



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



КГЭУ

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по развитию и инновациям


И.Г. Ахметова
«28» апреля 2022 г.


ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности

2.5 Машиностроение

группы научных специальностей 2.5.4. «Роботы, мехатроника и
робототехнические системы»

для обучающихся по программам подготовки научных и научно-
педагогических кадров в аспирантуре и для лиц, прикрепленных для сдачи
кандидатского экзамена

г. Казань 2022г

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая программа основана на базовых курсах, читаемых в магистратуре и аспиранте по направлению 05.02.05. «Мехатроника и робототехника». Содержит основополагающие вопросы по кинематике, механике и системам приводов мехатронных и робототехнических систем (МРТС) и их проектированию, информационно-измерительным системам, управлению траекторными перемещениями МРТС при выполнении технологических операций, в том числе в условиях не полной определенности о положении объекта манипулирования и внешней среде; методам адаптивного и интеллектуального управления, построению управляющих систем на основе микропроцессоров и микроЭВМ; организации и управления РТК, а также взаимодействия человека-оператора с робототехническими и мехатронными системами.

Экзаменационные билеты включают в себя два вопроса из программы-минимум кандидатского экзамена по специальности, один вопрос из дополнительной программы кандидатского экзамена, которую готовит научный руководитель по теме диссертационного исследования аспиранта.

На экзамене кандидатского минимума соискатель должен продемонстрировать владение математическим аппаратом описания, методами анализа и исследования МРТС, в том числе программными продуктами для исследования, вопросами практической реализации МРТС и особенностями в условиях неопределенности внешней среды и в экстремальных условиях.

II. СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Основу данной программы составили ключевые положения следующих учебных дисциплин: Исследование автоматизированных технологических процессов, создаваемых на базе робототехнических и мехатронных систем, Математическое моделирование мехатронных и робототехнических систем, Методы анализа и оптимизационного синтеза робототехнических и мехатронных систем Программа ориентирована на знание и владение соискателями методик математического описания и структурного представления и анализа, моделирования и исследования МРТС, особенностям практического применения МРТС.

III. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО МИНИМУМА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Раздел 1. Построение и описание мехатронных и робототехнических систем.

Обобщенная структурная схема манипуляционных роботов, задачи управления, классификация и области применения робототехнических

систем. Робототехнические системы современного машиностроительного производства, их состав и структура. Исполнительные устройства роботизированных производств, их манипуляционные функции и структуры.

Современное состояние проблемы разработки и проектирования мехатронных и робототехнических систем.

Кинематика роботов. Манипулятор как механическая система. Обобщенные координаты манипуляционного робота, Матричные преобразования для определения положения звеньев пространственных механизмов. Представление Денавита-Хартенберга. Матричные преобразования для определения скоростей звеньев робота. Определение ориентации и скоростей звеньев манипулятора с помощью матрицы Якоби. и через углы Эйлера. Прямая и обратная задачи о положениях, скорости и ускорениях звеньев манипулятора. Методы решения прямой и обратной задач. Проблема компенсации кинематического взаимовлияния цепей привода звеньев манипуляционного робота. Описание неидеальных передач привода звеньев механической системы.

Динамика роботов. Основные задачи динамики робототехнических систем. Приведение сил и моментов нагрузки к обобщенным координатам. Уравновешивание сил тяжести звеньев манипуляционного робота. Силовой анализ механизмов движения. Статика моделей манипуляционных роботов с учетом зазоров и упругостей в передачах кинематической цепи привода. Особенности приведения сил трения к обобщенным координатам робота. Уравнения движения манипулятора в форме Лагранжа. Рекурсивные уравнения динамики роботов Ньютона-Эйлера. Обобщенное уравнение Д'Аламбера. Обратные задачи динамики манипуляторов. Определение управляющих сил при позиционировании робота и при выводе схвата манипулятора в заданную точку пространства с заданной скоростью.

Раздел 2. Управление МРТС. Системы управления. Основные понятия и определения. Объект управления в системе, задачи управления, классификация систем управления. Структура системы управления, Алгоритмизация процесса управления. Управление движением. Цикловые, позиционные, контурные и комбинированные системы. Структурно - алгоритмическая организация систем управления.

Планирование траекторий движения манипулятора. Общая постановка задачи планирования траекторий и элементарные двигательные операции. Сглаживание траектории в пространстве присоединенных переменных. Траектории в конфигурационном пространстве. Планирование траектории в декартовых координатах. Генерация траектории во время выполнения программы.

Управление движением манипуляционных роботов. Уровни иерархии управления. Режимы управления. Программные системы. Управление в функции состояния, комбинированные системы. Кинематическое управление манипулятором. Планирование траекторий в пространстве обобщенных координат. Управление манипулятором в пространстве

координат схвата. Позиционный метод построения программы движения. Интерполяция. Основные методы интерполяции. Средства реализации алгоритмов интерполяции. Оптимизация алгоритмов построения траекторий. Методика выбора требуемого быстродействия системы управления для заданного алгоритма интерполяции. Скорости и линеаризованные позиционные методы построения программы движений в случае кинематически полного и неполного задания.

Методы динамического управления манипуляторами. Необходимость и проблемы учета динамических свойств робота при программировании движений с большими ускорениями и скоростями. Общий алгоритм планирования траекторий движения роботов в соответствии с динамическими свойствами моделей исполнительных механизмов. Концепция динамической развязки движений по степеням подвижности робота. Программирование движений робота с использованием прямых методов вариационного исчисления. Особенности оптимального по быстродействию режима движения робота по заданной траектории.

Точностные модели роботов и способы повышения точности воспроизведения программных движений. Проблемы точности и факторы, влияющие на точность отработки движений роботов. Оценка погрешностей позиционирования рабочего органа робота. Коррекция программных значений обобщенных координат, компенсирующая отклонение робота от требуемого положения вследствие зазоров и податливости передач привода.

Траекторное управление мобильными роботами. Кинематика передвижения колесных и гусеничных роботов. Системы координат. Рулевое управление по принципу Аккермана. Локализация робота в пространстве. Вероятностная локализация. Представление внешней среды. Диаграмма Вороного. Алгоритм Brushfire. Метод потенциального поля. Алгоритм блуждающей точки. Алгоритмы семейства Bug. Алгоритм Дейкстры. Алгоритм A*. Алгоритм обхода препятствий по контуру. Построение карт местности.

Раздел 3. Адаптивное и интеллектуальное управление.

Методы адаптивного управления. Основные положения адаптивного управления. Структура и типы адаптивных систем управления. Методы синтеза адаптивных систем. Постановка задачи синтеза адаптивного регулятора и этапы ее решения. Поисковые адаптивные системы. Принципы построения поисковых самонастраивающихся систем. Системы экстремального регулирования. Принцип экстремального регулирования.

Беспоисковые адаптивные системы управления. Постановка задачи синтеза. Синтез основного контура управления. Синтез контура адаптации. Системы с эталонной моделью. Методы идентификации объектов управления при детерминированных воздействиях и отсутствии помех. Настраиваемые модели. Идентификация на основе частотных характеристик и с помощью настраиваемой модели, при полностью измеряемом векторе переменных состояний.

Модельное прогнозирующее управление, Управление с прогнозирующими моделями. Элементы теории. Базовая задача модельного прогнозирующего управления с линейной моделью и квадратичным функционалом. Астатический модельный прогнозирующий регулятор. Восстановление состояния и предсказание возмущения.

Управление на базе нечеткой логики. Общие особенности управления на базе теории нечетких множеств. Функциональная и структурная схемы системы управления на базе нечеткой логики. Принципы работы нечеткого регулятора. Статические и динамические нечеткие регуляторы. Формализация процесса принятия решений на базе нечеткой логики. Синтез нечетких регуляторов систем управления.

Нейросетевые методы управления и идентификации динамических систем. Нейросетевой регулятор для управления динамическими объектами. Синтез нейросетевой системы управления на основе инверсной модели объекта управления. Генетические алгоритмы. Интеллектуальные системы управления с экспертно-нейросетевым регулятором. Самообучающаяся система управления на основе нейронных сетей. Управление движением манипуляционных роботов на базе нейросетевых структур.

Раздел 4. Информационно-управляющие и вычислительные устройства МРТС.

Информационные устройства в робототехнике и мехатронике, классификация. Датчики внешней и внутренней информации. Датчики ближнего и дальнего действия. Датчики положения, скорости, ускорения, сил и моментов. Системы технического зрения, структура, аппаратные средства. Распознавание объектов и анализ рабочей среды.

Микропроцессорная реализация управляющих устройств. Структура и состав микропроцессорной системы для обработки информации и управления в робототехнических системах. 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 роботов и робототехнических систем.

Взаимодействие человека-оператора с робототехническими и мехатронными системами, Обобщённая функциональная схема эргатической (человеко-машинной) системы. Структура и состав интерфейса в системе «человек - робототехническая система». Способы взаимодействия оператора с роботом: проблемно-ориентированное программирование, полуавтоматическое и командное управление, копирующее управление манипулятором. Математическое описание человека-оператора. Эргономические требования, предъявляемые к системе управления роботом и к интерфейсу.

Основная литература к разделам

1. Егоров О. Д. Робототехнические мехатронные системы. [Электронный ресурс] / ОД. Егоров, Ю.В. Подураев, М.А. Бубнов - М.: Издательство Станкин, - 2015. — 328 с. Доступ по регистрации на сайте <http://www.kodges.ru/nauka/tehnika1/303427robototekhnicheskie-mehatronnye-sistemy.html>.
2. Курс лекций компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН» [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа: <http://www.ncsystems.ru/index.php/rukafedraksu/obuchenie/leksiia>, свободный.
3. Бобцов А.А. Адаптивное управление возмущенными системами. Учебное пособие. [Электронный ресурс] / А.А. Бобцов, В.О. Никифоров, А.А. Пыркин, — СПб.: Университет ИТМО, 2015. — 126с. Режим доступа: <http://books.ifmo.ru/file/pdf/.pdf>, свободный.
4. Изоткина Н. Ю. Инновационные технологии управления в мехатронике и робототехнике: учеб. пособие. [Электронный ресурс] / Н.Ю. Изоткина, Ю.М. Осипов, В.И. Сырякин. — Томск: ТГУ, 2015. — 220 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/booW68263>.
5. Беляков ВВ. Автоматические системы транспортных средств: Учебник / ВВ. Беляков, ДВ. Зезюлин, ВС. Макаров, А.В. Тумасов. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 352 с. ISBN 978-5-91134-980-6. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=486415>.
6. Машков К.Ю., Состав и характеристики мобильных роботов: учеб. пособие по курсу «Управление роботами и робототехническими комплексами» [Электронный ресурс] / К.Ю. Машков, В.И. Рубцов, ИВ. Рубцов. — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 75 с.: ил. — ISBN 978-5-703 8-3866-2. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/booldISBN9785703838662.html>.
7. Жмудь В.А. Динамика мехатронных систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Жмудь В.А., Французова Г.А., Востриков А.С.— Электрон. текстовые данные. —Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 176 с. —Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45367>.

Дополнительная литература:

1. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие / А. П. Лукинов. — Санкт-Петербург: Лань, 2012. — 605 с., ил. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (80,8 Мб). — (Учебники для вузов, Специальная литература). — Библиогр.: с. 596-600.— ISBN 978-5-8114-1166-5. (библ. ВлГУ).
2. Цыкунов А.М. Робастное управление объектами с последействием [Электронный ресурс] / ХМ. Цыкунов - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 264 с. - ISBN 978-5-92211576-6. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/booWISBN9785922115766.html>
3. Формальский А.М Управление движением неустойчивых объектов

[Электронный ресурс] / ХМ. Формальский - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014, - - 232 с. - ISBN 978-59221-1460-8. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114608.html>,

4. Жолобов А.А. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка [Электронный ресурс]: учеб. пособие / АА, Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, МВ, Терехов, В.А. Шкаберин. - 2-е изд., стер. - М.: ФЛИНТА, 2014. 355 с. ISBN 978-5-9765-1830-8. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976518308.html>.

5. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем:

Учеб. пособие. [Электронный ресурс] - М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. -384 с. -Режим доступа: <http://www.padaread.com/?book=3143&pg=3>, свободный.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Научный журнал «Информационно-управляющие системы» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.cyberleninka.ru/journal/n\]info rmatsionno-upravlyayuschiesistemy](http://www.cyberleninka.ru/journal/n]info_rmatsionno-upravlyayuschiesistemy), свободный,

2. Электронная библиотека Mexalib. — Режим доступа: <http://mexalib.com/tag/>, свободный.

3. Раздел по робототехнике в электронной библиотеке радиолюбителя RadioSover.ru. Режим доступа при регистрации на сайте: <http://www.radiosovet.ru/book/robototehnika/>, свободный.

4. Научная электронная библиотека «Киберленинка». Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/>, свободный.

Периодические издания, научно-технические журналы:

1. Мехатроника, автоматизация управление.

2. Известия ВУЗ «Электромеханика».

3. Известия ВУЗ «Вестник машиностроения».

4. Известия ВУЗ «Приборостроение».

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К КАНДИДАТСКОМУ ЭКЗАМЕНУ

1. Обобщенная структурная схема манипуляционных роботов, задачи управления, классификация и области применения робототехнических систем.

2. Манипулятор как механическая система. Обобщенные координаты манипуляционного робота. Матричные преобразования для определения положения и скоростей звеньев пространственных механизмов (матрицы Якоби, через углы Эйлера).

3. Прямая задача. Методы решения.

4. Обратная задача. Методы решения.

5. Уравнения движения манипулятора в форме Лагранжа и Д'Аламбера.

6. Мобильный робот, степени свободы и обобщенные координаты, скорости и ускорения. Математическая модель мобильного робота,

7. Прямая и обратная задачи в управлении движением мобильного робота.

8. Системы управления. Классификация систем управления. Цикловые, позиционные, контурные, универсальные и специализированные системы.

9. Интерполяция. Основные методы интерполяции и их аппаратно-программная реализация.

10. Методы динамического управления манипуляторами. Автоматизация программирования движений робота на основе динамических моделей.

11. Концепция динамической развязки движений по степеням подвижности робота.

12. Управление траекторным движением мобильных роботов. Алгоритмы локализации. Диаграмма Вороного. Алгоритмы Brushfire и Bug.

13. Управление траекторным движением мобильных роботов. Алгоритмы прохождения лабиринтов. Движение вдоль опорной поверхности.

14. Основные положения адаптивного управления. Классификация, структуры.

15. Функции качества. Методы поиска экстремума функции качества: градиента, наискорейшего спуска, экстраполяционного поиска, случайного поиска.

16. Поисковые адаптивные системы управления.

17. Беспойсковые адаптивные системы управления.

18. Системы с моделью, в т.ч. с подстраиваемой. Функции качества, алгоритмы адаптации,

19. Наблюдатели. Структуры, алгоритмы, введение в контур адаптации.

20. Методы идентификации объектов управления при детерминированных воздействиях и отсутствии помех. Идентификация с помощью настраиваемой модели

21. Системы экстремального регулирования. Принцип экстремального регулирования.
22. Системы с переменной структурой. Скользящие режимы,
23. Управление с прогнозирующими моделями.
24. Управление на базе нечеткой логики. Функции принадлежности, фазификация, дефазификация, введение в основной контур, особенности реализации.
25. Нейронные сети. Перцептрон. Идентификация динамических систем на основе нейросетевых модельных структур. Нейросетевой регулятор для управления динамическими объектами.
26. Информационные устройства в робототехнике и мехатронике, классификация.
27. Датчики внешней и внутренней информации.
28. Датчики положения, скорости, ускорения, сил и моментов.
29. Системы технического зрения, структура, аппаратные средства.
30. Распознавание объектов и анализ рабочей сцены.
31. Структура и состав микропроцессорной системы для обработки информации и управления в робототехнических системах.
32. Архитектура микроконтроллера, работающего в реальном масштабе времени.
33. Организация интерфейса с оборудованием.
34. Компьютерные управляющие подсистемы в мехатронике; принципы построения и архитектура аппаратной части
35. Принципы построения мультипроцессорной системы управления роботов и робототехнических систем,
36. Обобщённая функциональная схема эргатической (человеко-машинной) системы.
37. Структура и состав интерфейса в системе «человек - робототехническая система».
38. Способы взаимодействия оператора с роботом: проблемно-ориентированное программирование, полуавтоматическое и командное управление, копирующее управление манипулятором.
39. Математическое описание САУ с человеком-оператором в контуре управления.
40. Требования к организации рабочего места оператора и условиям его работы.
41. Программное и аппаратное обеспечение взаимодействия оператора и робототехнической системы.

5. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СДАЧИ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Результаты кандидатского экзамена по научной специальности оцениваются по пятибалльной шкале: «отлично» (5 баллов), «хорошо» (4 балла), «удовлетворительно» (3 балла), «неудовлетворительно» (2 балла). Самую высокую оценку — «отлично» — получает аспирант, который продемонстрировал глубокие теоретические знания в области мехатроники и робототехники; имеет достаточно полное представление об источниках, фундаментальных работах и последних достижениях науки в данной области; способен ориентироваться в дискуссионных проблемах избранной отрасли науки; владеет понятийно-исследовательским и методологическим аппаратом применительно к научной проблематике диссертационного исследования; умеет логично и аргументированно излагать материал. С учётом степени соответствия вышеназванных требований экзаменационная комиссия может оценить ответ аспиранта также оценками «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценку «неудовлетворительно» аспирант получает в случае, когда не может ответить на вопросы экзаменационного билета, не в состоянии дать объяснения по теоретическим и методологическим положениям мехатроники и робототехники, не имеет представления о фундаментальных работах по научной специальности, не владеет содержанием научного реферата и т.д.

Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности составлена в соответствии с паспортом специальности научных работников 2.5 Машиностроение 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Программу-минимум кандидатского экзамена по специальности 2.5 Машиностроение 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Профессор кафедры ПМ,
д.т.н., профессор



Корнилов В.Ю.

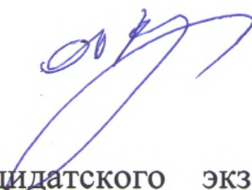
Заведующий кафедрой ПМ, к.т.н, доцент



Козелков О.В.

Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Приборостроение и мехатроника» протокол №4 от «_28_»_апреля 2022 года.

Заведующий кафедрой ПМ,
к.т.н, доцент



Козелков О.В.

Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета Института цифровых технологий и экономики

Протокол № 10 от «_24_»_мая_2022 года

Директор Института цифровых технологий и экономики
д.п.н., профессор



Торкунова Ю.В.