



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
КГЭУ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Института электроэнергетики и
электроники

_____ Р.Р. Гибадуллин

« 24 » февраля 2026г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.05 Роботизации в энергетике

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность
(профиль) Цифровая автоматизация и роботизация в
электроэнергетике

Квалификация _____
Магистр

Программу разработал(и):

| Наименование кафедры | Должность, уч.степень, уч.звание | ФИО разработчика |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| ТОЭ | Старший преподаватель | Ерашова Ю.Н. |
| | | |

| Согласование | Наименование подразделения | Дата | № протокола | Подпись |
|--------------|-------------------------------|------------|-------------|--|
| Одобрена | Кафедра ТОЭ | 28.01.2026 | № 7 | Зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор Садыков М.Ф. |
| Согласована | Кафедра ТОЭ | 28.01.2026 | № 7 | Зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор Садыков М.Ф. |
| Согласована | Учебно-методический совет ИЭЭ | 24.02.2026 | № 5 | Директор ИЭЭ, к.т.н., доцент Гибадуллин Р.Р. |
| Одобрена | Ученый совет ИЭЭ | 24.02.2026 | № 6 | Директор ИЭЭ, к.т.н., доцент Гибадуллин Р.Р. |

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у магистров системных знаний и практических навыков в области проектирования, анализа и интеграции робототехнических комплексов и систем автоматизации для решения задач диагностики, технического обслуживания. Ремонта и повышения безопасности в электроэнергетике

Задачами дисциплины являются:

1. Изучение основ робототехники, архитектуры и элементной базы современных робототехнических систем (РТС).
2. Анализ особенностей применения РТС в энергетике: для диагностики ЛЭП, оборудования подстанций, энергоблоков; для ремонтных работ в опасных средах.
3. Освоение методов интеграции РТС с системами АСУ ТП, SCADA и цифровыми подстанциями

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора |
|--|---|
| ПК-1 Способен осуществлять эксплуатацию, развитие и цифровую трансформацию систем автоматизации и управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов | ПК-1.4 Способен интегрировать робототехнические системы в технологические процессы энергетики для диагностики, ремонта и обеспечения безопасности |

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.

Цифровые системы автоматизации и управления

Программируемые логические контроллеры автоматизированных систем

Эксплуатация и техническое обслуживание систем автоматизации

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.

Производственная практика (проектная)

Производственная практика (преддипломная)

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

| Вид учебной работы | Всего ЗЕ | Всего часов | Семестр(ы) | |
|-------------------------------------|----------|-------------|------------|-----|
| | | | 3 | 4 |
| ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ | 9 | 324 | 216 | 108 |
| КОНТАКТНАЯ РАБОТА* | - | 137 | 99 | 38 |
| АУДИТОРНАЯ РАБОТА | 2 | 72 | 48 | 24 |
| Лекции | 0,7 | 24 | 16 | 8 |
| Практические (семинарские) занятия | 0,4 | 16 | 16 | - |
| Лабораторные работы | 0,9 | 32 | 16 | 16 |
| САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ | 7 | 252 | 168 | 84 |

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----|----|----|
| Проработка учебного материала | 3 | 108 | 60 | 48 |
| Курсовой проект | 2 | 72 | 72 | 0 |
| Курсовая работа | - | - | - | - |
| Подготовка к промежуточной аттестации | 2 | 72 | 36 | 36 |
| Промежуточная аттестация: | | | Э | Э |
| | | | КП | - |

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам

| Разделы дисциплины | Всего часов | Распределение трудоемкости по видам учебной работы | | | | Формы и вид контроля | Индексы индикаторов формируемых компетенций |
|--|-------------|--|-----------|-----------|------------|----------------------|---|
| | | лекции | лаб. раб. | пр. зан. | сам. раб. | | |
| Раздел 1 Введение в робототехнику. Основы и компоненты РТС | 32 | 4 | 4 | 4 | 20 | ТК1 | ПК 1.4.3 |
| Раздел 2 Кинематика, динамика и управление манипуляторами | 38 | 6 | 6 | 6 | 20 | ТК2 | ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1 |
| Раздел 3 Диагностика и мониторинг энергообъектов. | 38 | 6 | 6 | 6 | 20 | ТК3 | ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В |
| Курсовой проект | 72 | | | | 72 | ОМкп | ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В |
| Экзамен | 36 | | | | 36 | ОМ 1 | ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1 |
| Итого за 3 семестр | 216 | 16 | 16 | 16 | 168 | | |
| Раздел 4 Интеграция РТС, проектирование и внедрение ТЭО внедрения | 24 | 4 | 4 | - | 16 | ТК4 | ПК-1.4.У2, ПК-1.4.В |
| Раздел 5 Инновационные технологии и перспективные разработки | 24 | 2 | 6 | - | 16 | ТК5 | ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В |
| Раздел 6 Практическое применение и кейсы реализации | 24 | 2 | 6 | | 16 | ТК6 | ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В |
| Экзамен | 36 | | | | 36 | ОМ 2 | ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1, ПК-1.4.У2, ПК-1.4.В |
| Итого за 4 семестр | 108 | 8 | 16 | - | 84 | | |
| ИТОГО | 324 | 24 | 32 | 16 | 252 | | |

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Введение в робототехнику. Основы и компоненты РТС.

Тема 1.1. Классификация роботов.

В данной теме рассматриваются основные подходы к систематизации робототехнических систем. Изучаются классификации по типу управления, по функциональному назначению, по мобильности, а также по типу используемой среды. Анализируются поколения роботов от программных до интеллектуальных. Цель темы – сформировать у обучающихся целостное представление о многообразии робототехнических систем и их месте в современном производстве.

Тема 1.2. Мехатронные модули: приводы, датчики, контроллеры.

Тема посвящена изучению элементной базы роботов. Рассматриваются типы приводов, их характеристики и область применения. Анализируются датчики: внутренние и внешние. Изучаются структура и функции контроллеров как устройств, координирующих работу всех модулей. Особое внимание уделяется интеграции этих компонентов в единую мехатронную систему.

Тема 1.3. Микропроцессорные системы управления.

В теме раскрываются принципы построения систем управления на базе микроконтроллеров. Рассматриваются архитектура микропроцессорных устройств, интерфейсы связи. Организация ввода-вывода сигналов от датчиков и выдачи управляющих команд на приводы. Анализируются вопросы обработки данных в реальном времени, реализации законов управления и обеспечения надежности функционирования управляющих модулей роботов.

Тема 1.4. Основные кинематические схемы манипуляторов.

Тема знакомит с основными кинематическими системами промышленных и серийных манипуляторов. Рассматриваются системы координат, типы кинематических пар, понятие степени подвижности. Анализируются основные конфигурации: декартовые, цилиндрические, сферические, антропоморфные и SCADA-роботы, их преимущества, недостатки и характерные области применения на производстве и в энергетических комплексах.

Раздел 2. *Кинематика, динамика и управление манипуляторами.*

Тема 2.1. Прямая и обратная задачи кинематики.

В данной теме изучаются математические методы описания движения манипуляторов без учета сил. Анализируются прямая и обратная задачи кинематики.

Тема 2.2. Динамика роботов.

Тема посвящена изучению движения роботов под действием сил. Рассматриваются прямая и обратная задачи динамики. Анализируются методы составления уравнений движения манипуляторов. Учитываются инерционные характеристики звеньев. Цель – понимание нагрузок, действующих на приводы. Что необходимо для выбора двигателей и синтеза точных систем управления.

Тема 2.3. Позиционные и контурные системы управления.

В теме рассматриваются принципы управления движением манипуляторов. Изучаются позиционные системы управления, обеспечивающие перемещение рабочего органа в заданную точку без контроля траектории с требуемой скоростью. Рассматриваются структуры управления, типовые законы регулирования и методы обеспечения точности позиционирования.

Тема 2.4. Языки программирования РТС

Тема знакомит с методами и средствами программирования робототехнических систем. Рассматривается классификация способов программирования. Анализируются специализированные языки и современные подходы с использованием библиотек. Уделяется внимание созданию управляющих программ для выполнения технологических операций.

Раздел 3. *Диагностика и мониторинг энергообъектов.*

Тема 3.1. Летательные аппараты (БПЛА) для мониторинга ЛЭП.

В теме изучается применение дронов для воздушного обследования линий электропередачи. Изучаются типы БПЛА. Их сенсорная нагрузка и методики выявления дефектов опор, изоляторов и проводов.

Тема 3.2. Роботы для диагностики подстанций.

Рассматривается использование наземных роботизированных комплексов

для осмотра оборудования распределительных устройств. Рассматриваются задачи контроля нагрева контактов, считывания показаний приборов и обнаружения повреждений.

Тема 3.3. Системы технического зрения.

Изучаются принципы автоматического анализа изображений для диагностики энергооборудования. Тема включает этапы обработки видео, методы машинного обучения и нейросетевых технологий для распознавания дефектов.

Тема 3.4. Роботы для работы в опасных средах (АЭС, ГЭС).

Рассматриваются специализированные роботы для инспекции и ремонта в условиях повышенной радиации, влажности и стесненности. Анализируются требования к радиационной стойкости. Герметичности и надежности таких комплексов.

Раздел 4. *Интеграция РТС, проектирование и внедрение ТЭО внедрения.*

Тема 4.1. Архитектура интеграции «робот – АСУ ТП». Стандарты связи.

Рассматриваются способы встраивания роботов в существующую автоматизированную систему управления технологическим процессом. Рассматриваются протоколы обмена данными. Интерфейсы и стандарты промышленной связи.

Тема 4.2. Этапы проектирования РТС.

Рассматривается жизненный цикл создания робототехнических системы: от технического задания и выбора концепции до разработки, моделирования, изготовления и пусконаладочных работ.

Тема 4.3. Методы оценки экономической эффективности (ТЭО).

Рассматриваются подходы к расчету затрат и выгод от внедрения роботизации. Анализ окупаемости, снижения эксплуатационных расходов. Повышения надежности и предотвращения ущерба от аварий.

Тема 4.4. Нормативная база и безопасность.

Рассматриваются правовые и нормативные акты эксплуатации роботов на энергообъектах. Вопросы электробезопасности. Охраны труда. А также правил применения БПЛА в охранных зонах ЛЭП.

Раздел 5. *Инновационные технологии и перспективные разработки*

Тема 5.1. Перспективы и конструкции мобильных роботов.

Новые тенденции в разработке мобильных платформ. Повышение проходимости, автономности и адаптации к сложным условиям энергообъектов.

Тема 5.2. Автоматическое обучение и адаптивные алгоритмы управления.

Методы машинного обучения, позволяющие роботам адаптироваться к имеющимся условиям среды и параметрам объекта управления без перепрограммирования.

Тема 5.3. Искусственный интеллект и автономия роботов.

Применение технологий ИИ для планирования действий, навигации в неизвестной среде и принятия решений в реальном времени. ведущее к полной автономии роботов.

Тема 5.4. Новые материалы и энергоэффективные механизмы.

Использование композитов. Полимеров и новых сплавов для снижения веса роботов. Разработка систем рекуперации энергии для увеличения времени автономной работы.

Раздел 6. *Практическое применение и кейсы реализации.*

Тема 6.1. Практический опыт эксплуатации роботов.

Анализ реальных примеров внедрения роботов на энергопредприятиях, выявленные проблемы, накопленный опыт и лучшие практики обслуживания.

Тема 6.2. Современные проекты автоматизации процессов обслуживания сетей.

Обзор действующих в России и мире проектов по роботизированной очистке изоляторов, лазерной обрезке деревьев в охранных зонах и автоматической замене оборудования.

Тема 6.3. Международный опыт роботизации электроэнергетики.

Сравнительный анализ стратегии развития робототехники в энергетике разных стран, изучение передовых зарубежных разработок и технологических решений.

Тема 6.4. Экологические и социальные последствия роботизации энергетики.

Влияние роботизации на окружающую среду, изменение требований к классификации персонала, перераспределение трудовых функций и социальная адаптация работников отрасли.

3.4. Тематический план практических занятий

1. Анализ ТЗ на роботизацию технологического процесса.
2. Расчет параметров манипулятора для ремонтных работ.
3. Сравнительный анализ для робототехнических решений для ЛЭП.
4. Моделирование обмена данными между роботом и SCADA.
5. Оптимизация маршрутов патрулирования роботами ЛЭП и подстанций.
6. Экономическое обоснование проекта внедрения робототехнического комплекса.

7. Изучение требований безопасности при работе с роботами в зонах повышенной опасности

8. Реализация алгоритма адаптации управления движением робота к меняющимся внешним условиям.

3.5. Тематический план лабораторных работ

1. Программирование движений промышленного манипулятора.
2. Управление мобильной роботизированной платформой.
3. Обработка данных с датчиков.
4. Интеграция имитатора робота с SCADA-системой.
5. Имитация аварийной ситуации и диагностика неисправностей с помощью роботов.
6. Планирование траектории движения мобильного робота.
7. Организация взаимодействия робота с оператором посредством дистанционного управления.
8. Проектирование автономного робота для инспекции воздушной линии электропередачи.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

«Проект применения БПЛА для диагностики ВЛ», «Анализ эффективности роботизированной системы для очистки солнечных панелей», «Разработка алгоритма управления роботом-манипулятором для ревизии оборудования», «Разработка концепции роботизированной системы для автоматической диагностики состояния подземных силовых кабелей», «Анализ эффективности мобильных роботов для обследований электрических станций», «Создание виртуального тренажера для операторов промышленных роботов электромонтажников», «Моделирование динамических характеристик манипуляционного робота для замены изоляторов ЛЭП»

4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | | Уровень сформированности индикатора компетенции |
|--|--|--|---|

| Код компетенции | Код индикатора компетенции | Запланированные результаты обучения по дисципли | Высокий | Средний | Ниже среднего | Низкий |
|---|--|--|--|---|---|---|
| | | | от 85 до 100 | от 70 до 84 | от 55 до 69 | от 0 до 54 |
| | | | Шкала оценивания | | | |
| | | | отлично | хорошо | удовлетворительно | неудовлетворительно |
| зачтено | | | | | не зачтено | |
| ПК-1 Способен осуществлять эксплуатацию, развитие и цифровую трансформацию систем автоматизации и управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов | ПК-1.4 Способен интегрировать робототехнические системы в технологические процессы энергетики для диагностики, ремонта и обеспечения безопасности | знать: | | | | |
| | | <p>принципы построения, архитектуру робототехнических систем; технологические процессы энергетики; РТС для энергетики (для диагностики, ремонта и обеспечения безопасности).</p> | <p>Студент демонстрирует системные, глубокие и детализированные знания по всем ключевым разделам дисциплины. Свободно оперирует терминологией, владеет причинно-следственными связями. Способен к критическому анализу, сравнительной оценке архитектур РТС, технологий и решений, прогнозированию тенденций. Видит дисциплину как единый комплекс для решения практических задач (диагностика, ремонт, безопасность). Знания носят прикладной, гибкий характер. Студент может самостоятельно разрабатывать концепции,</p> | <p>Студент обладает полным и прочным объемом знаний, предусмотренных программой. Освоил все основные понятия и взаимосвязи. Уверенно объясняет принципы, архитектуры и процессы. Понимает логику предмета, но анализ может быть менее глубоким, а сравнение – не всегда всесторонним. Могут отсутствовать детали по новейшим разработкам или сложным интеграционным аспектам. Может успешно применять знания для решения стандартных задач, четко</p> | <p>Знания фрагментарны, недостаточно глубоки или имеют пробелы в ключевых разделах. Освоена в основном общая, описательная информация. Воспроизводит определения и отдельные факты, но испытывает трудности с установлением связей между ними. Понимание поверхностное, аналитические способности слабо развиты. Объяснения носят заученный, шаблонный характер. Способен применять знания только для решения простейших, репродуктивных задач по известному образцу, часто</p> | <p>Знания отрывочны, содержат грубые ошибки или отсутствуют по значительной части программы. Не усвоены базовые понятия и термины. Не понимает сути изучаемых процессов и систем. Не может объяснить даже основные принципы. Любые попытки анализа приводят к неверным выводам. Не способен применять полученные (вернее, неполученные) знания даже для элементарных заданий. Не может сформулировать осмысленный</p> |
| | | уметь: | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|--|---|---|--|---|
| | | <p>анализировать технологические процессы в энергетике для выявления задач, решаемых с помощью РТС (диагностика, ремонт, безопасность); оценивать эффективность и экономическую целесообразность внедрения РТС на энергообъекте.</p> | <p>Проводит системный, детальный и критический анализ технологических процессов энергообъекта. Точно выявляет ключевые проблемные точки, узкие места и риски, требующие автоматизации. Предлагает неочевидные, инновационные сценарии применения РТС для диагностики, ремонта и повышения безопасности, учитывая синергетический эффект от их внедрения. Проводит комплексную оценку эффективности (технической, эксплуатационной) и полный анализ экономической целесообразности. Учитывает долгосрочные эффекты, риски и альтернативные варианты. Способен строить убедительные экономико-математические модели и делать аргументированные выводы и рекомендации для принятия управленческих решений.</p> | <p>Проводит полный и структурированный анализ технологического процесса по заданному алгоритму. Верно идентифицирует очевидные задачи, которые можно решить с помощью РТС (например, замена человека в опасной зоне, автоматизация периодического осмотра). Предлагает типовые, обоснованные решения, но может упускать сложные взаимосвязи или перспективные ниши для роботизации. Умеет рассчитывать основные технико-экономические показатели по стандартной методике. Делает корректные выводы о целесообразности на основе полученных цифр, но анализ может быть несколько шаблонным, без глубокой проработки сценариев риска или качественных (нефинансовых) преимуществ.</p> | <p>Проводит поверхностный, описательный анализ процесса. Выявляет задачи для роботизации лишь частично или с помощью наводящих вопросов. Предлагаемые решения носят общий, декларативный характер («установить робота для осмотра»), без конкретизации типа робота, его функций или интеграции в процесс. Справляется с отдельными, простейшими расчетами (например, стоимость оборудования), но испытывает трудности с построением целостной финансовой модели. Выводы о целесообразности нечеткие или слабо аргументированы данными. Не учитывает важные составляющие затрат или эффектов.</p> | <p>Не способен провести осмысленный анализ технологического процесса. Не видит связи между особенностями процесса и возможностями РТС. Не может сформулировать конкретную задачу для роботизации либо предлагает абсолютно неадекватные решения. Не владеет методами оценки. Не может выполнить даже базовые расчеты или интерпретировать их результаты. Любые суждения о целесообразности носят произвольный, не подкрепленный расчетами характер.</p> |
| | | Владеть: | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|---|---|--|--|--|
| | | методами проектирования и расчета схем интеграции РТС с системами управления энергообъектами. | Свободно и творчески владеет комплексом современных методов проектирования и расчета. Демонстрирует глубокое понимание принципов и ограничений каждого метода. Способен самостоятельно разрабатывать оптимальные, надежные и масштабируемые архитектурные схемы интеграции РТС с АСУ ТП любого уровня (от локального контроллера до корпоративной SCADA). Учитывает взаимное влияние систем, резервирование, кибербезопасность и требования реального времени. Проводит полный цикл расчетов (выбор интерфейсов, пропускная способность каналов, нагрузка на сеть, временные задержки) и верифицирует решения с помощью имитационного моделирования (например, в Matlab Simulink, специализированных САПР). Способен предвидеть и нивелировать потенциальные конфликты в системе. | Уверенно владеет основным набором методов проектирования и расчета, предусмотренных программой. Понимает их логику и область применения. Способен разработать работоспособную, логически correct схему интеграции для типового энергообъекта на основе изученных шаблонов. Схема отражает ключевые связи и потоки данных, но может содержать незначительные упрощения в части резервирования или обработки исключительных ситуаций. Выполняет базовые, необходимые расчеты для обоснования выбранных решений (подбор сетевого оборудования, оценка времени отклика). Может использовать ПО для моделирования по инструкции, но интерпретация сложных результатов может вызывать затруднения. | Воспроизводит отдельные, наиболее простые методы и расчета только под руководством или по строгому шаблону. Понимание методов поверхностное. Способен скопировать или модифицировать готовую типовую схему интеграции, но при внесении изменений может допускать логические ошибки, нарушающие работоспособность (некорректное подключение, неучтенные зависимости). Схема носит фрагментарный или излишне упрощенный характер. С большим трудом выполняет простейшие расчеты, часто допуская ошибки. Практически не способен к самостоятельному моделированию или корректной интерпретации готовых моделей. | Не владеет методами проектирования и расчета. Не может назвать или объяснить даже базовые подходы. Не способен разработать или понять логику даже простейшей схемы соединения компонентов. Предлагаемые решения технически нереализуемы или абсурдны. Не умеет проводить расчеты и не понимает их цели. Любые попытки приводят к неверным результатам. |
|--|--|---|---|--|--|--|

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

5.1.1. Основная литература

1. Зубарев, Ю. М. Технология автоматизированного производства : учебник / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2026. - 214 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/509881>. - ISBN 978-5-507-51291-1. - Текст : электронный.

2. История робототехнических систем и комплексов : учебник / В. В. Беляков, Н. Ю. Бабанов, В. С. Макаров [и др.] ; под ред. В. В. Белякова. — Москва : КноРус, 2025. — 541 с. — ISBN 978-5-406-14739-9. — URL: <https://book.ru/book/957786>. — Текст : электронный.

3. Булгаков, А. Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление : монография / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев, В. П. Попов. - Москва : СОЛОН - ПРЕСС, 2008. - 488 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/13760>. - Текст : электронный.

4. Лебедев С. К. Кинематика и динамика электромехатронных систем в робототехнике : учебное пособие / С. К. Лебедев, А. Р. Колганов. - 2-е изд. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. - 352 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/499634>. - ISBN 978-5-9729-2635-0. - Текст : электронный.

5.1.2. Дополнительная литература

1. Золкин А. Л. Управление поведением робототехнических комплексов на основе мультимодальных моделей искусственного интеллекта : учебное пособие / А. Л. Золкин, Ф. Ф. Хабибуллин, Ю. В. Гуменникова. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 184 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/505484>. - ISBN 978-5-507-52945-2. - Текст : электронный.

2. Гусев В. В. Основы мехатронных систем : учебное пособие / В. В. Гусев, А. Д. Молчанов, С. А. Поезд ; под общ. ред. В. В. Гусева. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 128 с. - ISBN 978-5-9729-0797-7. - Текст : непосредственный.

3. Седельников И. А. Алгоритмы и программы робототехнического комплекса : учебное пособие / И. А. Седельников. - Москва : Русайнс, 2025. - 151 с. - URL: <https://book.ru/books/957802>. - ISBN 978-5-466-09071-0. - Текст : электронный.

4. Машков К. Ю. Состав и характеристики мобильных роботов : учебное пособие / К. Ю. Машков, В. И. Рубцов, И. В. Рубцов. - Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 75 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/58390>. - ISBN 978-5-7038-3866-2. - Текст : электронный.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

Электронные ресурсы КГЭУ: <https://lms.kgeu.ru/>

5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

1. Российская национальная библиотека

Адрес: <http://nlr.ru/>

2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

Адрес: <http://elibrary.ru>

3. Электронная библиотека диссертаций (РГБ)

Адрес: diss.rsl.ru

4. Национальная электронная библиотека (НЭБ)

Адрес: <https://rusneb.ru/>

5. Техническая библиотека

Адрес: <http://techlibrary.ru>

6. Федеральный институт промышленной собственности

Адрес: new.fips.ru

7. Информационные справочные системы – ИСС «Кодекс» / «Техэксперт»

Адрес: <http://app.kgeu.local/Home/Apps>

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

1. Windows 7 Профессиональная (Starter)

2. LabVIEW Professional Development System for Windows

3. NI Academic Site License – Multisim Teaching Only (Smaili)

4. NI Academic Site License – LabVIEW Teaching and Research (Smaili)

5. Office Professional Plus 2007 Windows32 Russian DiskKit MVL CD

6. LabVIEW DIGITAL Filter

7. LabVIEW Full Development System for Windows (NI Software Suite)

8. NI LabVIEW Signal Express for Windows (Сервис на ПО NI)

9. Adobe Acrobat

10. LMS Moodle

11. SCADA-система

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование вида учебной работы | Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории | Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения |
|----------------------------------|--|--|
| Лекции | А-304 | Доска аудиторная, компьютер в комплекте с монитором, проектор |
| Практические занятия | А-309 | Доска аудиторная, компьютеры с мониторами (12 шт.), проектор |
| Лабораторные работы | Учебная лаборатория «компьютерное моделирование и ижиниринг в области энергетики и машиностроения», Г-408 Компьютерный класс с выходом в Интернет | Специализированной лабораторное оборудование по профилю лаборатории: Специализированная учебная мебель, технические средства обучения |
| Самостоятельная работа | Компьютерный класс с выходом в Интернет А-309 | компьютеры с мониторами (12 шт.), проектор |

| | | |
|--|--------------------------|---|
| | Читальный зал библиотеки | Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение |
|--|--------------------------|---|

7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www//kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;

- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);
- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);
- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;
- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;
- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

| № п/п | № раздела внесения изменений | Дата внесения изменений | Содержание изменений | «Согласовано» Зав. каф. реализующей | «Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая |
|-------|------------------------------|-------------------------|----------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Б1.В.05 Роботизации в энергетике

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) Цифровая автоматизация и роботизация
в электроэнергетике

Квалификация Магистр

Оценочные материалы по дисциплине «Роботизации в энергетике», предназначенные для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

1. Технологическая карта

Семестр 3 (экзамен)

| Наименование раздела | Формы и вид контроля | Рейтинговые показатели | | | | | | | |
|--|----------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | I текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК1 | II текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК2 | III текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК3 | Итого | Промежуточная аттестация |
| Раздел 1. «Введение в робототехнику. Основы и компоненты РТС» | ТК1 | 10 | 0-15 | | | | | 10-25 | 10-25 |
| Кейс-задача (КЗ) | | 10 | | | | | | | |
| Раздел 2. «Кинематика, динамика и управление манипуляторами» | ТК2 | | | 20 | 0-15 | | | 20-35 | 20-35 |
| Кейс-задача (КЗ) | | | | 10 | | | | | |
| Защита лабораторной работы | | | | 10 | | | | | |
| Раздел 3. «Диагностика и мониторинг энергообъектов» | ТК3 | | | | | 25 | 0-15 | 25-40 | 25-40 |
| Конспектирование учебного материала | | | | | | 5 | | | |
| Кейс-задача (КЗ) | | | | | | 10 | | | |
| Защита лабораторной работы | | | | | | 10 | | | |
| Промежуточная аттестация (экзамен) | ОМ 1 | | | | | | | | 0-45 |
| В письменной форме по билетам | | | | | | | | | 0-45 |

Семестр 3(КП)

| Наименование раздела | Формы и вид контроля | Рейтинговые показатели | | | | | | | |
|---|----------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | I текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК1 | II текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК2 | III текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК3 | Итого | Промежуточная аттестация |
| Этап 1. «Подготовительный (теоретико-аналитический)» | | 15 | 0-15 | | | | | 15-30 | 15-30 |

1. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

| Код компетенции | Код индикатора компетенции | Запланированные результаты обучения по дисциплине | Уровень сформированности индикатора компетенции | | | |
|--|--|---|---|---|--|---|
| | | | Высокий | Средний | Ниже среднего | Низкий |
| | | | от 85 до 100 | от 70 до 84 | от 55 до 69 | от 0 до 54 |
| | | | Шкала оценивания | | | |
| | | | отлично | хорошо | удовлетворительно | неудовлетворительно |
| | | | зачтено | | не зачтено | |
| ПК-1 | ПК-1.4 | знать: | Студент свободно ориентируется в ключевых разделах дисциплины, уверенно оперирует терминологией и видит предмет целостно. Критически анализирует, сравнивает и прогнозирует развитие технологий. Его знания практичны и гибки, позволяя самостоятельно разрабатывать концепции и аргументированно обосновывать интеграцию РТС в реальную инфраструктуру | Студент освоил всю необходимую программу, уверенно объясняет базовые принципы и взаимосвязи, но поверхностно, упуская детали последних разработок. Применяет знания для стандартных задач, работает под руководством в нестандартных ситуациях. | Знания фрагментарны, понимание поверхностное, аналитические способности слабые. Может решать лишь простейшие задачи по шаблону, самостоятельная работа затруднена. | Знания крайне недостаточны, имеются грубые ошибки и пробелы. Базовые понятия не усвоены, анализ невозможен, применить знания не получается. |
| Способен осуществлять эксплуатацию, развитие и цифровую трансформацию систем автоматизации и управления технологическими процессами (АСУ | Способен интегрировать робототехнические системы в технологические процессы энергетики для диагностики, ремонта и обеспечения безопасности | принципы построения, архитектуру робототехнических систем; технологические процессы энергетики; РТС для энергетики (для диагностики, ремонта и обеспечения безопасности). | уметь: | | | |

| | | | | | | |
|----------------------------|--|---|--|---|--|---|
| ТП) энергооб- ъектов | | анализировать технологические процессы в энергетике для выявления задач, решаемых с помощью РТС (диагностика, ремонт, безопасность); оценивать эффективность и экономическую целесообразность внедрения РТС на энергообъекте. | Критично и детально анализирует технологические процессы энергообъекта, выявляет узкие места и риски. Предлагает инновационные сценарии применения РТС с оценкой всех видов эффективности и построением обоснованных моделей для управленческих решений. | Структурированно анализирует технологический процесс, верно определяет стандартные задачи для роботизации и рассчитывает базовую экономику. Выводы корректны, но поверхностны, упущены сложные связи и качественные преимущества. | Поверхностно описывает процесс, решает общие задачи без конкретики. Простые расчеты возможны, финансовая модель отсутствует, выводы слабодоказательны и непоследовательны. | Не способен проанализировать процесс, предложить адекватные решения и сделать обоснованную оценку целесообразности роботизации. |
| | | владеть: методами проектирования и расчета схем интеграции РТС с системами управления энергообъектами. | Творчески владеет современными методами проектирования и расчета. Разработчик надежных архитектур интеграции РТС с АСУ ТП любых уровней, проводит полный цикл расчетов и верификацию решений. | Хорошо владеет основными методами проектирования и расчета, создает рабочую схему интеграции для типовых случаев. Выполняет базовые расчеты, использует ПО для моделирования по инструкции. | Использует простые методы проектирования и расчета по шаблону, допускает ошибки при изменениях схемы. Сложности с выполнением расчетов и пониманием моделирования. | Не владеет методами проектирования и расчета, не способен создать простую схему или провести корректные вычисления. |

Оценка **«отлично»** выставляется за *глубокое понимание особенностей робототехнических систем, умение системно анализировать технологические процессы и предлагать оригинальные решения для автоматизации и роботизации. Свободно владеет методиками расчета и моделирования, легко адаптирует теоретические знания к практической ситуации;*

Оценка **«хорошо»** выставляется за *четкое представление о структуре и назначении робототехнических систем, уверенная ориентация в типовых задачах и технологиях. Умение грамотно подбирать готовые решения и проводить расчетно-проектировочную деятельность в рамках стандартных процедур;*

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за *поверхностное знание теории, воспроизведение определенных методик и подходов без глубокого понимания. Возможны ошибки в анализе и выборе решений, низкая степень самостоятельного творчества;*

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за *недостаточное*

усвоение базовой терминологии и принципов роботизации, невозможность применять знания на практике, отсутствие понимания принципиальной структуры и назначения робототехнических систем.

2. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

| Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Описание оценочного средства |
|-------------------------------------|--|--|
| Кейс-задача (КЗ) | Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы | Задания для решения кейс-задачи |
| Курсовой проект (КП), | Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся | Темы проектов |
| Конспектирование учебного материала | Краткое текстовое представление переработанной информации | Перечень разделов |
| Отчет по лабораторной работе (ОЛР) | Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету | Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету |

3. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Текущий контроль ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК 1.4.3

Кейс-задача: «Проектирование роботизированного комплекса для мониторинга и ремонта высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП) 110 кВ»

Энергетическая компания обслуживает протяженные участки воздушных ЛЭП (110 кВ) в сложной географической зоне (холмистая

местность, частые ветра, обледенение) Ручные осмотры и ремонты опасны, затратные и медленные. Компания инициировала проект по разработке и внедрению робототехнического комплекса.

Задача для команды обучающихся: Провести полный цикл работ по обоснованию, проектированию и планированию внедрения РТК.

Этапы кейса для ТК1.

1. Техническое задание (ТЗ) на создание РТК. Определите:

- Цели и задачи роботизации (что робот должен делать?)
- Критерии успеха (охват за смену, количество выявляемых дефектов, время на устранение)
- Ограничение и условия (работа под напряжением до 110 кВ, автономность не менее 6 часов, весогабаритные ограничения для размещения на проводе, работа при ветре до 15 м/с, температура от -30 °С до 40 °С)
- Требование к интерфейсам и интеграция (передача данных в центр управления)

2. Расчет параметров манипулятора для ремонтных работ.

Для задачи замены дефектного гирляндного изолятора рассчитайте ключевые параметры ремонтного манипулятора робота:

- Необходимое количество степеней свободы
- Грузоподъемность
- требуемая точность позиционирования инструмента
- Рабочая зона, необходимая для доступа к точкам крепления
- Тип привода для условий работы на высоте

Текущий контроль ТК2:

Проверяемая компетенция: ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1

Этапы кейса для ТК2.

3. Сравнительный анализ робототехнических решений для ЛЭП.

Задание: Сравнить два концептуальных решения (наземный робот-манипулятор, кареточный робот) и предложить лучшее.

Критерии для анализа: автономность, мобильность на местности, сложность доступа к середине пролета, стоимость, безопасность. Составить сравнительную таблицу с балльной оценкой.

4. Моделирование обмена данными между роботом и SCADA.

Задание: спроектируйте архитектуру обмена данными; создайте схему/модель (показывающую: какие данные робот передает в SCADA-систему диспетчера в реальном времени, какие команды оператор может отправлять роботу, какой протокол связи целесообразно использовать)

5. Оптимизация маршрутов патрулирования роботами ЛЭП.

Для участка ЛЭП длиной 50 км с 120 опорами спроектируйте оптимальный маршрут патрулирования для 3 роботов.

- Учтите, что опоры имеют разную приоритетность
- Учтите точки подзарядки/обслуживания роботов
- Предложите алгоритмы перестроения маршрутов при обнаружении дефекта, требующего срочного вмешательства другого робота

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 1: Анализ ТЗ на роботизацию технологического процесса.

Цель защиты: Проверить понимание структуры ТЗ, умение выявлять противоречивые, неполные или некорректные требования и обоснование технических решений

Базовые вопросы:

1. Опишите структуру и ключевые разделы грамотного технического задания (ТЗ) на роботизацию

2. Назовите основные источники информации, которые вы использовали для формулировки требований в вашем ТЗ. Почему именно они?

3. Перечислите не менее трех типичных ошибок или «ловушек» при составлении ТЗ и объясните, как вы их избежали в своей работе.

4. Как в вашем ТЗ связаны между собой разделы «Цель роботизации» и «Требования к функциям робота»? Приведите конкретный пример из вашего проекта.

5. Объясните разницу между функциональными (что система должна делать) и нефункциональными (какими свойствами обладать) требованиями. Приведите по два примера каждого из вашего ТЗ.

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. В вашем ТЗ был пункт о необходимости работы в агрессивной среде / при низких температурах / в зоне радиопомех (выберите актуальное). Как это требование повлияло на конкретный выбор компонентов робототехнической системы (материалы, тип датчиков, приводов, вид связи)?

7. Представьте, что заказчик хочет удешевить проект и предлагает исключить из ТЗ требование к системе технического зрения, оставив только контактные датчики. К каким последствиям для выполнения основной задачи это может привести? Аргументируйте, отстаивая или опровергая предложение заказчика.

8. В процессе анализа выявилось противоречие между требованиями к максимальной скорости работы и к высокой точности позиционирования. Какой компромисс или техническое решение вы предложили для разрешения этого противоречия?

9. Как вы оценивали реалистичность и выполнимость требований, заложенных в ваше ТЗ (например, по грузоподъемности, точности или времени автономной работы)? Какие упрощенные расчеты или аналогии вы использовали?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Ваше ТЗ – это «застывший» документ. Предложите процедуру или методологию для его возможной итеративной корректировки на ранних

этапах проектирования. Какие прототипы или испытания могли бы дать информацию для таких корректировок?

11. Представьте, что вы – инженер, принимающий это ТЗ в работу. Какой самый неочевидный или рискованный пункт в документе вы бы запросили для дополнительного обоснования или уточнения в первую очередь? Почему?

12. Сформулируйте гипотезу о том, как изменение одного ключевого требования (например, переход от стационарной к мобильной платформе) повлияло бы на всю архитектуру системы и итоговую стоимость проекта. Покажите цепочку рассуждений.

Лабораторная работа 2: Расчет параметров манипулятора для ремонтных работ

Цель защиты: проверить умение переводить технологическую задачу в инженерные параметры, понимание взаимосвязи между характеристиками манипулятора и выбор компонентов.

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Перечислите основные расчетные параметры манипулятора, которые вы определяли в работе, и объясните физический смысл каждого.

2. От каких исходных данных технологического процесса (из ТЗ) напрямую зависит ваш расчет грузоподъемности и рабочей зоны?

3. Что такое рабочая зона (workspace) манипулятора и как она связана с его кинематической схемой (например, сочлененная, декартова)? Какую схему выбрали вы и почему?

4. Объясните, как требования к точности выполнения операции повлияли на ваш выбор типа редуктора (например, гармонический, волновой, планетарный) и класса точности подшипниковых узлов.

5. Покажите на схеме/модели вашего манипулятора, какие суставы испытывают наибольшую нагрузку в вашем основном технологическом положении. Как это учтено в расчетах?

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. Как вы учитывали в расчетах динамические нагрузки (инерцию, ускорения), а не только статическую грузоподъемность? Почему это важно для ремонтных операций?

7. В вашем расчете была заложена определенная запас прочности (коэффициент безопасности). Обоснуйте выбранное значение. К каким последствиям привело бы его уменьшение или увеличение?

8. Проведите сравнительный анализ: что произошло бы с массой, стоимостью и быстродействием манипулятора, если бы вы выбрали пневматический привод вместо электрического (или наоборот) для той же задачи?

9. Как требования к энергоэффективности (например, для автономного робота) могли бы повлиять на ваш расчет? Какие параметры вы бы стали оптимизировать в первую очередь?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Ваш расчет основан на идеализированной модели. Назовите три основных фактора реальной эксплуатации (например, износ, температурные деформации, вибрации), которые могут привести к отклонению реальных характеристик от расчетных. Как можно компенсировать их влияние на системном уровне?

11. Предложите концепцию компромиссного решения: если бы заказчик потребовал увеличить рабочую зону на 30%, но при этом не менять общие габариты и стоимость манипулятора, какие конструктивные изменения или альтернативные кинематические схемы вы бы рассмотрели?

12. Опишите процедуру верификации ваших расчетных параметров на практике. Какое простое натурное испытание или тест на прототипе вы могли бы предложить, чтобы подтвердить, например, точность позиционирования или реальную грузоподъемность?

Текущий контроль ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В

Этапы кейса для ТКЗ.

6. Экономическое обоснование проекта внедрения робототехнического комплекса.

Рассчитайте экономическую эффективность проекта за 5 лет.

- Капитальные затраты
- Операционные затраты
- Экономия

7. Изучение требований безопасности.

Разработайте раздел «Меры безопасности» для регламента работы с РТК.

- Электробезопасность
- Функциональная безопасность
- Безопасность для персонала

8. Реализация алгоритма адаптации управления движением робота к меняющимся внешним условиям.

Опишите алгоритм управления движением робота-каретки по проводу, адаптирующийся к: изменению ветровой нагрузки, обледенению провода, провисанию провода.

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 3: Сравнительный анализ робототехнических решений для ЛЭП

Цель защиты: проверить умение системно сравнивать альтернативы на основе релевантных критериев, делать взвешенный выбор и обосновывать его с учетом экономических и технических факторов.

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Назовите ключевые технологические задачи при обслуживании ЛЭП, которые определили набор анализируемых вами решений (осмотр, ремонт, очистка и т.д.).

2. Представьте в виде таблицы или схемы основные альтернативные решения, которые вы сравнивали (например: БПЛА, ползающий робот, наземный робот-манипулятор, гибридная система).

3. Перечислите и кратко обоснуйте критерии сравнения, которые вы использовали (не менее 5-7, например: мобильность, автономность, грузоподъемность, безопасность, стоимость владения).

4. Как вы определяли весовые коэффициенты для критериев? Каким методом (экспертный опрос, анализ приоритетов ТЗ, парные сравнения) вы пользовались и почему?

5. Какой метод интегральной оценки вы применили для выбора лучшего решения (простое взвешивание, матрица решений, cost-benefit анализ)? Покажите его на конкретных числах из вашей работы.

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. Выявите главное компромиссное противоречие ("trade-off") в вашем анализе (например, между мобильностью БПЛА и грузоподъемностью наземного робота). Как вы предлагаете решать это противоречие в рамках выбранного решения?

7. Анализ чувствительности: Как изменился бы ваш итоговый вывод, если бы заказчик вдвое увеличил значимость критерия "безопасность работы под напряжением"? Продемонстрируйте пересчет.

8. Один из рассмотренных вариантов явно проигрывает по большинству критериев, но имеет уникальное преимущество (например, самая низкая цена). В каком сценарии (при каких изменяющихся условиях) этот "аутсайдер" мог бы стать оптимальным выбором?

9. Ваш анализ, скорее всего, основан на имеющихся на рынке или гипотетических решениях. Какую ключевую характеристику вы бы добавили к идеальному, с вашей точки зрения, решению, которого нет у текущих альтернатив?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Ваш анализ – это "снимок" текущей ситуации. Какие технологические тренды (развитие ИИ, новых материалов, аккумуляторов) в ближайшие 5 лет могут кардинально изменить позиции рассмотренных вами решений? Какое решение имеет больший потенциал для улучшения?

11. Представьте, что вы не выбираете одно решение, а проектируете гетерогенный комплекс (например, БПЛА для инспекции + наземный робот для ремонта). Как бы вы организовали их взаимодействие и перераспределили задачи между ними, чтобы получить синергетический эффект?

12. Сформулируйте план пилотного внедрения для выбранного вами решения. На каком самом проблемном, но ограниченном участке ЛЭП вы бы начали испытания? Какие ключевые показатели эффективности вы бы измеряли в этом пилоте, чтобы окончательно подтвердить ваш выбор?

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 4: Моделирование обмена данными между роботом и SCADA

Цель защиты: Проверить понимание принципов построения распределенных систем управления, знание протоколов и умение проектировать отказоустойчивые и безопасные каналы обмена данными.

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Опишите архитектурную роль SCADA-системы в контуре управления роботом. Является ли она только визуализатором или активным участником управления?

2. Перечислите основные категории данных, которые робот передает в SCADA (телеметрия, состояние, аварии, медиаданные), и данные, которые получает от нее (задачи, команды, конфигурации). Приведите конкретные примеры из вашей модели.

3. Какой протокол передачи данных (OPC UA, MQTT, Modbus TCP, DDS, собственный) вы выбрали для моделирования и почему именно он подходит для задач робототехники (учитывая требования к реальному времени, надежности, "весу")?

4. Продемонстрируйте созданную вами модель (схему, диаграмму последовательностей) обмена данными для одной типовой операции (например, "Перемещение в точку X"). Объясните последовательность сообщений.

5. Что такое цикл опроса (polling) и уведомления по событию (event-based)? Какой подход и для каких типов данных вы использовали в своей модели и почему?

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. С точки зрения безопасности (cybersecurity), какие основные угрозы существуют для канала связи робот-SCADA? Какие минимальные меры защиты (аутентификация, шифрование, контроль целостности) вы предусмотрели в своей модели?

7. Анализ надежности: Что происходит в вашей модели при обрыве связи? Как робот и SCADA определяют факт потери связи? Какие автономные или аварийные процедуры вы заложили для робота на этот случай?

8. Как ваша модель обрабатывает ситуацию конфликта команд (например, оператор вручную дает команду "стоп", в то время как выполняется автоматическая процедура)? Какой приоритет у каких команд и где это разрешается?

9. SCADA-система часто является интегратором. Как в вашей модели организован обмен данными о состоянии робота с другими корпоративными системами (например, с системой управления активами EAM или географической информационной системой GIS)? Приведите пример такого обмена.

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Ваша модель работает в идеальных условиях. На практике возникают задержки (latency) и потери пакетов (packet loss). Как эти факторы могут критически повлиять на выполнение задачи (например, на управление манипулятором)? Какие архитектурные или программные приемы (буферизация, прогнозирование, избыточность) можно применить для их компенсации?

11. Представьте, что вместо одного робота нужно управлять группой (роем) из 10 одинаковых устройств. Как принципиально должна измениться ваша модель обмена данными? Нужен ли дополнительный уровень управления (менеджер роя)? Как SCADA будет отображать и контролировать такую группу?

12. Сформулируйте требования к тестовому стенду для проверки и отладки спроектированного вами обмена данными. Какое оборудование (аппаратные шлюзы, имитаторы связи, тестовые SCADA) и какое ПО вам понадобится, чтобы смоделировать работу системы в условиях, близких к реальным?

Конспектирование учебного материала по разделам:

Раздел 1. *Введение в робототехнику. Основы и компоненты РТС.*

Тема 1.1. Классификация роботов.

Тема 1.2. Мехатронные модули: приводы, датчики, контроллеры.

Тема 1.3. Микропроцессорные системы управления.

Тема 1.4. Основные кинематические схемы манипуляторов.

Раздел 2. *Кинематика, динамика и управление манипуляторами.*

Тема 2.1. Прямая и обратная задачи кинематики.

Тема 2.2. Динамика роботов.

Тема 2.3. Позиционные и контурные системы управления.

Тема 2.4. Языки программирования РТС

Раздел 3. *Диагностика и мониторинг энергообъектов.*

Тема 3.1. Летательные аппараты (БПЛА) для мониторинга ЛЭП.

Тема 3.2. Роботы для диагностики подстанций.

Тема 3.3. Системы технического зрения.

Тема 3.4. Роботы для работы в опасных средах (АЭС, ГЭС).

Текущий контроль ТК4:

Проверяемая компетенция: ПК-1.4.У2, ПК-1.4.В

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 5: Имитация аварийной ситуации и диагностика неисправностей с помощью роботов

Цель защиты: Проверить умение применять системный подход к

анализу отказов, проектировать диагностические алгоритмы и оценивать действия робота в нештатных условиях.

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Опишите выбранный вами типовой сценарий аварии или неисправности на энергообъекте (например, возгорание масляного выключателя, обрыв провода, повреждение изолятора). Какие внешние признаки характеризуют эту ситуацию?

2. Перечислите сенсорные средства робота (тепловизор, газоанализатор, камера высокого разрешения, микрофон, датчики тока), которые вы использовали для имитации диагностики, и объясните, какой признак каким сенсором фиксируется.

3. Как была организована логика принятия решения роботом? Опишите простую блок-схему.

4. Какие три категории данных (оперативные, диагностические, метаданные) робот должен передать диспетчеру в первую очередь при обнаружении аварийной ситуации?

5. Что такое ложное срабатывание в контексте вашей работы? Как ваш алгоритм пытается минимизировать эту вероятность (например, перепроверка по второму сенсору)?

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. Анализ «что, если?»: Что произойдет, если в критический момент выйдет из строя ключевой датчик (например, тепловизор)? Есть ли у робота стратегия резервирования или перехода на диагностику по вторичным признакам?

7. Как в вашей модели реализовано различие между предвестником аварии (например, локальный перегрев) и развившейся аварией (открытое пламя)? Меняются ли приоритеты действий робота и форматы оповещения?

8. Предложите способ количественной оценки серьезности обнаруженной неисправности (например, введение уровней опасности: "Предупреждение", "Авария", "Критическая авария"). На основе каких измеряемых параметров вы будете ее присваивать?

9. Смоделируйте ситуацию конфликта задач: робот выполняет плановый осмотр и одновременно обнаруживает признаки аварии в другом секторе. По какому алгоритму он должен принять решение о перепланировании своих действий?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Ваш алгоритм работает по заранее заданным правилам. Как можно улучшить систему, внедрив элементы машинного обучения? Для решения какой конкретной диагностической задачи (например, классификация типа повреждения изолятора по изображению) ML был бы

наиболее полезен и почему?

11. Разработайте концепцию послеаварийного анализа силами робота. Какие данные нужно сохранить в черном ящике (логе) робота и какие дополнительные замеры провести после локализации аварии, чтобы помочь комиссии разобраться в причинах?

12. Спроектируйте интерфейс оператора для работы в аварийном режиме. Какая информация должна отображаться на главном экране в первую секунду после получения аварийного сигнала от робота? Как избежать информационной перегрузки оператора?

Текущий контроль ТК5:

Проверяемая компетенция: ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 6: Планирование траектории движения мобильного робота

Цель защиты: Проверить понимание методов навигации, умение выбирать и применять алгоритмы планирования пути, учитывать ограничения и оптимизировать маршрут.

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Объясните разницу между глобальным и локальным планированием пути. Какой метод (алгоритм) вы использовали для каждого этапа в своей работе?

2. Представьте карту окружающей среды, с которой работал ваш робот. Как были заданы препятствия, свободное пространство и целевые точки? Какой формат карты использовался (растр, граф, вероятностный)?

3. Опишите выбранный вами алгоритм поиска пути (A^* , Dijkstra, RRT, Potential Fields и т.д.). В чем его основные преимущества и недостатки для вашей конкретной задачи?

4. Какие кинематические или динамические ограничения робота (минимальный радиус поворота, максимальная скорость, инерция) вы учитывали при планировании? Как они были формализованы в модели?

5. Как ваша система реагирует на появление нового, незапланированного препятствия на карте во время движения? Продемонстрируйте это на примере.

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. Ваш алгоритм оптимизирует путь по длине. Предложите, как изменить целевую функцию, чтобы оптимизировать путь по времени или по энергопотреблению. Какие дополнительные параметры для этого потребуются?

7. Сравните два алгоритма планирования (например, A^* и RRT) применительно к вашей среде. В каком сценарии (простая карта/сложная

карта, наличие динамических препятствий) каждый из них был бы предпочтительнее?

8. Что такое плавность траектории и почему она важна для мобильного робота? Как вы обеспечивали плавность сгенерированного пути (например, сплайновая интерполяция, фильтрация)?

9. Как бы вы организовали планирование пути для робота с прицепом или длинным грузом? Какие дополнительные сложности возникают и как их можно учесть в алгоритме?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Проблема "узкого места": Ваш робот должен регулярно патрулировать большую территорию. Как вы организовали бы циклическое планирование маршрутов для группы роботов, чтобы минимизировать время между осмотрами ключевых точек и избежать столкновений?

11. Представьте, что карта среды неполна или неточна. Как можно совместить планирование по грубой карте с реактивным поведением на основе данных камеры в реальном времени? Опишите архитектуру гибридной системы.

12. Сформулируйте критерии для экспериментальной проверки качества спланированной траектории. Какие метрики (длина пути, время прохождения, максимальные ускорения, безопасный отступ от препятствий) вы бы замеряли на реальном роботе и как?

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 7: Организация взаимодействия робота с оператором посредством дистанционного управления

Цель защиты: Проверить понимание принципов телеуправления, методов компенсации задержек и проектирования эргономичных интерфейсов "человек-машина".

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Опишите архитектуру вашей системы телеуправления: какие аппаратные средства использовались на стороне оператора (джойстик, экран, VR) и на стороне робота (приемник, исполнительные устройства)?

2. Какие режимы управления вы реализовали (непосредственное управление движением, управление по точкам, полуавтономный режим)? В чем их ключевые отличия и области применения?

3. Как была решена задача передачи видео и телеметрии от робота к оператору? Какие параметры (разрешение, FPS, задержка) были критичны и как они обеспечивались?

4. Что такое задержка (латентность) в канале связи и как она влияет на управление? Как вы оценивали ее влияние в своей модели или эксперименте?

5. Опишите основные элементы пульта управления (HID). Как была организована обратная связь с оператором?

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. Как можно компенсировать влияние задержки в канале связи? Опишите принцип прогнозирующего управления или метода "перемещающегося горизонта". Почему простое дублирование команд не решает проблему?

7. Что такое перегрузка оператора (cognitive overload)? Какие приемы в дизайне интерфейса вы использовали или предложили бы, чтобы снизить нагрузку и повысить ситуационную осведомленность?

8. Сравните прямое кинематическое управление (оператор задает скорость суставов) и управление в рабочем пространстве (оператор задает положение схвата). В каких задачах какой режим эффективнее и почему?

9. Как ваша система обеспечивает безопасность при телеуправлении? Что происходит, если связь прерывается, оператор теряет контроль или робот выходит в запрещенную зону?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Предложите концепцию адаптивного интерфейса, который меняет сложность управления в зависимости от квалификации оператора (новичок/эксперт) и сложности текущей задачи (простое перемещение/точная сборка).

11. Спроектируйте систему совместного управления, где высокоуровневые задачи (например, "заменить изолятор") выполняются автономно, а оператор вмешивается только для решения нештатных ситуаций или тонкой настройки. Как разделяются роли?

12. Как можно использовать технологии дополненной реальности (AR) для улучшения телеуправления? Опишите конкретный сценарий, где наложение виртуальной информации на видео с камеры робота (например, контуры детали, стрелки направления, предупреждения) кардинально упростило бы задачу оператора.

Текущий контроль ТК6:

Проверяемая компетенция: ПК-1.4.3, ПК-1.4.У1, ПК-1.4.В

Вопросы для защиты лабораторных работ.

Лабораторная работа 8: Проектирование автономного робота для инспекции воздушной линии электропередачи

Цель защиты: проверить комплексное системное мышление, способность интегрировать знания из всех предыдущих работ в единый проект и учитывать все аспекты: от механики до экономики.

Базовые вопросы (на понимание метода и выполненной работы):

1. Представьте полную системную архитектуру вашего робота-инспектора: из каких основных модулей (сенсорный, двигательный, силовой, управляющий, коммуникационный) он состоит и как они связаны?

2. Как решена ключевая проблема энергоснабжения робота для длительной автономной работы? (Собственные аккумуляторы, подзарядка от линии, гибридная система).

3. Перечислите все виды датчиков в вашем проекте и для решения какой конкретной инспекционной задачи предназначен каждый из них (например, лидар — для построения 3D-карты опоры, тепловизор — для поиска перегрева, камера — для визуального осмотра изоляторов).

4. Опишите алгоритм принятия решений робота. Как он выбирает, что осматривать в первую очередь, когда завершить инспекцию участка, как реагировать на обнаруженную аномалию?

5. Как организовано взаимодействие с внешним миром? Как и какие данные робот передает на землю, как получает новые задания или обновления ПО?

Углубленные вопросы (на анализ и применение):

6. Проведите анализ рисков: какой единственный критический отказ в вашей системе с наибольшей вероятностью приведет к невозможности выполнения миссии или к потере робота? Как этот риск минимизирован (резервирование, безопасный режим)?

7. Как ваш робот будет действовать в непредвиденной ситуации, не заложенной в алгоритмы (например, сильное обледенение провода, столкновение с птичьим гнездом, повреждение собственного двигателя)? Есть ли общая стратегия выживания/возврата?

8. Как результаты инспекции (сырые данные, обработанные отчеты) будут интегрированы в корпоративные системы энергокомпании (SCADA, GIS, системы управления активами)? Какой формат данных и протоколы вы предусмотрели?

9. Оцените, как изменится нагрузка на канал связи в разных режимах работы (передача видео в реальном времени, отправка сжатого отчета, загрузка нового маршрута). Как вы оптимизировали объем передаваемых данных?

Проектные вопросы (на синтез и оценку):

10. Предложите эволюцию вашего проекта. Какие функции следующего поколения робота вы видите, как наиболее перспективные? (Например, возможность простейшего ремонта, автономная зарядка от специальных постов, работа в группе).

11. Разработайте дорожную карту (roadmap) испытаний вашего робота: от лабораторных тестов до опытной эксплуатации на реальной ЛЭП. Какие ключевые этапы и проверки (испытание на сцепление,

помехоустойчивость связи, точность диагностики) вы включите?

12. Сформулируйте ценностное предложение (value proposition) вашего робота для бизнеса энергокомпании. Сведите воедино технические решения из предыдущих работ, чтобы показать, как именно ваш проект сократит операционные расходы (ОРЕХ), снизит риски аварий и повысит надежность сетей.

Конспектирование учебного материала по разделам:

Раздел 4. *Интеграция РТС, проектирование и внедрение ТЭО внедрения.*

Тема 4.1. Архитектура интеграции «робот – АСУ ТП». Стандарты связи.

Тема 4.2. Этапы проектирования РТС.

Тема 4.3. Методы оценки экономической эффективности (ТЭО).

Тема 4.4. Нормативная база и безопасность.

Раздел 5. *Инновационные технологии и перспективные разработки*

Тема 5.1. Перспективы и конструкции мобильных роботов.

Тема 5.2. Автоматическое обучение и адаптивные алгоритмы управления.

Тема 5.3. Искусственный интеллект и автономия роботов.

Тема 5.4. Новые материалы и энергоэффективные механизмы.

Раздел 6. *Практическое применение и кейсы реализации.*

Тема 6.1. Практический опыт эксплуатации роботов.

Тема 6.2. Современные проекты автоматизации процессов обслуживания сетей.

Тема 6.3. Международный опыт роботизации электроэнергетики.

Тема 6.4. Экологические и социальные последствия роботизации энергетики.

Для промежуточной аттестации:

ОМ1

Вопросы для подготовки к экзамену (семестр 3)

Классификация роботов.

1. Дайте определение робототехнической системы (РТС). Назовите три основных класса роботов по типу мобильности и приведите по одному примеру их применения в энергетике.

2. В чем ключевые различия между промышленными, сервисными и мобильными роботами? Какие специфические требования предъявляются к роботам для диагностики энергообъектов?

3. Что такое коллаборативный робот (кобот)? Объясните, какие дополнительные системы безопасности необходимы для его работы рядом с человеком на подстанции.

4. Классифицируйте роботов по типу управляющей программы. Чем отличается жесткое (программное) управление от адаптивного и интеллектуального?

Мехатронные модули: приводы, датчики, контроллеры.

5. Сравните основные типы приводов (электрический, пневматический, гидравлический) по ключевым характеристикам: мощность, точность, быстродействие, пригодность для работы во взрывоопасной среде. Какой тип предпочтителен для манипулятора робота-инспектора ЛЭП и почему?

6. Что такое обратная связь в робототехнике? Объясните разницу между проприоцептивными и экстероцептивными датчиками. Приведите по два примера каждого типа и их назначение в системе диагностики.

7. Опишите состав и функции типичного мехатронного модуля. Как в нем связаны привод, датчик и контроллер?

8. Что такое энкодер и для чего он необходим в приводе робота? Объясните разницу между абсолютным и инкрементальным энкодером.

Микропроцессорные системы управления.

9. Опишите иерархическую структуру системы управления роботом. Какие задачи решаются на нижнем (сервоприводном), среднем (координатном) и верхнем (интеллектуальном) уровнях?

10. В чем разница между микроконтроллером (MCU) и микропроцессором (MPU)? Какой из них и почему чаще используется для управления отдельными приводами или сенсорными узлами робота?

11. Что такое система реального времени (СРВ) и почему она критически важна для управления роботами? Дайте определение жесткому и мягкому реальному времени.

12. Что такое ПЛК (программируемый логический контроллер) и какова его роль в интеграции робототехнического комплекса с оборудованием подстанции (например, с SCADA)?

Основные кинематические схемы манипуляторов.

13. Дайте определение степени подвижности (числу степеней свободы) манипулятора. Сколько степеней свободы требуется для произвольного позиционирования и ориентации схвата в пространстве?

14. Опишите и сравните три основные кинематические схемы манипуляторов: декартову (прямоугольную), цилиндрическую и сферическую (антропоморфную). Укажите их достоинства, недостатки и типичные области применения.

15. Что такое рабочая зона (рабочее пространство) манипулятора? Как кинематическая схема влияет на ее форму?

16. Что такое вырожденные конфигурации манипулятора? Почему их важно учитывать при планировании траектории?

Кинематика, динамика и управление манипуляторами.

Прямая и обратная задачи кинематики.

17. Сформулируйте прямую и обратную задачи кинематики для манипулятора. Какая из них является более сложной в вычислительном плане и почему?

18. Что такое матрица однородного преобразования? Какую роль она

играет в решении кинематических задач?

19. Объясните, почему решение обратной задачи кинематики может быть неединственным. Как выбирается оптимальное решение из нескольких возможных?

20. Для чего в робототехнике используется система координат Денавита-Хартенберга? Опишите основные правила назначения систем координат на звеньях манипулятора.

Динамика роботов.

21. Чем отличается кинематика робота от его динамики? Какие физические величины являются основными объектами изучения в динамике?

22. Что такое динамическая модель робота и для каких целей она строится? Назовите основные силы и моменты, учитываемые в динамической модели (инерция, гравитация, трение и т.д.).

23. Объясните, как учет динамических эффектов (инерции, центробежных сил) влияет на точность позиционирования и быстродействие манипулятора при движении по сложной траектории.

24. Что такое динамическая декомпозиция управления? Как этот принцип позволяет упростить управление многозвенным манипулятором?

Позиционные и контурные системы управления.

25. Объясните принцип работы системы позиционного управления (П-регулятор) для одного звена манипулятора. В чем ее основной недостаток?

26. Что такое контурное (следящее) управление? Опишите структуру ПИД-регулятора в контуре управления приводом. За что отвечают пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие?

27. Сравните управление в пространстве обобщенных координат (суставном пространстве) и в операционном пространстве. В каких задачах каждый из методов предпочтительнее?

28. Что такое сила/моментное управление (импедансное управление)? Где оно необходимо при выполнении роботом ремонтных операций (например, при чистке изоляторов или затяжке контактных соединений)?

Языки программирования РТС

29. Назовите два основных подхода к программированию промышленных роботов: обучение (Teach-in) и текстовое программирование. В чем их суть, преимущества и недостатки?

30. Какие специализированные языки программирования роботов (например, RAPID, KRL, URScript) вы знаете? В чем их ключевые особенности?

31. Какую роль в современной робототехнике играют универсальные языки программирования (C++, Python) и среды (ROS)? Почему они становятся все более популярными?

32. Что такое онлайнное и офлайнное программирование роботов

(OLP)? Какие преимущества дает офлайновое программирование для сложных задач, таких как диагностика уникального энергообъекта?

Диагностика и мониторинг энергообъектов.

Летательные аппараты (БПЛА) для мониторинга ЛЭП.

33. Перечислите основные типы БПЛА (мультикоптер, самолетного типа), используемые для мониторинга ЛЭП. Сравните их по ключевым параметрам: продолжительность полета, стабильность зависания, помехоустойчивость, грузоподъемность.

34. Какое бортовое диагностическое оборудование (сенсоры) typically устанавливается на БПЛА для инспекции ЛЭП? Опишите, для выявления каких дефектов предназначен каждый сенсор (например, тепловизор, лидар, камера УФ-диапазона).

35. В чем заключаются основные технологические и нормативные ограничения применения БПЛА для мониторинга ЛЭП (погодные условия, зоны ограничения полетов, необходимость связи с диспетчером)?

36. Опишите процесс автоматизированной обработки данных (фотограмметрия, анализ тепловизионных снимков), полученных с БПЛА, для формирования дефектной ведомости.

Роботы для диагностики подстанций.

37. Классифицируйте роботов для диагностики подстанций по типу платформы (наземные мобильные, рельсовые, стационарные). Приведите примеры решаемых ими задач.

38. Какие специфические опасные факторы существуют на территории подстанции (ЭМ поля, высота, газ SF₆) и как они учитываются при проектировании диагностических роботов?

39. Как организовано взаимодействие робота-инспектора с действующим оборудованием подстанции? Какие меры электробезопасности и предотвращения ложных срабатываний должны быть предусмотрены?

40. Что такое цифровой двойник (Digital Twin) подстанции и как данные от роботов-инспекторов могут использоваться для его актуализации и прогнозной аналитики?

Системы технического зрения.

41. Из каких основных компонентов состоит система технического зрения робота? Опишите путь от получения изображения до принятия решения.

42. Объясните разницу между 2D и 3D зрением в робототехнике. Какие сенсоры используются для каждого типа и в каких задачах диагностики они наиболее востребованы (например, 2D для считывания показаний счетчиков, 3D для оценки износа деталей)?

43. Что такое калибровка камеры и для чего она необходима? Опишите простейший алгоритм детектирования объекта на изображении (например, изолятора) по цвету или контуру.

44. Как методы машинного обучения, в частности сверточные

нейронные сети (CNN), применяются в системах технического зрения для автоматической диагностики дефектов (трещины, коррозия, перегрев)?

Роботы для работы в опасных средах (АЭС, ГЭС).

45. Какие экстремальные условия характерны для зон работ на АЭС (радиация, зараженность) и ГЭС (подводная среда, высокое давление)? Как эти условия влияют на выбор материалов, компонентов и систем защиты робота?

46. В чем особенности управления роботами в условиях отсутствия или сильного ослабления сигналов GPS и радиочастотной связи (например, внутри гермообъемов или под водой)? Какие альтернативные методы навигации и связи можно использовать?

47. Что такое роботы для ликвидации последствий аварий (аварийно-спасательные роботы)? Какие дополнительные функции (разрушение препятствий, взятие проб, транспортировка грузов) они должны иметь?

48. Объясните концепцию «снижения риска для персонала» как главного экономического обоснования для внедрения роботов в опасных средах энергетики. Приведите пример расчета.

ОМкп

Темы курсового проекта (семестр 3)

«Проект применения БПЛА для диагностики ВЛ»

«Анализ эффективности роботизированной системы для очистки солнечных панелей»

«Разработка алгоритма управления роботом-манипулятором для ревизии оборудования»

«Разработка концепции роботизированной системы для автоматической диагностики состояния подземных силовых кабелей»

«Анализ эффективности мобильных роботов для обследований электрических станций»

«Создание виртуального тренажера для операторов промышленных роботов электромонтажников»

«Моделирование динамических характеристик манипуляционного робота для замены изоляторов ЛЭП»

ОМ2

Вопросы для подготовки к экзамену (семестр 4)

Интеграция РТС, проектирование и внедрение. ТЭО внедрения.

Архитектура интеграции «робот – АСУ ТП». Стандарты связи.

1. Опишите типовую архитектуру интеграции робототехнического комплекса (РТК) с АСУ ТП энергообъекта. Какие основные компоненты (шлюзы, серверы, интерфейсы) в нее входят и какую функцию выполняют?

2. Объясните разницу между интеграцией робота на уровне данных (например, передача телеметрии в SCADA) и на уровне управления (получение команд от MES/DCS). Приведите примеры задач для каждого

уровня.

3. Сравните протоколы OPC UA и MQTT для интеграции робота с АСУ ТП. В каких сценариях (циклический опрос датчиков, событийные аварийные сообщения) предпочтительнее каждый из них и почему?

4. Что такое единое информационное пространство (ЕИП) предприятия и как правильно спроектированная интеграция РТК способствует его созданию? Какие риски возникают при создании «информационных островов»?

Этапы проектирования РТС.

5. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные этапы жизненного цикла РТС согласно стандартам (например, ISO 10218): от формулировки концепции до вывода из эксплуатации.

6. Что такое – системное проектирование (Systems Engineering)? Опишите процесс декомпозиции общей задачи (например, «автоматизированная инспекция подстанции») на функциональные требования к подсистемам робота.

7. На этапе технического проектирования принимаются ключевые решения по компонентам. Как выбор между готовым (commercial off-the-shelf, COTS) и специально разработанным (custom) компонентом влияет на стоимость, сроки и надежность проекта?

8. Что включают в себя этапы верификации и валидации (V&V) при проектировании РТС? Объясните разницу между ними на примере робота-инспектора ЛЭП (Верификация: «Робот построен правильно?»; Валидация: «Этот робот правильно решает задачу инспекции?»).

Методы оценки экономической эффективности (ТЭО).

9. Назовите основные группы затрат (CAPEX и OPEX) и выгод (прямые и косвенные) при составлении ТЭО на внедрение РТК. Приведите конкретные примеры для проекта роботизации диагностики ЛЭП.

10. Что такое расчет чистой приведенной стоимости (NPV) и внутренней нормы доходности (IRR)? Как с помощью этих показателей принимается решение об эффективности инвестиций в робототехнику?

11. Как количественно оценить неочевидные (нематериальные) **выгоды** от внедрения роботов, такие как повышение безопасности персонала, снижение репутационных рисков или улучшение качества данных? Предложите метод их косвенной денежной оценки.

12. Проведите сравнительный анализ двух подходов к финансированию: прямая закупка робота и модель «Робот как услуга» (RaaS). В каких бизнес-сценариях каждый из них более выгоден для энергокомпании?

Нормативная база и безопасность.

13. Перечислите ключевые категории нормативных документов, регулирующих создание и применение РТС в энергетике: технические регламенты (безопасность машин), отраслевые стандарты (РД, СТО), международные стандарты (ISO, IEC). Приведите по одному примеру для каждой категории и поясните их назначение.

14. Какие разделы должны быть обязательно включены в паспорт безопасности (Risk Assessment) для РТК, работающего на подстанции? Опишите процесс выявления и оценки рисков (HAZOP, FMEA).

15. Объясните требования к функциональной безопасности (Functional Safety) согласно стандартам (напр., IEC 61508, ISO 13849). Что такое уровень полноты безопасности (SIL / PL) и как он определяется для системы аварийной остановки робота?

16. Какие специфические требования кибербезопасности (IEC 62443) предъявляются к роботу, интегрированному в АСУ ТП критической инфраструктуры? Назовите минимум три обязательных меры защиты (например, контроль целостности ПО, аутентификация, сегментация сети).

Инновационные технологии и перспективные разработки

Перспективы и конструкции мобильных роботов.

17. Назовите три ключевых технологических тренда, определяющих развитие мобильных роботов для энергетики (например, модульность, роение, биомиметика). Раскройте один из них на конкретном примере.

18. Что такое роботы с «перестраиваемой конструкцией» (reconfigurable robots) и как их способность менять форму может быть использована для преодоления сложных препятствий на энергообъектах (например, в завалах, внутри труб)?

19. Сравните две перспективные платформы для инспекции труднодоступных участков: роботы-змеи (snakebots) и рои микро-БПЛА (swarm drones). Укажите их потенциальные применения, преимущества и ограничения.

20. Объясните концепцию «робота как услуги» (Robot-as-a-Service, RaaS) применительно к мобильным диагностическим системам. Как эта модель может изменить подход энергокомпаний к техническому обслуживанию?

Автоматическое обучение и адаптивные алгоритмы управления.

21. В чем принципиальное отличие адаптивного управления от классического ПИД-регулирования? Приведите пример задачи в энергетике, где адаптивность критически важна (напр., захват деформированного объекта под напряжением).

22. Что такое обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) в контексте управления роботом? Опишите, как с помощью RL можно научить робота оптимально перемещаться по сложной рельефной местности вдоль ЛЭП.

23. Как алгоритмы машинного обучения могут быть использованы для прогнозного обслуживания (PdM) оборудования на основе данных, собранных роботами-инспекторами? Опишите схему: от данных к решению.

24. С какими основными проблемами сталкиваются при внедрении алгоритмов автоматического обучения в системы управления критической инфраструктурой (безопасность, объяснимость, надежность)?

Искусственный интеллект и автономия роботов.

25. Дайте определение уровням автономности роботов (по аналогии с беспилотными автомобилями). На каком уровне сегодня находятся большинство роботов-инспекторов в энергетике и к какому уровню стремятся?

26. Что такое «ситуационная осведомленность» (situational awareness) для автономного робота и какие технологии (сенсорная fusion, семантическое SLAM) используются для ее достижения?

27. Как генеративный ИИ (например, большие языковые модели – LLM) может трансформировать интерфейс взаимодействия «оператор-робот»? Приведите пример голосового или текстового командно-диалогового интерфейса для сложной миссии.

28. Обсудите этическую дилемму, связанную с автономными роботами: кто несет ответственность в случае аварии, причиненной действиями полностью автономного робота на энергообъекте?

Новые материалы и энергоэффективные механизмы.

29. Какие современные композитные материалы и почему перспективны для создания корпусов и звеньев роботов, работающих в условиях сильных электромагнитных полей подстанций или при низких температурах?

30. Объясните принцип энергоэффективности на уровне механического design. Что такое «пассивная адаптивность» и как она реализуется в захватах или шасси робота для снижения энергопотребления?

31. Какие альтернативные и гибридные системы энергоснабжения (водородные топливные элементы, беспроводная зарядка от провода, солнечные панели) рассматриваются для увеличения автономности мобильных роботов в полевых условиях?

32. Что такое «мягкая робототехника» (soft robotics) и какие новые возможности она открывает для безопасного взаимодействия с хрупким оборудованием или для работы в стесненных условиях?

Практическое применение и кейсы реализации.

Практический опыт эксплуатации роботов.

33. Назовите три наиболее типичные эксплуатационные проблемы, с которыми сталкиваются при длительной работе роботов на энергообъектах (например, загрязнение сенсоров, износ движителей, помехи). Предложите методы их профилактики или решения.

34. Проанализируйте, как внедрение роботов меняет требования к квалификации и структуре персонала энергокомпании. Какие новые профессии (оператор дронов, data-инженер, кибербезопасник) появляются, а какие традиционные трансформируются?

35. На основе известных кейсов (например, Boston Dynamics Spot, инспекционные роботы на ГЭС) сформулируйте ключевые факторы успешного пилотного проекта и его последующего масштабирования на все предприятие.

36. Что такое совокупная стоимость владения (Total Cost of

Ownership, TCO) для робототехнического комплекса? Из каких основных статей расходов она складывается помимо первоначальной закупки?

Современные проекты автоматизации процессов обслуживания сетей.

37. Опишите комплексный проект «цифровой двойник ЛЭП», где данные от флота разнородных роботов (БПЛА, ползающих, наземных) непрерывно актуализируют виртуальную модель для планирования ремонтов и моделирования аварийных ситуаций.

38. Что такое «роботизированная ячейка» для автоматизированного ремонта распределительных устройств (РУ)? Из каких основных модулей (робот-доставщик, робот-манипулятор, система зрения) она состоит и как они взаимодействуют?

39. Как технологии интернета вещей (IoT) и промышленного интернета вещей (IIoT) интегрируются с робототехническими платформами для создания «умной» сети с активным мониторингом и автономным реагированием?

40. Приведите пример проектов по автоматизации работы с данными (Robotic Process Automation – RPA) в «бэк-офисе» энергокомпании, которые дополняют работу полевых роботов (например, автоматическое формирование актов дефектов, планирование ресурсов).

Международный опыт роботизации электроэнергетики.

41. Сравните подходы к роботизации в электроэнергетике в разных странах. В чем их особенности?

42. Проанализируйте успешный международный кейс внедрения роботов (например, HYDRONE от EDF, роботы для подводной инспекции плотин). Какие технические, организационные и экономические факторы обеспечили его успех?

43. Какие международные стандарты (ISO, IEC) и регуляторные требования наиболее важны для разработки и сертификации роботов, предназначенных для работы в критической энергетической инфраструктуре?

44. В чем заключаются основные барьеры для глобального трансфера робототехнических решений в энергетику (локализация, климатические особенности, различия в стандартах и конструкции сетей)?

Экологические и социальные последствия роботизации энергетики.

45. Проанализируйте прямой и косвенный экологический эффект от внедрения роботов. Как они могут способствовать снижению выбросов (за счет повышения КПД сетей) и создавать новые экологические риски (утилизация аккумуляторов, электронный мусор)?

46. Обсудите потенциал роботизации для обеспечения энергетической справедливости (Energy Justice). Могут ли роботы помочь в обеспечении надежным и дешевым энергоснабжением удаленных и уязвимых сообществ?

47. Что такое «справедливый переход» (Just Transition) в контексте автоматизации энергетики? Какие меры (переобучение, создание новых

рабочих мест в высокотехнологичном секторе) необходимо предпринять для смягчения социальных последствий?

48. Способствует ли роботизация кибербезопасности энергообъектов или создает для них новые угрозы? Приведите аргументы за и против, учитывая концепцию «цифрового периметра» и риски взлома автономных систем.