

«УТВЕРЖДАЮ»

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



В.Н. Баранов

« 17 » 20 19 г.

**Дополнительная профессиональная программа
повышения квалификации
«Наземные частотные испытания летательных аппаратов»**

ФГУП «ЦАГИ»
гор. Жуковский

Пояснительная записка

Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Наземные частотные испытания летательных аппаратов» (далее – Программа) предназначена для научных и инженерно-технических работников, специалистов и аспирантов, работающих в области авиастроения в области аэроупругости летательных аппаратов в части методов экспериментальных исследований на этапах проектирования и сертификации летательных аппаратов.

Программа разработана на основе профессионального стандарта «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» (утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 04.03.2014г. № 121н).

Расчетно-экспериментальные исследования характеристик аэроупругости являются обязательными при разработке новых образцов летательной техники и традиционно проводятся ЦАГИ. За последние годы специалистов, способных профессионально выполнить такого рода работу стало крайне мало. Более того, их возраст превышает пенсионный, поэтому пополнение кадрами этого направления имеет первостепенную важность.

Реализация программы направлена на совершенствование и (или) получение новой компетенции, необходимой для профессиональной деятельности, и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации.

Предлагаемая программа предназначена для дополнительной подготовки инженеров, которым в ближайшей перспективе предстоит замещать пожилых специалистов-экспериментаторов и самостоятельно проводить исследования. Программы курсов содержат учебные материалы, обычно отсутствующие в традиционных курсах ВУЗов, но весьма важные для успешного, безаварийного проведения работ.

Основная роль в программе отводится изучению следующих вопросов.

1. Назначение частотных испытаний, их роль в исследовании безопасности от явлений аэроупругости.
2. Основные виды испытаний (натурные конструкции, модели, отдельные агрегаты).
3. Способы закрепления (вывешивания) конструкций. Основные требования к устройствам вывешивания. Техника безопасности.
4. Оборудование, требуемое для частотных испытаний.

5. Методы испытаний (метод фазового резонанса, метод разделения фаз). Методы, применяемые для предварительных оценок. Точность и надежность результатов.

6. Обработка результатов испытаний. Особенности исследования нелинейных конструкций.

7. Современные тенденции в развитии методов частотных испытаний.

По окончании обучения каждый слушатель должен:

- знать основы теории модального анализа, а также знать методы и инструменты исследования модальных характеристик летательных аппаратов;

- уметь применять на практике процедуры по подготовке и проведению наземных частотных испытаний;

- владеть навыками планирования и проведения наземных частотных испытаний, в том числе, разработка программы испытаний, подбор и настройка системы вешивания, подбор необходимого оборудования, а также оценка модальных характеристик по результатам измерений.

Форма обучения: очная.

Режим занятий: 1 раза в неделю по 2 академических часа или 2 раза в неделю по 4 академических часа.

Продолжительность (трудоемкость) обучения: 32 академических часов.

Предусмотрен контроль знаний с целью определения освоенности слушателем материала.

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
«Наземные частотные испытания летательных аппаратов»
с профессиональным стандартом**

Профессиональный стандарт	Обобщенные трудовые функции	Трудовые функции	Уровень квалификации
«Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» зарегистрировано в Минюсте России 21.03.2014 г. № 31692 Утверждено приказом Минтруда РФ 04.03.2014 №121н	Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований А/01.5 Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок А/02.5	5

**Формирование результатов освоения программы
«Наземные частотные испытания летательных аппаратов» с учетом
профессионального стандарта**

Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»	ФГОС ВО по направлению подготовки 24.03.04 «Авиастроение» (уровень бакалавра) Утвержден приказом Минобрнауки РФ от 21.03.2016 №249 Зарегистрировано приказом Минюста от 25.04.2016 №41910	Профессиональные компетенции
Трудовые функции	Профессиональные задачи	Компетенции
Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований А/01.5	Участие в разработке облика объектов, согласовании разрабатываемых проектов с подразделениями предприятия; Математическое	Способность к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-5); Способность владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе

<p>Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок А/02.5</p>	<p>моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов исследований; Проведение экспериментов по заданной тематике и анализ результатов экспериментов; Составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>	<p>стандартных пакетов исследований (ОПК-10); Способностью к решению инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин (ПК-1); Способностью участвовать во внедрении результатов исследований и разработок (ПК-11); Способность развивать творческую инициативу, рационализаторскую и изобретательскую деятельность, внедрять эффективные инженерные решения в практику, в том числе составлять математические модели объектов профессиональной деятельности (ПСК); Владеть методами аэродинамического расчета и эксперимента (ПСК).</p>
---	---	--

**Примерный календарный учебный график программы
«Наземные частотные испытания летательных аппаратов»**

Вид занятий	Количество часов по неделям				
	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	5 неделя
Лекции	4	4	4	2	
Самостоятельная работа	4	4	4	4	
Зачет					2
Итого:	8	8	8	6	2

**Учебно-тематический план программы
«Наземные частотные испытания летательных аппаратов»**

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, академических часов		
		Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем	Самостоятельная работа
1	Техника безопасности при проведении испытаний. Документированные и рабочие процедуры СМК, утвержденные в институте. Назначение частотных испытаний, их роль в исследовании безопасности от явлений аэроупругости.	4	2	2
2	Основные виды испытаний (натурные конструкции, модели, отдельные агрегаты).	4	2	2
3	Способы закрепления (вывешивания) конструкций. Основные требования к устройствам вывешивания. Техника	4	2	2

	безопасности.			
4	Оборудование, требуемое для частотных испытаний.	4	2	2
5	Методы испытаний (метод фазового резонанса, метод разделения фаз). Методы, применяемые для предварительных оценок. Точность и надежность результатов.	8	4	4
6	Обработка результатов испытаний. Особенности исследования нелинейных конструкций	4	2	2
7	Современные тенденции в развитии методов частотных испытаний	2	1	1
8	Зачет	2	1	-
	Общий объем, часов	32	16	16
	Форма итоговой аттестации	Зачет		

Рабочая программа
«Наземные частотные испытания летательных аппаратов»

Тема 1. Назначение частотных испытаний, их роль в исследовании безопасности от явлений аэроупругости

Техника безопасности при проведении испытаний. Документированные и рабочие процедуры СМК, принятые в институте.

Нормативная-техническая документация, регламентирующая наземные частотные испытания. Роль и место наземных частотных испытаний в обеспечении безопасности от явлений аэроупругости.

Тема 2. Основные виды испытаний (натурные конструкции, модели, отдельные агрегаты)

Особенности испытаний натурных летательных аппаратов. Особенности испытаний агрегатов летательных аппаратов. Испытания динамически подобных моделей. Испытания органов управления. Особенности испытаний конструкций с низким демпфированием. Особенности испытаний конструкций с высоким демпфированием.

Тема 3. Способы закрепления (вывешивания) конструкций. Основные требования к устройствам вывешивания. Техника безопасности

Выбор граничных условий для проведения испытаний. Виды систем вывешивания, моделирующих условия полета. Настройка систем вывешивания. Оценка частот твердотельных тонов колебаний. Особенности вывешивания натурных летательных аппаратов. Особенности вывешивания динамически подобных моделей. Обеспечение консольного закрепления моделей и агрегатов натурных конструкций.

Тема 4. Оборудование, требуемое для частотных испытаний

Средства возбуждения колебаний. Модальные вибровозбудители и их основные отличия от вибростендов. Специализированные ударные молотки. Многоканальные системы сбора информации. Средства измерения колебаний. Акселерометры. Датчики силы. Датчики скорости. Датчики перемещений.

Тема 5. Методы испытаний (метод фазового резонанса, метод разделения фаз). Методы, применяемые для предварительных оценок. Точность и надежность результатов

Методы испытаний при гармоническом возбуждении. Метод фазового резонанса. Метод разделения фаз. Испытания методом «подбора сил». Критерии выделения тона колебаний. Определение обобщенных модальных

характеристик (обобщенная масса, обобщенная жесткость). Контролируемое широкополосное возбуждение. Импульсное возбуждение колебаний. Выбор настроек оборудования.

Тема 6. Обработка результатов испытаний. Особенности исследования нелинейных конструкций

Аналоговая и цифровая обработка сигналов. Оценка модальных характеристик конструкции. Классификация тонов колебаний, присвоение названий тонам собственных колебаний. Оценка декрементов колебаний. Определение форм колебаний. Представление результатов испытаний. Влияние люфтов, сухого трения и других нелинейностей конструкции на модальные характеристики и особенности их исследования.

Тема 7. Современные тенденции в развитии методов частотных испытаний

Современные тенденции развития наземных частотных испытаний. Численное моделирование испытаний. Применение нелинейных обратных связей для исследования модальных характеристик конструкций. Применение специализированных сигналов возбуждения колебаний. Применение бесконтактных методов измерения колебаний. Развитие методов модального анализа.

Организационно-педагогические условия реализации программ

Образовательный процесс осуществляется на основе учебного плана.

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

Обучение по программе организуется путем проведения лекционных занятий, самостоятельной работы и при необходимости самостоятельной работы слушателей. 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.

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

Оценка качества освоения программы

Преподаватель самостоятельно устанавливает средства и методы текущего контроля, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций (опросы, типовые задания, контрольные работы, тесты и др.).

Оценка качества освоения программы осуществляется аттестационной комиссией в виде зачета по основным разделам программы.

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

Перечень контрольных вопросов

1. Назначение и место наземных частотных испытаний при разработке и сертификации летательной техники
2. Техника безопасности при проведении испытаний.
3. Основные виды наземных частотных испытаний.
4. Испытания органов управления.
5. Особенности испытаний с высоким и низким демпфированием колебаний.
6. Обеспечение граничных условий для объектов испытаний.
7. Виды систем вывешивания и их настройка.
8. Оценка частот твердотельных тонов колебаний.
9. Особенности консольного закрепления объектов испытаний.
10. Состав оборудования необходимого для проведения испытаний.
11. Средства возбуждения колебаний.
12. Средства сбора и измерения колебаний.
13. Методы испытаний при гармоническом возбуждении колебаний.
14. Метод фазового резонанса.
15. Метод разделения фаз.
16. Испытания методом «подбора сил».
17. Методы испытаний с широкополосным возбуждением колебаний.
18. Методы определения обобщенных модальных характеристик.
19. Метод «догрузки».
20. Метод «комплексной мощности».
21. Метод «квадратурной составляющей».
22. Методы цифровой обработки сигналов.
23. Выделение мнимой и действительной составляющей сигнала при гармонических колебаниях.
24. Определение спектра колебаний при широкополосном возбуждении.
25. Классификация форм колебаний.
26. Методы оценки декремента колебаний.

27. Исследование конструкций с нелинейными характеристиками.
28. Современные тенденции в наземных частотных испытаниях.

Учебно-методическое обеспечение

Рекомендуемая литература:

1. Парафесь С.Г., Туркин И.К. Актуальные задачи аэроупругости и динамики конструкций высокоманевренных беспилотных летательных аппаратов. — М.: Изд-во МАИ, 2016. — 184 с.
2. В. Хейлен, С. Ламменс, П. Сас Модальный анализ: теория и испытания, 2008 г.
3. Ф. З. Ишмуратов, А. Г. Кузнецов, В. А. Мосунов. Применение полиномиального метода Ритца для расчета характеристик динамической аэроупругости с учетом гироскопических сил // Ученые записки ЦАГИ. 2017. Т. XLVIII, №6, с.64 – 74.
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ РВ 0015-002, ДП СМК 7-25-2016

Материально-технические средства обучения

1. Компьютерный класс.
2. Проекционное оборудование