

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
**«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ
РОБОТОТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ»**
(ЦНИИ РТК)

ПРОГРАММА

**вступительного испытания
по специальной дисциплине**

**для поступающих на обучение по программам подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

научная специальность

2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Санкт-Петербург

2025

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных требований по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно- педагогических кадров в аспирантуре.

2. Структура вступительного экзамена

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Программа содержит перечень тем (вопросов) по специальной дисциплине соответствующей научной специальности **2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы**

Вступительное испытание по специальной дисциплине оценивается экзаменационной комиссией по пятибалльной шкале (отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно).

3. Содержание экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание
Раздел 1. Основы механики и теории автоматического управления		
1.	Тема 1. Основы механики	Механическая система. Постановка и решение задач статики, кинематики и динамики систем тел при наличии связей. Степени свободы и обобщенные координаты. Составление выражений для кинетической и потенциальной энергии. Уравнения Лагранжа второго рода. Прямая и обратная задачи динамики. Типовые механизмы, их назначение и задачи их расчета. Кинематика механизмов, расчет распределений скоростей и ускорений. Расчеты деформаций звеньев механизмов. Колебания механизмов, расчет собственных частот и форм свободных колебаний. Расчет режимов вынужденных колебаний. Программные движения систем. Линеаризация уравнений динамики. Приводы и их типовые характеристики, методы управления приводами. Достоинства и недостатки пневмо-, гидро- и электроприводов. Механическая система, как объект управления.
2.	Тема 2. Основы теории автоматического управления	Структуры систем автоматического управления механическими системами. Учет ограничений по кинематическим параметрам, силам и моментам.
Раздел 2. Основы мехатроники		
3.	Тема 3. Предпосылки появления робототехники и мехатроники и ключевые факторы развития.	Краткая история становления мехатроники. Синтез наук в мехатронике (электроники, механики, компьютерных технологий). Предпосылки появления робототехники и мехатроники и ключевые факторы развития. Основные понятия, термины и определения, стандартизация в робототехнике. Принцип синергетической интеграции элементов робототехнических и мехатронных систем. Примеры мехатронных модулей и подсистем, их назначение, классификация, типовые кинематические схемы, особенности компоновочных решений и конструкций.
4.	Тема 4. Мехатронные устройства и системы	Прецизионные механические системы в мехатронике; особенности конструкции и компоновки. Мехатронные устройства в микросистемном исполнении. Обобщенная структура типовой мехатронной системы. Принцип программно-аппаратной интеграции в реализации мехатронной системы. Социальное и экономическое значение

		достижений мехатроники.
Раздел 3. Основы робототехники		
5.	Тема 5. Промышленные роботы, вспомогательные и технологические роботы	Основные этапы развития робототехники. Функциональное назначение и классификация роботов по областям применения. Промышленные роботы, вспомогательные и технологические роботы. Основные операции, выполняемые технологическими роботами: сварка (шовная и точечная), окрашивание, сборка, механообработка, контроль и измерения. Типовые конструкции отечественных и зарубежных манипуляционных промышленных роботов. Классификация промышленных роботов по типу кинематической схемы. Переносные и ориентирующие степени свободы.
	роботы, вспомогательные и технологические роботы	вспомогательные и технологические роботы. Основные операции, выполняемые технологическими роботами: сварка (шовная и точечная), окрашивание, сборка, механообработка, контроль и измерения. Типовые конструкции отечественных и зарубежных манипуляционных промышленных роботов. Классификация промышленных роботов по типу кинематической схемы. Переносные и ориентирующие степени свободы.
6.	Тема 6. Мобильные роботы и телеоператоры.	Роботы для экстремальных условий: для выполнения операций под водой, в космическом пространстве, при ликвидации последствий аварий и т.д. Мобильные роботы и телеоператоры. Транспортные роботы на колесных и гусеничных шасси. Шагающие роботы, экзоскелеты. Роботы, перемещающиеся по наклонным, вертикальным и произвольно ориентированным в пространстве поверхностям при различных принципах удерживания. Обобщенная функциональная схема, элементы и подсистемы роботов: манипуляторы; захватные устройства; рабочий инструмент; силовые агрегаты; механизмы разгрузки; системы осязания; управляющие устройства; средства передвижения. Демонстрационные роботы и особенности требований к ним.
Раздел 4. Математические модели роботов, манипуляционных механизмов и мехатронных систем		
7.	Тема 7. Методы решения задач о положении и кинематики звеньев механизмов	Типовые системы координат, согласование систем координат с кинематическими схемами роботов, однородные координаты. Методы решения задачи о положении звеньев манипулятора; прямая и обратная задачи геометрии и кинематики манипулятора. Определение обобщенных координат, скоростей и ускорений звеньев манипулятора и рабочих органов. Особенности решения обратной задачи кинематики для механизмов со структурной избыточностью. Уравнения кинестатики манипуляционного механизма.
8.	Тема 8. Методы математического моделирования уравнений динамики манипуляционного механизма.	Уравнения динамики манипулятора в матричной форме. Компьютерное составление уравнений динамики. Методы математического моделирования уравнений динамики манипуляционного механизма. Решение первой (обратной) и второй (прямой) задач динамики для манипулятора.
9.	Тема 9. Уравнения движения мобильного робота на колесных шасси.	Уравнения движения мобильного робота на колесных шасси. Кинематика и динамика колесных роботов, как механических систем с неголономными связями. Модели движения с колесных роботов учётом проскальзывания. Методы задания микроперемещений и управления микроперемещениями. Особенности динамики мини- и микроробототехнических и мехатронных устройств и систем. Моделирование динамики при использовании компьютерного пакета.
Раздел 5. Исполнительные подсистемы в робототехнике и мехатронике		
10.	Тема 10. Привода, используемые в робототехнике и мехатронике	Классификация приводов, используемых в робототехнике и мехатронике. Электромеханические приводы постоянного тока. Приводы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Приводы переменного тока. Приводы на базе шаговых двигателей. Высокомоментные безредукторные приводы. Использование линейных двигателей и

		многофазных магнитов. Электрогидравлические и электропневматические приводы в робототехнике и мехатронике. Струйные системы управления пневматическими приводами.
11.	Тема 11. Расчет силовых агрегатов и принципы выбора их элементов	Энергетический расчет силовых агрегатов и принципы выбора их элементов. Математическая модель исполнительных систем. Методы регуляционного расчета приводов. Принцип подчиненного регулирования. Влияние нелинейных факторов на работу исполнительных систем. Методика расчета и автоматизированного проектирования исполнительных систем. Электронные силовые подсистемы в мехатронике: принципы построения, основные характеристики и области применения. Особенности расчета и программно-аппаратной реализации исполнительных систем в мехатронике.
Раздел 6. Информационно-сенсорные системы в робототехнике и мехатронике		
12.	Тема 12. Информационные устройства систем, применяемых в робототехнике и мехатронике	Типы и виды информационных устройств систем, применяемых в робототехнике и мехатронике. Датчики внешней и внутренней информации. Датчики ближнего и дальнего действия, кинестетические датчики. Датчики положения, скорости, ускорения, сил и моментов, тактильные датчики. Применение лазерных и ультразвуковых дальнометров. Системы технического зрения; их структура, аппаратные средства.
13.	Тема 13. Распознавание объектов и анализ рабочей сцены	Предварительная обработка информации. Применение методов искусственного интеллекта в задаче распознавания объектов и анализа рабочей сцены. Системы силомоментного осязания; конструкции датчиков; способы обработки сигналов. Способы получения интегральной оценки рабочей сцены с использованием датчиков различной модальности. Взаимодействие информационно-сенсорной и управляющей систем робота или мехатронного агрегата.
Раздел 7. Управление роботами, мехатронными и робототехническими системами		
14.	Тема 14. Методы и системы управления манипуляционными механизмами и мехатронными системами	Принцип кинематического управления манипулятором (по положению, по вектору скорости, по вектору силы). Полуавтоматическое, командное и копирующее управление, Методы динамического управления манипуляторами. Системы управления манипуляторами двустороннего действия (обратимые и необратимые, симметричные и несимметричные системы); методы анализа и синтеза таких систем. Оптимальное управление манипуляторами, критерии оптимизации; ограничения. Методы адаптивного управления роботами. Принципы обучения автоматических манипуляторов. Управление мобильными роботами; методы кинематического и динамического управления подвижной платформой. Управление робокаром. Управление мобильным роботом в условиях неопределенности на основе нечеткой логики. Методика кинематического и динамического расчета механических прецизионных подсистем мехатронных модулей. Методика их точностного и силового расчетов; методы оптимизации движения механических подсистем. Системный подход при проектировании мехатронных систем; методы автоматизированного моделирования и проектирования. Современные методы интеллектуального управления мехатронными системами. Нейросетевое управление мехатронными системами
15.	Тема 15. Управление робототехническими системами	Требования к управлению робототехническими системами. Постановка задачи управления робототехнической системой. Понятие мультиагентной системы. Математический аппарат теории распределенных систем управления. Конечные автоматы. Математическое описание робототехнологического комплекса как сети конечных автоматов. Представление технологического задания в виде сети Петри. Понятие об управляющей структуре. Методы синтеза управляющих структур. Способы реализации локальных управляющих сетей, включающих

		роботы и автоматизированное технологическое оборудование. Взаимодействие системы управления робототехнологического комплекса с системой управления современного компьютеризированного производства. Системы автоматизированного проектирования роботизированных технологических комплексов. Применение робототехнических систем в непроизводственной сфере. Микроробототехнические системы: методы исследования, проектирования и оптимизации. Особенности управления мехатронными системами. Применение методов искусственного интеллекта для управления робототехническими системами. Принципы диалогового и супервизорного управления и их применение в робототехнике
16.	Тема 16. Вычислительные средства робототехнических и мехатронных систем	Принцип микропроцессорного управления. Структура и состав микропроцессорной системы для обработки информации и управления в РТС. Типовые схемы и способы программирования микропроцессоров. Архитектура микроконтроллера, работающего в реальном масштабе времени; особенности программного обеспечения. Организация интерфейса с оборудованием. Принципы построения мультипроцессорной системы управления роботами и робототехническими системами. Типы управляющих устройств, применяемых для управления промышленными роботами и робототехнологическими комплексами. Аппаратные средства реализации информационно-сенсорных систем, включая системы технического зрения. Использование универсальных компьютеров и рабочих станций для управления роботами и их программирования в режиме «off-line». Компьютерные управляющие подсистемы в мехатронике; принципы построения и архитектура аппаратной части.

4. Перечень вопросов для теоретического экзамена

1. Переход от исходной содержательной постановки задач манипулирования к формализованной постановке программирования траекторий в базовой системе координат и законов движения при выдерживании ограничений на параметры движения.
2. Выбор числа степеней свободы манипулятора робота, исходя из требований к выполняемым технологическим операциям. Механизмы манипуляторов последовательной и параллельной структур, их достоинства и недостатки.
3. Прямая и обратная задачи геометрии и кинематики механизмов манипуляторов при различных кинематических схемах. Подходы к их моделированию.
4. Выбор типа и числа степеней свободы манипуляторов в зависимости от назначения (обслуживание станков и другого оборудования, точечная и шовная сварка, окраска и нанесение покрытий, механообработка). Сравнительный анализ различных кинематических схем.
5. Особенности конструкций и элементов подсистем роботов, предназначенных для работы в экстремальных условиях без человека (в космосе, под водой, в агрессивных средах и пр.).
6. Принципиальные, схемные и конструктивные решения транспортных роботов при различных видах несущих шасси: колесных, гусеничных, шагающих (многоногих) и пр. Их достоинства и недостатки. Способы и схемы управления их движением.
7. Процедура составлений уравнений Лагранжа второго рода для механизмов манипуляторов роботов при исследовании динамики. Структура этих уравнений. Идеализированный случай независимости уравнений. Наличие перекрестных связей и их влияние на динамику.
8. Программирование движений многозвенных манипуляторов при позиционном и контурном автоматическом управлении. Критерии быстродействия и точности выполнения движений.
9. Задачи и методы решения задач оптимизации управлений. Учет влияния неопределенности, погрешностей получения информации о параметрах положения и движения, а также ограничений по мощности приводов.

10. Анализ преимуществ и недостатков электромеханических приводов для двигателей различных типов, комплектных приводов, пневмоприводов и гидроприводов. Влияние ограничений по скоростям и силам (моментам) при исследовании динамики манипуляторов.

11. Принципы копирующего управления манипуляторами в автоматизированных и ручных режимах, управление по вектору скорости и вектору силы.

12. Рабочие органы промышленных роботов. Захватные устройства зажимного типа, вакуумные, электромагнитные и пр. Технологические рабочие органы роботов для нанесения покрытия, механообработки и пр., требования к ним. Демонстрационные роботы, области их использования. Типовые примеры. Особенности конструкций демонстрационных роботов для различных условий использования. Антропоморфные и зооморфные демонстрационные роботы.

13. Особенности математического моделирования динамики роботов при учете упругости звеньев и соединений в шарнирах для позиционного и контурного управления. Методики моделирования в средах.

14. Методы, методики и используемые технические средства при экспериментальном определении показателей точности манипуляционных роботов в режимах отработки программных траекторий и позиционирования в заданных точках. Нормирование показателей точности.

15. Типовые структуры мехатронных модулей и распределение требований к точности и надежности между их основными функциональными элементами. Связь мехатроники с теорией автоматического управления.

16. Особенности компоновки и конструктивного выполнения мехатронных модулей и их основных составных частей в зависимости от их назначения и основных технических требований.

17. Варианты назначения и состав типового роботизированного (робототехнического) комплекса. Требование единства логики, алгоритмического и программного управления робототехнического комплекса. Особенности и примеры использования единого интерфейса.

18. Методы и способы координации движений и этапов выполнения операций в робототехнических комплексах.

19. Мини- и микроробототехнические робототехнические комплексы и системы. Особенности принципов действия основных устройств и требований к их автоматическому управлению.

20. Физические величины, подлежащие измерению в роботах, робототехнических и мехатронных системах. Датчики положения, скоростей и ускорений. Варианты выходных сигналов и возможности обработки в аналоговой и цифровой формах.

21. Метрологические характеристики датчиков, используемых в мехатронике и робототехнике. Диапазоны, погрешности, стабильность и надежность.

22. Алгоритмы и программные средства тригонометрических преобразований координат и скоростей, сглаживания и регистрации выходных сигналов датчиков в робототехнике и мехатронике.

23. Принципы использования нечеткой логики при построении систем автоматического управления роботами, робототехническими комплексами и мехатронными системами.

24. Принципы интеллектуального управления. Структура и особенности нейросетевых структур и их применение в мехатронике при совместном управлении несколькими степенями свободы. Сравнение с традиционными способами автоматического управления.

5. Список рекомендуемой литературы

1. Амос, Г. Гилат, А. MATLAB. Теория и практика / Амос Гилат; пер. с англ. Н.К. Смоленцева. – 5-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 416 с.

2. Аналитические исследования характеристик информационной составляющей автоматизированных систем управления и контроля: учебно-методическое пособие / К. О. Волков, А. П. Мартынов, М. В. Марунин, Д. Б. Николаев. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2017.

– 197 с.

3. Борисенко, Л. А. Теория механизмов, машин и манипуляторов: учеб. пособие / Л.А. Борисенко. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРАМ, 2018. — 285 с.
4. Борисенко, Л. А. Теория механизмов, машин и манипуляторов: учеб. пособие / Л.А. Борисенко. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРАМ, 2018. — 285 с.
5. Булгаков, А. Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление: монография / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев. — Москва: СОЛОН–Пресс, 2020. — 484 с.
6. Веретехина, С. В. Модели, методы, алгоритмы и программные решения вычислительных машин, комплексов и систем: учебник / С.В. Веретехина, В.Л. Симонов, О.Л. Мнацаканян. — Москва: ИНФРА–М, 2020. — 306 с.
7. Гайсина, С.В. Робототехника, 3D-моделирование, прототипирование: реализация современных направлений в дополнительном образовании: метод. рекомендации для педагогов / С.В. Гайсина, И.В. Князева, Е.Ю. Огановская. — Санкт-Петербург: КАРО, 2017. — 208 с.
8. Гвоздева, В. А. Интеллектуальные технологии в беспилотных системах: учебник / В.А. Гвоздева. — Москва: ИНФРА–М, 2022. — 176 с.
9. Гончаров, А. А. Устройства программного управления в автоматизированном производстве: учебное пособие / А. А. Гончаров, Н. В. Сурба, Е. Н. Велюжинец. — Минск: РИПО, 2017. — 271 с.
10. Иванов, А. А. Основы робототехники: учебное пособие / А.А. Иванов.— 2-е изд., испр. — Москва: ИНФРА–М, 2022. — 223 с.
11. Иванов, В. В. Математическое моделирование : учебное пособие / В. В. Иванов, О. В. Кузьмина. — 2-е изд. испр. и доп. — Йошкар–Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2021. — 116 с.
12. Иванов, В. К. Моделирование мехатронных систем: учебное пособие / В. К. Иванов, В. Е. Макаров, К. Н. Никоноров; под общ. ред. В. К. Иванова. — Йошкар– Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2021. — 122 с.
13. Иванов, В. К. Управление движением мехатронных систем: учебное пособие / В. К. Иванов. — Йошкар–Ола: ПГТУ, 2020. — 118 с.
14. Камлюк, В. С. Мехатронные модули и системы в технологическом оборудовании для микроэлектроники / Камлюк В.С., Камлюк Д.В. — Минск: РИПО, 2016. — 384 с.
15. Киселев, М. М. Робототехника в примерах и задачах: курс программирования механизмов и роботов: учебное пособие / М. М. Киселев. — 2-е изд., испр. — Москва: СОЛОН-Пресс, 2019. — 136 с.
16. Медведев В.А. Методы нечеткой логики и нейросетевого управления в робототехнике: учебное пособие. — Воронеж, ВГТУ, 2015. — 96 с. Момот, М. В. Мобильные роботы на базе Arduino: практическое руководство / М. В. Момот. — Санкт–Петербург: БХВ–Петербург, 2017. — 288 с.
17. Овчеренко, В. А. Периферийные устройства информационных систем. Физические принципы организации и интерфейсы ввода–вывода: учебное пособие / В. А. Овчеренко, В. Г. Токарев. — Новосибирск: Изд–во НГТУ, 2018. — 75 с.
18. Павлов, В. П. Автоматизация моделирования мехатронных систем транспортно–технологических машин: Учебное пособие / Павлов В.П., Ахпашев А.Ю. — Краснояр.: СФУ, 2016. — 144 с.
19. Сельское хозяйство и роботы: [сайт] / А. Бойко; RoboTrends. — URL: <http://robotrends.ru/robopedia/selskoe-hozyaystvo-i-roboty> — Текст: электронный.
20. Смелягин, А. И. Структура машин, механизмов и конструкций: учебное пособие / А.И. Смелягин. — Москва: ИНФРА–М, 2023. — 387 с.
21. Титенок, А. В. Основы робототехники: учебное пособие / А. В. Титенок. — Москва; Вологда: Инфра–Инженерия, 2022. — 236 с.
22. Филиппов, С. А. Уроки робототехники: Конструкция. Движение. Управ- ление: учебное пособие / С. А. Филиппов; сост. А. Я. Щелкунова. — 4-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2022. — 193 с.
23. Чикуров, Н. Г. Моделирование систем и процессов: учебное пособие /

Н.Г. Чикуров. — Москва: РИОР: ИНФРА-М, 2022. — 398 с.

24. Юревич, Е. И. Основы робототехники: учебное пособие / Е. И. Юревич. — 4-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2017. — 304 с.

25. Юридическая концепция роботизации: монография / Ю.А. Тихомиров, А.А. Головина, А.И. Сидоренко [и др.]; отв. ред. Ю.А. Тихомиров, С.Б. Нанба. — Москва: Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации: ИНФРА-М, 2021. — 238 с.