

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Управление движением мобильных колесных роботов**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кобрин А.И.
	Идентификатор	R1f56b9b2-KobrinAI-2633e8f9

А.И. Кобрин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Свириденко О.В.
	Идентификатор	R9097b88f-SviridenkoOV-16830d58

О.В.
Свириденко

Заведующий
выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

И.В.
Меркурьев

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен разрабатывать техническое задание на проектирование мехатронных и робототехнических систем их подсистем, участвовать в разработке конструкторской и проектной документации в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями

ИД-3 Выбирает оптимальные решения при разработке мехатронных и робототехнических систем и их подсистем на основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта в области их проектирования

2. ПК-2 Способен организовывать и проводить исследования мехатронных и робототехнических систем и их подсистем с учетом требований заказчиков

ИД-1 Разрабатывает действующие макеты и опытные образцы управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводит эксперименты с применением современных информационных технологий и технических средств

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Защита задания

1. Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Динамика, управление и навигация мобильных роботов (Коллоквиум)
2. Уравнения Аппеля (Контрольная работа)
3. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями (Контрольная работа)
4. Уравнения Маджи (Контрольная работа)

БРС дисциплины

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями (Контрольная работа)
- КМ-2 Уравнения Маджи (Контрольная работа)
- КМ-3 Уравнения Аппеля (Контрольная работа)
- КМ-4 Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Динамика, управление и навигация мобильных роботов (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5
	Срок КМ:	4	8	12	15	15
Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях						
Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях	+					
Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях						
Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях			+	+		
Математические модели трицикла. Задачи навигации мобильных роботов						
Математические модели трицикла					+	+
Задачи навигации мобильных роботов					+	+
Вес КМ:		18	18	22	24	18

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-3ПК-1 Выбирает оптимальные решения при разработке мехатронных и робототехнических систем и их подсистем на основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта в области их проектирования	Знать: типовые современные алгоритмы регулирования движения мобильных роботов, в том числе алгоритмы траекторного управления приборный состав навигационных систем роботов, принципы работы навигационных датчиков Уметь: подбирать типовые алгоритмы управления и навигации мобильных роботов, исходя из поставленной задачи	КМ-4 Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота (Расчетно-графическая работа) КМ-5 Динамика, управление и навигация мобильных роботов (Коллоквиум)
ПК-2	ИД-1ПК-2 Разрабатывает действующие макеты и опытные образцы управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем	Знать: методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях) методы разработки математических моделей	КМ-1 Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями (Контрольная работа) КМ-2 Уравнения Маджи (Контрольная работа) КМ-3 Уравнения Аппеля (Контрольная работа) КМ-4 Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота (Расчетно-графическая работа)

	и проводит эксперименты с применением современных информационных технологий и технических средств	мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах) Уметь: проводить численное моделирование управляемого движения мобильных колёсных роботов с учётом динамики шасси, функционирования навигационной системы, динамики приводов робота разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях) разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах)	
--	---	--	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 18

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа проводится в письменной форме в часы практических занятий. Студенту выдаётся индивидуальная задача. Время выполнения - 90 минут.

Краткое содержание задания:

Составить уравнения динамики предложенного колёсного аппарата. Определить управляющие воздействия на программном движении аппарата

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах)	1. Какие допущения о движении колёсного аппарата позволяют ввести неголономные связи? 2. Запишите уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями для указанной неголономной системы. 3. Каковы алгоритмы нахождения кинетической энергии и обобщённых сил в уравнениях Лагранжа? 4. Какой физический смысл неопределённых множителей?
Уметь: разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах)	1. Составьте уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями для указанного мобильного аппарата. Обобщённые координаты: $x_A, y_A, \psi, \varphi_1, \varphi_2$. Ведущие колёса радиуса R невесомы. 2. Используя полученные уравнения Лагранжа, определите управляющие воздействия на программном равномерном движении вдоль окружности: $\psi = \Omega^* t - 90^\circ, v_{Ax1} = -V^*, \Omega^*, V^* = \text{const}$. Считать, что напряжения и моменты связаны зависимостью $M_i = c_1 U_i - c_2 \varphi_i$.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Решение полное, ошибки отсутствуют.

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Допускаются незначительные ошибки.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Допускаются ошибки в решении.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Решение неполное, фрагментарное, допущены существенные ошибки.

КМ-2. Уравнения Маджи

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

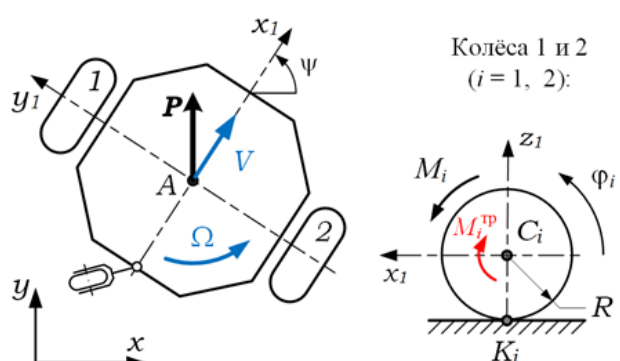
Вес контрольного мероприятия в БРС: 18

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа проводится в письменной форме в часы практических занятий. Студенту выдаётся индивидуальная задача. Время выполнения - 90 минут.

Краткое содержание задания:

Составить уравнения динамики предложенного колёсного аппарата. Определить управляющие воздействия на программном движении аппарата

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях)	1. Что такое псевдоскорости? 2. Запишите уравнения Маджи для указанной неголономной системы. 3. Каков алгоритм вычисления обобщённых сил в уравнениях Маджи?
Уметь: разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях)	1. Составьте уравнения Маджи для указанного мобильного аппарата. Обобщённые координаты: $x_A, y_A, \psi, \varphi_1, \varphi_2$; псевдоскорости: $V = v_{Ax1}, \Omega = \dot{\psi}$. Ведущие колёса радиуса R невесомы. Моменты трения на осях колёс линейны по скорости: $M_i^{tr} = \mu \dot{\varphi}_i$.  Колёса 1 и 2 ($i = 1, 2$): 2. Используя полученные уравнения Маджи, определите

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	управляющие воздействия на программном равномерном движении вдоль окружности: $\psi = \Omega^* t - 45^\circ, V = V^*, \Omega^*, V^* = const$. Считать, что напряжения и моменты связаны зависимостью $M_i = c_1 U_i - c_2 \varphi_i$.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Решение полное, ошибки отсутствуют.

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Допускаются незначительные ошибки.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Допускаются ошибки в решении.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Решение неполное, фрагментарное, допущены существенные ошибки.

КМ-3. Уравнения Аппеля

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 22

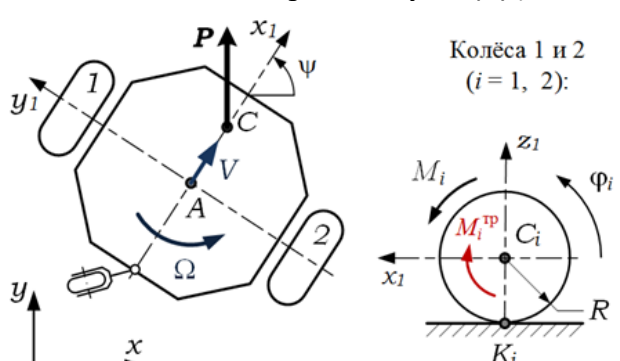
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа проводится в письменной форме в часы практических занятий. Студенту выдаётся индивидуальная задача. Время выполнения - 90 минут.

Краткое содержание задания:

Составить уравнения динамики предложенного колёсного аппарата. Определить управляющие воздействия на программном движении аппарата

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях)	1. Запишите уравнения Аппеля для исследуемой системы. 2. Что такое энергия ускорений? 3. Какие формулы используются для вычисления энергии ускорений колёсного аппарата? 4. Каков алгоритм нахождения обобщённых сил в уравнениях Аппеля?
Уметь: разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях)	1. Составьте уравнения динамики колёсного аппарата, используя уравнения Аппеля. Обобщённые координаты: $x_A, y_A, \psi, \varphi_1, \varphi_2$; псевдоскорости: $V = v_{Ax1}, \Omega = \dot{\psi}$. Ведущие колёса радиуса R невесомы. Моменты трения на осях

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	колёс линейны по скорости: $M_i^{tr} = \mu \phi_i$.  Колёса 1 и 2 ($i = 1, 2$): 2. Используя полученные уравнения Аппеля, определите управляющие воздействия на программном равномерном движении вдоль окружности: $\psi = -\Omega^* t - 45^\circ$, $V = V^*$, Ω^*, $V^* = const$. Считать, что напряжения и моменты связаны зависимостью $M_i = c_1 U_i - c_2 \phi_i$.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Решение полное, ошибки отсутствуют.

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Допускаются незначительные ошибки.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Допускаются ошибки в решении.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Решение неполное, фрагментарное, допущены существенные ошибки.

КМ-4. Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота

Формы реализации: Защита задания

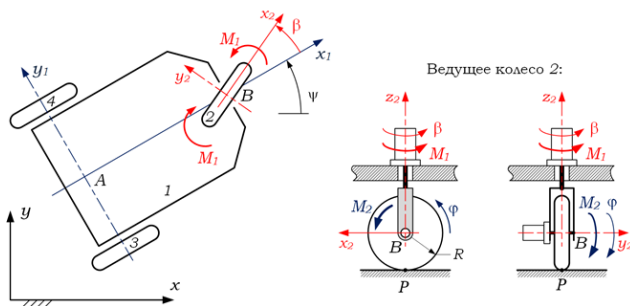
Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 24

Процедура проведения контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа (РГР) выполняется, как индивидуальное домашнее задание. Изложение результатов РГР требует активной работы исполнителя в течение всего семестра и требует порядка 20 страниц.

Краткое содержание задания:

Провести численное моделирование динамики управляемого движения робота-трицикла с ведущим рулевым колесом.



Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: типовые современные алгоритмы регулирования движения мобильных роботов, в том числе алгоритмы траекторного управления	1. Какие типовые алгоритмы траекторного управления мобильными роботами вам известны? 2. Какие типовые алгоритмы регулирования скоростей вращения колёс мобильных роботов вам известны? 3. В чём состоит методика исследования устойчивости движения с заданными законами регулирования?
Уметь: подбирать типовые алгоритмы управления и навигации мобильных роботов, исходя из поставленной задачи	1. Подобрать коэффициенты в законах траекторного управления и регулирования вращения колёс, обеспечивающие движение робота по маршруту с заданной точностью. 2. Реализовать в MATLAB модель навигационной системы робота.
Уметь: проводить численное моделирование управляемого движения мобильных колёсных роботов с учётом динамики шасси, функционирования навигационной системы, динамики приводов робота	1. Составить уравнения Аппеля, описывающие динамику системы. 2. Провести численное моделирование движения робота в MATLAB. Для двух случаев: погрешности измерения скоростей вращения колёс и координат робота отсутствуют; указанные погрешности моделируются случайными шумами.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено на высоком уровне. Допускаются не принципиальные неточности в изложении материала.

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Допускаются не принципиальные неточности в изложении материала.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено в большой степени, но не полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Допускаются непринципиальные неточности в изложении материала.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Задание в целом не выполнено. Оформление расчетных и графических материалов не удовлетворяет требованиям.

КМ-5. Динамика, управление и навигация мобильных роботов

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 18

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент отвечает письменно на два теоретических вопроса по тематике лекционных и практических занятий. Время выполнения 90 минут. Задание выполняется в часы практических занятий.

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: приборный состав навигационных систем роботов, принципы работы навигационных датчиков	1. Сенсорные подсистемы автономных мобильных роботов и их чувствительные элементы. Принципы работы оптронной линейки и систем технического зрения. Оптические сенсоры кругового обзора 2. Датчики углов поворотов колес. Волоконно-оптические и лазерные гироскопы. Кварцевые акселерометры. МЭМС-технологии и принципы работы микромеханических гироскопов и акселерометров 3. Алгоритмы автономной навигации колёсного робота. Уравнения для счисления пути 4. Уравнения ошибок навигационного алгоритма. Коррекция навигационных систем. Применение фильтра Калмана в задачах навигации мобильных колёсных роботов
Знать: типовые современные алгоритмы регулирования движения мобильных роботов, в том числе алгоритмы траекторного управления	1. Уравнения двигателей постоянного тока. Стационарные движения трицикла при постоянных напряжениях на двигателях 2. Задача синтеза системы управления типа обратной связи при различных информационных датчиках. Анализ устойчивости по Ляпунову прямолинейного движения. Устойчивость движения аппарата на повороте. Управление, использующее наблюдатель Люенбергера

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Даны полные правильные ответы на оба вопроса

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Даны правильные ответы на оба вопроса, есть неточности. Ответы могут быть неполными

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Даны ответы на оба вопроса. Есть ошибки и неточности, ответы неполные

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Ответ на один из вопросов не дан ни в какой форме. Ответы на оба вопроса даны, но содержат большое количество ошибок, являются фрагментарными

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

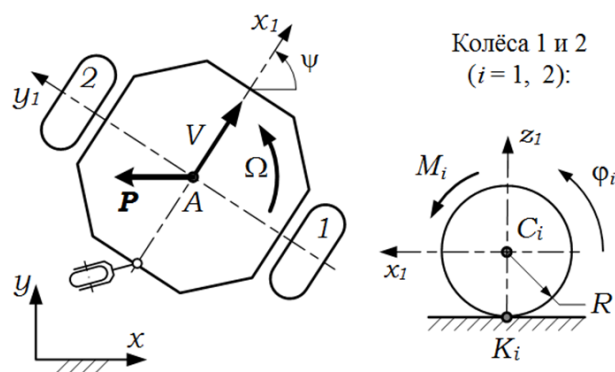
2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Анализ динамики робота с весомыми ведущими колесами при заданных постоянных напряжениях на двигателях. Динамические уравнения в безразмерных переменных. Анализ различных случаев плоского движения.
2. Использование волоконно-оптических и лазерных гироскопов в навигационных задачах. Применение фильтра Калмана в задачах навигации мобильных колёсных роботов.
3. решить задачу. Составьте уравнения динамики колёсного аппарата, используя уравнения

Аппеля. Обобщённые координаты: $x_A, y_A, \psi, \varphi_1, \varphi_2$; псевдоскорости: $V = v_{Ax1}, \Omega = \dot{\psi}$. Ведущие колёса радиуса R невесомы. Найдите управляющие моменты двигателей при движении по прямой с ускорением.



Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме. Билет содержит один теоретический вопрос и одну задачу. Время подготовки к ответу составляет 90 минут. При необходимости преподаватель задаёт дополнительные вопросы по теории.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-3ПК-1 Выбирает оптимальные решения при разработке мехатронных и робототехнических систем и их подсистем на основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта в области их проектирования

Вопросы, задания

1. Сенсорные подсистемы автономных мобильных роботов и их чувствительные элементы. Принципы работы оптронной линейки и систем технического зрения. Оптические сенсоры кругового обзора. Датчики углов поворотов колес.
2. Волоконно-оптические и лазерные гироскопы. Кварцевые акселерометры. МЭМС-технологии и принципы работы микромеханических гироскопов и акселерометров.
3. Ультразвуковые датчики. Дальномеры. Спутниковые навигационные системы.

4. Алгоритмы автономной навигации колёсного робота. Уравнения для счисления пути. Уравнения ошибок навигационного алгоритма. Принципы коррекции навигационных систем.
5. Использование волоконно-оптических и лазерных гироскопов в навигационных задачах. Применение фильтра Калмана в задачах навигации мобильных колёсных роботов.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. С какой целью в составе навигационной системы мобильного робота можно использовать приёмник глобальной спутниковой навигационной системы? (Указать все варианты)

Ответы:

- а. Определение угловых ускорений робота
- б. Определение скоростей вращения колёс
- в. Определение линейных координат мобильного робота
- г. Определение линейных скоростей мобильного робота

Верный ответ: в, г

2. С какой целью в составе навигационной системы мобильного робота можно использовать гироскопические датчики?

Ответы:

- а. Определение линейных координат и скоростей робота
- б. Определение угловых скоростей и координат робота
- в. Определение угловых ускорений робота
- г. Определение линейных ускорений робота

Верный ответ: в

3. С какой целью в составе навигационной системы мобильного робота можно использовать акселерометры?

Ответы:

- а. Определение абсолютных линейных ускорений робота
- б. Определение линейных ускорений робота, вызванных всеми силами, кроме сил тяжести
- г. Определение угловых ускорений робота
- д. Определение линейных скоростей робота

Верный ответ: б

4. Меканум- и омни-колёса оснащены периферийными пассивными роликами. Для чего используются такие колёса? (Указать все варианты ответа)

Ответы:

- а. Движения мобильных роботов по пересечённой местности
- б. Движения робота по поверхностям с плохим сцеплением
- в. Реализации движения по произвольной траектории с произвольной угловой ориентацией
- г. В качестве ролевых колёс

Верный ответ: в, г

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-2} Разрабатывает действующие макеты и опытные образцы управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводит эксперименты с применением современных информационных технологий и технических средств

Вопросы, задания

- 1. Кинематика и динамика трехколесного робота с ролевым колесом.
- 2. Кинематическая модель движения трехколесного робота с ролевым колесом. Задача парковки аппарата у любой точки бордюра. Измеряется расстояние до бордюра.

3. Кинематическая модель движения трехколесного робота с рояльным колесом. Измеряется расстояние до бордюра. Задача парковки в назначенной точке бордюра. Построить закон управления.
4. Неголономная модель кинематики и динамики. Неголономные связи. Задача С.А. Чаплыгина (малая скорость скольжения ведущих колес в плоскости перпендикулярной направлению движения.)
5. Уравнения Маджи. Метод Маджи получения уравнений движения неголономной системы с исключенными множителями Лагранжа. Задача «Сани Чаплыгина».
6. Уравнения Лагранжа со множителями. Возможные перемещения – изохронные вариации. Квази(псевдо)скорости, квази(псевдо)координаты.
7. Принцип Гаусса на примере системы одной материальной точки при наличии неголономной связи. Мера принуждения. Типы движения, выделенные Гауссом: действительное, освобожденное, мыслимое.
8. Вывод принципа Гаусса. Использование условного экстремума принуждения по Гауссу в пространстве ускорений. Переход к задаче поиска абсолютного минимума.
9. Уравнения Аппеля. Число степеней свободы системы. Связь обобщенных скоростей точек системы с независимой подсистемой обобщенных скоростей. Матричное представление принципа Гаусса. Энергия ускорений. Функция Аппеля. Обобщенные силы как коэффициенты при квазискоростях при подсчете мощности.
10. Электропривод мобильного робота. Система с «полутора степенями свободы». Кинетическая энергия системы. Магнитная энергия системы. Функция Лагранжа для электромеханической системы. Диссипативная функция Релея. Уравнения Лагранжа-Максвелла. Пренебрежение скоростью изменения тока статора – быстрой переменной в уравнениях динамики.
11. Анализ динамики робота с весовыми ведущими колесами при заданных постоянных напряжениях на двигателях. Динамические уравнения в безразмерных переменных. Анализ различных случаев плоского движения.
12. Программные движения. Контурные движения. Невозможность произвольного задания изменения угловой координаты неголономной системы. Анализ напряжений, обеспечивающих реализацию программного движения. Пример движения по S-образной траектории.
13. Динамика скейтборда. Считаем, что угол поперечного крена доски скейтборда равен нулю, а угол схождения одинаковых колесных пар это известная функция времени. В качестве псевдоскоростей выбраны скорость центра масс и относительная угловая скорость человека на скейтборде, моделируемого цилиндром. Считаем, что момент, действующий на скейтборд со стороны человека, задан, а иные внешние силы отсутствуют.
14. Динамика «прицепной тележки», снабженной двумя колесными осями. В качестве обобщенных координат выбираются координаты точки на задней оси, курсовой угол, угол поворота передней осевой пары. Проскальзывание колес отсутствует, что соответствует наложению двух неголономных связей. В качестве псевдоскоростей выбираются скорости точки на задней оси, курсовая угловая скорость, относительная угловая скорость поворота передней колесной пары.
15. Задача синтеза системы управления типа обратной связи при различных информационных датчиках. Анализируется устойчивость по Ляпунову прямолинейного движения. Устойчивость движения аппарата на повороте. Управление, использующее наблюдатель Люенбергера.
16. Матричная форма уравнений неголономной механики. Уравнения Воронца. Уравнения Чаплыгина.
17. Качение диска по неподвижной абсолютно шероховатой горизонтальной плоскости. Уравнения Чаплыгина для известной задачи о качении без скольжения диска по

горизонтальной поверхности. Алгоритм составления программы системы “Mathematica”, использующая матричную форму уравнений неголономной механики.

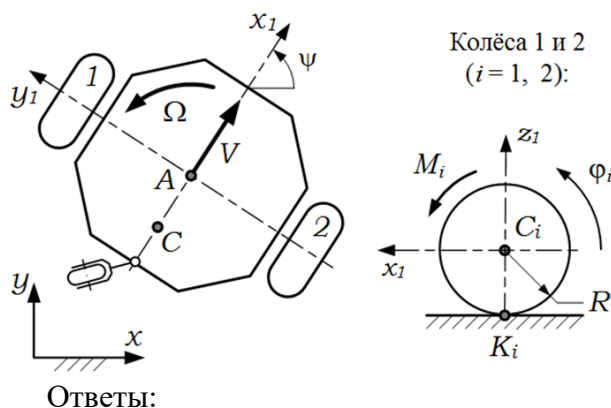
18. Одноколёсный робот с гироскопической системой стабилизации «гироскопическое колесо».

Описание конструкции. Функциональная направленность ее элементов.

19. Уравнения движения четырёхколёсной механум-платформы.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Составьте уравнения Аппеля для мобильного колёсного робота, изображённого на схеме, в псевдоскоростях V, Ω . Колёса робота невесомы. Центр масс находится в точке C , масса и момент инерции платформы равны m, I_C ; $CA = h, AC_1 = AC_2 = l$.



Ответы:

Составить энергию ускорений $S = \frac{1}{2} m W_C^2 + \frac{1}{2} I_C \Omega^2$, где W_C - ускорение центра масс; найти обобщённые силы Π_V, Π_Ω из уравнения баланса мощностей; записать уравнения Аппеля $\frac{\partial S}{\partial V} = \Pi_V, \frac{\partial S}{\partial \Omega} = \Pi_\Omega$.

Верный ответ: $m V' + m h \Omega' = (M_1 + M_2)/R, I_C \Omega' + m h V' = (M_2 - M_1)/R$

2. Какие уравнения нельзя использовать для описания динамик колёсных систем при отсутствии проскальзывания?

Ответы:

- а. Лагранжа с неопределёнными множителями
- б. Аппеля
- в. Маджи
- г. Лагранжа второго рода

Верный ответ: г

3. Мобильные колёсные роботы моделируются как неголономные механические системы в случае:

Ответы:

- а. Отсутствия сил трения
- б. Отсутствия проскальзывания колёс
- в. Отсутствия угловых движений корпуса
- г. Пренебрежимо малой массы колёс

Верный ответ: б

4. Формула $\frac{\partial S}{\partial \vec{\pi}} = \vec{\Pi}$ является записью:

Ответы:

- а. Уравнений Лагранжа с неопределёнными множителями
- б. Уравнений Маджи
- в. Уравнений Чаплыгина
- г. Уравнений Аппеля

Верный ответ: г

5. Формулы $\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = \vec{Q} + B^T \vec{\lambda}, B \vec{q} = 0$ являются записью:

Ответы:

- а. Уравнений Лагранжа с неопределёнными множителями
- б. Уравнений Маджи
- в. Уравнений Чаплыгина
- г. Уравнений Аппеля

Верный ответ: а

6. Формулы $H^T \left(\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} \right) = \vec{\Pi}, \vec{q} = H \vec{\pi}$ являются записью:

Ответы:

- а. Уравнений Лагранжа с неопределёнными множителями
- б. Уравнений Маджи
- в. Уравнений Чаплыгина
- г. Уравнений Аппеля

Верный ответ: б

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: Ответы на вопросы полные, правильные. Решение задачи полное, правильное.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: Ответы на вопросы неполные, в целом правильные. Решение задачи полное, в целом правильное.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Ответы на вопросы неполные, содержат ошибки. Решение задачи неполное или содержит ошибки.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Ответы на вопросы или решение задачи отсутствуют, или являются фрагментарными, или содержат большое число грубых ошибок.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. Оценка выносится в приложение к диплому.