

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования**

**РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

**ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ**

**ПРИНЯТА**

Ученым Советом

инженерной академии

Протокол № 2022-08/22-03/2 от 25.03.2022

## **ПРОГРАММА**

**вступительного испытания в аспирантуру**

**по специальности:**

**2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (на русском языке)**

**2.5.16 Dynamics, ballistics, aircraft motion control (на английском языке)**

Программа вступительных испытаний по специальной дисциплине для поступающих в аспирантуру по направлению 2.5. «Машиностроение» по специальности 2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (на русском и английском языках) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта к обязательному минимуму, необходимому для полноценной подготовки кадров высшей квалификации по данному направлению.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

При поступлении в аспирантуру кандидат на поступление в аспирантуру должен иметь диплом о высшем образовании (специалитет, магистратура) по выбранной, родственной или профильной специальности и должен подготовить реферат или иметь опубликованные работы по специальности.

В ходе экзамена проверяется владение следующими профессиональными и общекультурными компетенциями:

- знаниями и умениями в области организации научно-исследовательской работы, методики проведения и обработки результатов эксперимента;
- знаниями физико-математических основ специальности;
- способностью и навыком применения системного подхода к процессам и явлениям.

На экзамене поступающий должен продемонстрировать следующие знания и умения:

Знания и умения поступающий демонстрирует в ответах на экзаменационные вопросы.

# ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ПРОГРАММЫ

## Математика

1. Необходимые и достаточные условия экстремума в конечномерных пространствах. Производная функции одной переменной, ее свойства и геометрический смысл. Производная обратной функции.
2. Градиентные методы в конечномерных пространствах с различным выбором шага. Метод скорейшего спуска. Метод покоординатного спуска. Метод штрафных функций.
3. Метод сопряжённых градиентов.
4. Нормированные и банаховы пространства. Сопряжённое пространство. Производная по направлению, вариация по Лагранжу, производная по Гато, производная по Фреше, строгая дифференцируемость. Их связь и контрпримеры на дифференцируемость.
5. Функции многих переменных, полный дифференциал и его геометрический смысл. Достаточные условия дифференцируемости. Градиент.
6. Определенный интеграл Римана и его свойства. Теоремы о среднем.
7. Криволинейные и поверхностные интегралы.
8. Теорема о конечном приращении. Необходимое условие локального минимума в терминах производной по направлению. Производные высших порядков. Теорема о суперпозиции.
9. Принцип Лагранжа для конечномерных гладких задач с ограничениями типа равенств, с ограничениями типа равенств и неравенств. Необходимые и достаточные условия.
10. Теоремы о необходимых и достаточных условиях экстремума II порядка для конечномерных гладких задач с ограничениями типа равенств, с ограничениями типа равенств и неравенств.
11. Простейшая задача классического вариационного исчисления. Уравнение Эйлера-Лагранжа. Первые интегралы задачи. Задача о брахистохроне.
12. Дифференциальное уравнение первого порядка. Теорема о существовании и единственности решения. Линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Линейное однородное дифференциальное уравнение. Линейная зависимость функций. Фундаментальная система решений. Определитель Вронского. Линейное неоднородное уравнение.
13. Задача Больца, изопериметрическая задача, задача с подвижными концами. Необходимые условия слабого локального минимума I порядка.
14. Простейшая задача классического вариационного исчисления. Необходимые и достаточные условия II порядка: условия Лежандра, Якоби, Вейерштрасса.
15. Задачи Лагранжа и оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина.

## Информатика и численные методы

16. Основные понятия объектно-ориентированного программирования.
17. Структурная схема ПК и функциональные характеристики персонального

- компьютера.
18. Определения, свойства и правила составления алгоритмов.
  19. Форма записи на языке С и блок-схема операторов цикла.
  20. Форма записи на языке С и блок-схема условных операторов.
  21. Структура и задачи современных операционных систем.
  22. Метод стрельбы для численного решения краевых задач принципа максимума. Вычислительная схема. Продолжение решения по параметру.
  23. Методы численного решения задачи Коши.
  24. Методы численного решения СЛАУ.
  25. Многомерный модифицированный метод Ньютона.
  26. Динамическое программирование. Схема Беллмана.
  27. Динамическое программирование. Схема Моисеева.
  28. Квадратурные формулы. Вычисление нерегулярных интегралов.
  29. Построение разностных схем методом неопределённых коэффициентов.

## **II. Специальная часть**

### **Основные разделы программы вступительного испытания для поступающих на образовательную программу 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»**

#### ***Основные понятия и определения***

30. Общая теория движения летательных аппаратов.
31. Системы координат и углов для определения положения летательного аппарата в пространстве. Системы небесных координат. Геоцентрические прямоугольные системы координат
32. Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете. Земная атмосфера и ее свойства.
33. Аэродинамические силы и моменты.
34. Форма и гравитационное поле Земли. Сила тяжести.
35. Управляющие силы и моменты.
36. Возмущающие силы и моменты.

#### ***Механика космического полета***

37. Общие уравнения движения. Уравнения движения в векторной форме.
38. Уравнения движения в координатной форме. Уравнения движения летательного аппарата с учетом формы и вращения Земли. Упрощение уравнений движения.
39. Конкретизация понятия «Движение КА». Проблема выбора траектории КА. Проблема выбора условий старта КА.
40. Азимут запуска ракеты-носителя. Выбор азимута запуска ракеты-носителя.
41. Орбита спутника Земли. Трасса искусственного спутника Земли.
42. Задача двух тел. Законы Кеплера.

43. Уравнения движения в задаче двух тел. Интегралы задачи двух тел. Интеграл энергии. Интеграл площадей. Интеграл Лапласа. Соотношения между интегралами задачи двух тел.
44. Уравнение орбиты.
45. Круговая и параболическая скорости.
46. Геометрические характеристики кеплеровских орбит. Эллиптическая орбита. Параболическая орбита. Гиперболическая орбита.
47. Координаты и скорость в плоском кеплеровском движении.
48. Кеплеровы элементы. Кеплеровская орбита в пространстве. Задачи расчета кеплеровских элементов орбиты по начальным условиям, заданным в АГЭСК.
49. Уравнение Кеплера. Уравнение Кеплера для эллиптической орбиты.
50. Период обращения КА по эллиптической орбите.
51. Уравнение Кеплера для параболической орбиты.
52. Уравнение Кеплера для гиперболической орбиты.

### ***Возмущенное движение космических аппаратов***

53. Общая характеристика возмущенного движения и самих возмущений. Внешние по отношению к ЛА причины, разброс исходных данных, внутренние процессы в ЛА. Вековые и периодические возмущения.
54. Метод оскулирующих элементов. Момент оскуляции, оскулирующая орбита, оскулирующая плоскость, оскулирующие элементы. Уравнениями Ньютона-Эйлера. Преимущества метода. «Вековые» члены.
55. Модели гравитационного поля Земли. Центральное (ньютоновское) поле. Гравитационная постоянная. Потенциал, силовая функция. Модель гравитационного поля сферического тела. Модели гравитационного поля тел более сложной формы. Полиномы Лежандра. Зональные гармоники. Тессеральные гармоники. Секториальные гармоники.
56. Геоид. Определение понятия «геоид». Применение. Эллипсоид. Параметры земного эллипсоида. Эллипсоид вращения. Трехосный эллипсоид. Референц-эллипсоид. Эллипсоид Ф.Н.Красовского. Современные общеземные эллипсоиды и их параметры.
57. Действия возмущений, вызываемых нецентральностью гравитационного поля (учёт сжатия Земли). Возмущение фокального параметра. Возмущение эксцентриситета. Возмущение аргумента перицентра. Возмущение долготы восходящего узла. Возмущение наклона орбиты.
58. Аэродинамическое воздействие на КЛА. Основной возмущающий аэродинамический фактор. Плотность атмосферы. Атмосферные возмущения. Время существования КА на орбите ИСЗ. Критическая орбита. Влияние вращения атмосферы на эволюцию орбиты.
59. Возмущения, вызываемые притяжением Солнца и Луны. Возмущения, вызываемые давлением солнечного света.
60. Возмущения, вызываемые отклонениями начальных условий от расчётных. Отклонения начального расстояния от центра Земли до КА на орбите ИСЗ; отклонение радиальной скорости; отклонение углового положения на орбите;

- отклонения КА от плоскости орбиты.
61. Период обращения. Драконический, сидерический, аномалистический, оскулирующий, невозмущённый периоды обращения.
  62. Реальная высота полёта КЛА.
  63. Особенности численного интегрирования уравнений движения ИСЗ.

### ***Маневрирование космических аппаратов***

64. Межорбитальные перелеты. Характеристическая скорость. Уравнение Циолковского.
65. Классификация маневров КА.
66. Одноимпульсные маневры. Изменение наклона круговой орбиты. Плоский перелет между круговой и эллиптической орбитами, имеющими точку касания. Плоский перелет между пересекающимися круговой и эллиптической орбитами. Плоский перелет между произвольными кеплеровскими орбитами.
67. Двухимпульсные маневры. Перелет между компланарными круговыми орбитами. Гомановский перелет. Перелет между некомпланарными круговыми орбитами. Апсидальные перелеты между эллиптическими орбитами.
68. Трехимпульсные перелеты. Биэллиптическая схема перелета между компланарными круговыми орбитами. Биэллиптический пространственный перелет.
69. Разбиение импульсов скорости для снижения потерь характеристической скорости. Схема выведения на ГСО с разбиением перигейного импульса.

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. Т.1, Т.2 -М., 2006
2. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: Учеб. пособие. В 3 т. 2003, 2006
3. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа. - 7-е изд. - М.: Физматлит, 2004, 2006. - 572 с.
4. Ильин В.А., Ким Г.Д. Линейная алгебра и аналитическая геометрия. Учебник. - М.: Изд-во МГУ, 2007. - 400 с.
5. Понтрягин Л.С. и др. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1975.
6. Таненбаум Э. Архитектура компьютера / Э.Таненбаум; науч. ред. Е.Бочкарева; пер. с англ.: Ю. Гороховский, Д. Шинтяков. - 5-е изд. – СПб.: Питер, 2007. - 844 с.
7. Гордеев, В.В. Операционные системы: учебник для вузов / В.В. Гордеев. - 2-е изд. - СПб.: Питер, 2009. - 416с
8. Павловская Т.А. С/С++. Программирование на языке высокого уровня: Учебник для вузов для магистров и бакалавров. - СПб: Питер, 2013. - 461 с. (Павловская Т.А. С/С++. Программирование на языке высокого уровня. СПб, Питер, 2006)

9. Ахо А., Хопкрофт Д., Ульман Д. Структуры данных и алгоритмы. М., изд. Вильямс, 2003.
10. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. - М.: Наука, 1990. - 448 с.
11. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. - М.: Ленанд, 2015. - 544 с.
12. Машиностроение: Энциклопедия в сорока томах: Справочное издание. Т.4-22; Кн.1: Ракетно-космическая техника / Председ. ред. совета К.В.Фролов; Отв. ред. В.П.Легостаев. - М.: Машиностроение, 2012. - 925 с
13. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н., Баллистика и навигация космических аппаратов, М., Дрофа, 2004, 544 с.
14. Динамика полета: Учебник для студентов высших учебных заведений/А.В. Ефремов, В.Ф. Захарченко, В.Н. Овчаренко и др.; под ред. Г.С. Бюшгенса. – М.: Машиностроение, 2011. 776 с.: ил.
15. Малышев В.В., Куршин В.В., Ревнивых С. Г. Введение в спутниковую навигацию. – Изд-во МАИ-Принт, 2008.
16. Команавтика XXI века. Под редакцией Б.Е. Чертока.-М. Изд-во РТСофт. 2010.- 880с.
17. Баранов А.А. Маневрирование космических аппаратов в окрестности круговой орбиты.- М.Изд-во СПУТНИК,2016. – 512с.
18. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Наука, 1987.
19. Васильев Ф.П. Методы оптимизации / Васильев Ф.П. – М.: Факториал Пресс, 2002. – 824 с.
20. Малышев В.В., Дарнопых В.В. Оперативное планирование целевого функционирования космических систем наблюдения и связи. – М.: Изд-во МАИ, 2017, 294с.
21. Пичхадзе К.М., Малышев В.В. Математическое обеспечение для проектно-баллистического исследования динамики неуправляемого движения спускаемых аппаратов. – М.: Изд-во МАИ монография, 2018, 218с.
22. Бобронников В. Т., Козорез Д. А., Красильщиков М. Н., Лебедев А.А., Малышев В.В. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов. М.: Альянс, 2013. 403 с.
23. Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полетами. Учебное пособие в 2-х частях. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2009
24. Сухой Ю.Г. Коррекции орбит геостационарных спутников: В 3-х частях. Часть 1. Особенности управления орбитальным движением и возмущения орбит геостационарных спутников: Пособие для специалистов. – М: Издательство «Спутник+», 2011.

## **ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

Вступительные испытания по специальной дисциплине при приеме на обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре на специальность 2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (на русском и английском языках) проводятся в форме теста, формируемого электронной системой сопровождения экзаменов (ЭССЭ) методом случайной выборки заданий из подготовленного банка тестовых заданий, с автоматической проверкой ЭССЭ правильности выполненных заданий (компьютерный тест).

Компьютерный тест состоит из 50 вопросов с множественным выбором ответа: с выбором одного правильного ответа из множества, вопросы на соответствия. На выполнение всего теста отводится 100 минут.

Тест оценивается из расчета 100 баллов. Для вопросов с выбором одного правильного ответа и вопросов на соответствия: за правильный ответ начисляется 2 балла, за неправильный - ноль.