

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель начальника управления персоналом –
начальник отдела кадров ФГУП «ЦАГИ»



В.Н. Баранов
20/9 г.

**Дополнительная профессиональная программа
повышения квалификации:
«Динамика полета летательных аппаратов»**

**ФГУП «ЦАГИ»
2018**

Пояснительная записка

Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Динамика полета летательных аппаратов» (далее – Программа) предназначена для научных и инженерно-технических работников, специалистов и аспирантов, работающих в области динамики полета и систем управления ЛА, аэродинамики и летно-технических характеристик самолетов, прочности ЛА.

Программа повышения квалификации направлена на совершенствование и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации в области динамики полета и систем управления.

Программа разработана в соответствии с профессиональным стандартом «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» зарегистрировано в Минюсте России 21.03.2014г. №31692

Задачи дополнительной профессиональной программы:

- систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний и практических навыков проведения исследований в области динамики полета и систем управления ЛА 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.

По итогам обучения слушатель должен:

Знать:

- основные задачи динамики полета, представление самолета в виде динамической системы;
- системы координат и уравнения движения ЛА;
- силы и моменты, действующие на самолет;
- коэффициенты сил и моментов, параметры подобия в аэродинамике;
- характеристики атмосферы и атмосферных явлений;
- основные органы управления и механизации самолета, их назначение, достоинства и недостатки;
- математические методы исследований (прямое моделирование, алгебраические методы, матричные методы, операционный подход, критерий Найквиста, передаточные функции и частотные характеристики);
- аэродинамические характеристики, определяющие устойчивость и демпфирование движения самолета в продольном и боковом каналах, роль аэродинамического фокуса и факторы, определяющие его положение;

- продольное короткопериодическое и длиннопериодическое движения. Факторы, определяющие собственную частоту и демпфирование.
- боковое движение самолета. Изолированные движения крена и рыскания. Спиральное движение. Движение типа «голландский шаг». Влияние движения рыскания на движение крена;
- характеристики управляемости самолета, параметры переходных процессов самолета;
- летчик как элемент системы управления. Задача компенсаторного слежения. Критерии управляемости самолета;
- взаимодействие продольного и бокового движений. Критические режимы полета (сваливание штопор, инерционное вращение);
- построение, функции, алгоритмы систем управления самолета. Системы автоматического и штурвального управления. Демпферы тангажа, крена и рыскания, автомат продольной устойчивости, интегральная система управления;
- элементы систем управления (датчики угловых скоростей и перегрузок, информационные системы, вычислители, приводы рулевых поверхностей);
- элементы человеко-машинного интерфейса. Основные виды дисплеев (пилотажный, навигационный, синоптический и др.), рычаги управления (штурвал, боковая и центральная ручки), их назначение и общая характеристика;
- цифровые системы управления.

Уметь:

- формулировать и решать основные задачи динамики полета ЛА;
- находить балансирующее положение самолета при различных режимах полета, определять балансирующие значения параметров движения и отклонения органов управления, вычислять располагаемые перегрузки, проводить линеаризацию уравнений движения;
- рассчитывать основные характеристики устойчивости и управляемости и параметры переходных процессов самолета;
- оценивать влияние аэродинамических и массово-инерционных характеристик самолета на возможность его балансировки, на устойчивость и управляемость;
- оценивать устойчивость замкнутой системы по положению корней характеристического уравнения и с помощью критерия Найквиста, а также оценивать запасы устойчивости по амплитуде и фазе по частотным характеристикам разомкнутой системы;
- оценивать динамические характеристики неавтоматизированного самолета, определять степень необходимой автоматизации;
- проводить синтез системы управления, выбирать параметры прямой цепи, демпферов тангажа, крена и рыскания, автомата продольной устойчивости;
- оценивать основные параметры критических режимов полета;

- определять соответствие динамики самолета основным критериям управляемости;
- определять влияние на устойчивость и управляемость самолета элементов систем управления – приводов, датчиков, вычислителей, линий связи;

Владеть:

- методами теории обыкновенных дифференциальных уравнений и динамических систем;
- основными понятиями и методами решения задач аэродинамики и динамики полета;
- основными положениями Авиационных правил и норм летной годности;
- методами теории операционного исчисления и автоматического управления;
- методами синтеза систем управления с учетом ограничений на характеристики элементов системы управления;
- методами оценки устойчивости замкнутой системы с помощью критерия Найквиста и по частотным характеристикам разомкнутой системы;
- методами определения балансирующего положения самолета, линеаризации уравнений движения, оценки устойчивости по собственным значениям матрицы линеаризованной системы;
- методами определения передаточных функций самолета и системы управления, расчета годографа, передаточной функции и частотных характеристик разомкнутой системы, оценки запасов устойчивости по амплитуде и фазе.

Форма обучения: очная.

Режим занятий: 2 раза в неделю по 2 академических часа (1 ак. час - 45 мин.)

Итоги обучения: по окончании проводится итоговая аттестация в виде зачета. По результатам итоговой аттестации при успешном освоении программы выдается удостоверение повышения квалификации установленного образца.

**Связь программы
«Динамика полета летательных аппаратов»
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>	5

**Формирование результатов освоения программы
«Динамика полета летательных аппаратов»
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 Минобразования РФ от 21.03.2016 №249 Зарегистрировано приказом Минюста от 25.04.2016 №41910</p>	<p>Профессиональные компетенции</p>
--	---	-------------------------------------

Трудовые функции	Профессиональные задачи	Компетенции
<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>Способность к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-5);</p> <p>Способность владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов исследований (ОПК-10);</p> <p>Способностью к решению инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин (ПК-1);</p> <p>Способностью участвовать во внедрении результатов исследований и разработок (ПК-11);</p> <p>Способность развивать творческую инициативу, рационализаторскую и изобретательскую деятельность, внедрять эффективные инженерные решения в практику, в том числе составлять математические модели объектов профессиональной деятельности (ПСК);</p> <p>Владеть методами аэродинамического расчета и эксперимента (ПСК).</p>

**Объем программы
«Динамика полета летательных аппаратов»**

Вид занятий	Всего часов
Общая продолжительность	20
Лекции	18
Итоговая аттестация (зачет)	2

**Примерный календарный учебный график программы
«Динамика полета летательных аппаратов»**

Вид занятий	Количество часов по неделям					
	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	5 неделя	Итого
Лекции	2	4	4	4	4	18
Практика	-	-	-	-	-	-
Зачет						2
Итого:						20

**Тематический план программы
«Динамика полета летательных аппаратов»**

№	Название темы	Час
1	Документированные и рабочие процедуры СМК. Техника безопасности.	2
2	Математическая модель движения самолета	2
3	Анализ уравнений движения самолет	2
4	Продольное движение самолета	2
5	Боковое движение самолета	2
6	Пространственное движение самолета	2
7	Принципы автоматизации управления самолетом	2
8	Понятие об управляемости самолета	2
9	Улучшение устойчивости и управляемости самолета с помощью системы управления	2
10	Зачет	2
	Итого:	20

**Рабочий план программы
«Динамика полета летательных аппаратов»**

№ п/п	Тема	Часы
1.	Документированные и рабочие процедуры СМК. Техника безопасности.	2
	ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ РВ 0015-002-2012, ГОСТ Р ЕН 9100-2011; ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере.. Термины, определения и обозначения. Москва : 1981. Техника безопасности.	
2.	Математическая модель движения самолета	2
	1.1. Системы координат, используемые в динамике полета	
	1.2. Уравнения движения самолета	
	1.3. Силы и моменты, действующие на самолет	
	1.4. Представление параметров движения, сил, моментов и уравнений движения в международной системе ISO	
	1.5. Органы управления и механизации самолета	
	1.6. Понятие о моделях атмосферы и атмосферных явлениях	
3.	Анализ уравнений движения самолета	2

	2.1. Разделение возмущенного движения на продольное и боковое	
	2.2. Балансировка самолета и линеаризация уравнений движения	
	2.3. Методы исследования линейных динамических систем	
4.	Продольное движение самолета	2
	3.1. Продольная балансировка в горизонтальном полете	
	3.2. Градиент управляемости	
	3.3. Разделение продольного движения на короткопериодическое и длиннопериодическое	
	3.4. Продольное короткопериодическое движение	
	3.5. Продольное длиннопериодическое движение	
	3.6. Выбор горизонтального оперения	
5.	Боковое движение самолета	2
	4.1. Линеаризация уравнений бокового движения	
	4.2. Разделение бокового движения на движения крена и рыскания	
	4.3. Изолированное движение рыскания	
	4.4. Изолированное движение крена	
	4.5. Поперечная устойчивость бокового движения	
	4.6. Спиральное движение	
	4.7. Влияние движения крена на движение рыскания. «Голландский шаг»	
	4.8. Влияние движения рыскания на движение крена.	
6.	Пространственное движение самолета	2
	5.1. Формы взаимодействия бокового и продольного движения	
	5.2. Установившиеся режимы пространственного движения	
	5.3. Понятие об инерционном вращении	
	5.4. Понятие о сваливании	
	5.5. Элементарная теория штопора	
7.	Принципы автоматизации управления самолетом	2
	6.1. Иерархическое построение комплекса управления самолетом	
	6.2. Элементы человеко-машинного интерфейса	
	6.3. Структурное построение комплекса управления самолетом	

8.	Понятие об управляемости самолета	2
	7.1. Летчик как элемент системы управления	
	7.2. Основные характеристики управляемости	
	7.3. Критерии управляемости самолетов	
9.	Улучшение устойчивости и управляемости самолета с помощью системы управления	2
	8.1. Демпфер тангажа	
	8.2. Автомат продольной устойчивости	
	8.3. Выбор коэффициента прямой цепи. Принцип «□0 – □бал»	
	8.4. Интегральная система управления. Ограничители параметров движения	
	8.5. Автоматизация управления самолетом в поперечном канале. Демпфер крена	
	8.6. Автоматизация управления самолетом в путевом канале. Демпфер рыскания	
10	Зачет	2
11.	ИТОГО	20

Организационно-педагогические условия реализации программы

Обучение по программе организуется путем проведения лекционных занятий. Реализация программы предполагает применение технических средств обучения (компьютерных).

Лекции проводятся в оборудованной учебной аудитории, обеспечивающей демонстрацию видеофильмов, слайдов, плакатов, использование технических средств обучения: ноутбук, проектор, экран.

При проведении лекционных занятий преподаватель регламентирует темп изложения учебного материала, который позволяет слушателям при необходимости производить записи. Перед завершением или в ходе обучения преподаватель отвечает на возникшие у слушателей вопросы, выборочно проверяет степень усвоения материала, а также указывает необходимый перечень учебной литературы для самостоятельного изучения. При необходимости слушатели могут получить у преподавателя материал в электронном виде.

Программа может предусматривать самостоятельную работу слушателей. Самостоятельная работа слушателей предусматривает, как правило, выполнение учебных заданий, а также обмен опытом и подготовку к зачету в соответствии с учебной программой. Для подготовки к зачету слушателям предоставляется учебное время для самостоятельной работы.

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

Контроль и оценка результатов освоения программы

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

Зачет принимается преподавателем, который непосредственно проводит учебные занятия со слушателями. Перед проведением зачета, при необходимости, проводится консультация.

Содержание зачета включает не менее одного теоретического вопроса из каждой темы учебно-тематического плана, что позволяет проверить качество изученного материала Программы, а также оценить полученные слушателем знания и освоенные профессиональные компетенции.

Показатели и критерии оценки результатов освоения Программы:
«зачтено» - если слушатель правильно ответил не менее чем на 50% от общего числа контрольных вопросов, «не зачтено» - если не выполнены условия оценки «зачтено».

**Контрольные вопросы для зачета по программе
«Динамика полета летательных аппаратов»:**

1. Системы координат используемые для описания движения ЛА. Основные углы, используемые для описания положения, ориентации и вектора скорости самолета.
2. Силы и моменты, действующие на самолет. Безразмерные коэффициенты сил и моментов.
3. Уравнения количества движения ЛА в связанной системе координат.
4. Уравнения момента количества движения ЛА в связанной системе координат. Тензор инерции самолета.
5. Разделение системы уравнений движения самолета на уравнения продольного и бокового движений.
6. Методы исследования задач динамики полета (алгебраические, матричные, операционные).
7. Средняя аэродинамическая хорда.
8. Продольная статическая устойчивость. Производные m_z^α и $m_z^{\dot{\alpha}}$. Понятие об аэродинамическом фокусе.
9. Влияние на положение фокуса ГО, числа Маха, стреловидности и фюзеляжа.
10. Запас устойчивости по перегрузке.
11. Производные $m_z^{\omega_z}$ и $m_z^{\dot{\alpha}}$.
12. Продольное короткопериодическое движение самолета. Передаточные функции и переходные процессы в короткопериодическом движении.
13. Моментная устойчивость по скорости. Запас устойчивости по скорости.
14. Силовая устойчивость по скорости.
15. Эффективность руля высоты и стабилизатора.
16. Продольная балансировка и управляемость. Балансировочные скорость и угол атаки самолета. Зависимость балансировки от тяги и отклонения органов управления.
17. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.
18. Выбор центровки и площади горизонтального управления.
19. Понятие об управляемости самолета. Характеристики продольной управляемости X^n и R^n . Области хороших оценок летчика.
20. Модель летчика как элемента системы управления. Задачи компенсаторного слежения.
21. Уравнения бокового возмущенного движения. Корни бокового движения. Колебательное и спиральное движение.
22. Изолированное движение рыскания. Переходные процессы при ступенчатом отклонении руля направления. Движение типа «голландский шаг».
23. Изолированное движение крена. Переходные процессы при ступенчатом отклонении элеронов. Влияние движения рыскания на движение крена. Критерий \square^2 .

24. Понятие об автоматизации управления. Иерархическое построение комплекса управления самолетом и задачи, решаемые на разных уровнях.

25. Основные элементы системы управления. Сигналы, используемые в СУ и их датчики. Вычислительная часть системы управления современного самолета.

26. Определение перегрузки. Датчик перегрузки. Влияние угловых ускорений и угловых скоростей самолета на показания датчика перегрузки.

27. Измерение углового положения самолета и его угловых скоростей. Позиционный, скоростной и лазерный гироскопы.

28. Принципиальная схема гидромеханического привода.

29. Принципиальная схема электрогидравлического привода.

30. Демпфер тангажа.

31. Автомат продольной устойчивости.

32. Понятие об интегральной системе управления.

33. Демпфер крена.

34. Демпфер рыскания.

35. Формы взаимодействия продольного и бокового движений.

36. Понятие о сваливании самолета. Скорость сваливания. Признаки сваливания.

37. Демпфирование по крену на закритических углах атаки. Петля самовращения.

38. Понятие о штопоре самолета. Выведение самолета из штопора.

39. Понятие о режиме инерционного вращения самолета.

Организационно-педагогические условия реализации программы

Обучение по программе организуется путем проведения лекционных занятий. Реализация программы предполагает применение технических средств обучения (компьютерных).

Лекции проводятся в оборудованной учебной аудитории, обеспечивающей демонстрацию видеофильмов, слайдов, плакатов, использование технических средств обучения: ноутбук, проектор, экран.

При проведении лекционных занятий преподаватель регламентирует темп изложения учебного материала, который позволяет слушателям при необходимости производить записи. Перед завершением или в ходе обучения преподаватель отвечает на возникшие у слушателей вопросы, выборочно проверяет степень усвоения материала, а также указывает необходимый перечень учебной литературы для самостоятельного изучения. При необходимости слушатели могут получить у преподавателя материал в электронном виде.

Программа может предусматривать самостоятельную работу слушателей. Самостоятельная работа слушателей предусматривает, как правило, выполнение учебных заданий, а также обмен опытом и подготовку к зачету в соответствии с учебной программой. Для подготовки к зачету слушателям предоставляется учебное время для самостоятельной работы.

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

Контроль и оценка результатов освоения программы

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

Зачет принимается преподавателем, который непосредственно проводит учебные занятия со слушателями. Перед проведением зачета, при необходимости, проводится консультация.

Содержание зачета включает не менее одного теоретического вопроса из каждой темы учебно-тематического плана, что позволяет проверить качество изученного материала Программы, а также оценить полученные слушателем знания и освоенные профессиональные компетенции.

Показатели и критерии оценки результатов освоения Программы: «зачтено» - если слушатель правильно ответил не менее чем на 50% от общего числа контрольных вопросов, «не зачтено» - если не выполнены условия оценки «зачтено».

Учебно-методическое обеспечение программы:

Рекомендованная литература:

А.А. Колесников Новые нелинейные методы управления полетом. — М.: Физматлит, 2013. — 194 с

Г.С. Бюшгенс. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов // М.: Российская академия наук («Наука» РАН) – 2016г., 704с.

Д. А. Алиева, М. Е. Сидорюк, А. Н. Храбров. Влияние системы улучшения боковой устойчивости и управляемости на штопор транспортного самолета // Ученые записки ЦАГИ. 2018. Т. XLIX, №1, с.69 – 83

А.Р. Бестугина. Безопасность полетов и направления развития тренажеров специалистов управления авиацией: Монография / под науч. ред. проф., д.т.н. А.Р. Бестугина // СПб.: ГУАП, 2015 – 516с.

ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ РВ 0015-002-2012, ГОСТ Р ЕН 100-2011, ДП СМК 7-25-2016

Материально-технические условия реализации программы:

1. Ноутбук, мультимедийный проектор, экран, доска.
2. Флипчарт, бумага для флипчарта.
3. Стендовая аэродинамическая труба (демонстратор).