

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник управления персоналом

О.А. Власова

20 23 г.



**Дополнительная профессиональная программа  
повышения квалификации**

**«Аэродинамика воздухозаборников»**

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 «Аэродинамика воздухозаборников» (далее – Программа) предназначена для научных и инженерно-технических работников, специалистов и аспирантов, работающих в области авиа- и ракетостроения.

Программа разработана на основе профессиональных стандартов:

- Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» (утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 04.03.2014г. № 121н);
- Профессиональный стандарт «Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций» зарегистрировано в Минюсте России, рег. номер 65485 от 20.10.2021 (утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.09.2021 № 631н).

Реализация программы направлена на совершенствование и (или) получение новой компетенции, необходимой для профессиональной деятельности, и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации в области аэродинамики ЛА в части формирования ВЗУ сверхзвуковых ЛА.

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.

**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 проектирования авиационных конструкций с целью повышения ресурса, дальности полета, а также экономичности. Поставленные задачи достигаются путем изучения течения торможения, реализующегося в каналах ВЗУ, параметров эффективности ВЗУ, методов воздействия на течение в ВЗУ с целью улучшения характеристик и повышения эффективности входных устройств.

Упор делается на ознакомление слушателя с приемами и методикой разработки и проектирования ВЗУ предназначенных для сверхзвуковых летательных аппаратов, а также на подготовку к решению практических задач, связанных с проведением испытаний в АДТ ЦАГИ.

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

- рассматриваются термодинамические понятия и определения, необходимые для освоения курса;
- на основе теории подобия приводятся критерии, соблюдение которых необходимо для проведения испытаний ВЗУ в АДТ ЦАГИ;
- изучаются геометрические параметры и параметры эффективности ВЗУ;
- приводятся необходимые условия для работы ВЗУ сверхзвукового ЛА;
- рассматриваются принципы пускового регулирования;
- изучаются различные способы улучшения работы сверхзвукового ВЗУ и возможность их применения для различных типов воздухозаборников;
- рассматриваются режимы, приводящие к нарушению работы ВЗУ и методы их устранения.

## 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» (утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 04.03.2014г. № 121н);
- Профессиональный стандарт «Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций» зарегистрировано в Минюсте России, рег. номер 65485 от 20.10.2021 (утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.09.2021 № 631н);
- 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: 30 академических часов.

Продолжительность обучения: 4 недели.

Форма обучения: очная.

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

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 «Аэродинамика воздухозаборников»

В результате освоения программы слушатели должны:

**знать:**

- термодинамические понятия и определения, применяемые в аэродинамике ВЗУ;
- параметры эффективности ВЗУ;
- принципы пускового регулирования сверхзвукового ВЗУ;
- способы повышения эффективности работы сверхзвукового ВЗУ;
- методы борьбы с помпажом.

**уметь:**

- определить параметры эффективности ВЗУ;
- определить требуемое  $F_T$  для запуска сверхзвукового ВЗУ;
- предложить различные способы повышения эффективности ВЗУ.

**владеть:**

- методикой пускового регулирования ВЗУ;
- различными способами борьбы с помпажом;
- методикой проведения экспериментальных исследований модельных ВЗУ.

**Связь программы  
«Аэродинамика воздухозаборников»  
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 21.03.2014г. № 31692 (утв. приказом Минтруда России 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 Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок А/02.5</p>	5
<p>«Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций» зарегистрировано в Минюсте России, рег. номер 65485 от 20.10.2021 (утв. приказом Минтруда России от 15.09.2021 № 631н)</p>	<p>Техническая поддержка работ по расчету авиационных конструкций летательных аппаратов</p>	<p>Техническая поддержка расчетных работ по определению уровней нагрузок на узлы ЛА А/01.4 Оформление технической документации А/02.4</p>	4



**Формирование результатов освоения программы «Аэродинамика воздухозаборников»  
с учетом профессиональных стандартов**

<p align="center">Профессиональный стандарт</p>	<p>ФГОС ВО по направлению подготовки 24.03.04 «Авиастроение» бакалавр. (утв. Приказом Минобрнауки России от 05.02.2018 № 81)  Зарегистрировано приказом Минюста РФ от 28.02.2018 № 50186</p>	<p align="center">Компетенции</p>
<p>Трудовые функции</p> <p>«Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» зарегистрировано в Минюсте России 21.03.2014г. № 31692 (утв. приказом Минтруда России 04.03.2014 № 121н)  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</p>	<p>Профессиональные задачи</p> <p>Участие в разработке облика объектов, согласовании разрабатываемых проектов с подразделениями предприятия;  Проведение экспериментов по заданной тематике и анализ результатов экспериментов;  Составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>	<p>Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни (УК-6);</p> <p>Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью с использованием стандартов, норм и правил (ОПК-3);</p> <p>Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной им ракетно-космической техники (ОПК-5);</p>
<p>«Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций» зарегистрировано в Минюсте России, рег. номер 65485 от 20.10.2021. (утв. приказом Минтруда России от 15.09.2021 № 631н)  Техническая поддержка расчетных работ по определению уровней нагрузок на узлы ЛА А/01.4  Оформление технической документации А/02.4</p>		

**Учебный план программы  
«Аэродинамика воздухозаборников»**

№ 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.	1	1		
2.	Тема 1. Основные термодинамические понятия и определения.	6	4	2	
3.	Тема 2. Общие сведения о сверхзвуковом ВЗУ.	3	2	1	
4.	Тема 3. Основные параметры сверхзвуковых диффузоров.	3	2	1	
5.	Тема 4. Необходимые условия для работы сверхзвукового ВЗУ.	3	2	1	
6.	Тема 5. Принципы пускового регулирования.	3	2	1	
7.	Тема 6. Способы улучшения работы ВЗУ.	3	2	1	
8.	Тема 7. Торможение сверхзвукового потока в каналах (Псевдоскачок).	3	2	1	
9.	Тема 8. Помпаж сверхзвукового ВЗУ.	3	2	1	
10.	Итоговая аттестация:	2			2
	<b>ИТОГО по программе:</b>	<b>30</b>			

### Примерный календарный учебный график программы

Тема / модуль	Последовательность изучения материала				Итого
	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	
Документированные и рабочие процедуры СМК утвержденные в ЦАГИ. Охрана труда.	Л -1				1
Тема 1	Л – 4 СР - 2				6
Тема 2	Л – 2 СР - 1				3
Тема 3	Л – 2 СР - 1				3
Тема 4		Л – 2 СР - 1			3
Тема 5		Л – 2 СР - 1			3
Тема 6			Л – 2 СР - 1		3
Тема 7			Л – 2 СР - 1		3
Тема 8				Л – 2 СР - 1	3
Итоговая аттестация				ИА - 2	2
<b>Всего (часов)</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>30</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  
«Аэродинамика воздухозаборников»**

№ п/п	Тема / модуль	Кол-во часов
1	<b>Документированные и рабочие процедуры СМК утвержденные в ЦАГИ. Охрана труда.</b>	1
2	<b>Тема 1. Основные термодинамические понятия и определения.</b> Основные термодинамические понятия и определения. Адиабатический процесс. Скорость звука. Критические параметры потока. Газодинамические функции. Запись основных уравнений сохранения с использованием газодинамических функций. Уравнение неразрывности. Уравнение сохранения количества движения. Прямой скачок уплотнения.	6
3	<b>Тема 2. Общие сведения о сверхзвуковом ВЗУ.</b> Общие сведения о воздухозаборных устройствах: роль и назначение воздухозаборников. Виды воздухозаборников. Компоновка на летательном аппарате.	3
4	<b>Тема 3. Основные параметры сверхзвуковых диффузоров.</b> Основные параметры сверхзвуковых диффузоров. Геометрические и газодинамические параметры сверхзвуковых входных устройств. Эффективная тяга силовой установки. Внешнее сопротивление СВУ. Расчёт сопротивления СВУ по жидкому контуру. Расчёт параметров потока в горле сверхзвуковых ВЗ.	3
5	<b>Тема 4. Необходимые условия для работы сверхзвукового ВЗУ.</b> «Запуск» и «срыв» течения в СВУ. Условия «запуска» воздухозаборников. Взаимодействие скачков уплотнения с пограничным слоем. Структура течения при «запуске». «Срыв» течения в диффузоре при уменьшении числа М. Его причины. Минимальное $f_{г}$ .	3
6	<b>Тема 5. Принципы пускового регулирования.</b> Различные схемы торможения сверхзвукового потока. Газодинамическое конструирование течений сжатия. Принцип и способ «пускового» регулирования.	3
7	<b>Тема 6. Способы улучшения работы ВЗУ.</b> Автоперепуск ВЗ внешне-внутреннего сжатия. Сравнение ВЗ внешнего сжатия с ВЗ внешне-внутреннего сжатия. Способы улучшения работы ВЗ: отсасывание пограничного слоя; вдув; турбулизация; охлаждение поверхности. Дроссельные характеристики нерегулируемых св. звуковых входных устройств внешнего сжатия.	3
8	<b>Тема 7. Торможение сверхзвукового потока в каналах (Псевдоскачок).</b> Торможение сверхзвукового потока в каналах. Основные параметры свободного псевдоскачка. Основные параметры фиксированного псевдоскачка. Течение торможения в каналах малой длины.	3
9	<b>Тема 8. Помпаж сверхзвукового ВЗУ.</b> Помпаж ВЗ. Механизм возникновения помпажа. Помпаж СВУ на режимах работы с коэффициентом расхода $f = 0$ . Методы борьбы с помпажом: увеличение $f_{г}$ ; $\theta_{к}$ ; отсос; вдув; вторая обечайка и т.д.	3
10	<b>Итоговая аттестация</b>	2
	<b>Всего:</b>	30

**Рабочий план по программе  
«Аэродинамика воздухозаборников»**

№ п/п	Тема / модуль	Виды учебной работы, акаде- мических часов		
		Всего	Контактная работа обу- чающихся с преподава- телем	Самостоя- тельная рабо- та
1	Документированные и рабочие процедуры СМК, утвер- жденные в ЦАГИ. Охрана труда.	1	1	
2	Тема 1. Основные термодинамические понятия и определения.	6	4	2
3	Тема 2. Общие сведения о сверхзвуковом ВЗУ.	3	2	1
4	Тема 3. Основные параметры сверхзвуковых диффузоров.	3	2	1
5	Тема 4. Необходимые условия для работы сверхзвукового ВЗУ.	3	2	1
6	Тема 5. Принципы пускового регулирования.	3	2	1
7	Тема 6. Способы улучшения работы ВЗУ.	3	2	1
8	Тема 7. Торможение сверхзвукового потока в каналах (Псевдо- скачок).	3	2	1
9	Тема 8. Помпаж сверхзвукового ВЗУ.	3	2	1
10	Итоговая аттестация	2	2	
<b>ИТОГО по программе</b>		<b>30</b>	<b>21</b>	<b>9</b>

#### **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. *Нечаев Ю.Н.* Теория авиационных двигателей. – Москва: Издание ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 1990.
2. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. – Москва: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1976.
3. *Ремеев Н.Х.* Аэродинамика воздухозаборников сверхзвуковых самолетов. – Жуковский: Издательский отдел ЦАГИ, 2002.

### **Дополнительная литература:**

1. *Мартынов А.К.* Экспериментальная аэродинамика. – Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1958.
2. *Авдудевский В.С. и др.* Основы теплопередачи в авиационной и ракетной технике. – Москва: Оборонгиз, 1960.

## **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  
«Аэродинамика воздухозаборников»**

1. Уравнение неразрывности. Запись уравнения неразрывности через газодинамические функции.
2. Уравнение количества движения. Запись с помощью газодинамических функций.
3. Соотношения для прямого скачка уплотнения, полученные с использованием газодинамических функций.
4. Классификация ВЗ.
5. Параметры эффективности входных устройств:  $v_{вх}$ ;  $f$ ;  $C_{Xвн}$ .
6. Геометрические параметры сверхзвуковых ВЗ.
7. ВЗ внутреннего сжатия. Режимы течения. Оптимальный режим течения. Отношение  $\left(\frac{F_{г}}{F_{вх}}\right) = ?$  для оптимального режима течения.
8. Основные схемы торможения сверхзвукового потока.
9. ВЗУ с пусковым регулированием.
10. Сравнение ВЗ внешнего и смешанного сжатия.
11. Автозапуск ВЗ.
12. Сопротивление при автозапуске.
13. Способы улучшения работы ВЗ.
14. Помпаж ВЗУ. Механизм возникновения.
15. Меры борьбы с помпажом.