

**ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени профессора Н.Е. Жуковского»  
(ФАУ «ЦАГИ»)**



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

по группе научных специальностей 2.5. «Машиностроение»

по научной специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Уровень образования: высшее образование – подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения – очная

Жуковский, 2022 г.

Программа сформирована на основании федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.21 № 951 и номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.21 № 118.

Разработчики программы: А.В. Шустов, к.т.н., доц.

ФИО

подпись



ФИО

подпись

ФИО

подпись

Согласовано:

Председатель научно-методического совета по аспирантуре  
А.М. Гайфуллин, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН



подпись

Первый заместитель генерального директора  
А.Л. Медведский, д.ф.-м.н., доц.



подпись

## **Область применения и нормативные ссылки:**

Программа вступительного испытания сформирована на основании федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.21 № 951 и номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.21 № 118.

## **Форма проведения испытания:**

Вступительное испытание по группе научных специальностей 2.5. «Машиностроение» проводится в виде собеседования с обязательным оформлением ответов на вопросы из содержания испытания в письменном виде.

Собеседование проводится с целью выявления у абитуриента объема научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

## **Структура испытания:**

Испытание состоит из ответов на вопросы в рамках программы вступительного испытания.

## **Критерии оценки результатов испытания:**

<b>Оценки</b>	<b>Критерии</b>
Отлично	Даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы.
Хорошо	1. Даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы. 2. Ответы на вопросы даются полно, но логическая последовательность не всегда соблюдается.
Удовлетворительно	1. Даны в основном правильные ответы на вопросы. 2. Ответы на вопросы даются в основном полно, но при слабом логическом оформлении высказываний.
Неудовлетворительно	Слабое знание и понимание рассматриваемого вопроса, со значительными ошибками.

# **СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

## **1. ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА**

### **1.1. Элементы линейной алгебры**

1. Векторы и операции над ними. Векторное пространство. Линейная зависимость и независимость векторов. Размерность, базис векторного пространства.
2. Матрицы и операции над ними. Ранг матрицы. Определитель квадратной матрицы, его свойства. Формулы Крамера для решения систем линейных алгебраических уравнений.
3. Системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), матричная запись СЛАУ. Теорема Кронекера-Капелли. Фундаментальное решение системы линейных алгебраических уравнений. Общее решение системы линейных алгебраических уравнений. Метод Гаусса.
4. Линейное преобразование, матрица линейного преобразования. Преобразование координат. Изменение матрицы линейного преобразования при переходе к новому базису. Собственные векторы, собственные значения линейного преобразования.

### **1.2. Математический анализ**

1. Предел и непрерывность функций одной и нескольких переменных. Свойства функций непрерывных на отрезке.
2. Производная и дифференциал функций одной и нескольких переменных. Производные и дифференциалы высших порядков. Формула Тейлора для функции одной и нескольких переменных.
3. Экстремумы функции одной и нескольких переменных. Необходимые и достаточные условия экстремума.
4. Неопределенный интеграл и его свойства. Основные методы интегрирования. Определенный интеграл и его свойства. Теорема о среднем. Интегрирование по частям. Основная формула интегрального исчисления. Несобственные интегралы.
5. Кратные интегралы и методы их вычисления. Теорема о замене переменных в кратном интеграле. Вычисление массово-инерционных характеристик двумерных и трехмерных областей.
6. Криволинейные интегралы и методы их вычисления. Длина кривой.
7. Элементы теории векторного поля: операторы дивергенции, градиента, ротора, поток векторного поля через поверхность. Теорема Остроградского-Гаусса, формулы Грина, Стокса.
8. Числовые ряды. Свойства сходящихся рядов. Ряды с неотрицательными членами. Признаки сходимости (Даламбера, Коши, Гаусса). Абсолютная и условная сходимость числовых рядов.
9. Степенные ряды, радиус сходимости, теоремы Абеля. Действия над

числовыми рядами. Ряды Тейлора для функции одной и многих переменных.

10. Функциональные ряды. Равномерная сходимость функционального ряда. Тригонометрические ряды Фурье.

### **1.3. Обыкновенные дифференциальные уравнения**

1. Дифференциальные уравнения первого порядка. Уравнения с разделяющимися переменными. Линейное уравнение. Уравнения Бернуlli, Клеро, Лагранжа. Общий, частный и особый интегралы уравнения.
2. Линейные дифференциальные уравнения n-го порядка. Свойства линейного однородного дифференциального уравнения. Линейная зависимость функций. Определитель Вронского. Фундаментальная система решений линейного однородного уравнения.
3. Линейное неоднородное дифференциальное уравнение. Принцип суперпозиции. Метод вариации постоянных.
4. Системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами и методы их решения.
5. Задача Коши и краевая задача для линейного дифференциального уравнения. Функция Грина краевой задачи.

### **1.4. Уравнения математической физики**

1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных второго порядка: уравнение колебаний струны; уравнение теплопроводности. Постановка краевых задач.
2. Классификация уравнений в частных производных второго порядка. Приведение уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами к каноническому виду.
3. Задача Коши для уравнения струны, формула Даламбера. Ограниченненная струна. Метод Фурье.
4. Задача Штурма-Лиувилля. Свойства собственных функций и собственных значений. Функция Грина.
5. Уравнение теплопроводности. Смешанная краевая задача. Принцип максимума.
6. Основные краевые задачи для уравнения Лапласа.
7. Функция Грина задачи Дирихле для уравнения Лапласа.

### **1.5. Теория функции комплексного переменного**

1. Комплексные числа, комплексная плоскость, модуль и аргумент комплексного числа.
2. Элементарные функции комплексного переменного (линейная и дробно-линейная функции, экспонента и логарифм, степень с произвольным показателем, функция Жуковского, тригонометрические и гиперболические функции).

3. Предел и непрерывность функции комплексного переменного. Дифференцируемость, производная, условия Коши-Римана. Понятие аналитичности функции.
4. Ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек.
5. Вычеты, их вычисление. Применение вычетов к вычислению интегралов.
6. Конформные отображения, реализуемые элементарными функциями

## 1.6. Вычислительная математика

1. Постановка задачи интерполяции. Интерполяционный многочлен Лагранжа.
2. Численное дифференцирование. Примеры построения формул численного дифференцирования.
3. Простейшие квадратурные формулы. Формулы трапеций и Симпсона. Квадратуры Гаусса и оценка их погрешности.
4. Приближенные методы решения систем линейных уравнений: метод простой итерации решения, метод наискорейшего градиентного спуска.
5. Метод Ньютона решения нелинейных задач.
6. Методы Эйлера и Рунге-Кутта решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.
7. Приближенное решение краевой задачи: метод стрельбы решения, метод прогонки.
8. Основные понятия теории разностных схем: аппроксимация, устойчивость, сходимость.
9. Простейшие разностные схемы для уравнений с частными производными. Применение принципа Куранта.

## 2. ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ

1. Обтекание тел. Физические свойства жидкостей и газов как сплошной среды. Силы и моменты, действующие на профиль в потенциальном потоке. Теорема Жуковского о подъемной силе. Вихревая система крыла и индуктивное сопротивление. Основы теории крыла конечного размаха.
2. Влияние сжимаемости воздуха на аэродинамические характеристики профиля и крыла конечного размаха при дозвуковых скоростях. Критическое число М. Эффект скольжения и стреловидности. Основные понятия теории крыла конечного размаха в сверхзвуковом потоке. Основы теории звукового удара.
3. Приближенные методы аэродинамического расчета. Метод Ньютона для расчета обтекания тел при гиперзвуковых скоростях. Основные методы расчета аэродинамических характеристик летательного аппарата

при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Методы и критерии аэrodинамического проектирования. Обратная задача аэродинамики как средство проектирования. Оптимизационные алгоритмы. Правило площадей.

4. Расчет коэффициентов сопротивления и аэродинамического качества дозвуковых пассажирских и транспортных самолетов по известной геометрии и некоторым данным аэродинамического эксперимента. Переесчет к натуральным условиям полета.

### **3. СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

1. Классификация силовых установок, принципы их работы, основные особенности. Реактивная тяга. Тяга ракетного двигателя. Тяга воздушно-реактивного двигателя. Внешнее сопротивление силовой установки. Эффективная тяга.
2. Основные параметры, определяющие качество двигателей. Удельная тяга, удельная мощность, удельный расход топлива, удельная масса, лобовая тяга. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики турбореактивных двигателей.
3. Воздушные винты. Модель Фруда. Закрутка струи от винта. Несущий винт. Безразмерные параметры и характеристики винтов. Взаимодействие струи винта с планером самолета.

### **4. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ И ПРОЧНОСТЬ САМОЛЕТА**

1. Упругость. Напряжение. Деформация. Обобщенный закон Гука. Простейшие случаи изгиба. Температурные напряжения.
2. Методы определения напряженно-деформированного состояния крыльев. Балочная модель. Метод конечных элементов. Расчет лонжерона на прочность и прогиб.

### **5. ОСНОВЫ АЭРОМЕХАНИКИ**

1. Уравнения движения центра масс самолета. Силы и моменты, действующие на самолет. Аэродинамический расчет самолета.
2. Дальность и продолжительность полета. Оптимизация крейсерского режима полета самолета. Характеристики маневренности самолета. Взлетно-посадочные характеристики.
3. Уравнения движения летательного аппарата в общем случае. Линеаризация и разделение уравнений. Балансировка и ее влияние на аэродинамическое качество.

## **6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

1. Уравнение существования самолета. Качественный анализ влияния новых технических решений на критерий оптимальности на базе использования уравнения существования. Проблемы увеличения крейсерской скорости дозвуковых самолетов. Методы тяг и мощностей.
2. Весовое проектирование. Весовой расчет крыла.
3. Структура комплекса САПР предварительного проектирования. Методы выбора основных параметров самолетов. Задача оптимизации параметров самолета при заданных требованиях. Исследование рациональных требований к новому самолету.
4. Методы расчета ограничений в плоскости основных определяющих параметров – тяговооруженность ( $Pa/G$ ), нагрузка на крыло ( $G/S$ ). Подход к решению задач при двух определяющих критериях (себестоимость – топливная эффективность). Технические и экономические критерии эффективности пассажирских самолетов.

## **7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

1. Методы прикладной геометрии. Основные задачи. Дифференциальные соотношения для кривых и поверхностей. Интерполяция и аппроксимация. Сплайны. Поверхности на перекрестном каркасе. Геометрическое моделирование в проектировании и производстве.
2. Системы автоматизации. CALS – технология (назначение, стандарты, структура программного обеспечения). Методы и средства автоматизации проектирования и производства.

## **8. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ**

1. Методы оптимизации. Постановки задач оптимизации траекторий и систем управления. Принцип максимума Л.С. Понtryгина. Условия оптимальности. Схемы решения двухточечной краевой задачи.
2. Прямые методы, метод наискорейшего спуска, метод сопряженных градиентов, метод проекции градиента. Методы оптимизации функции многих переменных при наличии ограничений (градиентные методы, методы случайного поиска).
3. Энергетический метод и гипотеза квазистационарности. Оптимальные режимы полета самолета с ВРД. Оптимальное управление тягой в крейсерском полете.

## **9. ЭКОЛОГИЯ АВИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА**

1. Эмиссия вредных веществ авиационным транспортом. Нормирование эмиссии авиационных двигателей.
2. Акустическое воздействие летательных аппаратов на окружающую среду. Нормирование шума на местности. Методы уменьшения акустического воздействия летательных аппаратов (при проектировании летательных аппаратов и их последующей эксплуатации).

## **10. ЗАМЕТНОСТЬ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

1. Уравнение радиолокации. Особенности прохождения радиоволн в атмосфере, их влияние на обнаружение летательного аппарата. Взаимодействие радиоволн с поверхностью летательного аппарата. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. АП-25. – М: ОАО «АВИАИЗДАТ», 2009. – 266 с.
2. Авиационные правила. Ч. 34. Охрана окружающей среды. Эмиссия загрязняющих веществ авиационными двигателями. Нормы и испытания. Межгосударственный авиационный комитет. АП-34. – М.: ОАО «АВИАИЗДАТ», 2003. – 94 с.
3. Андреев, В., Борисов, В., Клиmov, В., Малышев В., Орлов В. Внимание: газы. Криогенное топливо для авиации. – М.: Московский рабочий, 2001. – 224 с.
4. Аэромеханика самолета : Учебник для вузов по специальности «Самолетостроение» / В.В. Андреевский, В.М. Белоконов, А.Ф. Бочкарев и др. ; Под ред. канд. техн. наук, доц. А.Ф. Бочкирева. – М.: Машиностроение, 1977. – 415 с. : ил.
5. Брайсон А.Э. Прикладная теория оптимального управления : Оптимизация, оценка и управление / А. Э. Брайсон, Хо Ю-ши ; Перевод с англ. Э. М. Макашова, Ю. П. Плотникова ; Под ред. А. М. Летова. – М.: Мир, 1972. – 544 с. : черт.
6. Брусов В.С. Оптимальное проектирование летательных аппаратов. Многоцелевой подход. - М.: Машиностроение, 1989. – 230 с.
7. Буриченко Л.А., Ененков В.Г., Науменко И.М., Протоерейский А.С. Охрана окружающей среды в гражданской авиации. – М.: Машиностроение, 1992. – 320 с.

8. Дмитриев В. Г. Основы прочности и проектирование силовой конструкции летательных аппаратов / В.Г. Дмитриев, В.М. Чижов. – М. : Бумаж. галерея, 2005 (ГУП Смол. обл. тип. им. В.И. Смирнова). – 413 с. : ил., табл.
9. Егер С.М. Основы автоматизированного проектирования самолетов : Учеб. пособие для авиац. спец. вузов / С. М. Егер, Н. К. Лисейцев, О. С. Самойлович. – М. : Машиностроение, 1986. – 231 с. : ил.
10. Кан С. Н. Расчет самолета на прочность : Учебник для авиац. вузов / С. Н. Кан, И. А. Свердлов. – 5-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1966. – 519 с. : ил.
11. Кан С.Н. Элементы строительной механики тонкостенных конструкций : Учеб. пособие для авиац. вузов / С. Н. Кан, Я. Г. Пановко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Оборонгиз, 1952. – 164 с. : черт.
12. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика ; под ред. И.А. Кибеля. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Физматлит, 1963. – 728 с., ил.
13. Лейбзон Л.С. Курс теории упругости. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва ; Ленинград : Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1947. – 465 с.
14. Липман Г.В., Рошко А. Элементы газовой динамики. – М.: Ин. Лит, 1960. – 518 с.
15. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. – 848 с.
16. Мартынов А.К. Прикладная аэродинамика : Учеб. пособие для авиац. вузов. – М.: Машиностроение, 1972. – 447 с. : ил.
17. Механика оптимального пространственного движения летательных аппаратов в атмосфере / Шкадов Л. М., Буханова Р. С., Илларионов В. Ф., Плохих В. П. - М. : Машиностроение, 1972. – 239 с.
18. Николайкина Н.Е., Николайкин Н.И., Матягина А.М. Промышленная экология: инженерная защита биосферы от воздействия воздушного транспорта. – М.: Академкнига, 2006. – 239 с.
19. Остославский И. В. Аэродинамика самолета : Учебник для авиац. вузов. – М.: Оборонгиз, 1957. – 560 с. : ил., портр.
20. Остославский И. В. Динамика полета : Устойчивость и управляемость летательных аппаратов : Учебник для авиац. вузов / И. В. Остославский, И. В. Стражева. – М.: Машиностроение, 1965. – 467 с. : ил.
21. Остославский И.В. Динамика полета : Траектории летательных аппаратов : Учебник для вузов / И. В. Остославский, И. В. Стражева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 499 с. : ил.
22. Понtryгин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – 4-е изд. – М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 392 с.
23. Проектирование самолетов: Учебник для вузов/ С. М. Егер, А.А. Бадягин, В.Е. Ротин, В. Ф. Мишин, Н. К. Лисейцев и др. Под ред. С. М. Егера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.

24. Роджерс Дэвид Ф. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс ; перевод с англ. Ю. П. Кулябичева, В. Г. Иваненко ; под ред. Ю. И. Топчеева. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с. : ил.
25. Семенов В.Н. Основы прочности. Конспект лекций. - М.: МФТИ, 2001. – Читальный зал и компьют. сеть ; ФАЛТ.
26. Скрипниченко С. Ю. Оптимизация режимов полета самолета : Экон. режимы полета / С. Ю. Скрипниченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 191 с. : ил.
27. Справочник по радиолокации : В 4 т. / Ред. М. Сколник. Т. 1: Основы радиолокации / Пер. с англ. А.Я. Брейтбарта и др. ; Под ред. Я.С. Ицхоки – М.: Сов. радио, 1976. – 454 с. : ил.
28. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей / В.П. Деменченок, Л.Н. Дружинин, А.Л. Пархомов и др. ; Под ред. С.М. Шляхтенко, В.А. Сосунова. – М.: Машиностроение, 1979. – 431 с. : ил.
29. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем / Пер. с англ. И. К. Снитко. – 2-е изд. – М.: Гостехиздат, 1955. – 568 с. : ил.
30. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле ; перераб. Д. Х. Янгомпер ; пер. с англ. Я. Г. Пановко с 3-го американского изд. – Изд. 2-е, стер. – М.: URSS : КомКнига, 2006. – 439 с. : ил., табл.
31. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. – Москва ; Ленинград : Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1932 (Л. : тип. им. Евг. Соколовой). – 2 т.
32. Торенбик Э. Проектирование дозвуковых самолетов. – М.: Машиностроение, 1983. – 648 с.
33. Феофанов А.Ф. Строительная механика авиационных конструкций. – М.: Машиностроение, 1964. – 284 с. : черт. – Труды института / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Моск. ордена Ленина авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе. – Вып. 160.
34. Фокс А. Д. Вычислительная геометрия : применение в проектировании и на производстве / А. Фокс, М. Пратт ; пер. с англ. Г. П. Бабенко, Г. П. Воскресенского. – М.: Мир, 1982. – 304 с. : граф.
35. Ярошевский В.А. Лекции по теоретической механике : Учеб. пособие для студентов вузов по направлению «Прикладные математика и физика» / В. А. Ярошевский; М-во образования Рос. Федерации. Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т). – М. : Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), 2001. – 244 с. : ил.
36. CALS (непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении / под ред. Братухина А.Г. – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 304 с.

