

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

2026 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, 2026 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

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 (экзамена) и собеседования по теме вступительного реферативного исследования.

Критерии оценки результатов испытания:

Оценки	Критерии
Отлично	Даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы. Реферат выполнен самостоятельно, в тексте отсутствуют неправомерные заимствования; в полной мере выявлена способность к академической работе; планируемая тематика актуальна и соответствует заявленной научной специальности; оформление соответствует требованиям
Хорошо	1. Даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы. 2. Ответы на вопросы даются полно, но логическая последовательность не всегда соблюдается. Реферат выполнен самостоятельно, в тексте отсутствуют неправомерные заимствования; присутствуют незначительные замечания относительно

	способности к академической работе; планируемая тематика соответствует заявленной научной специальности
Удовлетворительно	1. Даны в основном правильные ответы на вопросы. 2. Ответы на вопросы даются в основном полно, но при слабом логическом оформлении высказываний. Реферат выполнен самостоятельно, в тексте присутствуют неправомерные заимствования в небольшом объеме; присутствуют значительные замечания относительно способности к академической работе; планируемая тематика соответствует заявленной научной специальности, но требует значительной корректировки; имеются замечания по оформлению
Неудовлетворительно	Слабое знание и понимание рассматриваемого вопроса, со значительными ошибками. Реферат не представлен или реферат выполнен не самостоятельно, в тексте присутствуют неправомерные заимствования в большом объеме; присутствуют значительные замечания относительно способности к академической работе; планируемая тематика не соответствует заявленной научной специальности; оформление не соответствует требованиям

СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Вопросы к вступительному экзамену

1. Производная и дифференциал функций одной и нескольких переменных. Производные и дифференциалы высших порядков. Формула Тейлора для функции одной и нескольких переменных. Радиус сходимости степенных рядов.
2. Кинематика материальной точки и твердого тела. Сложное движение точки и твердого тела. Преобразование скоростей и ускорений при переходе от одной системы координат к другой.
3. Составляющие математической модели летательного аппарата. Основные системы координат используемые для описания движения ЛА. Ос-

новные углы, используемые для описания положения, ориентации и вектора скорости самолета, матрицы перехода между системами координат. Уравнения Эйлера для углов рыскания, тангажа и крена. Траекторные уравнения ЛА.

4. Векторы и операции над ними. Векторное пространство. Линейная зависимость и независимость векторов. Размерность, базис векторного пространства.
5. Принцип относительности Галилея. Основные законы Ньютоновой механики. Инерциальная и неинерциальная системы координат. Первый, второй и третий законы Ньютона. Основные виды сил. Внутренние и внешние силы. Инерционные силы.
6. Уравнения движения самолета как материальной точки и твердого тела. Тензор инерции самолета.
7. Матрицы и операции над ними. Ранг матрицы. Определитель квадратной матрицы, его свойства. Собственные векторы и собственные значения линейного преобразования. Клетка Жордана. Теорема Гамильтона Кэли. Функции от матриц. Компонентные матрицы.
8. Система сил, приложенных к твердому телу. Сведение системы сил к главному вектору (равнодействующей сил) и главному моменту (паре сил).
9. Аэродинамические силы и моменты, действующие на летательный аппарат. Математическая модель и безразмерные коэффициенты сил и моментов. Методы упрощения математической модели. Понятие о средней аэродинамической хорде.
10. Системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), матричная запись СЛАУ. Формулы Крамера для решения СЛАУ. Метод Гаусса. Теорема Кронекера-Капелли. Фундаментальное решение системы линейных алгебраических уравнений. Аннулирующее пространство.
11. Работа и мощность. Потенциальное поле сил. Поле центральных сил. Кинетическая и потенциальная энергия. Теорема Кёнига.
12. Основные характеристики атмосферы. Влияние обледенения на аэродинамические характеристики самолета. Модели атмосферной турбулентности. Виды ветровых порывов. Сдвиг ветра. Спутный след.

13. Линейное преобразование, матрица линейного преобразования. Преобразование координат. Изменение матрицы линейного преобразования при переходе к новому базису. Аффинные преобразования и их виды.
14. Законы сохранения энергии, массы, импульса. Связь законов сохранения со свойствами пространства-времени.
15. Основные органы управления ЛА самолетного типа. Функции, расположение, основные характеристики – диапазон отклонения и скорость.
16. Понятие о вероятности. Условная вероятность. Функции распределения. Математическое ожидание и дисперсия. Нормальное распределение и центральная предельная теорема.
17. Момент силы и импульса. Уравнения моментов. Закон сохранения момента импульса.
18. Аэродинамический расчет летно-технических характеристик самолета. Метод тяг. Метод мощностей. Дальность и продолжительность полета самолета. Формула Бреге.
19. Понятие о случайном процессе. Одномерный случайный процесс, корреляционная функция и спектральная плотность. Многомерный случайный процесс, ковариационная матрица.
20. Тензор инерции твердого тела. Формула для момента инерции относительно произвольной оси. Главные оси инерции. Кинетическая энергия и момент импульса твердого тела.
21. Маневренность самолета в вертикальной плоскости. Разгон и торможение в горизонтальном полете. Планирование и пикирование. Маневренность самолета в горизонтальной плоскости. Установившийся и неуставившийся вираж. Вираз с креном и скольжением. Взлетно-посадочные характеристики самолета.
22. Функциональные ряды. Равномерная сходимоть функционального ряда. Тригонометрические ряды Фурье. Понятие о норме в функциональном пространстве. Нормы H_2 и H_∞ .
23. Кинематические и динамические уравнения Эйлера движения твердого тела. Случаи интегрируемости в задаче вращения твердого тела вокруг

неподвижной точки. Регулярная прецессия гироскопа по инерции. Устойчивость вращения относительно главных осей.

24. Основные аэродинамические компоновки и схемы управления ракет в атмосферном полёте. Теория ступенчатых ракет. Пассивный участок полёта головной части баллистической ракеты. Методы наведения ракет (кривые погони, параллельное сближение, пропорциональное наведение) и определение потребных перегрузок при наведении.
25. Системы линейных дифференциальных уравнений (СЛДУ) с постоянными коэффициентами, каноническая форма записи. Общее решение СЛДУ. Начальные условия. Представление решения в виде функций от матриц. Преобразование Лапласа и операционный метод решения СЛДУ.
26. Связи и их классификация. Обобщенные координаты.
27. Принципы построения систем стабилизации ракет, как твердого тела. Методы и законы управления траекторным движением. Информационное обеспечение законов управления.
28. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных второго порядка: уравнение колебаний струны; уравнение теплопроводности. Постановка краевых задач.
29. Возможные перемещения системы. Степени свободы системы. Определение положения равновесия. Принцип возможных перемещений и его применение.
30. Установившиеся режимы и линеаризация уравнений движения самолета. Разделение уравнений движения на системы уравнений продольного и бокового движений для аппаратов с плоскостью симметрии. Продольная балансировка самолета, балансирующие скорость, угол атаки, тяга и отклонение стабилизатора. Влияние балансировки на аэродинамическое качество. Выбор диапазона центровок и площади горизонтального управления.
31. Классификация уравнений в частных производных второго порядка. Приведение уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами к каноническому виду.
32. Понятие об устойчивости равновесия и движения. Теорема Лагранжа-Дирихле. Первая и вторая теоремы Ляпунова об устойчивости положения равновесия консервативных систем.

33. Продольное возмущенное движение самолета. Его характер и разделение на короткопериодическое и длиннопериодическое (фугоидное) движения.
34. Комплексные числа, комплексная плоскость, модуль и аргумент комплексного числа. Функции комплексного переменного, непрерывность, дифференцируемость, производная функции, условия Коши-Римана. Понятие аналитичности функции.
35. Малые колебания с одной степенью свободы – период, частота, фаза и амплитуда.
36. 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 $m_z^{C_y}$. Понятие об аэродинамическом фокусе. Влияние на положение фокуса ГО, числа Маха, компоновки, упругости конструкции и экранного эффекта. Запас устойчивости по перегрузке. Производные демпфирования $m_z^{\omega_z}$ и $m_z^{\dot{\alpha}}$.
37. Элементарные функции комплексного переменного (линейная и дробно-линейная функции, экспонента и логарифм, степень с произвольным показателем, функция Жуковского, тригонометрические и гиперболические функции).
38. Вынужденные колебания и резонанс.
39. Длиннопериодическое движение. Уравнения движения длиннопериодического движения, демпфирование и собственная частота колебаний. Запас устойчивости по скорости. Силовая устойчивость по скорости. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.
40. Ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек и их примеры.
41. Формулировка теоремы Ляпунова об устойчивости по линейному приближению. Критерий Рауса-Гурвица.
42. 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 λ^2 .

43. Вычеты, их вычисление. Применение вычетов к вычислению интегралов. Принцип аргумента и его применение для анализа устойчивости. Критерий Найквиста.
44. Реактивное движение. Формулы Мещерского и Циолковского.
45. 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.
46. Конформные отображения, реализуемые элементарными функциями. Применение к задачам гидродинамики.
47. Принцип Даламбера.
48. 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.
49. Экстремумы функции одной и нескольких переменных. Необходимые и достаточные условия экстремума. Условный экстремум функции и метод множителей Лагранжа. Линейное программирование для поиска экстремума.
50. Принцип наименьшего действия.
51. Основные понятия теории автоматического регулирования. Основные элементы и типовые звенья САР. Преобразования Фурье и Лапласа и их применение. Передаточные функции САР.
52. Задачи вариационного исчисления. Уравнение Эйлера-Лагранжа.
53. Движение гироскопа под действием силы тяжести. Вынужденная регулярная прецессия.
54. 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.

55. Метод Ньютона решения нелинейных задач. Метод сопряженных градиентов для поиска экстремума.
56. Уравнения Лагранжа второго рода.
57. Системы управления. Понятие об автоматизации управления. Иерархическое построение комплекса управления самолетом и задачи, решаемые на разных уровнях.
58. Методы Эйлера и Рунге-Кутты решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.
59. Обобщенные координаты и импульсы. Уравнения Гамильтона.
60. 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. Баженов С.Г. Динамика полета в примерах и задачах. – М.: «Издательство „Наука“», 2025. – 320 с.
4. Баженов С.Г. Основы динамики полета. М.: Физматлит, 2021. – 432 с.
5. Бюшгенс Г. С. Динамика пространственного движения самолета / Г. С. Бюшгенс, Р. В. Студнев. – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с., 1 л. табл. : черт.
6. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Аэродинамика самолета: Динамика продольного и бокового движения. – М.: Машиностроение, 1979. – 352 с. : ил.
7. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. – М.: Физматгиз, 1960. – 296 с.
8. 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.

9. 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.
10. Лойцянский, Л. Г. Теоретическая механика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – Ленинград ; Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1932. – Часть 1. Кинематика. – 288 с.
11. Лойцянский, Л. Г. Теоретическая механика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – Москва ; Ленинград : Государственное технико-теоретическое изд-во, 1933. – Часть 2. Динамика. – 456 с.
12. 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.
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.

Требования к вступительному реферату

Реферат по теме планируемого научного исследования в рамках избранной научной специальности должен давать развернутое представление о проблематике будущей диссертации и соответствовать паспорту научной специальности. Тема реферата формулируется как рабочая тема будущей диссертации.

Тема вступительного реферата абитуриента должна соответствовать:

- группе научных специальностей;
- научной специальности программы аспирантуры;
- сфере научных интересов абитуриента.

Вступительный реферат должен быть написан абитуриентам самостоятельно, обладать внутренним единством, содержать научные проблемы и положения, выдвигаемые для последующей научно-исследовательской деятельности.

Реферат для поступления в аспирантуру выполняется в объеме от 20 страниц А4 с полями 3 см. с левого края, 1,5 см. с правого края, по 2 см. сверху и снизу листа. Выравнивание по ширине. Интервал - 1,5, кегль - 14, шрифт - TimesNewRoman, отступ абзаца - 1 см.

Цель написания реферата:

- показать, что поступающий в аспирантуру имеет необходимые теоретические и практические знания по выбранному направлению научной деятельности;
- продемонстрировать соответствующий уровень владения основами научной методологии;
- продемонстрировать наличие самостоятельного исследовательского мышления.

Структура реферата:

- Содержание.
- Аннотация.
- Введение (не более 3-4 страниц). Во введении необходимо обосновать выбор темы, ее актуальность, очертить область исследования, объект и предмет исследования, основные цели и задачи исследования.
- Основная часть состоит из 2-3 разделов. В них раскрывается суть исследуемой проблемы, проводится обзор литературы по предмету исследования, в котором дается характеристика степени разработанности проблемы и

авторская аналитическая оценка основных теоретических подходов к ее решению. Изложение материала не должно ограничиваться лишь описательным подходом к раскрытию выбранной темы. Оно также должно содержать собственное видение рассматриваемой проблемы и изложение собственной точки зрения на возможные пути ее решения.

- Заключение (1-2 страницы). В заключении кратко излагаются методы дальнейшего исследования, а также предполагаемые научные результаты.

- Список использованной литературы (не меньше 15 источников). Список использованных источников оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 и содержит сведения об источниках, использованных при подготовке реферата. Ссылки на литературу по тексту оформляются в форме постраничных сносок (предпочтительнее) или с указанием в квадратных скобках номера источника в списке литературы и цитируемой страницы (например, [12, с. 352]). В список использованной литературы рекомендуется включать работы отечественных и зарубежных авторов, в том числе статьи, опубликованные в научных журналах в течение последних 3-х лет.

- Приложение (при необходимости).

Поступающий представляет вступительный реферат на бумажном носителе приемной комиссии не позднее 5 рабочих дней до даты первого вступительного испытания в аспирантуру.

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

Реферат

на тему:

**МЕТОДЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ОТРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА КРЫЛЬЯХ ДО-
ЗВУКОВЫХ САМОЛЕТОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ДИАПАЗОНЕ
СКОРОСТЕЙ**

Группа научных специальностей: 1.1. «Математика и механика»

**Научная специальность: 2.5.12. «Аэродинамика и процессы теплообмена
летательных аппаратов»**

Автор:

Инженер НИО-2

Петров Петр Петрович

Научный руководитель:

Зам. начальника НИО-2,

д.ф.-м.н., проф.

Иванов Иван Иванович

Жуковский 2026

Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменения	Реквизиты доку- мента об утвержде- нии изменения	Дата вве- дения из- менения