

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр  
Сибирского отделения Российской академии наук»  
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН



\_\_\_\_\_ А.А. Шпедт

\_\_\_\_\_ 2025г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»**

для поступающих на обучение по образовательной программе высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН

по научной специальности

**2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»**

Красноярск 2025

## **1 Общие положения**

Настоящая программа сформирована на основе федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет общее содержание вступительного испытания по специальной дисциплине «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» при приеме на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

Вступительное испытание по специальной дисциплине «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» нацелено на оценку знаний лиц, поступающих на программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, полученных ими в ходе освоения программ специалитета и (или) магистратуры, и на отбор среди поступающих лиц, наиболее способных и подготовленных к научной и научно-исследовательской деятельности, имеющих потенциал в части генерирования новых идей при решении исследовательских задач и подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

## **2 Форма проведения вступительного испытания**

Вступительное испытание проводится на русском языке в устной форме. Экзаменационный билет содержит три теоретических вопроса. Вопросы соответствуют содержанию вступительного испытания.

## **3 Содержание программы**

### **Общие положения и математическая модель движения летательного аппарата**

Объект исследования и его математическая модель. Состояние баллистического и управляемого летательного аппарата. Параметры управления. Возмущающие воздействия. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. Качество управления и показатели качества. Принцип обратной связи. Принципы управления начальным, текущим и конечным состоянием. Принцип декомпозиции движений. Принцип независимого (автономного) управления. Принцип сбалансированного движения. Принцип оптимальности.

### **Описание движения летательного аппарата**

Общая характеристика систем координат. Определение взаимной ориентации систем координат. Координатные преобразования. Углы Эйлера, углы атаки и скольжения, путевой угол и угол наклона траектории. Управления для углов Эйлера. Матрицы перехода между различными системами координат.

### **Управления движения центра масс летательного аппарата**

Управления движения материальной точки в векторной форме. Скалярная форма записи уравнения движения центра масс летательного аппарата. Уравнение движения в перегрузках. Исходные данные для интегрирования уравнений движения. Уравнения движения летательного аппарата как твердого тела в проекциях на оси связанной системы координат.

### **Силы и моменты, действующие на самолет**

Представление аэродинамических сил с помощью безразмерных аэродинамических коэффициентов. Законы подобия. Упрощение модели аэродинамических сил и моментов. Гипотеза квазистационарности, декомпозиция, метод малых возмущений и линеаризация.

### **Органы управления и механизации летательного аппарата**

Летательный аппарат как объект управления, системы координат, способы задания взаимного положения систем координат, использование матриц направляющих косинусов, использование кватернионов. Общая характеристика, функции, достоинства, недостатки, диапазон и скорость отклонения.

### **Разделение системы управлений движения летательного аппарата**

Разделение системы управлений движения летательного аппарата на две независимые системы. Роль плоскости симметрии самолета в разделении движения. Управления продольного и бокового движения летательного аппарата.

### **Разделение продольного движения летательного аппарата**

Разделение продольного движения летательного аппарата на короткопериодическое и длиннопериодическое движения. Понятие короткопериодического движения летательного аппарата. Передаточные функции и переходные процессы в короткопериодическом движении. Зависимость собственной частоты и демпфирования от высоты и скорости полета. Производные продольной статистической устойчивости  $m \setminus m_{Cuz}$ . Уравнение движения длиннопериодического движения, демпфирование и

собственная частота фугоидных колебаний. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.

### **Характеристики летательного аппарата в короткопериодическом движении**

Собственная частота, демпфирование, переходные процессы, передаточные функции и частотные характеристики летательного аппарата в короткопериодическом движении. Влияние высоты, скорости и положения фокуса и параметров летательного аппарата.

#### **Аэродинамический фокус**

Понятие аэродинамического фокуса. Факторы, влияющие на положение аэродинамического фокуса: ГО и ПГО, число Маха, стреловидность крыла, фюзеляж, упругость конструкции, влияние экрана. Запас устойчивости по перегрузке.

#### **Длиннопериодическое движение**

Длиннопериодическое движение летательного аппарата. Уравнения движения. Собственная частота и демпфирование. Моментная и силовая устойчивость. Влияние изменения высоты на устойчивость движения.

### **Математическая модель бокового движения летательного аппарата**

Определение характеристик бокового движения летательного аппарата. Система уравнения бокового движения. Изолированные движения крена и рыскания. Путевая и поперечная устойчивость.

#### **Взаимное влияние движений крена и рыскания**

Уравнение движения крена, уравнение движения рыскания. Передаточные функции летательного аппарата.

Спиральное движение. Движение типа «голландский шаг». Влияние скольжения на движение крена. Критерий Х.

### **Формы взаимодействия продольного и бокового движений летательного аппарата**

Физические причины взаимодействия продольного и бокового движения летательного аппарата. Кинетическое, аэродинамическое, инерционное и гигроскопическое взаимодействие.

### **Режимы сваливания, инерционного вращения и штопора летательного аппарата**

Понятие сваливания, инертного вращения и штопора летательного аппарата. Причины возникновения сваливания, инертного вращения и

штопора, их влияние на летательный аппарат. Признаки сваливания. Методы выведения из штопора.

### **Общий подход к исследованию динамики винтокрылых летательных аппаратов**

Основы аэродинамики и динамики полета винтокрылых летательных аппаратов. Схемы винтокрылых летательных аппаратов. Основные режимы полета. Навигационные системы и комплексы. Силовые установки. Область эксплуатационных режимов. Динамическая устойчивость винтокрылого летательного аппарата и способы ее улучшения.

### **Управление движения вертолетов**

Силы и моменты, действующие на вертолет. Особенности аэродинамики вертолетов. Органы управления вертолетов. Особенности устойчивости и управляемости вертолетов. Управление несущим винтом. Продольный и поперечный, путевой момент управления вертолетов различных схем. Балансировка винтокрылого летательного аппарата.

## **4 Критерии оценивания ответов поступающих**

Результаты вступительного испытания определяются по 50-бальной шкале (от 0 до 50 баллов). Максимальное количество баллов подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 50 баллов. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 20 баллов.

50 – бальная шкала	Общая характеристика ответа	Критерии оценки
41–50 баллов	Ответ отличный	Ясный, достаточно точный, уверенный ответ на все вопросы экзаменационного билета, дополнительные и уточняющие вопросы. Глубокое знание материала. Свободное владение понятийным аппаратом, научным языком и терминологией. Логически правильное и убедительное изложение ответа. Ответ на вопрос достаточно аргументирован и обоснован, приведены убедительные примеры по каждому вопросу экзаменационного билета.
31-40 баллов	Ответ хороший	Ясный и уверенный ответ на все вопросы билета. Знание ключевых проблем и

		основного содержания материала. Умение оперировать понятиями по своей тематике. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа. Допущены незначительные ошибки в терминологии и при использовании фактического материала. Ответ на дополнительные и уточняющие вопросы.
20-30 баллов	Ответ удовлетворительный	Ответ на все вопросы билета, требующий существенных дополнений. Недостаточно логичное и аргументированное изложение ответа. Фрагментарные, поверхностные знания материала. Затруднения с использованием понятийного аппарата и терминологии. Отсутствуют ответы на дополнительные и уточняющие вопросы.
0 – 19 баллов	Ответ неудовлетворительный	Отсутствие ответа на вопросы билета; ответ только на один из вопросов; попытка ответа на все вопросы без раскрытия основного содержания; подмена ответа на вопросы экзаменационного билета ответом на смежные вопросы. Полное незнание либо отрывочное представление о материале. Неумение оперировать понятиями по своей тематике. Неумение логически определенно и последовательно излагать ответ.

### 5 Контрольные вопросы к экзамену

- 1 Системы координат, используемые для описания движения летательного аппарата. 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 летательного аппарата в связанной системе координат
- 4 Уравнения момента количества движения летательного аппарата в связанной системе координат. Тензор инерции самолета.

- 5 Основные органы управления и механизации самолета.
- 6 Модели атмосферы и атмосферных явлений, важных для динамики полета летательного аппарата.
- 7 Разделение системы уравнений движения самолета на уравнения продольного и бокового движений.
- 8 Методы исследования задач динамики полета: алгебраические, матричные и операционные.
- 9 Средняя аэродинамическая хорда.
- 10 Продольная статистическая устойчивость. Производные  $m_z^a$   $m_z^{Cy}$ . Понятие об аэродинамическом фокусе.
- 11 Влияние положений фокуса ГО, числа Маха, стреловидности, фюзеляжа, упругости конструкции и наличия экрана.
- 12 Запас устойчивости по перегрузке.
- 13 Продольное короткопериодическое движение самолета. Передаточные функции и переходные процессы в короткопериодическом движении.
- 14 Моментальная устойчивость по скорости. Запас устойчивости по скорости.
- 15 Силовая устойчивость по скорости.
- 16 Эффективность руля высоты и стабилизатора.
- 17 Продольная балансировка и управляемость. Балансировочные скорость и угол атаки самолета. Зависимость балансировки от тяги и отклонения органов управления.
- 18 Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.
- 19 Выбор центровки и площади горизонтального управления.
- 20 Понятие об управляемости самолета. Характеристики продольной управляемости  $X^п$  и  $P^п$ . Области хороших оценок летчика.
- 21 Модель летчика как элемента системы управления. Задачи компенсаторного слежения.
- 22 Управления бокового возмущенного движения. Корни бокового движения. Колебательное и спиральное движение.
- 23 Изолированное движение рыскания. Переходные процессы при ступенчатом отклонении руля направления. Движение типа «голландский шаг».
- 24 Изолированное движение крена. Переходные процессы при ступенчатом отклонении элеронов. Влияние движения рыскания на движение крена.

- 25 Понятие об автоматизации управления. Иерархическое построение комплекса управления самолетом и задачи, решаемые на разных уровнях.
- 26 Основные элементы системы управления. Сигналы, используемые в СУ и их датчики. Вычислительная часть системы управления современного самолета.
- 27 Определение перегрузки. Датчик перегрузки. Влияние угловых ускорений и угловых скоростей самолета на показания датчика перегрузки.
- 28 Измерение углового положения самолета и его угловых скоростей. Позиционный, скоростной и лазерный гироскопы.
- 29 Принципиальная схема гидромеханического привода.
- 30 Принципиальная схема электромеханического привода.
- 31 Демпфер тангажа.
- 32 Автомат продольной устойчивости.
- 33 Понятие об интегральной системе управления.
- 34 Демпфер крена.
- 35 Демпфер рыскания.
- 36 Формы взаимодействия продольного и бокового движений.
- 37 Понятие о сваливании самолета. Скорость сваливания. Признаки сваливания.
- 38 Демпфирование по крену на закритических углах атаки. Петля самовращения.
- 39 Понятие о штопоре самолета. Выведение самолета из штопора.
- 40 Понятие о режиме инерционного вращения самолета.

## **6 Список рекомендуемой литературы**

### **6.1 Основная литература**

- 1 Под редакцией Г.С. Бюшгенса. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов. Пекин : Авиаиздательство КНР, 1995.
- 2 Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 1. Аэродинамика самолётов различного назначения. Издание ЦАГИ, 1980г.
- 3 Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 5. Устойчивость и управляемость самолётов различного назначения. Издание ЦАГИ, 1981г.

- 4 Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 6. Методы расчёта характеристик устойчивости и управляемости самолётов. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 5 Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 7. Методы расчёта характеристик системы управления. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 6 Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 8. Специальные задачи динамики полёта. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 7 Под редакцией Г.С. Бюшгенса. Динамика полета. Москва : Наука, 2010.
- 8 Под редакцией Г.С. Бюшгенса. Динамика полета. Москва: Машиностроение - Полет, 2017.
- 9 Г.С. Бюшгенс, Р.В. Студнев. Динамика продольного и бокового движения самолета. Москва : Машиностроение, 1979.
- 10 Г.С. Бюшгенс, Р.В. Студнев. Динамика пространственного движения самолета. Москва : Машиностроение, 1967.
- 11 Ю.П. Гуськов, Г.П. Загайнов. Управление полетом самолетов. Москва : Машиностроение, 1991.
- 12 Под редакцией Г.С.Бюшгенса. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. Москва : Физматлит, 1998.
- 13 И.В. Остославский. Аэродинамика самолета. Москва : Оборонгиз, 1951.
- 14 П.В. Остославский, П.В. Стражева. Динамика полета, устойчивость и управляемость летательных аппаратов. Москва: Машиностроение, 1965.

## **6.2 Дополнительная литература**

- 1 И. А. Михалев, Б.Н. Окоёмов, М.С. Чикулаев. Системы автоматического управления самолетом. Москва : Машиностроение, 1987.
- 2 В.А. Боднер. Системы управления летательными аппаратами . Москва : Машиностроение, 1973.
- 3 Под. ред. А.М. Матвеевко и В.И. Бекасова. Системы оборудования летательных аппаратов. Москва : Машиностроение, 2005.
- 4 Бочаров В.Я., Шумилов И.С. Системы управления самолетов, Энциклопедия машиностроения. Т. IV-XXI. Москва : Машиностроение, 2004.
- 5 С.В. Константинов, П.Г. Редько, С.А. Ермаков. Электрогидравлические рулевые приводы систем управления полетом маневренных самолетов. Москва. Янус-К, 2006г.

- 6 С.В. Константинов, В.Е. Кузнецов, Н.Д. Поляхов, П.Г. Редько, О.И. Трифонова. Электрогидравлические рулевые приводы с адаптивным управлением маневренных самолетов. Санкт-Петербург. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011г.
- 7 Ian Moir, Allan Seabridge. Civil avionics systems . б.м. : AIAA Education series, 2003.
- 8 А. Брайсон, Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценка и управление. Москва, «Мир», 1972г.
- 9 Айзерман М.А. Классическая механика. Москва. Наука. 1980г.
- 10 Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. Москва. Наука. 2001г.
- 11 Э.Г., Удерман. Метод корневого годографа в теории автоматических систем». Москва : Наука, 1972.
- 12 Ю.В.Сидоров, М.В.Федорюк, М.И.Шабунин. Лекции по теории функций комплексного переменного. Москва : Наука, 1982.
- 13 М.А.Лаврентьев, Б.В.Шабат. Методы теории функций комплексного переменного». . Москва : Наука, 1965.
- 14 Ф.Р.Гантмахер. Теория матриц». . Москва : Наука, 1988.
- 15 П.Ланкастер. Теория матриц. Москва : Наука, 1982.
- 16 Р.Беллман. Введение в теорию матриц. Москва : Наука, 1969.
- 17 А.М. Яковлев. Авиационная метеорология. Москва. Транспорт. 1971г.  
Г. Богаткин. Авиационная метеорология. Санкт-Петербург. Издательство РГГМУ. 2005г.Согласовано:

Заведующий кафедрой  
фундаментальных дисциплин  
и методологии науки



О.В. Александрова

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин