

**КОРПОРАТИВНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ  
ФАУ «ЦАГИ»**



**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Начальник управления персоналом

О.А. Власова

20 22 г.

**Дополнительная профессиональная программа  
повышения квалификации**

**«Динамика полета и система управления  
современных самолетов»**

г. Жуковский

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общая характеристика программы
  - Цель / задачи программы
  - Нормативно-правовая база
  - Объем, форма обучения и сроки освоения
2. Требования к результатам обучения / компетенции слушателей, формируемые в результате освоения программы
3. Содержание программы
  - Учебный план
  - Календарный учебный график
  - Тематический план
  - Рабочая программа
4. Организационно-педагогические условия реализации программы
5. Материально-техническое обеспечение
6. Учебно-методическое обеспечение
7. Оценка качества освоения программы

## 1. Общая характеристика программы

Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации **«Динамика полета и система управления современных самолетов»** (далее – Программа) предназначена для научных и инженерно-технических работников, специалистов и аспирантов, работающих в области авиа- и ракетостроения, а также студентов и слушателей авиационных высших учебных заведений.

Программа разработана на основе профессионального стандарта «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» зарегистрировано в Минюсте России 21.03.2016г. №31692.

Реализация программы направлена на повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации.

В Программе используются основные термины, определения и принятые сокращения:

**Программа** - дополнительная профессиональная программа повышения квалификации.

**Академический час** — отрезок времени для занятий, а также мера объёма материала, намечаемого к изучению в течение этого времени; 45 астрономических минут.

**Зачет** — форма проверки успешного усвоения учебного материала дисциплины (модуля) в ходе лекций, практических, семинарских занятий, самостоятельной работы, выполнения лабораторных работ, а также форма проверки прохождения практик.

**Промежуточная аттестация** - контроль знаний, умений и навыков (компетенций), формируемых дисциплиной (модулем), проводимый в установленной Программой форме.

**Итоговая аттестация** — завершающий этап освоения программы обучения и направлена на установление уровня подготовки.

**Учебный план** — документ, определяющий перечень, трудоемкость, последовательность и распределение по периодам обучения дисциплин (модулей), практик, иных видов учебной деятельности.

## Цель / задачи программы

**Целью программы является** повышение квалификации специалистов в области динамики полета и современных комплексных систем управления самолетов транспортной категории.

Для достижения цели Программы, в ходе её освоения решаются следующие **задачи:**

- систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний и практических навыков проведения исследований в области динамики полета, современных комплексных систем управления самолетов транспортной категории и в смежных областях;
- применение этих знаний и полученного опыта при решении актуальных научных задач;
- овладение профессионально-практическими умениями;
- стимулирование навыков самостоятельной аналитической работы;
- усвоение приемов, методов и способов обработки, представления и интерпретации результатов проведенных практических исследований.

## Нормативно правовая база

Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации разработана на основе следующих нормативно-правовых актов:

- Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам, (утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ от 01.07.2013 N 499);
- Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» зарегистрировано в Минюсте России 21.03.2016г. №31692;
- и других действующих нормативно-правовых актов.

Реализация Программы предусмотрена на базе ФАУ «ЦАГИ» в соответствии с Уставом и лицензией.

### Объем программы, форма обучения и сроки освоения

Объем (трудоемкость) программы: 32 академических часа.

Продолжительность обучения: 3 недели.

Форма обучения: очная.

Нормативный общий максимальный объем учебной нагрузки обучающихся - 54 академических часа в неделю, включая все виды аудиторной, практической и самостоятельной работы.

Нормативный объем максимальной учебной нагрузки слушателей при обучении по очной очно-заочной формам - 36 академических часов аудиторных занятий в неделю.

Итоги обучения: по окончании проводится итоговая аттестация в виде зачета.

По результатам итоговой аттестации при успешном освоении программы выдается удостоверение повышения квалификации установленного образца.

## Требования к результатам обучения / компетенции слушателей, формируемые в результате обучения

### Планируемые результаты обучения по программе «Динамика полета и система управления современных самолетов»

В результате освоения программы слушатели должны:

**знать:**

- основы динамики полета ЛА;
- базовые понятия и основные математические методы теории автоматического управления;
- основные виды систем управления (непрерывные, линейные, нелинейные, дискретные, цифровые, одноконтурные, многоконтурные,...);
- основные методы исследования устойчивости, управляемости динамических систем и качества процессов управления;
- уравнения движения ЛА, силы и моменты, действующие на самолет, органы управления самолета, их назначение и основные параметры;
- коэффициенты сил и моментов, параметры подобия в аэродинамике;
- характеристики статической устойчивости и управляемости самолета;
- характеристики динамической устойчивости самолета;
- функции современных комплексных систем управления (КСУ) самолетов транспортной категории;
- основные требования, предъявляемые к КСУ современных самолетов;
- архитектурное построение системы управления самолета, включая информационно-вычислительную и силовую части;
- законы управления, реализующие функции КСУ в продольном канале;
- законы управления, реализующие функции КСУ в боковом канале;
- применение интегральных законов управления для автобалансировки, обеспечения заданных характеристик управляемости и ограничения параметров движения;
- принципы совмещенного управления;
- критерии управляемости, применяемые к современным самолетам транспортной категории;
- критерии определения запасов устойчивости систем автоматического управления;
- основные виды приводов используемых в силовых системах управления самолетов транспортной категории и их характеристика;
- основные методы экспериментальных исследований динамики полета и систем управления

**уметь:**

- формулировать и решать основные задачи динамики полета ЛА;
- анализировать структурные схемы современных систем управления летательных аппаратов;
- пользоваться полученными ранее знаниями для анализа и синтеза систем управления динамическими системами;
- оценивать характеристики устойчивости и управляемости динамических систем с современными системами управления;
- уметь использовать методы как классической, так и современной теории управления;
- определять характеристики статической устойчивости самолета;
- рассчитывать собственную частоту и демпфирование продольного короткопериодического движения и изолированного движения рыскания неавтоматизированного самолета;
- рассчитывать постоянную времени статическую характеристику изолированного движения крена неавтоматизированного самолета;
- рассчитывать собственную частоту и демпфирование продольного короткопериодического движения самолета с демпфером тангажа и автоматом продольной устойчивости;
- рассчитывать собственную частоту и демпфирование изолированного движения рыскания самолета с демпфером рыскания и автоматом путевой устойчивости;
- рассчитывать постоянную времени статическую характеристику движения крена самолета с демпфером крена;
- определять коэффициент перекрестной связи для обеспечения оптимальной управляемости по крену;
- оценивать запасы устойчивости по амплитуде и фазе разомкнутой системы «самолет-КСУ»;

**владеть:**

- основными понятиями, используемыми в динамике полета и теории систем управления летательных аппаратов;
- навыками использования необходимого математического аппарата для решения соответствующих прикладных задач;
- знаниями, необходимыми для понимания и анализа процессов и явлений, происходящих в современных системах управления;
- методами оценки характеристик устойчивости и управляемости неавтоматизированного самолета;
- методами определения соответствия характеристик самолета, предъявляемым требованиям по устойчивости и управляемости;
- методами синтеза основных устройств автоматизации управления самолетом – демпфера тангажа, автомата продольной устойчивости, демпфера рыскания, демпфера крена и автомата путевой устойчивости;
- методами определения запасов устойчивости по амплитуде и фазе системы «самолет-КСУ»;
- методами численного моделирования продольного и бокового движений самолета с КСУ, в том числе в предельной области режимов полета.



**Связь программы  
«Динамика полета и система управления  
современных самолетов»  
с профессиональным стандартом**

Профессиональный стандарт	Обобщенные трудовые функции	Трудовые функции	Уровень квалификации
<p>«Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» зарегистрировано в Минюсте России 21.03.2016г. №31692</p> <p>Утверждено приказом Минтруда РФ 04.03.2014 №121н</p>	<p>Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы</p>	<p>Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований А/01.5</p> <p>Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок А/02.5</p>	<p>5</p>

**Формирование результатов освоения программы  
«Динамика полета и система управления  
современных самолетов»  
с учетом профессионального стандарта**

<p>Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»</p>	<p>ФГОС ВО по направлению подготовки 24.03.04 «Авиастроение» (уровень бакалавра) - Утвержден приказом Минобрнауки России 05.02.2018 № 81 - Зарегистрировано приказом Минюста от 28.02.2018 № 50186</p>	<p align="center">Компетенции</p>
<p align="center">Трудовые функции</p>	<p align="center">Профессиональные задачи</p>	
<p>Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований А/01.5</p> <p>Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок А/02.5</p>	<p>Участие в разработке облика объектов, согласовании разрабатываемых проектов с подразделениями предприятия;</p> <p>Математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов исследований;</p> <p>Проведение экспериментов по заданной тематике и анализ результатов экспериментов;</p> <p>Составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>	<p>Участие в разработке облика объектов, согласовании разрабатываемых проектов с подразделениями предприятия;</p> <p>Математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов исследований;</p> <p>Проведение экспериментов по заданной тематике и анализ результатов экспериментов;</p> <p>Составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>

**Учебный план программы  
«Динамика полета и система управления  
современных самолетов»**

№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, акад. час.			
		Всего	Лекции	Самостоятель- ная работа	Итоговая аттестация
1.	Документированные и рабочие процедуры СМК утвержденные в ЦАГИ. Охрана труда. Знакомство с программой. Тема 1. Назначение, функции и технический уровень системы управления ЛА.	2	1	1	
2.	Тема 2. Требования, функции и законы управления современного самолета транспортной категории.	4	3	1	
3.	Тема 3. Аэронавигационная среда, основы УВД-ОрВД, системы навигации, ВСС.	3	2	1	
4.	Тема 4. Экспериментальные исследования динамики полета на пилотажных стендах.	4	2	2	
5.	Тема 5. Методы экспериментального исследования нестационарной аэродинамики.	4	2	2	
6.	Тема 6. Критерии управляемости самолетов, рычаги управления, информационно-управляющее поле кабины.	3	2	1	
7.	Тема 7. Элементы систем управления (приводы, датчики, вычислители, линии связи, гидро, электро системы)	6	4	2	
8.	Тема 8. Система моделирования систем управления и динамики полета.	4	2	2	
9.	Итоговая аттестация:	2			2
	<b>ИТОГО по программе:</b>	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>2</b>

## Примерный календарный учебный график программы

Тема / модуль	Последовательность изучения материала			Итого
	1 неделя	2 неделя	3 неделя	
Документированные и рабочие процедуры СМК утвержденные в ЦАГИ. Охрана труда. Знакомство с программой. Тема 1.	Л – 1 СР – 1			2
Тема 2.	Л – 3 СР – 1			4
Тема 3.	Л – 2 СР – 1			3
Тема 4.		Л – 2 СР – 2		4
Тема 5.		Л – 2 СР – 2		4
Тема 6.		Л – 2 СР – 1		3
Тема 7.			Л – 4 СР – 2	6
Тема 8.			Л – 2 СР – 2	4
Итоговая аттестация			ИА – 2	2
<b>Всего (часов)</b>	9	11	12	<b>32</b>

Примечание: применяемые сокращения видов учебных занятий: «Л» - лекция; «СР» - самостоятельная работа; «ИА» - итоговая аттестация. Цифра после сокращенного названия вида учебного занятия указывает количество отведенных на занятие академических часов.

**Тематический план программы  
«Динамика полета и система управления  
современных самолетов»**

№ п/п	Тема / модуль	Кол-во часов
1	Документированные и рабочие процедуры СМК утвержденные в ЦАГИ. Охрана труда. Знакомство с программой. Тема 1. Назначение, функции и технический уровень системы управления ЛА. Жизненный цикл системы управления. Методы разработки и сертификации системы управления. Требования, функции и законы управления современного неманевренного самолета.	2
2	Тема 2. Требования, функции и законы управления современного маневренного самолета. Особенности моделирования боевого применения на пилотажном стенде.	4
3	Тема 3. Аэронавигационная среда, основы УВД-ОрВД, системы навигации, ВСС.	3
4	Тема 4. Экспериментальные исследования динамики полета на пилотажных стендах.	4
5	Тема 5. Методы экспериментального исследования нестационарной аэродинамик.	4
6	Тема 6. Критерии управляемости самолетов, рычаги управления, информационно-управляющее поле кабины.	3
7	Тема 7. Элементы систем управления (приводы, датчики, вычислители, линии связи, гидро - электро системы)	6
8	Тема 8. Системы моделирования систем управления и динамики полета (Matlab/Simulink/FlightSim)	4
9	Итоговая аттестация	2
	<b>Всего:</b>	32

**Рабочий план по программе  
«Динамика полета и система управления  
современных самолетов»**

№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, акаде- мических часов		
		Всего	Контактная работа обу- чающихся с руководите- лем обуче- ния	Самостоятель- ная работа
1	<p><b>Документированные и рабочие процедуры СМК утвер- жденные в ЦАГИ. Охрана труда. Знакомство с програм- мой.</b></p> <p><b>Тема 1.</b> Назначение, функции и технический уровень си- стемы управления ЛА. Жизненный цикл системы управления. Методы разработки и сертификации системы управления. Требования, функции и законы управления современного не- маневренного самолета.</p> <p>1.1 Архитектурные построения, функции систем управления современных неманевренных самолетов. Основные требова- ния, предъявляемые к системе управления. Алгоритмическое построение современных систем управления.</p> <p>1.2 Общие положения и определения сертификации. Ос- новные нормативные документы. Организации, обеспечива- ющие сертификацию АТ. Организация и виды работ.</p>	2	1	1
2	<p><b>Тема 2.</b> Требования, функции и законы управления современ- ного маневренного самолета. Особенности моделирования боевого применения на пилотажном стенде</p> <p>2.1 Построение, функции и алгоритмы системы управления маневренных самолетов.</p> <p>2.1.1 Требования к характеристикам устойчивости и управля- емости:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– к статическим характеристикам управляемости;</li> <li>– к балансировочным характеристикам;</li> <li>– к характеристикам переходных процессов во временной об- ласти;</li> <li>– к характеристикам разомкнутой системы «самолёт- система управления» в частной области;</li> <li>– требования, связанные с наличием продольной статической неустойчивости;</li> <li>– требования, связанные с устойчивостью и управляемостью на больших углах атаки.</li> </ul> <p>2.1.2 Алгоритмы систем управления маневренных самолетов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– статические и астатические законы продольного управле- ния;</li> <li>– ограничители угла атаки и нормальной перегрузки;</li> <li>– принципы построения законов бокового управления;</li> <li>– использование отклоняемого вектора тяги в продольном и боковом каналах управления.</li> </ul>	4	3	1

№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, академических часов		
		Всего	Контактная работа обучающихся с руководителем обучения	Самостоятельная работа
	<p>2.2 Особенности полунатурального моделирования ближнего воздушного боя с использованием различных режимов пилотирования.</p> <p>2.2.1 Многофункциональный комплекс полунатурального моделирования воздушного боя. Описание комплекса. Методика проведения эксперимента и обработки результатов моделирования.</p> <p>2.2.2 Применение режимов сверхманевренности в ближнем воздушном бою. Описание маневров и особенности пилотирования. Оценка эффективности применения маневров с использованием сверхманевренности в ближнем воздушном бою.</p> <p>2.2.3 Принципы построения системы информационно – интеллектуальной поддержки летчика в ближнем воздушном бою.</p>			
3	<p><b>Тема 3.</b> Аэронавигационная среда, основы УВД-ОрВД, системы навигации, ВСС.</p> <p>3.1 Определяющие документы.</p> <p>3.2 Структура воздушного пространства (ВП). Основные элементы ВП (зоны, сектора), эшелонирование, виды аэронавигационной информации.</p> <p>3.3 Организация воздушных потоков. Планирование и организация воздушного пространства. Навигация на основе характеристик (RNAV, RNP). Инструментальное обеспечение навигации (VOR/DME, GNSS и др.). Ситуационная осведомлённость. Метеорологическое обеспечение полетов.</p> <p>3.4. ВП в районе аэропорта. Категории аэропортов, схемы захода на посадку (стандартные маршруты, непрерывное снижение), SID/STAR основанные на использовании RNP и RNAV.</p> <p>3.5 Инструментальные средства снижения и посадки (ILS, MLS, GBAS/SBAS).</p> <p>3.6 Концепция CNS/ATM. Глобальное управление информационными потоками SWIM. Системы обеспечения принятия решений и оповещений. Интеграция наземных и бортовых систем. Виды линий передачи данных, основные протоколы данных. Автоматизация управления полетами, посадками/вылетами. Принципы автоматизации разрешения конфликтов.</p>	3	2	1

№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, академических часов		
		Всего	Контактная работа обучающихся с руководителем обучения	Самостоятельная работа
4	<p><b>Тема 4.</b> Экспериментальные исследования динамики полета на пилотажных стендах.</p> <p>4.1 Задачи и методы экспериментальных исследований динамики и систем управления ЛА. Сущность модельного эксперимента.</p> <p>4.2 Свойства человека как звена системы «человек-машина», законы восприятия человеком визуальной и акцелерационной информации.</p> <p>4.3 Основы построения системы визуализации, законы формирования и устройства отображения информации, коллимационные системы.</p> <p>4.4 Влияние перегрузок и угловых ускорений на пилотирование, методы их моделирования на пилотажных стендах с подвижной кабиной. Законы управления механизмом подвижности по различным степеням свободы, критерии оценки качества моделирования ускорений.</p> <p>4.5 Влияние на пилотирование больших перегрузок, использование центрифуги для их воспроизведения.</p> <p>4.6 Влияние характеристик загрузки рычагов управления на управляемость самолёта. Методы и системы воспроизведения усилий на рычагах управления, универсальные системы загрузки.</p> <p>4.7 Методы оценки характеристик управляемости и пилотажных свойств самолёта. Шкалы пилотажных оценок (шкала Купера-Харпера, шкала РЮ), используемые в них критерии, принципы построения, статические свойства пилотажных оценок.</p>	4	2	2
5	<p><b>Тема 5.</b> Методы экспериментального исследования нестационарной аэродинамик.</p> <p>5.1 Проблема разработки математических моделей аэродинамики для исследования задач динамики полета. Линейных и нелинейных подход.</p> <p>5.2 Экспериментальное определение комплексов вращательных и нестационарных аэродинамических производных в широком диапазоне углов атаки при малых дозвуковых скоростях методом вынужденных колебаний малой амплитуды.</p> <p>5.3 Проблема разделения комплексов вращательных и нестационарных производных. Использование динамической установки плоскопараллельных колебаний.</p> <p>5.4 Исследование влияния сжимаемости на динамическое производное демпфирование с использованием установки свободных колебаний модели на упругом шарнире.</p>	4	2	2



№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, академических часов		
		Всего	Контактная работа обучающихся с руководителем обучения	Самостоятельная работа
	<p>5.5 Экспериментальные исследования влияния запаздывания отрыва потока на гистерезис аэродинамических характеристик методом вынужденных характеристик с большой амплитудой.</p> <p>5.6 Использование управляемых динамически подобных моделей на шарнирах с одной или несколькими степенями свободы для идентификации нестационарных аэродинамических характеристик и проверки алгоритмов системы управления при экспериментах в АДТ.</p>			
6	<p><b>Тема 6.</b> Критерии управляемости самолетов, рычаги управления, информационно-управляющее поле кабины</p> <p>6.1 Критерии оценки пилотажных характеристик:</p> <p>6.1.1 Частотные критерии;</p> <p>6.1.2 Критерии во временной области;</p> <p>6.1.3 Критерии, основанные на анализе характеристик системы «самолет-летчик» с использованием модели летчика.</p> <p>6.2 Рычаги управления</p> <p>6.2.1 Типы рычагов управления, их конструктивные схемы. Характеристики рычагов управления: кинематические (хода), нагрузочные (усилия), динамические свойства (быстродействие, заброс), точность дозирования управляющих действий, эргономические характеристики.</p> <p>6.2.2 Влияние характеристики загрузки рычагов на управляемость самолета. Теоретический подход к выбору оптимальных величин статических характеристик управляемости и характеристик загрузки, критерии оптимальности. А-критерий для выбора характеристик чувствительности управления и Z-критерий для выбора оптимальных характеристик загрузки рычагов.</p> <p>6.2.3 Активные рычаги управления, задачи, решаемые с помощью активных систем загрузки (САЗ Ил-96, активные боковые ручки как способ повышения тактильной осведомленности).</p> <p>6.3 Принципы организации информационно-управляющего поля кабины. Назначение, структура и основные элементы пилотажного, навигационного и многофункционального индикатора. Индикатор состояния систем самолета (синоптический). Индикатор на лобовом стекле. Перспективные индикаторы.</p>	3	2	1

№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, академических часов		
		Всего	Контактная работа обучающихся с руководителем обучения	Самостоятельная работа
7	<p><b>Тема 7. Элементы систем управления (приводы, датчики, вычислители, линии связи, гидро - электро системы)</b></p> <p>7.1 Эволюция системы управления ЛА. Структура контура управления. Первичные источники информации.</p> <p>7.2 Структура исполнительной части системы управления. Принцип действия и основные элементы электрогидравлического привода (ЭГРП). Классификация рулевых приводов (РП). Уравнение Бернулли. Механическая и регулировочная характеристика РП. Динамические свойства РП. Рулевые приводы с электрическим энергопитанием (автономные). Методы испытаний системы управления и рулевых приводов.</p>	6	4	2
8	<p><b>Тема 8. Системы моделирования систем управления и динамики полета (Matlab/Simulink/FlightSim)</b></p> <p>8.1 Обзор систем для моделирования движения ЛА.</p> <p>8.2 Моделирование в системе MATLAB/ Simulink</p> <p>8.2.1 Обзор вычислительных возможностей системы MATLAB/ Simulink.</p> <p>8.2.2 Обзор пакетов расширения системы MATLAB/ Simulink, применяемых для задач моделирования, примеры.</p> <p>8.2.3 Особенности создания моделей ЛА в Simulink, правила и рекомендации.</p> <p>8.2.4 Создание собственных элементов (блоков) для среды Simulink, примеры.</p> <p>8.2.5 Обзор способов создания независимых приложений из моделей Simulink.</p> <p>8.3 Средства для расширения возможностей MATLAB/ Simulink.</p> <p>8.3.1 Специализированное ПО, программные комплексы, обзор новых версий.</p> <p>8.3.2. Создание моделей ЛА, шаблоны, управления движения.</p> <p>8.3.3 Визуализация для отладки моделей и проведения расчетов, воспроизведение параметров полета.</p> <p>8.3.4 Базы данных аэродинамических характеристик.</p> <p>8.3.5 задача поиска балансировки для различных видов движения, балансировка по областям режимов полета.</p> <p>8.3.6 Расчет динамических характеристик (частотные характеристики, корневые годографы).</p> <p>8.3.7 Запись, анализ, документирование результатов моделирования, анализ переходных процессов.</p> <p>8.3.8 Моделирование на пилотажных стендах и тренажерах, основные технические задачи, примеры.</p>	4	2	2
9	Итоговая аттестация	2	2	
	<b>Общий объем, часов</b>	32	20	12

#### **4. Организационно-педагогические условия реализации программы**

Образовательный процесс осуществляется на основе учебного плана.

Кадровое обеспечение образовательной программы строится на основе оптимального сочетания практического и научно-педагогического опыта руководителей обучения.

Реализация дополнительной образовательной программы обеспечена научно-педагогическими кадрами, имеющими базовое образование, соответствующее профилю преподаваемого учебного материала, занимающимися педагогической, научной, научно-методической и / или практической деятельностью по профилю преподаваемой дисциплины.

Для чтения лекций привлекаются ведущие ученые, а также квалифицированные специалисты ФАУ «ЦАГИ».

Обучение по программе организуется путем проведения лекционных занятий, самостоятельной работы слушателей и итоговой аттестации. Реализация программы предполагает применение технических средств обучения (компьютерных).

При проведении лекционных занятий преподаватель регламентирует темп изложения учебного материала, который позволяет слушателям при необходимости производить записи. При необходимости слушатели могут получить у преподавателя учебный материал в электронном виде.

Программой предусматривается самостоятельная работа, которая имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, поиск и приобретение новых знаний.

## 5. Материально-техническое обеспечение

ФАУ «ЦАГИ» обладает необходимой современной материально-технической базой для организации учебного процесса. Все помещения, задействованные для организации и проведения обучения, соответствуют требованиям санитарно-эпидемиологических стандартов и обязательным противопожарным нормам. В учебных аудиториях и офисных помещениях есть централизованное отопление, системы водоснабжения и канализации.

Учебная аудитория.

Компьютер с доступом в Интернет для работы с онлайн ресурсом.

Доступ к онлайн ресурсу, размещение образовательного контента для образовательных программ.

При наличии решения руководителя обучения, технические условия расширяются до:

1. Ноутбук, мультимедиа-проектор, экран, веб камера;
2. Магнитномаркерная доска, маркеры, мультимедийные технологии.

## 6. Учебно-методическое обеспечение

### Основная литература:

1. ГОСТ 20058-80. ДИНАМИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АТМОСФЕРЕ. Термины, определения и обозначения. — М., 1981. — 54 с.
2. Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. — М.: Авиаиздат, 2004. — 236 с.
3. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика продольного и бокового движения самолета, Москва: Машиностроение, 1978.
4. Динамика полета / Под редакцией Г.С. Бюшгенса. — М.: Машиностроение, 2011. — 776 с.; Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: Машиностроение — Полет, 2017. — 776 с.
5. Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полета самолета. Книга 5. Устойчивость и управляемость самолетов различного назначения. Издание ЦАГИ, 1981. — 48 с.
6. Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полета самолета. Книга 6. Методы расчета характеристик устойчивости и управляемости самолетов. Издание ЦАГИ, 1981. — 60 с.

7. Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полета самолета. Книга 7. Методы расчета характеристик системы управления. Издание ЦАГИ, 1981. — 32 с.
8. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Диденко Ю.И., Шелюхин Ю.Ф. Системы дистанционного управления магистральных самолетов. — М.: Наука, 2013. — 292 с.
9. Константинов С.В., Редько П.Г., Ермаков С.А. Электрогидравлические рулевые приводы систем управления полетом маневренных самолетов. — М.: Янус-К, 2006. — 315 с.
10. Ефремов А.В., Оглобин А.В., Предтеченский А.Н., Родченко В.В. Летчик как динамическая система. — М.: Машиностроение, 1992. — 336 с.
11. Алиева Д.А., Храбров А.Н. Нестационарная аэродинамика самолетов. — М.: Изд-во МФТИ, 2020, 182с.
12. Klein Vladislav, Morelli Eugene A. Aircraft System Identification. Theory and Practice// AIAA Educational Series 2006, 484p. ISBN 1-56347-832-3.

#### **Дополнительная литература:**

1. Ian Moir, Allan Seabridge. Civil avionics systems. б.м.: AIAA Education series, 2003. — 395 с.
2. Ian Moir, Allan Seabridge. Aircraft systems: mechanical, electrical and avionics subsystems integration / Third edition. б.м.: AIAA Education series, 2008. — 504 с.
3. McRuer D.T. Pilot Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior, NASA-CR-4683. 1995. — 102 с.
4. T.R. Neal T.R., Smith R.E. Development of flying qualities criterion for the design of fighter control system // AIAA 70-927. — 12 с.
5. Military specification «Flying qualities of piloted airplanes». MIL-F-8785C, 1980.
6. Certification Consideration for Highly Integrated or Complex Aircraft Systems. SAE ARP4754, 1996.
7. Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment. SAE ARP4761, 1996.

## 7. Оценка качества освоения программы

Контроль результатов освоения учебного материала программы осуществляется в форме итоговой аттестации и служит формой проверки усвоения слушателями учебного материала программы.

Итоговая аттестация проводится в форме зачета, что позволяет проверить качество изученного материала программы.

Осуществляется руководителями обучения, которые непосредственно проводили учебные занятия со слушателями.

### **Показатели и критерии оценки результатов освоения программы:**

«зачтено» - если слушатель правильно ответил не менее чем на 80% от общего числа контрольных вопросов, «не зачтено» - если не выполнены условия оценки «зачтено».

### **Контрольные вопросы к итоговой аттестации по результатам обучения по дополнительной профессиональной программе повышения квалификации «Динамика полета и система управления современных самолетов»**

1. Как ориентированы системы координат:
  - нормальная земная, нормальная;
  - связанная;
  - полусвязанная;
  - скоростная?
2. Назовите углы Эйлера. Какие системы координат они связывают?
3. Что такое угол атаки и угол скольжения? В каких случаях их невозможно определить?
4. Напишите в общем векторном виде уравнения сил и моментов в связанной системе координат.
5. Что такое тензор инерции самолета? Назовите его свойства.
6. Какие уравнения составляют полную систему уравнений движения самолета? Сколько уравнений в этой системе?
7. Какие основные силы и моменты действуют на самолет?
8. Напишите формулы представления аэродинамических сил через безразмерные аэродинамические коэффициенты.
9. Что такое аэродинамическая полярка? Что такое квадратичная полярка?
10. Что такое средняя аэродинамическая хорда?

11. Что такое аэродинамический фокус и центр давления?
12. Что такое запас продольной статической устойчивости?
13. Как запас продольной статической устойчивости связан с положением фокуса и центра тяжести?
14. Как на положение фокуса влияет горизонтальное оперение?
15. В чем заключается декомпозиция и линеаризация аэродинамических характеристик?
16. Что такое аэродинамический гистерезис?
17. Какие органы управления самолетом вы знаете?
18. Где расположен руль высоты? Каковы его функции? Почему руль высоты не применяется на сверхзвуковых самолетах?
19. Функции стабилизатора? Что такое дифференциально отклоняемый стабилизатор?
20. Что такое руль направления? Для чего он используется на самолете? На каких самолетах для управления используются цельноповоротные кили?
21. Зачем нужны элероны? Что такое зависающие элероны? На каких самолетах применяются расщепляющиеся элероны и для чего?
22. Какие органы механизации вы знаете? Зачем нужны закрылки и предкрылки? Как меняется характеристика  $c_{ya}(\alpha)$  при выпуске закрылков и предкрылков?
23. Для каких целей используется ПГО? Назовите основные достоинства и недостатки ПГО.
24. Какие органы комбинированного управления вы знаете?
25. Что такое международная стандартная атмосфера? Как меняются плотность, давление, температура и скорость звука по высоте?
26. Какие установившиеся режимы полета самолета вы знаете? Что такое балансировка самолета? Как и чем балансируется самолет по силам и по моментам?
27. Какое основное свойство самолета определяет возможность разделения движения на продольное и боковое?
28. Сколько уравнений входит в систему уравнений продольного движения? Какие параметры составляют вектор состояния и вектор управляющих воздействий?
29. Сколько уравнений входит в систему уравнений бокового движения? Какие параметры составляют вектор состояния и вектор управляющих воздействий?
30. Что такое передаточная функция разомкнутой системы? Каким образом она определяет устойчивость замкнутой системы? Сформулируйте критерий Найквиста. Что такое запасы устойчивости по амплитуде и фазе?
31. Что такое метод корневого годографа? К каким системам он применяется?

32. Нарисуйте типичную зависимость угла атаки и балансирующего отклонения стабилизатора по скорости для горизонтального полета.
33. Как изменится скорость установившегося полета при изменении тяги двигателя для самолетов с низко и высоко расположенным двигателем? На что используется избыток и чем компенсируется недостаток тяги для установившегося полета? При выполнении какого условия изменение тяги двигателя не влияет на установившуюся скорость полета самолета?
34. Каким образом на балансировку влияет запас продольной статической устойчивости?
35. Что такое аэродинамический фокус. Какие основные факторы влияют на положение аэродинамического фокуса самолета?
36. В чем физическая сущность понятия запаса устойчивости по перегрузке?
37. Что такое фугоидное движение самолета и каков его физический смысл?
38. Что такое моментная устойчивость по скорости? Почему на околозвуковых скоростях полета наблюдается неустойчивость по скорости?
39. Что такое силовая неустойчивость по скорости? Нарисуйте зависимость силы сопротивления от скорости и объясните ее поведение. Что такое «вторые» режимы?
40. Исходя из каких условий выбираются параметры горизонтального оперения?
41. Каким образом система уравнений бокового движения приводится к каноническому виду? Как связаны между собой  $\tilde{M}_x, \bar{M}_x, \tilde{M}_y, \bar{M}_y$ . В каком случае  $\tilde{M}_x = \bar{M}_x, \tilde{M}_y = \bar{M}_y$ ?
42. Каково типичное расположение корней бокового движения? Каким формам движения они соответствуют?
43. Проведите аналогию между изолированным движением рыскания и продольным короткопериодическим движением.
44. Какова структура передаточной функции от элеронов до угла крена? Чем определяется постоянная времени крена? Что из себя представляет переходной процесс по угловой скорости крена при ступенчатом отклонении элеронов?
45. Как меняется установившееся значение угловой скорости крена от высоты и скорости полета? В чем опасность медленного выхода на большую угловую скорость крена при управлении элеронами на большой высоте?
46. Какие формы взаимодействия движений крена и рыскания вы знаете?
47. Что такое поперечная устойчивость? Какие факторы оказывают влияние на производную поперечной устойчивости  $m_x^{\beta}$ ? Как влияет поперечная устойчивость на выполнение посадки самолета в условиях бокового ветра?



48. Какова структура передаточной функции от отклонения элеронов до угла крена в случае изолированного движения крена и в общем случае?
49. Что такое  $\lambda^2$ ? Каковы переходные процессы по углу крена при разных значениях  $\lambda^2$ ? Каково оптимальное значение  $\lambda^2$ ? Объясните роль угла скольжения как фактора, определяющего значение  $\lambda^2$ . Что такое обратная реакция по крену? «Зависание» по крену?
50. Какие формы взаимодействия продольного и бокового движений вы знаете?
51. Какие задачи стабилизации и управления решаются на разных участках траектории? Как ставится и решается типовая задача управления и стабилизации? Какие основные составляющие имеет любая система управления? При каких условиях статическая ошибка системы управления равна нулю?
52. Какие основные задачи решает автопилот в продольном и боковом каналах?
53. Какие виды рычагов управления вы знаете? Каковы их функции? Назовите основные достоинства и недостатки штурвала, центральной ручки и боковой ручки управления.
54. Что такое T-образная организация информационно-управляющего поля кабины? Какие виды дисплеев вы знаете? Для чего предназначены пилотажный, навигационный и синоптические дисплеи? Какая информация отображается на этих дисплеях?
55. Какие основные элементы включает комплекс управления самолетом? Что такое вычислительная система самолетовождения, система автоматического управления и система ручного (штурвального) управления? Каковы их функции?
56. Какие вы знаете информационные системы самолета?
57. Какие основные составные части включает любая система управления? Какие вы знаете информационные системы самолета?
58. Каков принцип действия свободного гироскопа, скоростного гироскопа? Что они измеряют? Каков принцип действия лазерного гироскопа? Что он измеряет?
59. Каков принцип действия датчика ускорений? Что такое перегрузка? Каков вклад силы тяжести в сигнал перегрузки? Что измеряет акселерометр, расположенный не в центре тяжести самолета?
60. Какова архитектура вычислительной системы управления первого поколения, самолетов семейства Airbus 320-380, самолетов семейства Boeing B-777, B-787?
61. Что такое принцип разнородного резервирования? Как он реализуется в системах управления, построенных на вычислителях архитектур «пара» и «триада»?

62. Какова основная функция привода? Какие виды питания приводов и управления приводами вы знаете?
63. Перечислите основные элементы гидромеханического привода. Что такое золотник, силовой цилиндр? Каков принцип действия гидромеханического привода? Что из себя представляют линейная и нелинейная модели гидромеханического привода?
64. Опишите схему и принцип действия электрогидравлического усилителя, электрогидравлической рулевой машинки и электрогидравлического рулевого привода.
65. Что такое задача компенсаторного слежения? Каких переходных процессов добивается летчик при решении задачи компенсаторного слежения?
66. Какая передаточная функция реализуется при выполнении задачи компенсаторного слежения? Какая модель летчика используется для анализа этих задач? Какое динамическое звено наиболее приемлемо для управления?
67. Что такое статические и динамические характеристики управляемости?
68. Какой параметр наиболее важен при управлении самолетом в продольном канале и почему? Какие статические характеристики управляемости в продольном канале вы знаете?
69. Как меняется характеристика  $P^n$  при изменении высоты и скорости полета, а также при изменении запаса устойчивости по перегрузке  $\sigma_n$ ? Нарисуйте области оценок самолета летчиками в плоскости  $(P^n, X^n)$ .
70. Какой параметр наиболее важен при управлении самолетом в поперечном канале и почему? Какие статические характеристики управляемости в поперечном канале вы знаете?
71. Что такое шкала Купера—Харпера?
72. Какие параметры используются для описания переходного процесса? Чем отличается время срабатывания от времени затухания? Что такое заброс переходного процесса?
73. Какие параметры используются для описания динамики системы в частотной области? Нарисуйте область приемлемых характеристик устойчивости и управляемости самолета в плоскости  $(\omega_0, \xi)$ . Чем плох самолет в различных точках вне этой области?
74. Как формулируется  $S^*$ -критерий? Какую роль в нем играют переходные процессы по нормальной перегрузке и угловой скорости тангажа? В каких условиях приоритет отдается этим сигналам?
75. Что такое САР-критерий? Каков физический смысл САР-параметра?
76. Чем вызвана необходимость применения демпфера тангажа? Каков закон управления демпфера тангажа? Какие органы управления отклоняются при работе демпфера тангажа и какие сигналы он использует?

77. Нарисуйте расположение нулей и полюсов разомкнутой системы и корневой годограф по  $K_{\omega}$  замкнутой системы в случае идеального привода? Какие типы корневых годографов возможны? Какова роль привода в реализации того или иного типа корневого годографа? Что такое сепаратрисный годограф?
78. Каков основной недостаток использования демпфера тангажа в случае неустойчивого самолета? Чем вызвана необходимость применения автомата продольной устойчивости?
79. Каков закон управления автомата продольной устойчивости? Какие органы управления отклоняются при работе автомата продольной устойчивости и датчики каких сигналов он использует? Как автомат продольной устойчивости влияет на собственную частоту и демпфирование продольного коротко-периодического движения самолета?
80. Нарисуйте корневой годограф самолета с автоматом продольной устойчивости для устойчивого и неустойчивого самолетов. Каковы недостатки простейшей реализации автомата продольной устойчивости? С какой целью в контуре обратной связи по нормальной перегрузке используется апериодический фильтр?
81. Что из себя представляет интегральный автомат продольной устойчивости? Какова статическая характеристика самолета с интегральным автоматом продольной устойчивости?
82. Как реализуется ограничение нормальной перегрузки и угла атаки самолета? В каком случае актуально ограничение перегрузки, а в каком угла атаки?
83. Как реализуется ограничение приборной скорости и числа Маха самолета?
84. Как меняется переходный процесс по крену на отклонение элеронов при увеличении высоты и скорости полета? Как ведет себя корневой годограф самолета с демпфером крена в случае изолированного движения крена? Как меняется корневой годограф замкнутой системы «самолет—летчик» в случае изолированного движения крена при увеличении высоты?
85. Что такое параметр  $\lambda^2$ ? Как направлен вектор мгновенных угловых ускорений при  $\lambda^2 = 1$ ,  $\lambda^2 > 1$ ,  $\lambda^2 < 1$ ? Каков физический смысл перекрестной связи от элеронов на руль направления?
86. По какой причине необходим демпфер рыскания? Напишите законы управления демпфера рыскания и автомата путевой устойчивости.