

**Содержание**  
**дополнительной профессиональной программы повышения квалификации**  
**«Испытания систем автоматического управления авиационными ГТД»**

*Объем программы: 25 ак. часов (3-4 раб. дней по 6-8 ак. часов в день)*

*Форма обучения: очная*

*Место проведения обучения: Учебный центр ЦИАМ, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.2.*

**Учебно-тематический план программы**

№ п/п	Наименование разделов, тем	Всего, час.	В том числе, час.		Итоговая аттестация	
			лекции	практ. занятия	час.	форма контроля
<b>1</b>	<b>Испытания систем автоматического управления авиационными ГТД</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	–		
1.1	Управление авиационными ГТД	4	4	–		
1.2	Испытания систем автоматического управления ГТД	2	2	–		
1.3	Математический стенд «Двигатель-САУ»	2	2	–		
1.4	Математическое моделирование при сопровождении испытаний САУ	2	2	–		
1.5	Испытания электронных систем и элементов САУ ГТД. Стенды для испытания электронных регуляторов САУ и датчиков	3	3	–		
1.6	Проверка эффективности систем защиты ГТД	2	2	–		
1.7	Испытания топливорегулирующей аппаратуры (ТРА). Установки для испытаний.	2	2	–		
1.8	Испытания САУ на двигателе. Проверка функциональных характеристик САУ и управляемости двигателя	2	2	–		
1.9	Исследовательский стенд с обратной связью для полунатурных испытаний САУ с математической моделью двигателя. Испытания на двигателе-демонстраторе	2	2	–		
1.10	Особенности квалификации систем автоматического управления при сертификации ГТД	2	2	–		
<b>2</b>	<b>Итоговая аттестация</b>	<b>2</b>	–	–	<b>2</b>	<b>зачет</b>
<b>3</b>	<b>Итого:</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	–	<b>2</b>	

## Рабочая учебная программа

### Раздел 1 Испытания систем автоматического управления авиационными ГТД

#### Тема 1.1 Управление авиационными ГТД

Регулируемые параметры ГТД, учёт внешних условий, эксплуатационных ограничений. Программы регулирования ГТД на установившихся режимах работы двигателя. Программы регулирования на переходных режимах работы (запуск, приёмистость и сброс тяги).

Совместная работа регуляторов. Селектирование каналов управления. Управление ГТД с форсажной камерой сгорания. Особенности управления турбовальными ГТД. Формирование требований к точности регулирования, связь со способом регулирования. Построение современной САУ ГТД. Перспективы развития систем управления ГТД.

#### Тема 1.2 Испытания систем автоматического управления ГТД

Испытания агрегатов САУ на стендах предприятий разработчиков. Испытания САУ в составе двигателя в наземных условиях на стендах двигательных ОКБ. Испытания САУ в составе двигателя в высотно-скоростных условиях (для ТВД, ТВВД, дополнительно в АДТ или на ЛЛ). Испытания по проверке электромагнитной совместимости САУ с системами летательного аппарата после установки двигателя на ЛЛ или штатный ЛА. Испытания на ЛЛ.

#### Тема 1.3 Математический стенд «Двигатель-САУ»

Математические модели как инструмент разработки, испытаний и эксплуатации систем управления авиационными ГТД. Особенности ГТД как объекта управления. Задачи, решаемые с помощью математического стенда. Основные уравнения математической модели двигателя. Построение динамической математической модели двигателя класса off design. Методы расчета. Математическая модель универсальной САУ. Схема построения программы расчета. Интерфейс Пользователя программой расчета. Примеры использования математической модели для выбора программ управления и расчета параметров двигателя. Валидация математических моделей для двигателей различного типа. Применение математических моделей ГТД в программном обеспечении электронных цифровых САУ для управления и контроля («виртуальный двигатель»).

#### Тема 1.4 Математическое моделирование при сопровождении испытаний САУ

Задачи математического моделирования при сопровождении испытаний САУ. Коррекция программ управления на установившихся режимах работы двигателя для выполнения требований ТЗ. Коррекция программ и алгоритмов регулирования на переходных режимах

работы двигателя. Оценка неизмеряемых параметров рабочего процесса (запасов ГДУ, температуры газа в КС и др.). Анализ отказов в процессе испытаний.

### **Тема 1.5 Испытания электронных систем и элементов САУ ГТД. Стенды для испытания электронных регуляторов САУ и датчиков**

Технические требования к электронным системам и элементам САУ ГТД. Контролируемые характеристики электронных систем и элементов САУ ГТД. Виды испытаний электронных систем и элементов САУ ГТД в соответствии с НТД. Исследовательские испытания электронных систем и элементов САУ (автономные, наземные на двигателе, летные). Квалификационные испытания электронных систем и элементов САУ ГТД. Приемосдаточные испытания. НТД на испытания электронных систем и элементов САУ ГТД. Назначение стендов по видам испытаний электронных регуляторов САУ и датчиков, общие требования, структура. Стенды для автономных испытаний электронных регуляторов САУ: климатические испытания и испытания на ЭМС. Стенды для определения метрологических статических и динамических характеристик датчиков при нормальных условиях и действии ВВФ. Стенды для полунатурных испытаний электронных регуляторов САУ с моделью ГТД. Измерительная система для стендовых испытаний электронных регуляторов САУ и датчиков. Автоматизация испытаний. Аттестация стендов. Эксплуатационная документация.

### **Тема 1.6 Проверка эффективности систем защиты ГТД**

Типы систем защиты ГТД. Системы защиты от помпажа (СПЗ). Системы защиты от раскрутки роторов.

### **Тема 1.7 Испытания топливрегулирующей аппаратуры (ТРА). Установки для испытаний**

Назначение современных систем топливопитания ГТД, выполняемые функции. Построение систем топливопитания, технические требования, агрегатный состав, взаимодействие с системами двигателя. Условия эксплуатации ТРА (давление, температура топлива и окружающей среды, внешние возмущающие факторы). Установки для испытаний (лабораторные, автономные, полунатурные). Схемы и характеристики оборудования. Виды испытаний ТРА (исследовательские, ресурсные, приёмосдаточные и др.). Типовая методика проведения испытаний и обработки их результатов.

### **Тема 1.8 Испытания САУ на двигателе. Проверка функциональных характеристик САУ и управляемости двигателя**

Введение (функции САУ, понятие управляемости, основные характеристики САУ, устойчивость и точность регулирования, основные и резервные программы управления). Требования ТЗ и авиационных правил к проверке САУ. Испытания в ТБК. Лётные испытания.

### **Тема 1.9 Исследовательский стенд с обратной связью для полунатурных испытаний САУ с математической моделью двигателя. Испытания на двигателе-демонстраторе**

Назначение и построение стенда полунатурных испытаний САУ. Состав и характеристики аппаратуры стенда. Требования к математической модели для полунатурного стенда. Необходимое программное обеспечение. Компенсация динамических погрешностей аппаратуры стенда. Измерительная система для стендовых испытаний регуляторов САУ. Автоматизация испытаний. Использование результатов испытаний. Стенд испытаний САУ на двигателе-демонстраторе. Аттестация стендов. Эксплуатационная документация.

### **Тема 1.10 Особенности квалификации систем автоматического управления при сертификации ГТД**

Введение (порядок сертификации двигателя, этапы сертификации). Требования АП-21 и АП-33 к САУ ГТД (установка категорий для агрегатов, квалификация агрегатов категории А). Требования КТ-160G (виды испытаний, классификация оборудования). Особенности европейских и американских авиационных правил. Формирование требований к агрегатам в зависимости от их типа, места установки и критичности выполняемых функций. Использование результатов автономных испытаний и испытаний на двигателе. Квалификация электронных регуляторов (требования КТ-160G и КТ-178С).

## **Раздел 2 Итоговая аттестация**