

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра авиационных двигателей

АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**«ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»**

Уровень подготовки
высшее образование - магистратура

Направление подготовки (специальность)
24.04.04 Авиастроение

Направленность подготовки (профиль, специализация)
Самолето-вертолетостроение

Квалификация (степень) выпускника
магистр

Форма обучения
очная

Уфа 2015

Исполнитель:

Профессор

должность



подпись

А.С. Гишваров

расшифровка подписи

Заведующий кафедрой
авиационных двигателей
наименование кафедры



личная подпись

А.С. Гишваров

расшифровка подписи

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Информационная поддержка Жизненного цикла летательных аппаратов» является дисциплиной по выбору вариативной части и относится к перечню обязательных дисциплин.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 24.04.04 – «Авиастроение» (профиль: «Самолето- и вертолетостроение»), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от "06" марта 2015 г. № 171.

Целью освоения дисциплины является формирование систематизированных знаний основ жизненного цикла изделий авиастроения, включая этапы проектирования, доводки, производства и эксплуатации.

Задачи:

- совершенствование знаний студента в области разработки современных АД и ЭУ с применением моделирования их жизненного цикла.
- изучение особенностей моделирования жизненного цикла сложных технических объектов.
- формирование знаний по повышению эффективности основных этапов жизненного цикла изделий авиастроения.
- формирование навыков моделирования жизненного цикла изделий авиастроения.

Входные компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции*	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований сформировавших данную компетенцию
1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских задач, в том числе, в междисциплинарных областях.	УК-1	Базовый уровень	Современные проблемы авиационного двигателестроения и энергетического машиностроения

Исходящие компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований для которых данная компетенция является входной
1	Наличие представления о системе поддержки жизненного цикла авиационного изделия.	ОПК-2	Базовый уровень	Научно-исследовательская работа

Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

Планируемые результаты обучения по дисциплине

№	Формируемые компетенции	Код	Знания	Умения	Владения
1	Наличие представления о системе поддержки жизненного цикла авиационного изделия.	ОПК-2	основных этапов жизненного цикла изделий авиастроения	использовать знания для анализа эффективности основных этапов жизненного цикла изделий авиастроения	навыками проведения исследования и выбора методов повышения эффективности разрабатываемых и эксплуатируемых изделий авиастроения на основных этапах жизненного цикла

Содержание и структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 часа).

Трудоемкость дисциплины по видам работ

Вид работы	Трудоемкость, час.
	1 семестр
Лекции (Л)	20
Практические занятия (ПЗ)	12
Лабораторные работы (ЛР)	–
КСР	4
Курсовая проект работа (КР)	–
Расчетно - графическая работа (РГР)	–
Самостоятельная работа (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	99
Подготовка и сдача экзамена	–
Подготовка и сдача зачета	9
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов						Литература, рекомендуемая студентам	Виды интерактивных образовательных технологий**
		Аудиторная работа				СРС	Всего		
		Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1	<p>Виды моделирования. Моделирование жизненного цикла авиационных ГТД на основе статистических и аналитических моделей. Математические модели. Физические модели. Смешанные модели. Статистические модели. Аналитические модели. Методы моделирования при исследовании систем и процессов. Моделирование жизненного цикла авиационных ГТД на основе статистических и аналитических моделей.</p>	2	-	-	1	14	17	Р 6.1 - № 2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на основе опыта
2	<p>Особенности имитационного моделирования. Особенности имитационного моделирования. Метод статических испытаний и структура исследования систем с применением имитационного моделирования. Общие требования и правилам имитационного моделирования. Основные этапы имитационного моделирования. Структура имитационной модели жизненного цикла двигателя при оптимизации его ресурсных испытаний.</p>	2	-	-	1	14	17	Р 6.1 - № 1, №2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на основе опыта
3	<p>Основные показатели и критерии эффективности жизненного цикла двигателей и энергоустановок. Основные понятия эффективности. Собственные показатели и критерии эффективности испытаний двигателя. Несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие</p>	2	-	-	-	14	16	Р 6.1 - № 2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на основе опыта

	<p>эксплуатационные издержки, эффективность капитальных вложений и удельные затраты. Несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие прибыль, рентабельность и затраты на эксплуатацию. Несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие годовой экономический эффект от повышения надежности и удельные затраты. Несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие прямые эксплуатационные расходы, амортизацию, надежность и полные затраты за время эксплуатации. Несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие исправление брака в эксплуатации и прибыль изготовителя.</p>								
4	<p>Опыт применения моделирования жизненного цикла при проектировании и доводке двигателей и энергоустановок. Применение моделирования при проектировании двигателей фирмой Пратт-Уитни. Применение моделирования при проектировании двигателя тактического истребителя ATAMS. Применение моделирования при оптимизации системы «самолет-двигатель». Проектирование двигателя применением модели DEVSIM. Применение модели двигателя при оптимизации его параметров на этапах проектирования и доводки.</p>	2	-	-	-	14	16	Р 6.1 - № 2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на основе опыта
5	<p>Применение моделирования жизненного цикла при производстве и испытаниях двигателей и энергоустановок. Применение моделирования при оптимизации кратковременных и длительных испытаний</p>	4	2	-	-	14	20	Р 6.1 - № 1, № 2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на

	двигателя. Краткая характеристика двигателя и основные данные для оптимизации его длительных (периодических)испытаний. Имитационное моделирование производства двигателя. Имитационное моделирование расходования ресурса «критичных» элементов двигателя и моделирование периодических испытаний. Имитационное моделирование эксплуатации двигателя. Оптимизация параметров периодических испытаний двигателя. Сравнительная оценка эффективности серийной и опытной программ испытаний двигателя.								основе опыта
6	Применение моделирования жизненного цикла при оптимизации эксплуатации двигателей и энергоустановок. Особенности формирования имитационной модели процесса эксплуатации двигателя. Перечень задач, решаемых с применением имитационного моделирования процесса эксплуатации. Моделирование эксплуатационной повреждаемости двигателей. Применение имитационного моделирования для перспективного планирования в гражданской авиации.	4	4	-	-	14	22	Р 6.1 - № 1, № 2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на основе опыта
7	Основы имитационного моделирования двигателей и энергоустановок в системе AnyLogic. Общие понятия, сведения. Основные средства создания моделей. Эксперименты с моделью. Анимация модели. Графики и слайды в анимации. Доработка модели. Основные концепции.	4	6	-	2	15	27	Р 6.1 - № 2 Р 6.2 - № 1, № 2	лекция-визуализация, проблемное обучение, обучение на основе опыта
	Итого	20	12	-	4	99	135		

Занятия, проводимые в интерактивной форме, составляют 100% от общего количества аудиторных часов по дисциплине "Моделирование процессов жизненного цикла двигателей и энергоустановок".

Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	7	Модель двигателя на AnyLogic. Режим выполнения модели.	2
2	7	Работа с окнами. Доработка модели.	2
3	7	Средства AnyLogic. Построение модели циклического процесса.	2
4	5	Моделирование качества производства «критичных» элементов двигателя	2
5	6	Моделирование процессов расходования ресурса двигателя.	2
6	6	Моделирование эксплуатации двигателя.	2

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература

1*. Сиротин Н.К., Марчуков Е.Ю., Сиротин А.Н., Агульник А.Б. Основы конструирования, производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе LALS Кн.3: Эксплуатация и надежность ГТД и ЭУ. - М.: Наука, 2012. - 616 с.

2. Гишваров, А. С. Моделирование процессов жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений РФ, обучающихся по специальности 160301 "Авиационные двигатели и энергетические установки"] / А. С. Гишваров .— Уфа : УГАТУ, 2008 .— 276 с.

3. Гишваров, А. С. Оптимизация ресурсных испытаний технических систем имитационным моделированием в системе жизненного цикла / А. С. Гишваров ; Академия наук Республики Башкортостан, отделение технических наук .— Уфа : Гилем, 2003 .— 328 с.

* издание находится на реализующей рабочую программу кафедре.

Дополнительная литература

1. Гишваров, А. С. Имитационное моделирование в системе ANYLOGIC. Изучение приемов работы / А. С. Гишваров, М. Н. Давыдов ; Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ), Кафедра авиационных двигателей .— Уфа : УГАТУ, 2008 .— 66 с.

2. Гишваров, А. С. Лабораторный практикум по дисциплине "Моделирование процессов жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок" / А. С. Гишваров ; Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ), Кафедра авиационных двигателей .— Уфа : УГАТУ, 2008 .— 66 с.

Интернет-ресурсы (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

На сайте библиотеки УГАТУ <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет-ресурсы.

- Операционная система Windows 7;

- Интегрированный пакет Microsoft Office 2007;
- Программное обеспечение "Статистика";
- Программное обеспечение CFX.

Методические указания к практическим занятиям

Учебной программой предусмотрено проведение шести 2-х часовых практических занятий, которые совместно с лекционным материалом (лекция 7: «Основы имитационного моделирования в системе AnyLogic») носит установочный характер. Практические занятия посвящены изучению языка программирования AnyLogic. Изучение проводится по практикуму «Имитационное моделирование в системе AnyLogic. Изучение приемов работы».

Первая часть практикума включает 3 практических занятия и посвящена ознакомлению с основными понятиями имитационного моделирования в среде AnyLogic.

Вторая часть практикума включает 3 занятия и посвящена решению задач.

Занятие 1. Модель двигателя на AnyLogic. Режим выполнения модели.

Осваивается умение приемов работы в AnyLogic:

- первая модель на AnyLogic (структурная диаграмма; окна свойств объектов модели; окно поведения активного объекта; окно редактора анимации);
- режим выполнения модели (запуск модели, управление скоростью выполнения модели с изображением; автоматическое обновление окна анимации; предварительные эксперименты с моделью).

Занятие 2. Работа с окнами. Доработка модели.

Осваивается умение приемов работы в AnyLogic:

- работа с окнами;
- доработка модели (изменение цвета оболочки в анимации; введение второй оболочки в модель; произвольные перемещения оболочки).

Занятие 3. Средства AnyLogic.

Осваивается умение определять:

- основные концепции AnyLogic (две фазы имитационного моделирования; активные объекты, классы и экземпляры активных объектов; средства описания поведения объектов; имитация нескольких параллельно протекающих процессов; модельное и реальное время; анимация поведения модели; интерактивный анализ модели);
- запуск и проигрывание других моделей.

Занятия 4,5,6. Моделирование качества производства, процессов расхода ресурса двигателя и моделирование эксплуатации двигателя.

Ознакомление с методологией имитационного моделирования в системе AnyLogic является начальным этапом перед проведением лабораторных занятий по моделированию процессов жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок.

В процессе проведения установочной лекции и проведения практического занятия необходимо, студентам пояснить, что программный инструмент AnyLogic – продукт нового поколения для разработки и исследования имитационных моделей. Он является единственным российским профессиональным инструментом имитационного моделирования, успешно конкурирующим на мировом рынке. AnyLogic был разработан недавно на основе новых идей в области информационных технологий, теории параллельных взаимодействующих процессов и теории гибридных систем. Эти новые идеи позволяют строить сложные имитационные модели, сохраняя контроль над

разработкой. AnyLogic является очень удобным, гибким и мощным средством для решения с помощью имитационного моделирования широкого круга проблем для технических систем и процессов самой различной природы. Возможность использования одного инструмента при изучении различных парадигм и стилей моделирования делает этот инструмент незаменимым при изучении в вузе дисциплины “Моделирование процессов жизненного цикла авиационных двигателей и энергоустановок”.

Программный инструмент AnyLogic основан на объектно-ориентированной концепции. Объектно-ориентированный подход к представлению сложных систем является лучшим на сегодняшний день методом управления сложностью информации, эта концепция позволяет простым и естественным образом организовать и представить структуру сложной системы. Таким образом, идеи и методы, направленные на управление сложностью, выработанные в последние десятилетия в области создания программных систем, позволяют разработчикам моделей в среде AnyLogic организовать мышление, структурировать разработку и, в конечном счете, упростить и ускорить создание моделей.

Другой базовой концепцией AnyLogic является представление модели как набора взаимодействующих параллельно функционирующих активностей. Такой подход к моделированию интуитивно очень понятен и естественен во многих приложениях, поскольку системы реальной жизни состоят из совокупности активностей, взаимодействующих с другими объектами. Активный объект в AnyLogic – это объект со своим собственным функционированием, взаимодействующий с окружением. Он может включать в себя любое количество экземпляров других активных объектов. Активные объекты могут динамически порождаться и исчезать в соответствии с законами функционирования системы. Так могут моделироваться транспортные системы и т. п.

Графическая среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов с моделью, включая различные виды анализа – от анализа чувствительности до оптимизации параметров модели относительно некоторого критерия.

В результате AnyLogic не ограничивает пользователя одной-единственной парадигмой моделирования, что является характерным фактически для всех инструментов моделирования, существующих сегодня на рынке. В AnyLogic разработчик может гибко использовать различные уровни абстрагирования, различные стили и концепции, строить модели в рамках той или иной парадигмы и смешивать их при создании одной и той же модели, использовать ранее разработанные модули, собранные в библиотеки, дополнять и строить свои собственные библиотеки модулей. При разработке модели на AnyLogic можно использовать концепции и средства из нескольких "классических" областей моделирования, например, в агентной модели использовать методы системной динамики для представления изменений состояния среды или в непрерывной модели динамической системы учесть дискретные события. Например, анализ ИТ-инфраструктуры компании (анализ производительности серверов, узких мест локальной сети и т. п.), который легко производится с помощью методов дискретного событийного моделирования, имеет немного пользы, если в модели не отражено влияние возможных изменений параметров этой инфраструктуры на бизнес-процессы и, в конечном счете, на прибыль компании, а такая связь в модели не может быть реализована только средствами дискретно-событийного моделирования. В AnyLogic легко строятся подобные модели с требуемым уровнем адекватности, позволяющие ответить на многие вопросы, интересующие исследователя. Богатые возможности анимации и визуального представления результатов в процессе работы модели позволяют понять суть процессов, происходящих в моделируемой системе, упростить отладку модели.

Удобный интерфейс и многочисленные средства поддержки разработки моделей в AnyLogic делают не только использование, но и создание компьютерных имитационных моделей в этой среде моделирования доступными даже для начинающих.

Методические указания к практическим занятиям 4,5,6

Занятия проводятся с использованием лабораторного практикума «Моделирование процессов жизненного цикла авиационных двигателей и энергоустановок»

Данный практикум предназначен для проведения лабораторных занятий по моделированию, исследованию и оптимизации авиационных двигателей и энергоустановок с применением имитационного моделирования жизненного цикла.

Учитывая наличие у студентов опыта по моделированию двигателей на этапе проектирования, который они приобрели при изучении таких дисциплин как «Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок», «Системы автоматизированного проектирования авиационных двигателей и энергетических установок» и др., в практикуме основное внимание уделено моделированию задач с имитацией таких этапов жизненного цикла как «производство – испытания – эксплуатация».

Моделирование проводится в системе ANYLOGIC, ознакомление с которой проводится студентами по лабораторному практикуму «Имитационное моделирование в системе ANYLOGIC. Изучение приемов работы».

Объектом моделирования является авиационный вспомогательный ГТД (ВГТД) ТА-6А.

Имитационная модель ГТД является авторской разработкой, не имеет аналогов и разработана по реальным данным ВГТД ТА-6А.

Вспомогательный газотурбинный двигатель ТА-6А устанавливается на самолетах Ту-154, Ту-154М, Ил-62 и др. Данный двигатель производится в ФГУП УАП «Гидравлика» (г. Уфа), разработчик – КБ машиностроения (г. Ступино, Московская обл.). Имитационная модель двигателя включает «критичные» элементы двигателя, т.е. элементы с наименьшей несущей способностью по основным факторам разрушения (длительной прочности, малоцикловой прочности, контактной прочности, тепловому старению):

- рабочей лопатки 1-й ступени турбины;
- радиально-упорного подшипника ротора;
- ведущей шестерни редуктора;
- подшипника вентилятора;
- изоляции генераторов переменного и постоянного токов.

Условия и режим нагружения двигателя задаются:

- температурой воздуха на входе в двигатель t_n , °С;
- относительной частотой вращения ротора n , %;
- количеством воздуха, отбираемого за компрессором $G_{отб}$, кг/с;
- расходом охлаждающего воздуха через вентилятор $G_{вент}$, кг/с;
- загрузкой генераторов переменного и постоянного токов $N_{г1}$ (кВт) и $N_{г2}$ (кВА).

Область реализации режима нагружения двигателя:

$$80 \leq n \leq 102\%; \quad 0 \leq t_n \leq 50 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad 0,7 \leq G_{отб} \leq 1,4 \text{ кг/с};$$
$$0 \leq N_{г1} \leq 16 \text{ кВт}; \quad 0 \leq N_{г2} \leq 100 \text{ кВА}; \quad 0,5 \leq G_{вент} \leq 1,0 \text{ кг/с}.$$

Ресурс двигателя – 2000 ч и 3000 запусков.

Имитационная модель жизненного цикла двигателя формировалась с учетом данных предприятия-разработчика «КБ машиностроения» (г. Ступино, Московская обл.),

ГосНИИ ГА (г. Москва), предприятия-изготовителя - ФГУП УАП «Гидравлика» (г. Уфа) и ОКБ «Гидромеханика» (г. Уфа).

Укрупненная структура имитационной модели, реализующей этапы жизненного цикла «производство – испытания – эксплуатация» включает:

- модель производства, имитирующая параметры качества изготовления $P_{0ij} = [p_{01}, \dots, p_{0v}]^T_{ij}$ «критичных» элементов двигателя;
- модель периодических испытаний, имитирующая испытания двигателя в режимах $R_n(\tau_n)$ длительностью τ_n . Результатом моделирования является конечное состояние испытанного двигателя и принимаемое решение о браковке или отгрузке $N_{отгр,i}$ двигателей в эксплуатацию;
- модель эксплуатации, имитирующая выработку ресурса двигателей в режимах $R_{эk}(\tau_{эk})$ длительностью $\tau_{эk}$ ($k = \overline{1, N_{э}}$).

Моделирование жизненного цикла возможно для двух случаев эксплуатации двигателей:

- по фиксированному ресурсу;
- по техническому состоянию.

Практическое занятие №4 «Моделирование качества производства «критичных» элементов двигателя»

В системе жизненного цикла двигателя этап производства предшествует этапу его сборки и испытания.

Технология изготовления, сборки и контроля двигателя является одним из основных факторов, позволяющих с максимальной производительностью и наименьшими затратами обеспечивать его качество и, как следствие, высокие показатели надежности (ресурс, вероятность безотказной работы и др.). При этом качество изделия, как правило, оценивается не одним, а несколькими показателями, задаваемыми в виде вектора параметров качества $P_0 = [p_{01}, \dots, p_{0v}]^T$. Часть параметров вектора P_0 позволяет расчетным методом прогнозировать надежность и ресурс деталей двигателя в эксплуатации.

Цель занятия:

1. Ознакомление с основными параметрами, характеризующими качество производства «критичных» элементов двигателя.
2. Приобретение навыков имитационного моделирования качества производства «критичных» элементов двигателя при формировании имитационной модели его жизненного цикла.

Теоретическая часть

Моделирование качества производства «критичных» элементов двигателя ТА-6А проводится следующим образом.

Моделируемыми являются средние значения и допуски параметров:

- константы A и B уравнения длительной прочности материала ЖС6-К рабочей лопатки турбины;
- константы C и k уравнения малоциклового прочностного материала рабочей лопатки турбины;
- площадь сечения S рабочей лопатки 1-й ступени турбины;
- начальный радиальный зазор e_{01} радиально-упорного подшипника ротора;
- динамическая грузоподъемность C_{B1} радиально-упорного подшипника ротора;
- посадочный диаметр вала под подшипник D_{B1} ;
- ширина зубьев b_w ведущей шестерни редуктора;
- шероховатость поверхности зуба R_Z шестерни редуктора;
- предел контактной выносливости σ_{HE} материала шестерни редуктора;
- начальный радиальный зазор e_{02} подшипника вентилятора;

- динамическая грузоподъемность C_{B2} подшипника вентилятора;
- посадочный диаметр вала вентилятора D_{B2} под подшипник;
- дисбаланс ротора вентилятора G_r ;
- показатель степени термостойкости m материала обмоток генераторов переменного и постоянного токов.

Подогрев воздуха в вентиляторе ΔT_v определялся расчетом по его рабочей характеристике.

Моделируемыми величинами также являются:

- объем партии выпускаемых двигателей N , в зачет которой проводятся периодические испытания;
- порядковый номер двигателя i ($i = \overline{1, N}$).

Задания

Необходимо с использованием системы Anylogic 5 выполнить моделирование качества производства «критичных» элементов двигателя ТА-6А.

Примечание: студенты получают задания, выдаваемые преподавателем и отличающиеся: «критичным» элемент(ами) двигателя, номинальными значениями параметров качества производства, а также интервалом допустимых значений.

Методика выполнения задания:

1. В системе Anylogic 5 формируется программа моделирования качества производства «критичных» элементов двигателя с использованием датчиков случайных чисел, распределенных по нормальному и равномерному законам распределения.

2. Индивидуального для каждого студента преподавателем задаются:

- номинальные значения параметров качества производства «критичных» элементов двигателя;
- интервал допустимых значений параметров;
- закон распределения параметра и объём выборки ($M=50; 100; 200; 300; 400; 500$).

3. С использованием программы, разработанной в п.1, моделируется процесс качества производства элементов двигателя с выводом на экран монитора или на печать гистограммы распределений параметров качества производства элементов двигателя, а также оценки параметров (математическое ожидание; дисперсия; стандартное и среднее отклонения; коэффициенты асимметрии, эксцесса и вариации).

Требования к содержанию и оформлению результатов занятия.

Отчёт по работе оформляется письменно в произвольной форме с обязательным включением:

- наименования и цели работы;
- кратко изложенной теоретической части;
- результатов моделирования в виде гистограммы и оценок параметров качества производства «критичных» элементов двигателя;
- рекомендаций по повышению качества «критичных» элементов двигателя.

Практическое занятие №5 «Моделирование процессов расходования ресурса двигателя»

Моделирование процессов расходования ресурса производится имитацией накопления повреждаемости «критичными» элементами двигателя в зависимости от качества их изготовления, условий окружающей среды и условий нагружения в испытаниях (эксплуатации).

Цель занятия:

1. Ознакомление с последовательностью расчётной оценки расходуемого ресурса рабочей лопатки турбины и радиально-упорного подшипника ротора двигателя.
2. Приобретение навыков по имитационному моделированию процессов расходования ресурса двигателя.

Теоретическая часть

Параметрами исходного состояния, влияющими на повреждаемость рабочей лопатки турбины, являются предел длительной прочности $[\sigma_r^T]$ и площадь сечения лопатки S , соответствующая максимальному напряжению σ_{\max} .

Параметрами ротора исходного состояния, влияющими на повреждаемость радиально-упорного подшипника, являются:

- динамическая грузоподъёмность S_v , распределенная в интервале 3968...4064 Н по равномерному закону с номинальным значением $\bar{S}_v = 4016$ Н;
- исходный радиальный зазор e_0 , распределенный в интервале 10...29 мкм по нормальному закону с номинальным значением $\bar{e}_0 = 18$ мкм;
- посадочный диаметр вала d , распределенный в интервале 55,011...55,019 мм по нормальному закону с номинальным значением $\bar{d} = 55$ мм;
- посадочный диаметр корпуса D , распределенный в интервале 100...100,08 мм по нормальному закону с номинальным значением $\bar{D} = 100$ мм.

Задания:

Каждое задание состоит из двух частей:

- 1) требуется сформировать имитационную модель расходования ресурса двигателя в системе Anylogic 5;
- 2) провести моделирование расходования ресурса двигателя с применением разработанной имитационной модели расходования ресурса двигателя.

Примечание: студенты получают варианты заданий, выдаваемые преподавателем.

Методика выполнения задания

Порядок выполнения задания следующий:

- 1) ознакомление с методикой моделирования расходования ресурса рабочей лопатки турбины и радиально-упорного подшипника ротора двигателя;
- 2) построение в среде Anylogic модели расходования ресурса лопатки и подшипника;
- 3) оценка моделированием в соответствии с выданном вариантом задания;
- 4) построение по результатам моделирования графиков зависимости выработки ресурса лопатки и подшипника от режима нагружения и качества их изготовления;
- 5) решение задачи по оптимизации расходования ресурса (в пределах заданных интервалов по режиму нагружения и качеству изготовления деталей). Определение минимального и максимального значений выработанного ресурса лопатки и подшипника.

Требования к содержанию и оформлению результатов занятия.

Отчёт по работе оформляется в произвольной форме с обязательным включением:

- наименования и цели работы;
- кратко изложенной теоретической части;
- результатов моделирования расходования ресурса лопатки и подшипника для заданных режимов эксплуатации и исходного состояния, сформированного в процессе их производства;
- рекомендаций по оптимизации расходования ресурса лопатки и подшипника в эксплуатации.

Практическое занятие №6 «Моделирование эксплуатации двигателя»

Имитационное моделирование процесса эксплуатации и авиационных двигателей применяется:

- для оценки стоимости их жизненного цикла;
- для обоснования стратегии эксплуатации;
- при выборе путей реализации требований по обеспечению безопасной эксплуатации;
- при решении организационных вопросов по поставке и прогнозированию потребностей.

В данном случае разработка имитационной модели предполагает решение следующих задач:

- идентификацию процессов в системе эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) и авиационных двигателей (АД), анализ и характеристику элементов, включенных в эти процессы, их структур и взаимосвязей;
- формализацию, т.е. построение математической модели исследуемого процесса;
- реализацию разработанной модели на ЭВМ.

Разработка модели базируется на принципах:

- системного подхода;
- обеспечения необходимого разнообразия модели, т.е. обеспечения того, чтобы полнота воспроизведения исследуемой системы в модели соответствовала требованиям, вытекающим из цели проводимого исследования;
- декомпозиции системы на отдельные подсистемы вплоть до уровня элементов;
- отслеживания “жизни” каждого элемента системы.

Цель занятия:

1. Ознакомление с методами моделирования эксплуатации двигателей.
2. Приобретение навыков моделирования эксплуатации двигателя в системе AnyLogic 5 и решение практических задач с применением разработанной модели.

Теоретическая часть:

Моделирование эксплуатации основано на оценке аргумента, характеризующего эксплуатационную повреждаемость элементов двигателя. Значения этого аргумента зависят от особенностей эксплуатации рассматриваемого двигателя. В общем случае, эксплуатация определенной партии (парка) изделий протекает в некоторой допустимой области режимов нагружения изделия и внешних условий, т.е. $\tilde{\Pi}_{\Xi ij} [R_{\Xi}(\tau_{\Xi}), \tau_{\Xi}]$. Поэтому при оптимизации ресурсных испытаний необходимо вначале уточнить принятое правило оценки повреждаемости. В частности, для авиационных ГТД возможны 9 методов моделирования эксплуатационной повреждаемости.

Окончательный выбор метода моделирования эксплуатации зависит от особенностей применения двигателя на объекте, объема имеющейся информации, требований к достоверности оценки надежности и ресурса изделия и других факторов.

Задания:

1. Формирование имитационной модели эксплуатации двигателя.
2. Моделирование эксплуатации двигателя с применением сформированной модели.

Методика выполнения задания

Моделирование проводится с учётом эксплуатационной повреждаемости рабочей лопатки турбины двигателя.

Параметрами модели являются:

- объем парка эксплуатируемых двигателей N_{Ξ} ;
- ресурс двигателя по наработке $\tau_{рес}$ и количеству запусков Z ;
- критическое значение повреждаемости Π_i^* ($i = 1, n$);

- затраты на устранение отказов двигателя в эксплуатации $Z_{отк.i}$ ($i = \overline{1, n}$);
- удельный доход от часа эксплуатации двигателя $D_{ч}$ ($D_{ч} = 400$ тыс. у.е);
- себестоимость часа работы двигателя в эксплуатации $C_{ч}$.

Переменными величинами модели являются:

- порядковый номер двигателя i ($i = \overline{1, N_{э}}$);
- порядковый номер запуска j ($i = \overline{1, Z}$);
- температура окружающего воздуха $t_{н}$ (принята постоянной);
- наработка в режиме кондиционирования воздуха $\tau_{СКВ}$;
- режимная наработка на один запуск τ_j ;
- суммарная наработка двигателя в эксплуатации τ_{Σ} ;
- повреждаемость элементов двигателя за j -й запуск Π_j и за все время эксплуатации Π_i ;
- затраты на j -й запуск двигателя в эксплуатации Z_j (принято $Z_j=0$);
- доход от эксплуатации двигателя (j -й запуск) D_j ;
- затраты $Z_{эi}$ и доход D_i на весь цикл эксплуатации i -го двигателя;
- суммарные затраты Z_{Σ} и доход D_{Σ} на эксплуатацию парка двигателей.

Требования к содержанию и оформлению результатов занятия.

Отчёт по работе оформляется письменно в произвольной форме с обязательным включением:

- наименование и цели работы;
- кратко изложенной теоретической части;
- результатов моделирования эксплуатации двигателя по исходными данным, задаваемых преподавателем для каждого студента отдельно

Образовательные технологии

При реализации дисциплины применяются классические образовательные технологии. При реализации дисциплины применяются интерактивные формы проведения практических и лабораторных занятий в виде проблемного обучения.

В частности, предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Классическая лекция, предусматривающая систематическое, последовательное, монологическое изложение учебного материала.
2. Проблемная лекция, стимулирующая творчество, осуществляемая с подготовленной аудиторией.
3. Лекция-визуализация – передача информации посредством схем, таблиц, рисунков, видеоматериалов, проводится по ключевым темам с комментариями.
4. Проблемное обучение, стимулирующее аспирантов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы, в форме письменных эссе различной тематики с их последующей защитой и обсуждением на семинарских занятиях.
5. Контекстное обучение – мотивация магистрантов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением.
6. Обучение на основе опыта – активизация познавательной деятельности магистранта за счет ассоциации и собственного опыта с предметом изучения.

При реализации настоящей рабочей программы предусматриваются интерактивные и активные формы проведения занятий, дискуссии по темам исследования и поставленным научным проблемам.

Методические указания по освоению дисциплины

Раздел 1. Виды моделирования. Моделирование жизненного цикла авиационных ГТД на основе статистических и аналитических моделей.

Лекций – 2 ч., КСР – 1 ч., СРС – 14 ч.

В первой лекции излагаются основные виды моделирования. Лекционный материал включает такие разделы как: математические модели; физические модели; смешанные модели; статистические модели; аналитические модели; методы моделирования при исследовании систем и процессов; моделирование жизненного цикла авиационных ГТД на основе статистических и аналитических моделей.

Для студентов важно представить все виды моделирования в виде единой комплексной схемы с указанием их взаимосвязи. Для этого необходимо воспользоваться рисунком, приведенном в разделе «Введение» учебного пособия «Моделирование процессов жизненного цикла авиационного двигателя и энергетических установок».

Важно подчеркнуть, что процесс разработки авиационного ГТД является достаточно неопределённым, и поэтому моделирование как самого процесса, так и его технико-экономических показателей представляет известные трудности. Точность моделирования ЖЦ во многом зависит от точности моделирования его основных этапов: стоимости затрат на разработку, производство и эксплуатацию двигателя.

Необходимо обратить внимание студентов на возможность моделирования отдельных этапов ЖЦ с применением статистических моделей.

Необходимо также акцентировать внимание студентов на следующих обстоятельствах:

1) В условиях крайне сложного положения для отечественного двигателестроения последнего десятилетия прогнозирование стоимостных показателей процессов разработки и производства двигателей с применением статистических моделей стало практически невозможным. Из всех перечисленных статистических моделей только модели цен на двигатели в условиях мирового рынка (ввиду его достаточной стабильности) могут использоваться для прогнозирования. Единственно возможным в этот период является использование аналого-сопоставительных методов и методов прямого счета, которые плохо формализуются и во многом имеют субъективный характер.

2) Для сравнительной оценки влияния на эксплуатационные затраты ресурса и уровня безотказности ГТД на этапе проектирования двигателя, когда сведения о многих особенностях, характеризующих эксплуатацию двигателя, не известны или приближительны, весьма эффективным является применение аналитических методов. Несмотря на простоту счета и приближенность, они позволяют учитывать влияние основных факторов на объем выпуска и число ремонтов двигателей.

3) Когда применение аналитических моделей дает слишком приближенные результаты, затруднено или вообще невозможно, то наиболее эффективными в таких случаях являются методы прогнозирования потребности в двигателях, основанные на моделировании на ЭВМ процессов эксплуатации и воспроизводства парков летательных аппаратов и двигателей с помощью имитационных моделей.

В целом, лекционный материал должен позволить студенту ответить на следующие вопросы:

1. От точности моделирования каких этапов зависит в основном точность моделирования жизненного цикла двигателя ?

2. Возможно ли применение статических моделей при моделировании отдельных этапов жизненного цикла двигателя ?

3. Какие факторы включает статистическая модель, характеризующая затраты на опытно – конструкторские работы при создании ГТД ?
4. Какие факторы включает статистическая модель, характеризующая сроки проведения опытно-конструкторских работ при создании ГТД ?
5. Как влияют параметры G_{вн} и TГ на сроки проведения ОКР ?
6. Какой метод применяется при моделировании динамики себестоимости производства двигателей ?
7. В каком виде представляется модель себестоимости двигателя ?
8. В каких случаях используется аналитический метод моделирования ?
9. Насколько снижается себестоимость двигателя при удвоении выпуска производства для среднеотраслевой динамики себестоимости ?
10. Какие используются допущения при разработке аналитических моделей ?

Магистрант должен иметь представление о математических, физических, смешанных, статистических и аналитических моделях. Магистрант должен иметь понятие о методах моделирования при исследовании систем и процессов. Магистрант должен иметь представление о моделировании жизненного цикла авиационных ГТД на основе статистических и аналитических моделей.

Раздел 2. Особенности имитационного моделирования.

Лекций –2 ч., КСР – 1 ч., СРС – 14 ч.

Во второй лекции рассматриваются особенности имитационного моделирования, включая такие разделы как: особенности имитационного моделирования; метод статических испытаний и структура исследования систем с применением имитационного моделирования; общие требования и правила имитационного моделирования; основные принципы имитационного моделирования; основные этапы имитационного моделирования; структура имитационной модели жизненного цикла двигателя при оптимизации его ресурсных испытаний.

Здесь важно, чтобы студенты имели четкое представление о том, что в основе имитационного моделирования лежит численный метод (метод Монте-Карло), именуемый также методом статистических испытаний. В данном случае процесс имитируется с помощью арифметических и логических операций в той последовательности элементарных актов, которая характерна для моделируемого процесса. При этом в качестве математической модели функционирования системы выступает моделирующий алгоритм, в соответствии с которым в ЭВМ вырабатывается информация, описывающая элементарные явления исследуемого процесса с учетом их взаимного влияния.

Необходимо также показать, что в отличие от аналитических методов метод Монте-Карло позволяет решать задачи, не сформулированные в виде уравнений или формул. Задачи решаются на конкретных числах, при этом результат получается не в виде аналитических формул, а в виде числовых характеристик случайных процессов.

Не менее важным является вывод о том, что наиболее рациональным является совместное применение упрощенных аналитических методов (позволяющих выбрать сравнительно узкую область исследования, оценить влияние различных факторов, упростить модель за счет отбрасывания второстепенных факторов) и метода Монте-Карло (позволяющего произвести оценку более точную, но в более ограниченной области).

Именно сочетание аналитических методов и метода Монте-Карло является наиболее эффективным для исследования сложных систем и процессов.

Необходимо обратить внимание студентов и на недостатки метода имитационного моделирования, являющиеся продолжением его достоинств. Это, прежде всего, сложность организации и относительно высокая стоимость проведения имитационных экспериментов (особенно если эксперимент является имитационной игрой), возможность просмотреть и сравнить лишь небольшое число заранее отобранных вариантов управлений, интуитивный характер оценок, касающихся рационального управления

процессом. Имитация предъявляет также весьма часто трудновыполнимые требования к информационному обеспечению модели, причем, чем подробнее и точнее модель, тем труднее получить для нее необходимую информацию.

Необходимо также показать, что в настоящее время имитационные модели считают альтернативой методам математического программирования и аналитическим методам исследования. Считается, что для применения имитации должны быть достаточные основания, смысл которых сводится к следующему:

- не существует законченной математической постановки данной задачи, либо еще не разработаны методы математического программирования или аналитические методы решения сформулированной математической задачи;
- методы имеются, но они столь сложны, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;
- методы математического программирования или аналитические методы существуют, но их реализация невозможна вследствие недостаточной подготовленности лиц, принимающих решения.

Студенты должны ясно представлять общие требования и правила моделирования, которые приведены в п. 2.3 «Общие требования и правила имитационного моделирования» и основные шесть принципов, изложенные в п. 2.4 учебного пособия «Моделирование процессов жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок».

Завершить лекцию целесообразно рассмотрением общей структуры имитационной модели жизненного цикла авиационного двигателя вида «производство – испытания – эксплуатация».

В целом, лекционный материал должен помочь студенту ответить на следующие вопросы:

1. В чем заключается смысл двух подходов, используемых для изучения сложных систем и управляемых процессов математическими методами ?
2. Что понимается под имитационным экспериментом ?
3. В чем заключается смысл метода статистических испытаний (метод Монте-Карло)?
4. Сочетание каких методов моделирования является наиболее эффективным при исследовании сложных систем и процессов ?
5. Чем обосновывается применение имитационного метода моделирования ?
6. Перечислите основные этапы имитационного моделирования.
7. Дайте определение математической модели и моделирующего алгоритма.
8. Каким образом проводится оценка адекватности имитационной модели ?
9. В какой последовательности расположены методы исследования систем по показателю относительной ценности ?
10. Перечислите общие требования и правила имитационного моделирования.
11. Какие требования при имитационном моделировании являются наиболее трудносовместимыми ?
12. В чем заключается смысл принципа информационной достаточности ?
13. В чем заключается смысл принципа параметризации ?
14. Поясните суть принципа агрегирования.
15. В чем заключается смысл принципа осуществимости ?
16. Что предполагает использование при моделировании принципа рационального использования факторного пространства ?
17. Для каких целей используется принцип множественности моделей ?
18. На каких моделях нижнего уровня основано формирование модели эксплуатации двигателя ?
19. Какой вид имитационной модели необходимо рассматривать при проектировании двигателя ? При опытной доводке ? При серийной эксплуатации ?

20. От каких факторов зависит уровень детализации имитационной модели производства двигателей ?

21. Какие параметры являются исходными и какие результирующими при моделировании производства двигателей ?

22. Что является результатом моделирования эксплуатации двигателей ?

Магистрант должен иметь представление об особенностях имитационного моделирования. Методе статистических испытаний и структуре исследования систем с применением имитационного моделирования. Магистрант должен иметь понятие об общих требованиях и правилах имитационного моделирования. Основных этапах имитационного моделирования. Магистрант должен иметь представление о структуре имитационной модели жизненного цикла двигателя при оптимизации его ресурсных испытаний.

Раздел 3. Основные показатели и критерии эффективности жизненного цикла двигателей и энергоустановок.

Лекций – 2 ч., СРС – 14 ч.

Лекция №3 посвящена показателям и критериям эффективности технических систем, включая такие вопросы как: основные понятия эффективности; собственные показатели и критерии эффективности испытаний двигателя; несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие эксплуатационные издержки, эффективность капитальных вложений и удельные затраты; несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие прибыль, рентабельность и затраты на эксплуатацию; несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие годовой экономический эффект от повышения надежности и удельные затраты; несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие прямые эксплуатационные расходы, амортизацию, надежность и полные затраты за время эксплуатации; несобственные показатели и критерии эффективности, характеризующие исправление брака в эксплуатации и прибыль изготовителя.

Важно показать студентам, что эффективность является одним из фундаментальных свойств любой системы, характеризующих результат ее применения и функционирования.

В теории эффективности различают понятия функциональной и экономической эффективности. Функциональная эффективность характеризуется прямым эффектом, получаемым в процессе функционирования системы. Экономическая эффективность отражает такие свойства системы, как доходность, рентабельность и др.

Необходимо подчеркнуть, что при исследовании эффективности любой системы возникают прямая и обратная задачи:

- прямая задача (задача анализа) состоит в оценке результата функционирования системы при заданных ее свойствах и условиях применения. При этом вычисляются и анализируются показатели эффективности;
- обратная задача (задача синтеза) связана с определением свойств, характеристик и условий применения системы, при которых эффективность системы будет оптимальной (требуемой или оптимальной) в смысле выбранного критерия.

Как в прямой, так и в обратной задачах неотъемлемыми этапами исследования эффективности являются уточнение целей функционирования системы, обоснование и выбор критериев и показателей эффективности, составление математической модели системы и ее функционирования, оценка показателей эффективности, анализ результатов.

Студенту часто трудно уяснить, что показатель эффективности может быть задан в форме неравенства, а также что они разделяются на собственные и несобственные. Долг преподавателя устранить данный пробел.

В целом, материал данной лекции должен помочь студенту ответить на следующие вопросы:

1. Что понимается под эффективностью системы ?
2. В чем отличие функциональной эффективности от экономической ?
3. Для каких целей используются показатели и критерии эффективности ?
4. В чем заключается смысл прямой и обратной задач при исследовании эффективности системы ?
5. Чем отличаются собственные показатели эффективности от несобственных ?
6. Какими показателями оценивается внешняя эффективность системы ?
7. Какой показатель эффективности связан с надежностью двигателя ?
8. От каких параметров зависит абсолютный показатель эффективности капитальных вложений ?
9. Из чего складываются затраты ЖЦ двигателя ?
10. По какой формуле определяются затраты на эксплуатацию, обусловленные надежностью двигателя, оцениваемой наработкой на отказ ?
11. Каким образом оценивается годовой экономический эффект от повышения надежности двигателя?
12. Для каких целей используется показатель удельных затрат ?
13. Для каких целей используется показатель эксплуатационных расходов, затрат на амортизацию и техническое обслуживание двигателя ?
14. Каким образом оцениваются показатели, характеризующие недостаточную надежность и изменение надежности двигателя в эксплуатации ?
15. С применением каких критериев проводится оценка эффективности одинаковых двигателя, находящихся в различных условиях эксплуатации или используемых в различных вариантах применения ?
16. Какие внешние (несобственные) показатели наиболее приемлемы для оптимизации ресурсных испытаний двигателя в системе его жизненного цикла?

Магистрант должен иметь представление об основных понятиях эффективности. Магистрант должен иметь понятие о собственных показателях и критериях эффективности испытаний двигателя. Несобственных показателях и критериях эффективности, характеризующих эксплуатационные издержки, эффективность капитальных вложений и удельные затраты. Несобственных показателях и критериях эффективности, характеризующих прибыль, рентабельность и затраты на эксплуатацию. Несобственных показателях и критериях эффективности, характеризующих годовой экономический эффект от повышения надежности и удельные затраты. Несобственных показателях и критериях эффективности, характеризующих прямые эксплуатационные расходы, амортизацию, надежность и полные затраты за время эксплуатации. Несобственных показателях и критериях эффективности, характеризующих исправление брака в эксплуатации и прибыль изготовителя.

Раздел 4. Опыт применения моделирования жизненного цикла при проектировании и доводке двигателей и энергоустановок.

Лекций –2 ч., СРС – 14 ч.

Лекция №4 посвящена рассмотрению примеров применения моделирования при проектировании и доводке двигателей и включает разделы: применение моделирования при проектировании двигателей фирмой Пратт-Уитни; применение моделирования при проектировании двигателя тактического истребителя АТАМС; применение моделирования при оптимизации системы “самолет – двигатель”; проектирование двигателя применением модели DEVSIM; применение модели двигателя при оптимизации его параметров на этапах проектирования и доводки.

Необходимо подчеркнуть, что в качестве основных расчетных показателей двигателя, оказывающих влияние на стоимость жизненного цикла (СЖЦ) системы вооружения, рассматривались тяга, удельный расход топлива, масса, диаметр, длина, а

также затраты на исследование, разработку, испытания двигателей и оценку полученных результатов, затраты на приобретение, эксплуатацию и обслуживание двигателя.

Важно, чтобы студенты могли качественно охарактеризовать влияние:

- показателей эксплуатационных свойств на стоимость жизненного цикла двигателя;

- показателей надежности двигателя на стоимость жизненного цикла системы;

- на интенсивности отказов наработки.

В целом, материала данной лекции должно быть достаточно для того, чтобы студент мог ответить на следующие вопросы:

1. По какому критерию проводится выбор показателей двигателя ?
2. Между какими параметрами определяется баланс при проектировании двигателя ?
3. Опишите схему исследования влияния эксплуатационных свойств силовой установке на СЖЦ системы вооружения ?
4. Почему стоимость жизненного цикла является важным показателем качества ?
5. Какие параметры рассматриваются в качестве основных расчётных показателей двигателя, оказывающих влияние на стоимость жизненного цикла ?
6. Как определяется закупочная стоимость базовых двигателей ?
7. По каким зависимостям оцениваются затраты на разработку и испытания двигателей, а также затраты на модернизацию элементов двигателя ?
8. Каким методом оцениваются затраты на эксплуатацию двигателей ?
9. Как влияет на СЖЦ ресурс холодной части двигателя ?
10. Как влияют на СЖЦ показатели надежности двигателя ?
11. Из каких частей состоит модель определения габаритных размеров и стоимости самолёта и двигателя ?
12. Какие варианты создания самолёта могут рассматриваться при оптимизации системы «самолёт-двигатель» ?
13. Какие программы и подпрограммы включает в себя модель стоимости жизненного цикла ?
14. Какой метод используется при исследовании различных стратегий создания и доводки двигателя ?
15. Какие работы выполняются при анализе процесса эксплуатации двигателя ?
16. В зависимости от изменения каких параметров проводится корректировка составляющих в модели стоимости жизненного цикла двигателя ?
17. Каков порядок эффекта (снижение стоимости жизненного цикла двигателя) от реализации перспективных технических решений и оптимизации параметров рабочего цикла двигателя ?
18. Какие подходы к организации процесса создания двигателя вам известны ?
19. Какова зависимость стоимости жизненного цикла двигателя от объёма работ, выполняемых при его разработке ?
20. Как влияет на стоимость жизненного цикла двигателя объём стендовых испытаний ?

Магистрант должен иметь представление о применении моделирования при проектировании двигателей фирмой Пратт-Уитни. Магистрант должен иметь понятие о применении моделирования при проектировании двигателя тактического истребителя АТАМС. Применении моделирования при оптимизации системы «самолет-двигатель». Проектировании двигателя с применением модели DEVSIM. Магистрант должен иметь представление о применении модели двигателя при оптимизации его параметров на этапах проектирования и доводки.

Раздел 5. Применение моделирования жизненного цикла при производстве и испытаниях двигателей и энергоустановок.

Лекций –4 ч., практическое занятие – 2 ч., СРС – 14 ч.

В лекции рассматривается применение моделирования при производстве и испытаниях двигателя, включая разделы: применение моделирования при оптимизации кратковременных и длительных испытаний двигателя; применение моделирования при оптимизации кратковременных и длительных испытаний двигателя; краткая характеристика двигателя и основные данные для оптимизации его длительных (периодических) испытаний; имитационное моделирование производства двигателя; имитационное моделирование расходования ресурса «критичных» элементов двигателя и моделирование периодических испытаний; имитационное моделирование эксплуатации двигателя; оптимизация параметров периодических испытаний двигателя; сравнительная оценка эффективности серийной и опытной программ испытаний двигателя.

Тема лекции рассматривает два аспекта применения моделирования: при оптимизации кратковременных и длительных испытаний.

Здесь необходимо подчеркнуть, что при наблюдающейся тенденции увеличения стоимости материальных ресурсов, необходимых для проведения экспериментов, и одновременном снижении стоимости вычислительной техники целесообразным является перенос части экспериментальных работ в область вычислительного эксперимента на основе использования математических и имитационных моделей. Данный подход позволяет перенести эксперимент из физического пространства в модельное.

Важно отметить, что испытания в первом случае реализуются в два этапа:

- контроль по предельным параметрам непосредственно после сборки;
- контроль в диапазоне эксплуатационных режимов на испытательной станции.

Второй аспект лекции посвящен моделированию ВГТД ТА-6А и является информационно более насыщенным по сравнению с моделированием кратковременных испытаний. Рассматривается пример, в котором целью испытаний является подтверждение годности партии из 200 двигателей к эксплуатации на самолетах Ил-62, Ту-154 и Ил-76.

Здесь важно, чтобы студенты еще раз поняли суть определения: «критичные» элементы двигателя и могли более подробно пояснить на примере данного двигателя.

При изложении лекционного материала следует подробно остановиться на последовательности имитационного моделирования:

- производства «критичных» элементов двигателя;
- расходования ресурсов этих элементов;
- периодических испытаний двигателя.

Целесообразно также более подробно рассмотреть методологию оптимизации периодических испытаний двигателя: вид целевой функции, используемый метод поиска экстремуму функции и т.д.

В целом, материал данной лекции ориентирован на следующий перечень вопросов для самоконтроля студентов:

1. Какова структура автоматизированного техпроцесса кратковременных испытаний двигателя в условиях серийного производства ?
2. Что означает термин “критический элемент двигателя” ?
3. Какие элементы двигателя вспомогательной силовой установки ТА-6А являются “критичными” ?
4. Какими параметрами характеризуется цикл нагружения двигателя ТА-6А в испытаниях?
5. Какой их вариантов эксплуатации двигателя на самолёте ТУ-154 является наиболее нагруженным ?
6. Каким образом проводится имитационное моделирование этапа производства двигателя?
7. Каким образом проводится имитационное моделирование расходования ресурса ?

8. Каким образом проводится имитационное моделирование периодических испытаний двигателя ?
9. Каким образом проводится имитационное моделирование эксплуатации двигателя ?
10. Какие параметры периодических испытаний оптимизируются ?
11. Проведите сравнения эффективности серийной и опытной программ испытаний двигателя.
12. Проведите сравнения эффективности серийной и опытной программ эквивалентно-циклических испытаний двигателя.

Магистрант должен иметь представление о применении моделирования при оптимизации кратковременных и длительных испытаний двигателя. Краткой характеристике двигателя и основных данных для оптимизации его длительных (периодических) испытаний. Магистрант должен иметь понятие об имитационном моделировании производства двигателя. Имитационное моделирование расхода ресурса «критичных» элементов двигателя и моделировании периодических испытаний. Имитационное моделирование эксплуатации двигателя. Магистрант должен иметь представление об оптимизации параметров периодических испытаний двигателя. Сравнительной оценке эффективности серийной и опытной программ испытаний двигателя.

Раздел 6. Применение моделирования жизненного цикла при оптимизации эксплуатации двигателей и энергоустановок.

Лекций – 4 ч., практических занятий – 4 ч., СРС – 14 ч.

Лекция №6 посвящена применению моделирования при оптимизации эксплуатации двигателей и включает разделы: особенности формирования имитационной модели процесса эксплуатации двигателя; перечень задач, решаемых с применением имитационного моделирования процесса эксплуатации; моделирование эксплуатационной повреждаемости двигателей; применение имитационного моделирования для перспективного планирования в гражданской авиации.

Для студентов убедительны будут примеры, поэтому целесообразно рассмотреть постановку задачи по определению объема производства и ремонта АД: известна программа производства самолетов конкретного типа, показатели межремонтного и назначенного ресурса планера (с учетом динамики их изменения по годам), динамика среднегодового налета на самолет, цикл ремонта самолета, а также планируемые показатели безотказной работы двигателей, длительность цикла ремонта и возможности ремонтного производства, требования к уровню запасов двигателей в эксплуатации. Необходимо определить потребный объем производства и ремонта АД за срок службы самолетного парка.

Применение имитационного моделирования также является эффективным при решении задач по оптимизации программ технического обслуживания и ремонта систем и узлов летательных аппаратов. Так, применение имитационного моделирования для системы кондиционирования воздуха самолета позволило сократить эксплуатационные затраты в 1,7 раза, трудовые - в 1,72 раза.

Отдельного рассмотрения требует вопрос моделирования эксплуатационной повреждаемости двигателей. Здесь необходимо пояснить, что окончательный выбор метода моделирования эксплуатации зависит от особенностей применения двигателя на объекте, объема имеющейся информации, требований к достоверности оценки надежности и ресурса изделия и других факторов.

В целом, материал данной лекции должен позволить студенту ответить на следующие вопросы:

1. Для каких целей применяется имитационное моделирование процесса эксплуатации летательных аппаратов и двигателей ?

2. Какие задачи необходимо решить при разработке имитационной модели эксплуатации ?
3. Какие два подхода используются при моделировании отказов ?
4. Какие исходные данные необходимы для определения требуемого объема производства и ремонта двигателей за срок службы самолётного парка ?
5. Возможно ли прогнозирование объемов производства и поставок двигателей модульной конструкции с применением аналитических моделей ?
6. Какова эффективность применения имитационного моделирования при решении задач по оптимизации программ технического обслуживания и ремонта систем и узлов летательных аппаратов ?
7. Какой из девяти методов моделирования эксплуатации двигателей является наиболее эффективным и почему ?
8. Какими параметрами определяется повреждаемость элементов узлов двигателя ?
9. От каких факторов зависит окончательный выбор метода моделирования эксплуатации двигателя ?
10. Какие задачи позволяет решать применение имитационного моделирования в гражданской авиации ?

Магистрант должен иметь представление об особенностях формирования имитационной модели процесса эксплуатации двигателя. Перечне задач, решаемых с применением имитационного моделирования процесса эксплуатации. Моделировании эксплуатационной повреждаемости двигателей. Применении имитационного моделирования для перспективного планирования в гражданской авиации.

Раздел 7. Основы имитационного моделирования двигателей и энергоустановок в системе Anylogic.

Лекций—4 ч., практических занятий—6 ч., КСР—2 ч., СРС—15ч.

Магистрант должен иметь представление об общих понятиях, сведениях. Основных средствах создания моделей. Магистрант должен иметь представление об экспериментах с моделью. Анимации модели. Графиках и слайдах в анимации. Доработке модели. Основных концепциях.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- лекционные аудитории с современными средствами демонстрации 2-501,2-503, 2-507, 2-509.

- кафедральные лаборатории, обеспечивающие реализацию ОПОП ВО: 2-507, 2-510 с доступом к указанным программным средствам в сети Интернет.

Технические средства обучения:

1. Проектор.
2. Наборы слайдов (компьютерные презентации к лекциям).

10. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.