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

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

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ФАУ «ЦАГИ»
_____ К.И. Сыпало
18 мая 2022 года

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

по группе научных специальностей 2.5. «Машиностроение»

по научной специальности 2.5.16. «Динамика, баллистика, управление движением 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: С.Г. Баженов, д.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:

Оценки	**Критерии**
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 Бернулли, 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. Ограниченная 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 интерполирования. 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. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

2.1. Кинематика и динамика точки

1. Кинематика относительных движений.
2. Сложение ускорений.
3. Основные теоремы динамики точки.

2.2. Динамика системы

1. Общие уравнения движения системы материальных точек.
2. Теоремы о движении центра инерции.
3. Внутренние и внешние силы.
4. Теорема количества движения.
5. Теорема моментов количества движения.

6. Теорема моментов в относительном движении по отношению к центру инерции.
7. Работа.
8. Поле. Потенциальная энергия поля.
9. Кинетическая энергия системы. Теорема Кенига.
10. Закон сохранения энергии.

2.3. Некоторые специальные вопросы

1. Реактивное движение.
2. Малые колебания с одной степенью свободы – период, частота, фаза и амплитуда.
3. Вынужденные колебания и резонанс.
4. Основные теоремы об ударе тел.
5. Понятие об устойчивости равновесия и движения.
6. Уравнения Эйлера движения твердого тела.

2.4. Основы аналитической динамики

1. Связи и их классификация.
2. Обобщенные координаты.
3. Принцип Даламбера.
4. Принцип возможных перемещений и его применение.
5. Уравнения Лагранжа второго рода.

3. ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ И ДИНАМИКИ САМОЛЕТОВ И РАКЕТ

3.1. Основы аэродинамики самолетов и ракет

1. Характеристики атмосферы. Идеальная и вязкая жидкость. Потенциальные течения идеальной жидкости. Простейшие течения несжимаемой жидкости (вихрь, источник) и их потенциал. Уравнения Бернулли для сжимаемого газа. Скорость звука. Трубка тока для несжимаемого и сжимаемого газа. Границы применения теории несжимаемого газа. Области влияния в сверхзвуковом потоке (конус Маха). Скачки уплотнения. Подобие в аэродинамике.
2. Подъемная сила и продольный момент профиля, при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Критическое число М и его зависимость от формы профиля и режима полета. Вихревая система крыла конечного размаха. Скос потока за крылом. Силы и моменты, действующие на крыло и их зависимость от числа М и формы крыла. Причины перемещения фокуса. Аэродинамическое качество и его изменение по числам М для крыльев разных параметров. Понятие о пограничном слое, ламинарный и турбулентный пограничный слой. Число Re.

3. Переход пограничного слоя из ламинарного в турбулентное состояние. Отрыв пограничного слоя. Сопротивление трения пластинки.
4. Силы и моменты, действующие на крыло при больших углах атаки.
5. Подъемная сила и продольный момент крылатых аппаратов разных систем, и их изменения по числам М. Теорема сложения фокусов. Образование поперечных и путевых моментов при скольжении для аппаратов самолетной схемы.
6. Силы и моменты, действующие на корпуса и фюзеляжи. Эффективность и шарнирные моменты органов управления. Число Струхаля. Аэродинамическое демпфирование. Влияние близости земли на аэродинамические характеристики самолетов. Нагревание тел при больших скоростях полета.

3.2. Динамика самолетов и ракет

1. Собственная динамика самолетов и ракет. Системы координат используемые для описания движения ЛА. Основные углы, используемые для описания положения, ориентации и вектора скорости самолета Уравнения движения самолета как материальной точки и твердого тела. Тензор инерции самолета.
2. Аэродинамические силы и моменты, действующие на летательный аппарат. Математическая модель и безразмерные коэффициенты сил и моментов. Средняя аэродинамическая хорда. Тяга двигателя и ее изменение по режимам полета.
3. Аэродинамический расчет самолета. Метод тяг. Метод мощностей. Дальность и продолжительность полета самолета и самолета – снаряда. Маневренность самолета в вертикальной плоскости. Разгон и торможение в горизонтальном полете. Планирование и пикирование. Маневренность самолета в горизонтальной плоскости. Установившийся и неустановившийся вираж. Вираж с креном и скольжением. Взлетно-посадочные характеристики самолета.
4. Аэродинамические компоновки ракет. Теория ступенчатых ракет. Пассивный участок полета головной части баллистической ракеты. Методы наведения ракет (кривые погони, параллельное сближение, пропорциональное наведение) и определение потребных перегрузок при наведении.
5. Устойчивость и управляемость.
6. Установившиеся режимы и линеаризация уравнений движения самолета. Разделение уравнений движения на две системы для аппаратов с одной плоскостью симметрии: продольное и боковое движения. Продольная балансировка самолета, балансировочные скорость, угол атаки, тяга и отклонение стабилизатора самолета. Влияние балансировки на аэродинамическое качество. Выбор диапазона центровок и площади горизонтального управления.

7. Продольное возмущенное движение. Его характер и разделение на коротко и длинно-периодическое движения.
8. Продольное короткопериодическое движение самолета. Передаточные функции и переходные процессы в короткопериодическом движении. Зависимость собственной частоты и демпфирования от высоты и скорости полета. Производные продольной статической устойчивости m_z^{α} и m_z^{Cy}. Понятие об аэродинамическом фокусе. Влияние на положение фокуса ГО, числа Маха, стреловидности и фюзеляжа. Запас устойчивости по перегрузке. Производные демпфирования $m_z^{\omega_z}$ и $m_z^{\dot{\alpha}}$.
9. Длинно-периодическое движение. Уравнения движения длиннопериодического движения, демпфирование и собственная частота фугоидных колебаний. Запас устойчивости по скорости. Силовая устойчивость по скорости. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.
10. Боковое возмущенное движение и его характер. Корни бокового движения. Изолированное движение рыскания. Переходные процессы при ступенчатом отклонении руля направления. Движение типа «голландский шаг». Спиральное движение. Изолированное движение крена. Переходные процессы при ступенчатом отклонении элеронов. Влияние движения рыскания на движение крена. Критерий □[2].
11. Пространственное движение самолета. Формы взаимодействия продольного и бокового движений. Понятие о сваливании самолета. Скорость сваливания. Признаки сваливания. Демпфирование по крену на закритических углах атаки. Петля самовращения. Понятие о штопоре самолета. Выведение самолета из штопора. Понятие о режиме инерционного вращения самолета.
12. Понятие об управляемости самолета. Характеристики продольной управляемости X^n и P^n. Области хороших оценок летчика. Модель летчика как элемента системы управления. Задачи компенсаторного слежения.
13. Основные понятия теории автоматического регулирования. Основные элементы и типовые звенья САР. Преобразования Фурье и Лапласа и их применение. Передаточные функции САР.
14. Структурная схема САР. Различные виды обратных связей. Коэффициент усиления. Статическая ошибка.
15. Методы анализа устойчивости и переходных процессов САР (алгебраические, матричные операционные, частотные методы, метод корневого годографа). Критерии Михайлова и Найквиста. Запасы устойчивости по амплитуде и фазе.
16. Анализ САР при случайных воздействиях. Основные понятия из теории стационарных случайных процессов. Корреляционная функция, спектральная плотность, ковариационная матрица. Белый шум, форми-

рующий фильтр. Модели турбулентной атмосферы фон Кармана и Драйдена.

17. Анализ устойчивости и автоколебаний нелинейных САР. Метод гармонического баланса.
18. Системы управления. Понятие об автоматизации управления. Иерархическое построение комплекса управления самолетом и задачи, решаемые на разных уровнях.
19. Системы штурвального управления самолетом. Необратимое бустерное управление. Принципиальная схема гидромеханического привода. Принципиальная схема электрогидравлического привода.
20. Основные элементы системы управления. Сигналы, используемые в СУ и их датчики. Вычислительная часть системы управления современного самолета. Датчик перегрузки. Влияние угловых ускорений и угловых скоростей самолета на показания датчика перегрузки. Измерение углового положения самолета и его угловых скоростей. Позиционный, скоростной и лазерный гироскопы.
21. Демпфер тангажа. Автомат продольной устойчивости. Понятие об интегральной системе управления. Демпфер крена. Демпфер рыскания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзерман М.А. Лекции по теории автоматического регулирования. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. – 520 с.
2. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов / Центральный аэрогидродинамический ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского ; Гл. ред. и сост. Г. С. Бюшгенс. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 2016. – 702, [1] с. : ил., портр., табл.
3. Бюшгенс Г. С. Динамика пространственного движения самолета / Г. С. Бюшгенс, Р. В. Студнев. – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с., 1 л. табл. : черт.
4. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Аэродинамика самолета: Динамика продольного и бокового движения. – М.: Машиностроение, 1979. – 352 с. : ил.
5. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. – М.: Физматгиз, 1960. – 296 с.
6. Динамика полета [Текст] : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 652500 "Гидродинамика и динамика полета" / [А. В. Ефремов и др.] ; под ред. Г. С. Бюшгенса. – М.: Машиностроение, 2011. - 775 с. : ил.
7. Доброленский Ю.П., Иванова В.И., Поспелов Г.С. Автоматика управляемых снарядов. – М.: Оборонгиз, 1963. – 550 с.

8. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Учебное пособие для вузов, Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973 – 616 с.
9. Лойцянский, Л. Г. Теоретическая механика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – Ленинград ; Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1932. – Часть 1. Кинематика. – 288 с.
10. Лойцянский, Л. Г. Теоретическая механика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – Москва ; Ленинград : Государственное технико-теоретическое изд-во, 1933. – Часть 2. Динамика. – 456 с.
11. Основы проектирования ракет класса «воздух-воздух» и авиационных катапультных установок для них. / под ред. В.А. Нестерова. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 792 с.
12. Остославский И. В. Динамика полета : Устойчивость и управляемость летательных аппаратов : Учебник для авиац. втузов / И. В. Остославский, И. В. Стражева. – М.: Машиностроение, 1965. – 467 с. : ил.
13. 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.
14. Остославский И.В., Калачев Г.С. Продольная устойчивость самолета. Оборонгиз, 1951. – 368 с. : ил.
15. Остославский, И. В. Аэродинамика самолета / И. В. Остославский. – Москва : Государственное издательство оборонной промышленности, 1957. – 559 с.
16. Проектирование зенитных управляемых ракет. / под ред. И.С. Голубева, В.Г. Светлова. – Изд-во МАИ, 2001. – 730 с.
17. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие :. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Наука, 1981. – Том 4. – Часть 2. – 551 с.
18. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие. – Изд. 10-е, стереотип. – М. : Наука, 1974. – Том 3. – Часть 1. – 324 с. : ил.
19. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие. – Изд. 23-е, стереотип. – М. : Наука, 1974. – Том 1. – 479 с. : ил.
20. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие. – Изд. 21-е, стереотип. – М. : Наука, 1974. – Том 2. – 656 с. : ил.
21. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Наука, 1974. – Том 4. – Часть 1. – 336 с.
22. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие. – Изд. 9-е, стереотип. – М. : Наука, 1974. – Том 3. – Часть 2. – 671 с. : ил.
23. Смирнов, В. И. Курс высшей математики : учебное пособие. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. – Том 5. – 656 с.
24. Феодосьев В.И. Основы техники ракетного полета. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 496 с.
25. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3-х тт. : учебник для вузов : в 2 томах / Г. М. Фихтенгольц. –

16-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022 – Том 2 : Курс дифференциального и интегрального исчисления – 2022. – 800 с.
26. Эткин Б. Динамика полета. - М.: "Машиностроение", 1964. – 494 с.