

**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:

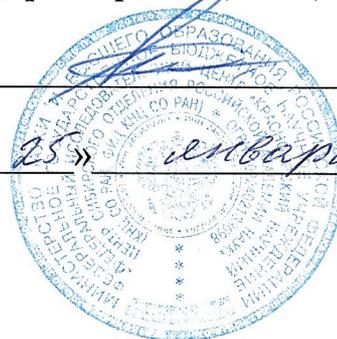
Директор ФИЦ КНЦ СО РАН

А.А. Шпедт

« 25 »

января

2022г.



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ДИНАМИКА, БАЛЛИСТИКА, УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»**

Научная специальность:

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

Отрасль наук:

технические науки

## 1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области динамики, баллистики, управления движением летательных аппаратов.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

## **2 Содержание программы кандидатского экзамена**

### **2.1 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.

### **2.2 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.

### **2.3 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.

### **2.4 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.

### **2.5 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.

### **2.6 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.

## **2.7 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  $m \backslash m_{Cuz}$ . Уравнение движения длиннопериодического движения, демпфирование и собственная частота фугоидных колебаний. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.

## **2.8 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.

## **2.9 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.

## **2.10 Длиннопериодическое движение.**

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

## **2.11 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.

## **2.12 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.

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

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

## **2.14 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.

## **2.15 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.

## **2.16 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.

## **3 Перечень вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»**

- 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  $X^H$  и  $R^H$  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.

#### 4 Критерии оценивания ответа

Отлично	Соответствие критерию при ответе на все вопросы билета и дополнительные вопросы.
Хорошо	Имели место небольшие упущения в ответах на вопросы, существенным образом не снижающие их качество или имело место существенное упущение в ответе на один из вопросов, которое затем было устранено аспирантом с помощью уточняющих вопросов.
Удовлетворительно	Имеет место существенное упущение в ответах на вопросы, часть из которых была устранена аспирантом с помощью уточняющих вопросов.
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета.

#### 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение

##### 5.1 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.

## 5.2 Дополнительная литература

- 1 И. А. Михалев, Б.Н. Окоемов, М.С. Чиклаев. 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.
- 18 Г. Богаткин. Авиационная метеорология. Санкт-Петербург. Издательство РГГМУ. 2005г.

### **5.3 Перечень современных профессиональных баз данных и информационных Интернет ресурсы**

- 1 ФИЦ КНЦ СО РАН : [сайт]. – Красноярск, 2019 – . – URL: <http://ksc.krasn.ru>; <https://ksc.krasn.ru/scientific-innovative-activity/central-scientific-library> (дата обращения: 08.06.2022). – Текст: электронный.
- 2 Гарант : справочная правовая система. – Москва, 1990 – . – URL: <http://garant.ru> - Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.
- 3 Консультант врача: электронная медицинская библиотека: [сайт]. – Москва – . – URL: <https://www.rosmedlib.ru> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 4 Электронные БД ЦНБ ФИЦ КНЦ СО РАН ONLINE : электронно-библиотечная система каталогов : [сайт]. – Красноярск, 2010 – . – URL: [http://irbiscorp.spsl.nsc.ru/webirbis-cgi-cnbn-new/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=SCBK&P21DBN=SCBK&S21FMT=briefwebr&Z21ID](http://irbiscorp.spsl.nsc.ru/webirbis-cgi-cnbn-new/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=SCBK&P21DBN=SCBK&S21FMT=briefwebr&Z21ID) (дата обращения: 08.06.2022). – Текст : электронный.
- 5 Elibrary : научная электронная библиотека : [сайт]. – Москва, 2000– . – URL: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 6 ГПНТБ СО РАН: [сайт]. – URL: <http://www.spsl.nsc.ru> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
- 7 ScienceDirect: [сайт]. – . – URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

- 8 AMERICAN PHYSICAL SOCIETY: [сайт]. – . – URL: <https://journals.aps.org> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 9 WILEY: [сайт]. – . – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 10 OXFORD UNIVERSITY PRESS: [сайт]. – . – URL: <https://academic.oup.com/journals> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 11 Scopus: [сайт]. – . – URL: <http://www.scopus.com> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных  
дисциплин и методологии науки



В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин