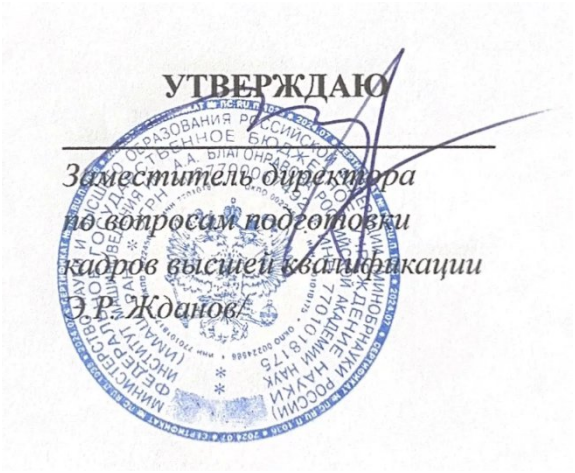
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
по специальности
2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Москва
2026

1. Общие положения

Настоящая программа вступительного экзамена по научной специальности 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» (далее — Программа) разработана в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования — программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет содержание, структуру и требования к уровню знаний поступающих.

Программа предназначена для лиц, поступающих в аспирантуру по научной специальности 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», а также для лиц, прикрепленных для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в порядке экстерната, и распространяется на все формы обучения.

Целью вступительного экзамена является определение уровня теоретической подготовки и готовности поступающего к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы в области математического и программного обеспечения вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Программа разработана в соответствии со следующими нормативными правовыми актами и локальными документами:

- Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2014 № 975 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени кандидата наук и доктора наук в Российской Федерации» (в части научной специальности 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»);
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 11.10.2021 № 924 «Об утверждении паспорта научной специальности 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 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)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.01.2017 № 13 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования — программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.03.2014 № 247 «Об утверждении Порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня»;
- Положение о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИМАШ РАН;
- Положение о кандидатском экзамене ИМАШ РАН.

Содержание Программы соответствует Паспорту научной специальности 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» и охватывает следующие основные направления научных исследований:

Знания и умения, формируемые в результате освоения настоящей Программы, являются базовыми для дальнейшего прохождения вступительных испытаний, зачисления в аспирантуру и успешной реализации индивидуального плана подготовки диссертационного исследования.

2. Форма и порядок проведения вступительного экзамена

Проведение вступительного экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Вступительный экзамен проводится в устной форме по билетам. Каждый экзаменационный билет включает два вопроса.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится 60 минут. Время на ответ не должно превышать 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы. Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом (Приложение 1). Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии.

Уровень знаний оценивается по балльной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

Оценка «отлично» присваивается аспиранту/соискателю в том случае, если его ответы на вопросы экзаменационного билета изложены последовательно, логично и без необходимости дополнительных пояснений со стороны экзаменаторов, при этом соблюдены все нормы научного стиля изложения как в устной, так и в письменной форме. Экзаменуемый должен продемонстрировать глубокое и системное знание теоретического и практического материала по дисциплине, способность к творческому применению полученных знаний для решения исследовательских задач, а также владение основным понятийным аппаратом своей научной специальности. Важным аспектом является умение аргументированно анализировать различные подходы к решению поставленной проблемы и подкреплять теоретические положения конкретными примерами из собственной научной практики, особенно при сдаче экзамена по специальной дисциплине.

Оценка «хорошо» выставляется, когда соискатель уверенно и последовательно излагает материал, демонстрирует хорошее понимание взаимосвязей между ключевыми процессами и явлениями в своей области,

однако допускает отдельные неточности в формулировках или испытывает затруднения при быстром структурировании ответа на дополнительные вопросы комиссии. При этом экзаменуемый показывает способность применять теоретические знания на практике, но его ответ может содержать незначительные погрешности, не искажающие общего смысла изложения и не свидетельствующие о пробелах в базовых знаниях.

Оценка «удовлетворительно» присваивается в ситуациях, когда ответы соискателя характеризуются неуверенностью, сбивчивостью или непоследовательностью изложения, а также при наличии нарушений норм научного стиля речи. Экзаменуемый демонстрирует знание программы экзамена в объёме, достаточном для продолжения работы по профессии, и способен справиться с выполнением основных практических заданий, однако его ответы содержат заметные погрешности, требующие корректировки под руководством преподавателя. При этом соискатель знаком с основной рекомендуемой литературой, но не всегда может свободно оперировать полученными знаниями в нестандартных ситуациях.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при наличии существенных пробелов в знаниях основных положений дисциплины, когда экзаменуемый не способен даже с помощью наводящих вопросов сформулировать корректные ответы на вопросы билета. Такая оценка также присваивается в случаях непонимания базовых концепций и терминологии, отсутствия целостного представления об исследуемом объекте или явлении, а также при невозможности применить теоретические знания к решению даже простейших практических задач.

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи вступительного экзамена.

3. Содержание экзамена

Модуль 1. Основы робототехники и мехатроники

- Предмет, задачи и классификация роботов и робототехнических систем (РТС).
- Принципы структурного и кинематического синтеза механизмов роботов.
- Основы мехатроники: принципы модульного построения, интеграция механических, электронных и информационных подсистем.
- Мехатронные модули и многокоординаторные системы.

Модуль 2. Механика и математическое моделирование роботов

- Кинематика манипуляционных и мобильных роботов. Прямая и обратная задачи кинематики.
- Дифференциальная кинематика. Матрицы Якоби, особые положения (сингулярности).
- Статика и динамика робототехнических систем. Уравнения Лагранжа-Эйлера и Ньютона-Эйлера.
- Планирование траекторий и движений в пространстве суставов и рабочем пространстве.

Модуль 3. Технические средства, сенсорика и приводы

- Системы приводов роботов: электрические, гидравлические, пневматические, приводы на основе smart-материалов.
- Сенсорные системы роботов: проприоцептивные и экстероцептивные датчики, системы технического зрения, тактильные сенсоры.
- Механизмы передач в робототехнике: гармонические передачи, планетарные редукторы, волновые передачи.

Модуль 4. Системы управления и интеллект в робототехнике

- Архитектуры систем управления: реактивные, делиберативные и гибридные.
- Управление движением: управление в пространстве суставов, управление в рабочем пространстве, импедансное и адмиттансное управление.
- Навигация мобильных роботов: SLAM, планирование пути, избегание препятствий.
- Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения в робототехнике (обучение с подкреплением, нейросетевое управление).

Модуль 5. Специальные и перспективные робототехнические системы

- Шагающие, ползающие и бионические роботы. Механика и алгоритмы локомоции.
- Мобильные и летающие роботы (БПЛА). Кинематические схемы и стабилизация.
- Роботы с параллельной кинематикой и тросовые приводы.
- Мягкая робототехника (Soft Robotics) и микроробототехника.
- Роевая робототехника и мультиагентные системы.
- Коллаборативные роботы (коботы) и безопасность человеко-роботного взаимодействия.
-

4. Перечень примерных вопросов для подготовки к экзамену

1. Предмет и задачи специальности 2.5.4. Классификация и основные характеристики роботов и мехатронных систем.
2. Структурный синтез механизмов манипуляционных роботов. Подвижность и степени свободы.
3. Методы описания геометрии звеньев роботов. Параметры Деневита-Хартенберга.
4. Прямая и обратая задачи кинематики манипуляционных роботов. Аналитические и численные методы решения.
5. Дифференциальная кинематика. Матрица Якоби: физический смысл, вычисление, использование для управления скоростями.
6. Особые положения (сингулярности) механизмов роботов: типы, математическое определение, физические последствия и методы обхода.
7. Уравнения динамики манипуляционных роботов. Метод Лагранжа-Эйлера и метод Ньютона-Эйлера. Их сравнительный анализ.
8. Динамика мобильных роботов. Учет неголономных связей и сил трения в точках контакта с опорной поверхностью.
9. Планирование траекторий в пространстве суставов и в декартовом рабочем пространстве. Сплайны и интерполяция.

10. Принципы построения мехатронных модулей. Интеграция привода, передачи, датчиков и микроконтроллера в единый корпус.
11. Классификация и сравнительный анализ систем приводов роботов (электрические, гидравлические, пневматические).
12. Специфика передаточных механизмов в робототехнике. Гармонические передачи и их преимущества.
13. Сенсорные системы роботов. Классификация датчиков положения, усилия, момента, близости и тактильных сенсоров.
14. Системы технического зрения в робототехнике. Калибровка камер, определение позы объекта, визуальная серво-система (Visual Servoing).
15. Архитектуры систем управления мобильными роботами. Реактивное, делиберативное и поведенческое управление.
16. Управление манипуляционными роботами в пространстве суставов. ПИД-регулирование с компенсацией гравитации и динамики.
17. Управление в рабочем (декартовом) пространстве. Вычисление управляющих воздействий через матрицу Якоби.
18. Импедансное и адмиттансное управление. Моделирование виртуальной массы, демпфирования и жесткости в контакте.
19. Механика захвата и манипулирования объектами. Критерии устойчивости захвата, форм- и силовое замыкание.
20. Кинематика и динамика шагающих роботов. Моделирование опорно-поворотной поступи (ZMP - Zero Moment Point).
21. Кинематические схемы мобильных роботов. Дифференциальный привод, рулевое управление типа Ackermann, оммидирекциональные колеса.
22. Задача навигации и локализации мобильных роботов. Алгоритмы SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).
23. Роботы с параллельной кинематикой (манипуляторы типа платформы Стюарта). Прямая и обратная задачи кинематики, рабочие зоны.
24. Тросовые приводы в робототехнике. Кинематика, динамика, проблемы провисания тросов и односторонней передачи усилия.
25. Принципы мягкой робототехники (Soft Robotics). Математическое моделирование и способы активации (пневмосети, память формы).
26. Бионика в робототехнике. Механика и принципы локомоции биомиметических роботов (плавающих, ползающих, летающих).
27. Роевая робототехника. Алгоритмы децентрализованного управления, стайного поведения и координации мультиагентных систем.
28. Коллаборативные роботы (коботы). Требования к безопасности, датчики усилия/момента (FT-сенсоры), стратегии безопасного останова.
29. Обучение роботов с подкреплением (Reinforcement Learning). Перенос политик управления из симуляции в реальный мир (Sim-to-Real).
30. Цифровые двойники в робототехнике. Моделирование, верификация алгоритмов управления и прогнозирование состояния РТС.
31. Энергоэффективность робототехнических систем. Оптимальное управление движением с минимизацией затрат энергии.

32. Микро- и наноробототехника. Специфика механики, приводов и управления на микроуровне.

5. Список литературы для подготовки к экзамену

Основная литература:

1. *Зенкевич С.Л., Лещева Г.А.* Основы робототехники: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021.
2. *Веселов Г.Е., Градский Г.В., Юревич Е.И.* Механика робототехнических систем. — М.: Машиностроение, 2019.
3. *Колесников И.И., Колесников А.И.* Мехатроника и робототехника в машиностроении. — М.: Издательский центр "Академия", 2020.
4. *Медведев В.С., Лесков А.Г., Носырев К.А.* Системы управления манипуляционных роботов. — М.: Наука, 2018.
5. *Попов Е.П., Зенкевич С.Л.* Управление роботами: математические основы и алгоритмы. — М.: Машиностроение, 2022.

Дополнительная литература и переводные издания: 6. *Крэйг Дж.* Введение в робототехнику. — М.: Вильямс, 2020. 7. *Слотайн Дж.-Дж., Ли В.* Адаптивное управление роботами. — М.: Мир, 2019. 8. *Юревич Е.И.* Основы робототехники. — СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 9. *Чудесакин В.В., Юревич Е.И.* Мехатронные модули и системы. — М.: Машиностроение, 2020. 10. Материалы журналов: «Мехатроника, автоматизация, управление», «Известия РАН. Теория и системы управления», «Вестник машиностроения» (актуальные публикации по робототехнике за последние 3-5 лет).

6. Примерные билеты

Билет № 1

1. Структурный синтез механизмов манипуляционных роботов. Подвижность и степени свободы.
2. Архитектуры систем управления мобильными роботами. Реактивное, делиберативное и поведенческое управление.

Билет № 2

1. Методы описания геометрии звеньев роботов. Параметры Деневита-Хартенберга.
2. Управление в рабочем (декартовом) пространстве. Вычисление управляющих воздействий через матрицу Якоби.

Билет № 3

1. Прямая и обратная задачи кинематики манипуляционных роботов. Аналитические и численные методы решения.
2. Импедансное и адмиттансное управление. Моделирование виртуальной массы, демпфирования и жесткости в контакте.

Билет № 4

1. Дифференциальная кинематика. Матрица Якоби: физический смысл, вычисление, использование для управления скоростями.
2. Механика захвата и манипулирования объектами. Критерии устойчивости захвата, форм- и силовое замыкание.

Билет № 5

1. Особые положения (сингулярности) механизмов роботов: типы, математическое определение, физические последствия.
2. Кинематика и динамика шагающих роботов. Моделирование опорно-поворотной поступи (ZMP).

Билет № 6

1. Уравнения динамики манипуляционных роботов. Метод Лагранжа-Эйлера и метод Ньютона-Эйлера.
2. Кинематические схемы мобильных роботов. Дифференциальный привод, рулевое управление типа Ackermann.

Билет № 7

1. Динамика мобильных роботов. Учет неголономных связей и сил трения в точках контакта с опорной поверхностью.
2. Задача навигации и локализации мобильных роботов. Алгоритмы SLAM.

Билет № 8

1. Планирование траекторий в пространстве суставов и в декартовом рабочем пространстве. Сплайны и интерполяция.
2. Роботы с параллельной кинематикой (манипуляторы типа платформы Стюарта). Прямая и обратная задачи кинематики.

Билет № 9

1. Принципы построения мехатронных модулей. Интеграция привода, передачи, датчиков и микроконтроллера.
2. Тросовые приводы в робототехнике. Кинематика, динамика, проблемы провисания тросов и односторонней передачи усилия.

Билет № 10

1. Классификация и сравнительный анализ систем приводов роботов (электрические, гидравлические, пневматические).
2. Принципы мягкой робототехники (Soft Robotics). Математическое моделирование и способы активации.

Билет № 11

1. Специфика передаточных механизмов в робототехнике. Гармонические передачи и их преимущества.
2. Бионика в робототехнике. Механика и принципы локомоции биомиметических роботов.

Билет № 12

1. Сенсорные системы роботов. Классификация датчиков положения, усилия, момента и тактильных сенсоров.
2. Роевая робототехника. Алгоритмы децентрализованного управления и координации мультиагентных систем.

Билет № 13

1. Системы технического зрения в робототехнике. Калибровка камер, определение позы объекта, визуальная серво-система.
2. Коллаборативные роботы (коботы). Требования к безопасности, FT-сенсоры, стратегии безопасного взаимодействия.

Билет № 14

1. Управление манипуляционными роботами в пространстве суставов. ПИД-регулирование с компенсацией гравитации и динамики.
2. Обучение роботов с подкреплением (Reinforcement Learning). Перенос политик управления из симуляции в реальный мир (Sim-to-Real).

Билет № 15

1. Энергоэффективность робототехнических систем. Оптимальное управление движением с минимизацией затрат энергии.
2. Цифровые двойники в робототехнике. Моделирование, верификация алгоритмов управления и прогнозирование состояния РТС.