ-0-100 (по чертежу) с $N_3=720$ л.с., выделить при этом:
- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых-колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ТВ-0-100 и ТВД-10Б, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя ТВД-10Б и сравнить редукторы по типу, по назначению, по влиянию на поле скоростей и давлений на входе, по сложности (число шестерен, подшипников, валов и т.д.)
3. Реверсирование тяги двигателя ТВД-10Б может производиться постановкой лопастей ВИШ в положение «обратная тяга». Показать, каким образом в этом случае передается осевая сила от винта на корпус двигателя.

Вариант 22

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД Тайн фирмы Роллс-Ройс (по чертежу) с $N_3= 5575$ л.с., выделить при этом:
- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
 - расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
 - работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
 - назначение и принцип действия ИКМ;
 - обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.
2. Изучить конструкцию редукторов двигателей Тайн и АИ-20, изобразить

конструктивную схему редуктора двигателя АИ-20 и сравнить редукторы по типу, по сложности (по числу шестерен, валов, подшипников и т.д.), показать преимущества и недостатки одновального ТВД и двухвального в варианте Тайн.

3. Показать систему противообледенения редуктора и ВИШ, включая входной кок у двигателя АИ-20.

Вариант 23

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВВД ADP фирмы Пратт Уитни (по чертежу) с $P_0=245$ кН, выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей ADP и НК-93, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-93 и сравнить редукторы по типу, по назначению, по схеме и конструкции втулки винтовентилятора. Показать преимущества и недостатки одно- и двухступенчатого винтовентилятора.

3. Показать конструкцию системы поворота лопастей (лопаток) винтовентилятора на двигателях ADP и НК-93.

Вариант 24

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД СТ7-9 (по чертежу) с $N_3=1625$ л. С., выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей СТ7-9 и АИ-24, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя АИ-24 и сравнить редукторы по типу, по сложности (по числу шестерен, валов, подшипников и т.д.), по креплению к корпусу двигателя. Показать преимущества и недостатки выносного редуктора.

3. При реверсировании тяги в ТВД лопасти винта устанавливаются в положение «обратная тяга». Показать, как будет передаваться, в этом случае, осевая сила на корпус двигателя и на подвеску двигателя на самолете. Не будет ли опасной такая смена вектора тяги для подвески редуктора к корпусу двигателя?

Вариант 25

1. Изучить функции редуктора и его элементов в составе ТВД 2ТВ-2Ф (по чертежу) с $N_3=12500$ л.с., состоящего из двух двигателей ТВ-022, передающих мощность на общий выносной редуктор. Выделить при этом:

- назначение редуктора, тип и кинематическую схему;
- расположение редуктора на двигателе относительно входного устройства;
- работу системы «винт-редуктор»: передаточное отношение, флюгирование и реверсирование тяги, подвод масла ко втулкам ВИШ, крепление и схема поворота лопастей ВИШ, крепление ВИШ к валу редуктора;
- назначение и принцип действия ИКМ;
- обеспечение условий соседства, соосности и сборки;
 - конструкцию основных элементов редуктора: корпуса как опоры двигателя (передний узел подвески двигателя и часть газового тракта), водила (сателлитодержателя), сателлитов, ведущих и ведомых колес, валов, подшипников;
 - систему смазки и охлаждения шестерен и подшипников;
 - материалы корпуса, шестерен, валов, уплотнений.

2. Изучить конструкцию редукторов двигателей 2ТВ-2Ф и НК-12МВ, изобразить конструктивную схему редуктора двигателя НК-12МВ и сравнить редукторы по назначению, по типу, по креплению к корпусу двигателя, по сложности (по числу шестерен, валов, подшипников и т.д.). Исторически так сложилось, что 2ТВ-2Ф уступил дорогу НК-12МВ. В чем преимущества редуктора двигателя НК-12МВ?

3. Опишите систему противообледенения двигателя НК-12МВ по защите от обледенения элементов редуктора и ВИШ.

Методические материалы к работе**Список литературы**

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей /Под ред. Хронина Д.В. М., Машиностроение. 1989. Глава 11.
2. Бузицкий В.Н. Редукторы ТВД: Базовое пособие /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.
3. Николаев Н.С. Редуктор двигателя АИ-24 /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985.
4. Николаев Н.С. Редуктор двигателя НК-12МВ /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1970.
5. Зрелов В.А. Редуктор, компрессор, КС, турбина двигателя М-601 /Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1993.
6. Бузицкий В.Н. Редуктор ТВВД (изделие "К") /Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1991.

Макеты двигателей

НК-12МВ	НК-4
М-601	НК-93
ТВ-022	
АИ-20	ТВД-10Б
АИ-24	ГТД-350

Чертежи двигателей

Д-27	ТВ7-117	2ТВ-2Ф	СТ7-9	Тайн
ТВ-0-100	ТВД-1500	ТВ-022	ADP	LF507

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВИБРОПРОЧНОСТИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА И ТУРБИНЫ»

Цель работы. Определить для проектируемой рабочей лопатки и описать в отчете средства обеспечения $K_V = 3,5$ (повышение σ_{-1} , снижение σ_m и σ_V)

Выбрать место установки, и выполнить проект демпфера проектируемой лопатки.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать два метода повышения σ_{-1} , обосновать выбор.
2. Пользуясь курсовым проектом по дисциплине «Динамика и прочность АД и ЭУ», описать использование приемов снижения σ_m . Дополнительно выбрать еще 1 метод и описать его в отчете.
3. Выбрать два метода воздействия на источник возбуждения.
4. Кратко изложить процесс частотной отстройки проектируемой лопатки.
5. Описать 3 конструкции демпфера лопатки и выбрать предпочтительную схему для проектируемой лопатки, обосновать выбор.
6. Выполнить проект демпфера: определить его габариты и принцип действия (см. лист 2).

Отчетность

Отчет выполнить в форме параграфа пояснительной записки КП и поместить в раздел «расчет лопатки на прочность»

Достижение эффективности демпфера в системе переменных напряжений σ_V для обеспечения $K_V = 3,5$

Исходные данные

Рабочая лопатка моделируется консольной балкой с массой m на конце (рис.1) и колеблется по первой изгибной форме с возбуждающей силой

$$Q_0 = 0,1 \cdot m$$

где m -масса пера лопатки

Частота колебаний

$$\omega = k \cdot n_C = n_C$$

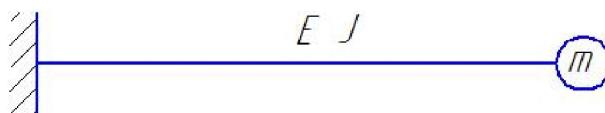


Рис. 1

Геометрические размеры пера:

Площадь (F), длину лопатки (l) массу (m), момент инерции (J_x), собственную частоту (ω_0) взять из курсового проекта по ДиП.

Геометрические параметры и момент инерции можно определить в соответствии с (рис 2)

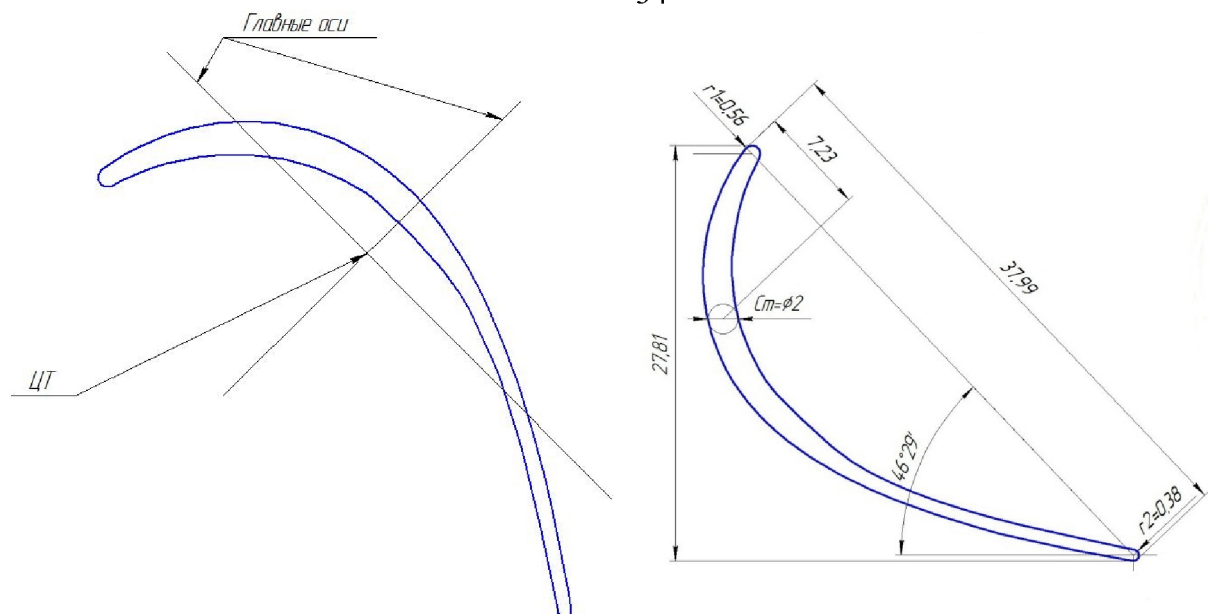


Рис. 2

Затем в «КОМПАС-3D» проводим расчет МЦХ плоской фигуры и получаем необходимые нам значения

Расчет МЦХ плоских фигур

Площадь $S = 1550.893091 \text{ мм}^2$

Центр масс $X_c = 0.000000 \text{ мм}$

$Y_c = 0.000000 \text{ мм}$

В главной центральной системе координат:

Осевые моменты инерции $J_x = 418569.255043 \text{ мм}^4$

$J_y = 4536247.906806 \text{ мм}^4$

Угол наклона главных осей $A = 314^\circ 8' (314.133266^\circ)$

В соответствии с принятыми допущениями уравнение колебаний лопатки запишем в виде

$$m \cdot a'' + b \cdot a' + c \cdot a = Q_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Порядок выполнения задания

Построение резонансной кривой для трех компоновок исследуемой лопатки в диске: без демпфера, с выбранным демпфером и с демпфером обеспечивающим $K_v=3.5$, по трем точкам (рис 3)

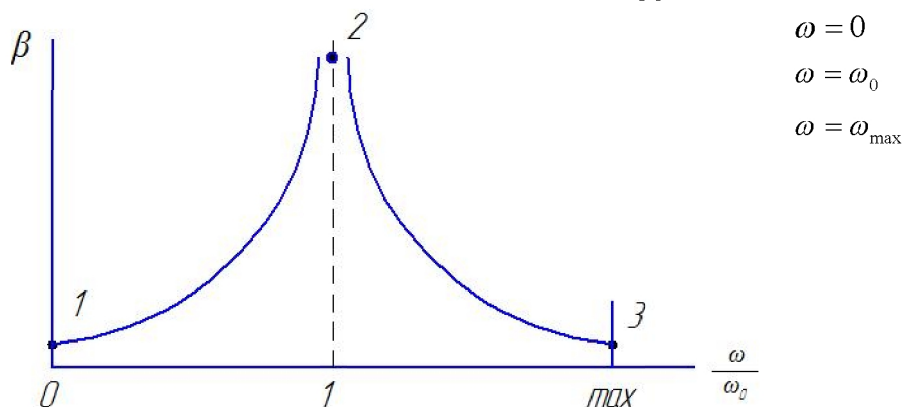


Рис. 3

- 1) Определяем статический прогиб лопатки относительно оси X

$$\delta_{ст} = \frac{m \cdot l^3}{C}, C = E \cdot Jx$$

$$\delta_{ст} = E \cdot Jx = 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,418569 = 8,37138 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot \text{мм}^4$$

- 2) Определяем бета - коэффициент нарастания резонансной кривой $\beta = \frac{a}{\delta_{ст}}$

$$a = \frac{Q_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + \left(\frac{b \cdot \omega}{C}\right)^2}} = \frac{Q_0}{C \sqrt{\left(1 - \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + \left(\frac{\psi}{2\pi}\right)^2}} \quad (A)$$

Для точки 1 (рис 3), $\beta = 1$

$$\text{Для точки 2, } a_p = \frac{2\pi \cdot Q_0}{C \cdot \psi}$$

Для точки 3 «a» определяется по выражению «A»

(B)

Для определения амплитуд в точках 2 и 3 необходимо определить коэффициент поглощения ψ для трех компонок лопаток в диске (сделать рисунки в М1:1)

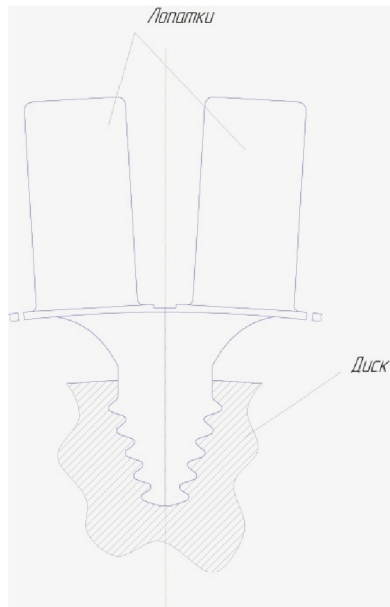
Компоновки лопатки в диске.

Выберем различные компоновки для различных коэффициентов поглощения

- **Установка с зазором**

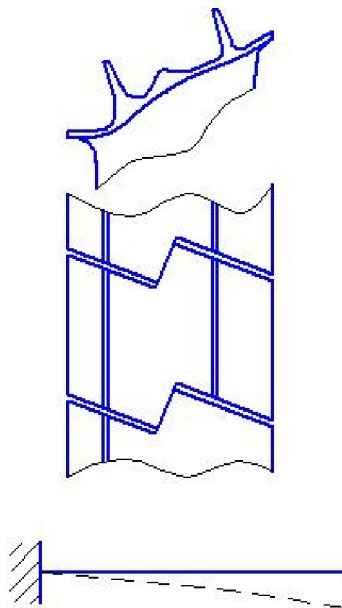
Хвостовик елочного типа устанавливается в паз диска с зазором, тем самым обеспечивает демпфирование лопатки при этом коэффициент поглощения $\psi = 0,3$

- **Демпфер в ножке хвостовика**



2 лопатки в одном пазе диска с притертыми поверхностями контакта взаимно нейтрализуют возбуждение, при этом коэффициент поглощения $\Psi=0,4$

- **Бандажная полка**



Бандажная полка позволяет достичь локального увеличения жесткости в точке контакта. В зависимости от положения позволяет демпфировать первую и вторую изгибную формы при этом коэффициент поглощения $\Psi=0,5$

Коэффициент поглощения.

Для компрессорной лопатки хвостовик (замок «ласточкин хвост»)

Коэффициент 1 следует определить из приложения 1 для случаев $\omega = 0, \omega = \omega_0, \omega = \omega_{\max}$

При действии силы P , значение которой брать из курсового проекта по ДиП

Для турбинных лопаток («елочный замок»)

Коэффициент поглощения Ψ нужно определить по приложению 2, приняв амплитуду циклических напряжений σ_V в первом сечении хвостовика по величине $6 \cdot 10^{-2} \text{ кгс} / \text{см}^2$ и взяв значение центробежной силы P из курсового проекта для случая $\omega = 0, \omega = \omega_0, \omega = \omega_{\max}$

- определение коэффициента β по условию (Б) и построение приближенной резонансной кривой по 3 точкам для трех компонок исследуемой лопатки в диске (рис. 4) Важно выполнить условие $\Psi_{\text{расчетное}} \geq \Psi_{\text{потребное}}$

$\Psi_{\text{потребное}}$ определяется по выражению С и β

Задавая $\sigma = 80 \text{ МПа}$ для компрессорных и турбинных лопаток, строим амплитудную диаграмму для трех значений коэффициента Ψ (рис. 4).

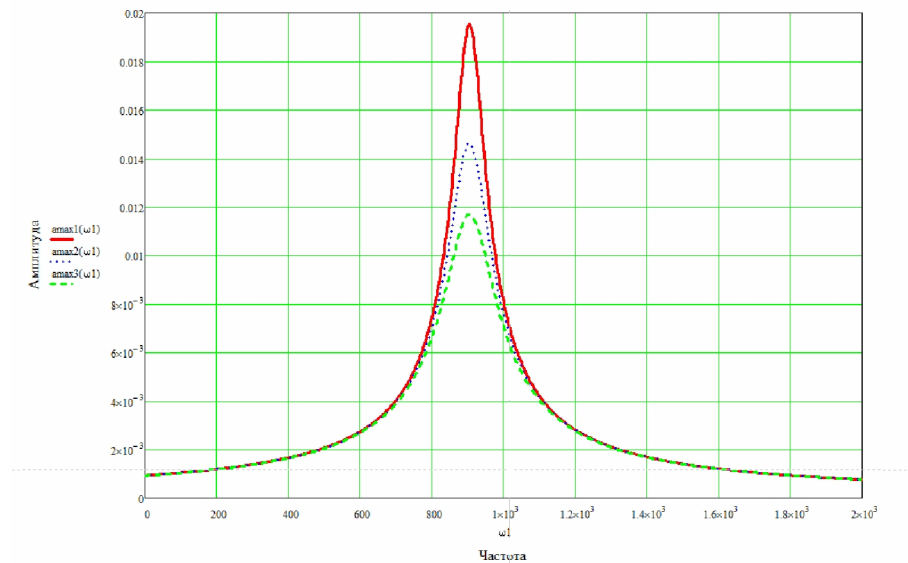


Рис. 4

- 3) Определение переменных напряжений в лопатке σ_V для всех режимов и всех трех компонок лопатки в диске

$$\sigma_V = \beta \frac{Q_0 \cdot l}{W}, W - \text{момент сопротивления изгибу}$$

- 4) Определение минимального запаса прочности для всех трех компонок лопатки в диске

$$K_V = \frac{\sigma_{-1} - \varphi \sigma_m}{\sigma_V}$$

где, φ – коэффициент влияния σ_m на σ_{-1}

$\varphi = 0,4$ для титана

$\varphi = 0,3$ для стали и жаропрочных сплавов

σ_m среднее напряжения цикла взять из курсового проекта по ДиП

$\sigma_{-1} = 540 \text{ МПа}$ для ВТ-9 (компрессорные лопатки)

$\sigma_{-1} = 260 \text{ МПа}$ для ЖС30 (турбинная лопатка)

В таблице 1 приведены запасы прочности для 3 демпферов на трех режимах

Таблица 1

Запасы прочности для демпферов

Тип демпфера/частота	$\omega = 0$	$\omega = \omega_0$	$\omega = \omega_{\max}$
$\psi = 0,3$	10227	2,144	25,959
$\psi = 0,4$	10227	2,858	25,959
$\psi = 0,5$	10227	3,573	25,959

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«РАЗМЕЩЕНИЕ АГРЕГАТОВ НА ДВИГАТЕЛЕ. ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ НЕПРИВОДНЫХ АГРЕГАТОВ ДВИГАТЕЛЯ»

Цель работы.

Изучить принципы размещения и закрепления агрегатов следующих топливной систем: управления, масляной, суфлирования. Спроектировать систему защиты агрегата от вибрации и провести экспериментальное исследование виброзащитной системы.

Задание. На примере предлагаемого ГТД:

Изучить размещение приводных и не приводных агрегатов и описать основные требования к размещению агрегатов. Указать вид расположения приводных агрегатов (верхнее, нижнее), отметить положительные и отрицательные стороны.

Порядок выполнения задания по размещению агрегатов:

1. Описать принципы и конструкцию размещения агрегатов, пользуясь требованиями к их установке на двигателе.
2. Размещение и крепление приводных агрегатов, размещенных на коробках приводов:
 - силовой поток от шестерни к шестерне в коробке приводов должен быть оптимальным с точки зрения габаритов и массы шестерни;
 - должна быть обеспечена быстросъемность каждого агрегата. Снятие одного агрегата не должно повлечь за собой снятие другого;
 - есть два варианта размещения верхнее – выше горизонтали, нижнее ниже горизонтали. Наиболее простым и предпочтительным является нижнее расположение, ибо слив масла из опор выполняется самотеком и откачивающие насосы должны стоять внизу. Мотивы верхнего расположения: возможность подхода к агрегатам только сверху (обычно на боевых самолетах) и размещение так называемых «сухих» агрегатов (генераторы, например).
3. Размещение не приводных агрегатов:
 - длина коммуникаций (трубопроводных линий, электропроводки) должна быть минимальной, для чего агрегаты должны быть размещены компактно с малыми интервалами и по ходу транспортируемой среды;
 - агрегаты должны быть по возможности закреплены за точки корпуса двигателя с малым уровнем вибрации (опоры ротора) или подвеска их оборудована виброизоляторами;
 - выполнены требования дизайна – эксплуатационной технологичности.

Последовательность проектирования виброзащитной системы

Варианты задания для проектирования виброзащитной системы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Варианты задания для проектирования виброзащитной системы

№ варианта	m , кг	s_k , мм	f_k , Гц	требуемый η_k	$[A_k]$, мм	$[W_k]$, м/с ²	T, С
1	1	0,3	100	0,2	1	20	120
2	3	0,5	120	0,1	0,8	30	150
3	5	0,2	150	0,2	1,5	40	200

4	10	0,3	70	0,05	1	50	250
5	20	0,4	80	0,1	0,5	60	300
6	1	0,3	80	0,2	1,5	60	20
7	3	0,5	60	0,1	1	50	50
8	5	0,2	100	0,2	0,8	30	70
9	10	0,3	130	0,05	1,5	40	20
10	20	0,4	180	0,1	0,8	20	70

1. Получить задание на проектирование у преподавателя.

2. Исходя из требуемого коэффициента передачи вибрации η_k на частоте f_k выбирается собственная частота виброзащитной системы. Из уравнения (10) для случая $\omega_k > \omega_{0k}$ (а только в этом случае обеспечивается ослабление вибрации) следует

$$\omega_{0k} < \frac{\omega_k}{\sqrt{\frac{1}{\eta_k} - 1}} = \frac{2\pi f_k}{\sqrt{\frac{1}{\eta_k} - 1}}. \text{ Поскольку из-за влияния трения коэффициент передачи}$$

будет несколько больше, чем по уравнению (10), желательно принять значение собственной частоты на 10-15% меньше, чем граничное.

3. Исходя из полученной собственной частоты виброзащитной системы и ее массы выбирается требуемая жесткость одного виброизолятора

$$C_{ik} = \frac{m\omega_{0k}^2}{n}.$$

Для того, чтобы система не совершала вращательных колебаний, количество виброизоляторов должно быть не меньше 3, а желательно – 4.

4. Исходя из полученной требуемой жесткости одного виброизолятора и условий его работы (температура, возможность воздействия топлива и масла и т.д.) выбирается применяемый виброизолятор. Характеристики некоторых виброизоляторов приведены в табл. 2. Если рабочая температура превышает 100 С и/или предполагается воздействие агрессивной среды, необходимо применять металлические виброизоляторы (например, из материала МР), в ином случае достаточны виброизоляторы на основе эластомеров.

5. Проверяются максимальные амплитуды ускорения и перемещения на резонансе. Они рассчитываются по уравнениям (7) и (8) с учетом коэффициента демпфирования выбранного виброизолятора (из табл. 2). Эти значения не должны превышать максимально

Таблица 2.

Характеристики некоторых виброизоляторов

Материал упругодемпфирующего элемента	Обозначение	Жесткость в осевом направлении, 10^3 Н/м	Коэффициент демпфирования
МР	7Я.ВВ.4	1365	0,3
МР	7Я.ВВ.5	1818	0,3
МР	7Я.ВВ.6	909	0,3
МР	7Я0.ВВ-1	95	0,25
МР	7Я0.ВВ-2	148	0,25
МР	7Я0.ВВ-3	213	0,25
МР	7Я.ВП-5	290	0,25
МР	АМГ-28-0,15/21	2,6	0,17
МР	АК-26-0,05/50	4,9	0,17
МР	ДКА-32-2/15	18	0,25
МР	ДКА-38-0,8/30	28	0,25

МР	ДКА-38-4/15	36	0,25
МР	ДКА-48-7,5/15	67	0,25
МР	ДКУ-28-0,5/15	4,4	0,25
МР	ДКУ-32-0,9/15	8	0,25
МР	ДКУ-38-1,5/15	13,3	0,25
МР	ДКУ-38-3/15	26	0,25
МР	ДКУ-48-5/15	44	0,25
МР	ДКУ-68-10/22	191	0,25
МР	ДКУ-68-12/15	107	0,25
МР	ДКУ-68-20/15	176	0,25
МР	ДКУ-90-40/15	355	0,25
резина	АКСС-10М	430	0,11
резина	АКСС-25М	660	0,125
резина	АКСС-40М	850	0,12
резина	АКСС-60М	1100	0,11
резина	АКСС-85М	1800	0,1
резина	АКСС-120М	2700	0,09
резина	АКСС-160М	2700	0,1
резина	АКСС-220М	3800	0,08
резина	АР-1-І	500	0,1
резина	АР-2-І	1100	0,1
резина	АР-3-І	1650	0,1
резина	АРМ (0,5-0,75)	65	0,12
резина	АРМ (0,75-1,0)	95	0,12
резина	АРМ (1,0-1,25)	115	0,12
резина	АРМ (1,25-1,5)	140	0,12
резина	АРМ (1,5-1,7)	150	0,12
резина	АРМ (1,7-2,0)	200	0,12
резина	АРМ (2,0-2,5)	92	0,075
резина	АРМ (2,5-3,0)	162	0,075
резина	АРМ (3,0-3,5)	240	0,075
резина	АРМ (3,5-4,0)	230	0,075
резина	АРМ (4,0-4,5)	295	0,075
резина	АРМ (4,5-5,0)	320	0,075

допустимых, указанных в задании на проектирование. Если ограничения не выполняются, необходимо принять виброизолятор с большим значением коэффициента демпфирования.

б. Проверяется коэффициент передачи на частоте f_k по уравнению (6).

Экспериментальное исследование виброзащитной системы

Целью экспериментального исследования виброзащитной системы является получение амплитудно-частотной характеристики этой системы. Амплитудно-частотная характеристика несет информацию о резонансной частоте системы, о коэффициенте усиления на резонансе, о коэффициенте ослабления вибрации на рабочих частотах виброзащитной системы.

Простейшей виброзащитной системой является масса на упругой опоре-виброизоляторе. Исследования такой системы дают информацию о характеристиках того или иного виброизолятора, применяемого затем в более сложной виброзащитной системе.

Упругие и демпфирующие характеристики виброизоляторов, как правило, различны в различных направлениях, поэтому желательно проводить исследование как в направлении

оси симметрии виброизолятора, так и в перпендикулярном направлении (для этого виброизолятор необходимо закрепить консольно). Характеристики многих виброизоляторов несимметричны (например, жесткость кольца различна при растяжении и сжатии), поэтому необходимо проводить исследование в осевом направлении как для опорной схемы, так и для подвесной. Характеристики многих виброизоляторов нелинейны, то есть зависят от амплитуды колебаний, поэтому необходимо проводить исследование при различных амплитудах действующего виброперемещения или виброускорения.

Оборудование и методика проведения эксперимента

Для создания вибрации используется стенд ВЭДС-1500. Частоту колебаний задается с помощью генератора В&К 1047 S/N 807653 (погрешность задания частоты – 0.1 Гц), входные и выходные параметры вибрации замеряются с помощью виброизмерительной системы, состоящей из согласующего усилителя В&К 2635 с входным датчиком Д1 типа В&К 4332, согласующего усилителя В&К 2635 с выходным датчиком Д2 типа В&К 4332, вольтметра В&К 2425 и осциллографа GRS-6052 S/N С 190974 (погрешность измерения системы – 3%).

Приспособление для исследования кольцевого виброизолятора типа АК-26-0.05/50 показано на рис. 1. Виброизолятор с присоединенной номинальной массой 0.05 кг устанавливается в стойку АК1, которая закрепляется в плите АК2. Собранное приспособление устанавливается на столе вибростенда. При монтаже приспособления и его установке на столе необходимо проследить за тем, чтобы были исключены зазоры в резьбовых соединениях. Входной датчик Д1 устанавливается на плите приспособления АК2, выходной датчик Д2 закрепляется на номинальной массе.

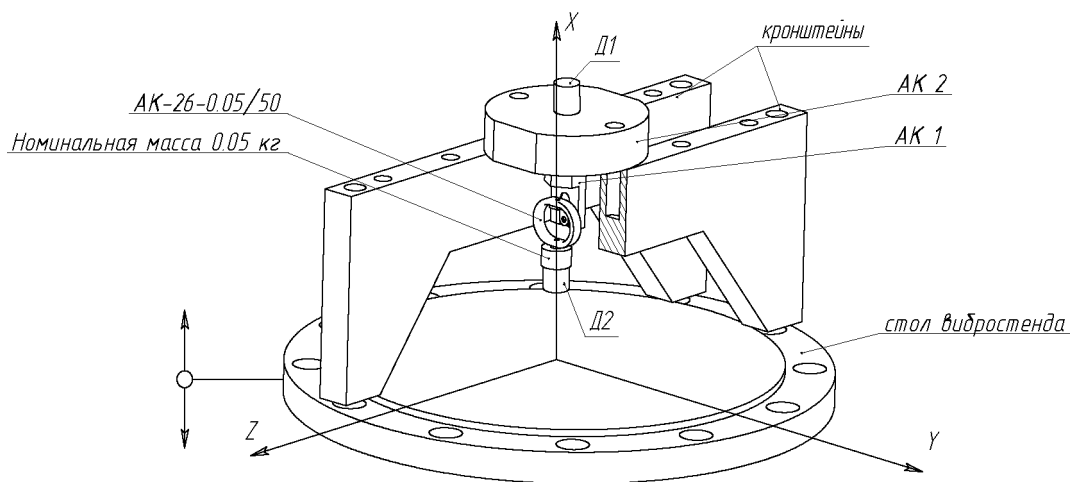


Рис. 1. Исследование кольцевого виброизолятора в схеме подвеса

Амплитудно-частотная характеристика определяется в диапазоне 10...700 Гц (табл. 3). Рассчитывается коэффициент передачи η , равный отношению ускорения на выходе к ускорению на входе.

Таблица 3

Амплитудно-частотная характеристика виброизолятора АК-26-0.05/50, вариант 1

Частота, Гц	Ускорение на входе, m/s^2	Ускорение на выходе, m/s^2	Коэффициент передачи
10	12		
20	12		
30	20		
40	20		

50	20		
60	20		
80	20		
100	30		
150	30		
200	50		
300	80		
400	80		
500	80		

Около резонанса (в районе 50 Гц) шаг следует уменьшить до 1 Гц и найти точно резонансную частоту и коэффициент передачи на резонансе.

Для выявления влияния нелинейности следует повторно получить амплитудно-частотную характеристику с другими значениями ускорения на входе (табл. 4).

Таблица 4

Амплитудно-частотная характеристика виброизолятора АК-26-0.05/50, вариант 2

Частота, Гц	Ускорение на входе, m/s^2	Ускорение на выходе, m/s^2	Коэффициент передачи
10	13		
20	18		
30	30		
40	30		
50	32		
60	36		
80	46		
100	55		
150	77		
200	100		
300	200		
400	265		
500	325		
600	380		
700	440		

Около резонанса шаг следует уменьшить до 1 Гц и найти точно резонансную частоту и коэффициент передачи на резонансе.

Для исследования колокольчикового виброизолятора ДКУ-28-0,5/15 применяется то же оборудование, но виброизолятор закрепляется на стенде при помощи другого приспособления и исследуется в опорной, подвесной и консольной схемах нагружения. Номинальная масса составляет 0,5 кг. Нагрузка задается в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5

Амплитудно-частотная характеристика виброизолятора ДКУ-28-0,5/15

Частота, Гц	Ускорение (или виброперемещение) на входе	Ускорение (или виброперемещение) на выходе, опора	Ускорение (или виброперемещение) на выходе, подвес	Ускорение (или виброперемещение) на выходе, консоль
10	0.5 мм			
12	0.5 мм			
15	0.5 мм			
18	0.5 мм			
22	0.5 мм			
27	0.5 мм			
35	0.5 мм			
45	0.5 мм			
50	0.5 мм			
72	5.5g (53.95 м/с ²)			
100	6.2g (60.82 м/с ²)			
144	7.2g (70.63 м/с ²)			
288	10.5g (103.01 м/с ²)			
500	15.4g (151.07 м/с ²)			

Около резонанса шаг следует уменьшать до 1 Гц и находить более точно резонансную частоту и коэффициент передачи на резонансе.

Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать параметры спроектированной виброзащитной системы (тип и количество выбранных виброизоляторов, резонансная частота, максимальные перемещение и ускорение на резонансе, коэффициент передачи вибрации на рабочей частоте), а также заполненные таблицы 3 - 5, выводы о резонансной частоте и коэффициентах передачи на резонансе исследованных виброизоляторов при различных схемах и амплитудах нагружения, выводы о частотных диапазонах защиты от вибрации и коэффициентах передачи вибрации.

Литература

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред.совет: В.Н.Челомей (пред.)- М.: Машиностроение, 1981.- Т.6. Защита от вибрации и ударов/под ред. К.В.Фролова. 1981, 456 с.
2. Ильинский, В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий – М.: Радио и связь, 1982. – 296 с.
3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. - М.: Наука, 1980. – 270 с.
4. Vibration and Shock Handbook. L.: Hutchinson, 2000. – 240 pp.

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ТРУБОПРОВОДЫ»

Цель работы.

Изучить трассировку, прокладку и закрепление трубопроводов и электропроводов в составе ГТД различных типов и таким образом перенять опыт проектирования.

Задание: на примере предлагаемого ГТД:

1) Выполнить проектирование и расстановку опор для двух трубопроводных линий: линии, закрепленной на жестком корпусе и линии, закрепленной на виброактивном корпусе (например на оболочках II контура, форсажной камеры, реактивного сопла и реверсивного устройства).

2) Провести гидравлический расчет (определение потерь давления) на одной из вышеперечисленных линий.

Порядок выполнения задания

1. Выбор типа и размещения опор по длине трубопровода. Выполнить часть схемы размещения изучаемых трубопроводов, сделав развертку корпуса двигателя, изобразив агрегаты, которые соединяет заданная трубопроводная линия по правилам построения, принятым в ОКБ.

2. Требования к конструкции трубопроводов:

- конструкция трубопроводов должна отвечать требованиям АП-33 и ОТТВВС и обеспечивать надежность, то есть герметичность систем двигателя;

- протяженность и количество трубопроводов должно быть минимальным, вес их не должен превышать 0,5...1% от веса двигателя;

- в трубопроводах должны быть минимальные монтажные и термические статические напряжения. Запасы по местной прочности $K_m \geq 3$;

- уровень переменных напряжений должен составлять 40...50 МПа, а запас прочности

по пределу выносливости $K_v = \frac{\sigma_{-1} - \varphi \sigma_m}{\sigma_v} \geq 3$;

- частотная отстройка производится вверх на 25-30%;

- типоразмеры труб должны быть унифицированы и соответствовать стандартному ряду по внутреннему диаметру 4, 6, 10, 14, 20, 25;

- конфигурация трубопроводов не должна влиять на работоспособность агрегатов, куда подается рабочая среда (например, в воздушных системах управления или замера завлечения не должно быть скоплений конденсата).

3. Частотная отстройка.

Для снижения переменных напряжений в трубопроводах, возникающих при действии на трубопровод возбуждающих сил от перемещения опор (кинематическое возбуждение), от пульсации давления и от других источников, используют два метода: **частотную отстройку и демпфирование колебаний.**

При частотной отстройке трубопровод разделяют промежуточными опорами (жесткие зажимы) на участки и определяют собственную частоту их. Необходимо выполнить условие: минимальная собственная частота участка должна быть выше частоты возбуждения на 25-30% (отстройка вверх).

$$f_{\min} \geq (1,25 \dots 1,3) f_{\text{возб.}}$$

Необходимо учитывать, что собственная частота Г-образного участка ниже собственной частоты прямого участка в плоскости перпендикулярной плоскости изгиба на 30%.

4. Демпфирование: выбор конструкции опор и расстановка их.

При высоких частотах и амплитудах возбуждения частотная отстройка становится неприемлемой – малы расстояния между опорами и низок эффект снижения напряжений.

Применение демпфирования колебаний становится необходимостью.

Для эффективного демпфирования опора должна обладать достаточным коэффициентом расстояния энергии колебаний и (1,2...1,8) и жесткостью на 20-30% выше изгибной жесткости трубопровода в месте установки опоры. Этим условиям отвечает серия демпфирующих устройств с резиновым демпфирующим элементом, элементом из материала МР или из других гофрированных лент.

Расстановка опор в этом случае опирается на тот факт, что в трубопроводе, присоединенном по краям к штуцерам агрегатов, в зависимости от длины и диаметра трубопровода и частоты возбуждения, укладывается определенное число стоячих волн. Наибольшая работа сил трения в демпфирующем устройстве будет при прочих равных условиях при максимальных перемещениях в нем. Отсюда можно наметить и порядок расстановки промежуточных опор – опоры необходимо устанавливать в пучностях каждой формы колебаний.

Если трубопровод имеет большую длину и в диапазоне рабочих частот возбуждения имеет несколько собственных форм (частот), то в одной из пучностей каждой формы достаточно установить демпфирующую опору.

5. Гидравлический расчет трубопровода.

Потери давления по длине трубопроводной линии включая и концевые элементы (штуцеры и угольники) определяется по формуле:

$$\Delta P = \left(\sum_{i=1}^n \xi_m + \xi_l \right) \frac{\rho \vartheta_i^2}{2} \quad \text{А}$$

где ϑ_i - средняя скорость течения жидкости на данном участке;

ξ_m - коэффициент местных потерь (арматура на линии), в справочниках;

ξ_l - коэффициент линейных потерь.

$$\xi_l = \lambda \frac{l}{d_e};$$

где λ - коэффициент потерь на трение (по справочникам) $\lambda = f(Re)$

$$\lambda = \frac{64}{Re}; \quad Re = \frac{v_i D_r}{\nu}$$

$$\text{Потребное } \Delta P_{\text{потребное}} = P_{\text{насоса}} - P_{\text{потребное}}$$

6. Расчетная часть.

6.1. Проектирование трубопроводной линии и определение числа «жестких» опор.

Исходные данные.

1) Составить монтажную схему заданной трубопроводной линии с агрегатами, замерив длины участков, радиусыгиба, расстояние между опорами, диаметр и толщину стенок трубы, число опор.

Зарисовать конструкцию соединений трубопровода и описать принцип обеспечения герметичности;

2) Материал трубы (сталь 1Х18Н9Т, титан ВТ-1), $E, \rho, \sigma_{-1}, t_{\text{стенки}}$ (транспортируемой среды);

3) Опускаемые переменные напряжения $\sigma_v = 3 \text{ кг} / \text{мм}^2 (30 \text{ МПа})$;

4) Частота возбуждения $f_{\text{выб.}} = \frac{n_{\text{об./мин.}}}{60}$

Определение собственной частоты участков.

Для прямого участка низшую собственную частоту пустого трубопровода определить по выражению:

$$f_{0\text{min}} = \frac{\alpha^2 D}{8\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} (1 + \bar{d}^2);$$

где α - частотный коэффициент ($\alpha = 3,5 \dots 4,5$);

ℓ - длина участка;

D, d – соответственно наружный и внутренний диаметры ($\bar{d} = d / D$);

E, ρ - модуль упругости и плотности материала.

Оценить частотную отстройку трубопровода и число опор.

$$\frac{f_{\text{воз.}}}{f_{0\text{min}}} = 1,25 \dots 1,3$$

Если условие не выполняется провести перестановку (или добавление) опор и повторить расчет.

6.2. Проектирование трубопроводной линии и определение числа демпфирующих опор.

Исходные данные (Выполнить по схеме 6.1).

1) Определение числа демпфирующих опор n .

$$n = 1,24 \left\{ \frac{\ell^2 f_{\text{воз. max}}}{D} \left[\frac{\rho_n}{E(1 - \bar{d}^2)} \right]^{1/2} \right\}^{1/2} - \frac{1}{2};$$

где E, ρ - модуль упругости и плотности материала трубы;

$\rho_n = \rho(1 - \bar{d}^2) + \rho_1 \bar{d}^2$ приведенная плотность трубопровода;

ρ_1 - плотность заполняющей трубопровод среды;

$\bar{d} = d / D$, а d и D – внутренний и наружный диаметр трубы.

Если n получится дробным числом, то нужно брать меньшее значение.

Для размещения демпфирующих опор в пучностях формы колебаний крайние опоры необходимо установить от места заделки на расстоянии $\ell / 2n$, остальные – равномерно в промежутках между крайними опорами.

Если расстановка опор, фактически исполненная на изучаемом двигателе, отличается от расчетной, необходимо оценить отступления и пояснить причины расхождения (невозможность установки опоры в нужном месте).

6.3. Гидравлический расчет трубопровода одной из рассматриваемых линий.

Исходные данные:

1) Давление на входе ($P_{\text{насоса}}$, если трубопровод присоединен непосредственно к насосу и с учетом потерь, если это промежуточный участок).

2) $P_{\text{потребное}}$ – рабочее давление перед агрегатом;

3) Средняя скорость \mathcal{Q}_i - оценить по расходу, внутреннему диаметру и перепаду давлений или принять:

для масляных систем – 5...10м/с.,
для топливных систем – 10...15м/с.,
для систем суфлирования не более 30м/с.

4) ξ_m - коэффициент местных потерь [справочное]

λ - коэффициент потерь на трение [справочное]

Определяется требуемое ΔP :

$$\Delta P_{\text{требуемое}} = P_{\text{насоса}} - P_{\text{требуемое}}$$

Определяются потери давления ΔP по выражению А.

Если $\Delta P < \Delta P_{\text{требуемое}}$ расчет заканчивается.

Если $\Delta P > \Delta P_{\text{требуемое}}$, необходимо сделать шаги по исправлению результата: снизить потери переходом на другой диаметр трубы или уменьшить потери ξ_m в арматуре.

Отчетность

Отчет представляется в бумажном виде и электронном варианте.