

**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
Математические модели локомоционных и манипуляционных роботов**

**Москва
2022**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

А.И. Кобрин

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень,
ученое звание)

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

(подпись)

О.В.

Свириденко

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень,
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f

(подпись)

И.В.

Меркурьев

(расшифровка
подписи)

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. ОПК-4 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при моделировании технологических процессов

Ид-1 Использует имеющиеся программные пакеты и, при необходимости, разрабатывает новое программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования

2. ОПК-11 Способен организовывать разработку и применение алгоритмов и современных цифровых программных методов расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем

ИД-1 Организует разработку математического обеспечения процедур анализа и синтеза проектных решений мехатронных и робототехнических устройств

3. ОПК-13 Способен использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем

ИД-3 Разрабатывает математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением методов формальной логики, методов конечных автоматов, сетей Петри, методов искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетических алгоритмов, искусственных нейронных и нейро-нечетких сетей

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Динамика шагающего аппарата (Контрольная работа)
2. Исследование комфортабельного движения двуногого шагающего аппарата (Контрольная работа)
3. Принцип наименьшего принуждения в динамике манипулятора (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Моделирование движения шестиногого шагающего аппарата (Расчетно-графическая работа)

БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %
-------------------	---------------------------------

	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Математические модели шагающих аппаратов					
Математические модели шагающих аппаратов		+			+
Исследование движения двуногих шагающих аппаратов					
Исследование движения двуногих шагающих аппаратов			+		
Математические модели манипуляционных роботов					
Математические модели манипуляционных роботов				+	
Вес КМ:		25	20	25	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

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
ОПК-4	ИД-1 _{ОПК-4} Использует имеющиеся программные пакеты и, при необходимости, разрабатывает новое программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования	Уметь: моделировать движение конкретных шагающих аппаратов и манипуляционных роботов, используя современные программные пакеты	Моделирование движения шестиногого шагающего аппарата (Расчетно-графическая работа)
ОПК-11	ИД-1 _{ОПК-11} Организует разработку математического обеспечения процедур анализа и синтеза проектных решений мехатронных и робототехнических устройств	Знать: основные методы анализа и синтеза походок шагающих аппаратов Уметь: проводить анализ и синтез походок шагающих аппаратов, проводить аналитическое и численное исследование периодических походок	Исследование комфортабельного движения двуногого шагающего аппарата (Контрольная работа)
ОПК-13	ИД-3 _{ОПК-13} Разрабатывает математические модели	Знать: основные методы	Динамика шагающего аппарата (Контрольная работа) Принцип наименьшего принуждения в динамике манипулятора

	мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением методов формальной логики, методов конечных автоматов, сетей Петри, методов искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетических алгоритмов, искусственных нейронных и нейро-нечетких сетей	теоретической механики, используемые при исследовании движения шагающих аппаратов основные методы теоретической механики, используемые при исследовании движения манипуляционных роботов Уметь: разрабатывать математические модели шагающих аппаратов, используя методы теоретической механики разрабатывать математические модели манипуляционных роботов, используя методы теоретической механики	(Контрольная работа) Моделирование движения шестиногого шагающего аппарата (Расчетно-графическая работа)
--	--	---	---

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Динамика шагающего аппарата

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

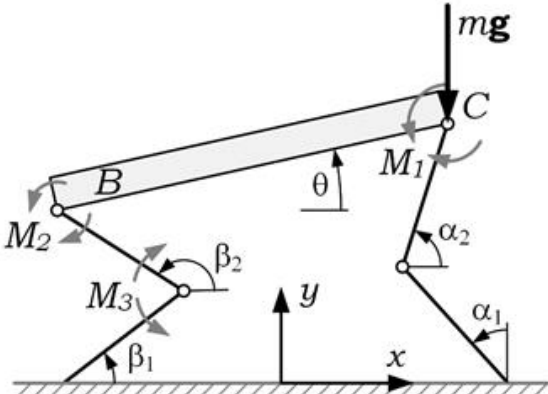
Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

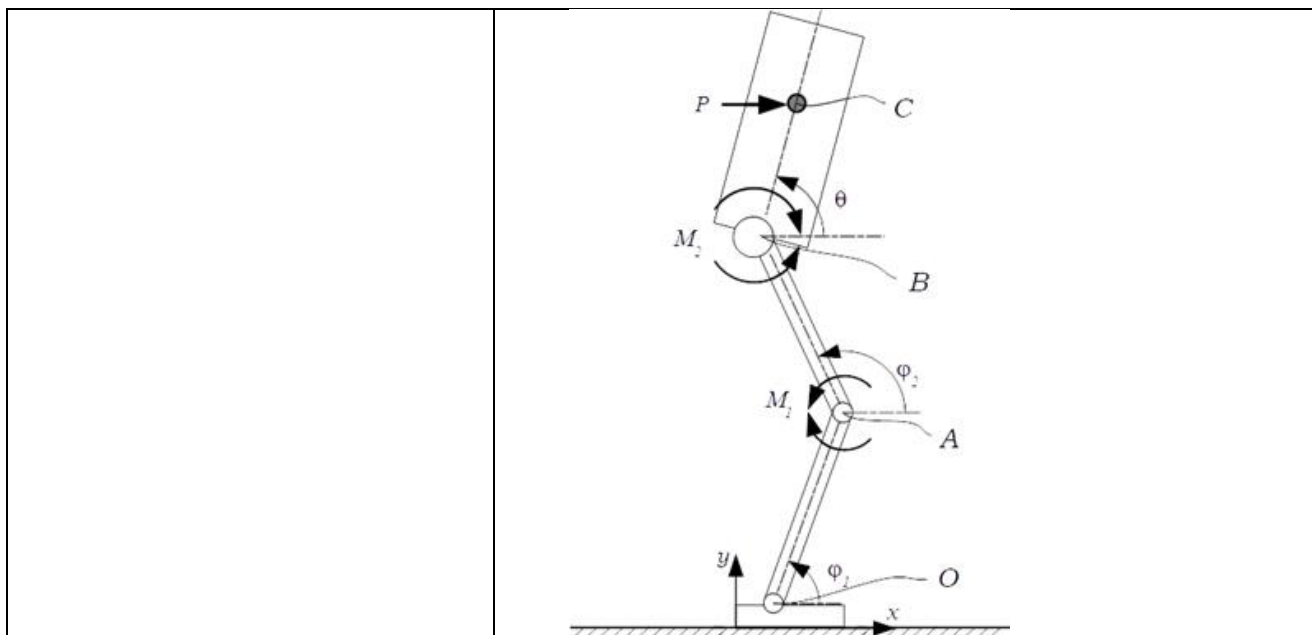
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа проводится в письменной форме в часы практических занятий. Студенту выдается индивидуальная задача. Время выполнения - 90 минут.

Краткое содержание задания:

Составить уравнения движения шагающего аппарата.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методы теоретической механики, используемые при исследовании движения шагающих аппаратов	1. Запишите уравнения Лагранжа II рода для рассматриваемой системы. 2. В чём особенность составления уравнений Лагранжа в избыточных координатах? 3. Что такое полностью комфортабельная походка?
Уметь: разрабатывать математические модели шагающих аппаратов, используя методы теоретической механики	1. Составить уравнения движения двуногого шагающего аппарата в двухопорной фазе. Обобщённые координаты: x_C^C, y_C^C, θ. Определите управляющие моменты M_i^i при полностью комфортабельном движении корпуса. Ноги аппарат считать невесомыми.  2. Составить уравнения движения двуногого шагающего аппарата в одноопорной фазе. Обобщённые координаты: $\varphi_1^1, \varphi_2^2, \theta$. Ноги аппарат считать невесомыми.



Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача полностью решена. Получены ответы на все поставленные вопросы. Допускаются принципиальные неточности в ответах.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача полностью решена. Получены ответы на почти все поставленные вопросы. Допускаются принципиальные неточности в ответах.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача полностью решена. Получены ответы не на все поставленные вопросы. В ответах имеются неточности.

КМ-2. Исследование комфортабельного движения двуногого шагающего аппарата

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

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

Краткое содержание задания:

Определить колебания корпуса двуногого шагающего аппарата при комфортабельной походке. Точка комфортабельности - центр масс корпуса. Ноги считаются невесомыми.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методы анализа	1. Что такое комфортабельное движение? Что такое
--------------------------------	--

и синтеза походок шагающих аппаратов	точка комфортабельности? 2.Какой тип походки называется спортивной ходьбой с правильным шагом? 3.Какой тип походки называется ходьбой? 4.Что такое периодическая походка? Каков алгоритм поиска периодического решения уравнений колебаний корпуса при комфортабельной походке? 5.Запишите уравнение угловых движений корпуса в одноопорной фазе. 6.Запишите уравнение угловых движений корпуса в двухопорной фазе.
Уметь: проводить анализ и синтез походок шагающих аппаратов, проводить аналитическое и численное исследование периодических походок	1.Постройте периодическое решение уравнения углового движения корпуса при правильном шаге (спортивная ходьба). Начальное условие: $\theta(0) = -\frac{k}{100}$, где $k = \frac{gLT}{\rho}$, g - ускорение свободного падения, L - длина шага, T - время шага, ρ - радиус инерции корпуса. 2.Постройте периодическое решение уравнения углового движения корпуса при ходьбе. Начальное условие: $\theta(0) = -\frac{k}{10}$, где $k = \frac{gLT}{\rho}$, g - ускорение свободного падения, L - длина шага, T - время шага, ρ - радиус инерции корпуса.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача полностью решена. Получены ответы на все поставленные вопросы. Допускаются не принципиальные неточности в ответах.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача полностью решена. Получены ответы на почти все поставленные вопросы. Допускаются не принципиальные неточности в ответах.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача решена. Получены ответы не на все поставленные вопросы. Допускаются не принципиальные неточности в ответах.

КМ-3. Принцип наименьшего принуждения в динамике манипулятора

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

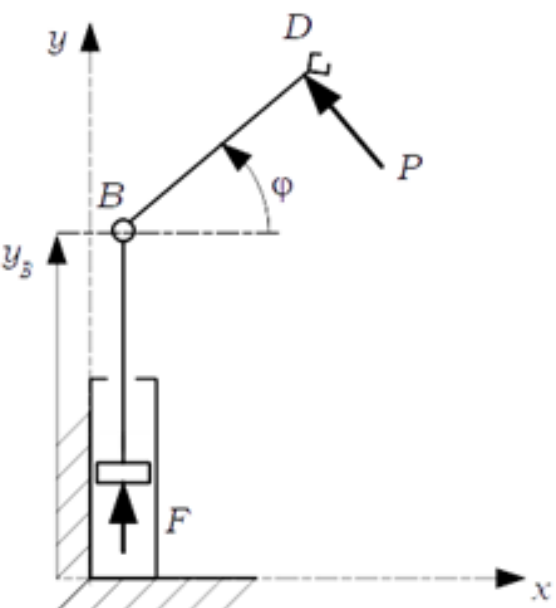
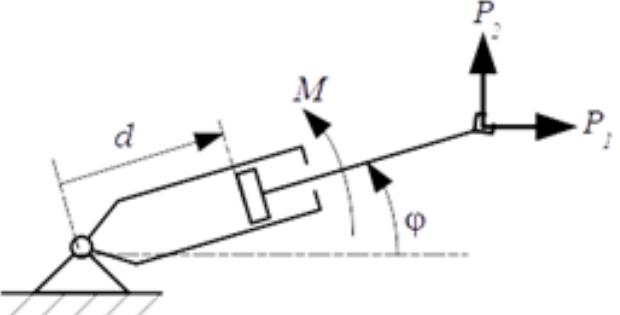
Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

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

Краткое содержание задания:

Составить уравнения динамики манипулятора, используя принцип наименьшего принуждения Гаусса.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методы теоретической механики, используемые при исследовании движения манипуляционных роботов	1. Сформулируйте принцип наименьшего принуждения. 2. Что такое освобождённое и действительное движения?
Уметь: разрабатывать математические модели манипуляционных роботов, используя методы теоретической механики	1. Составить уравнения движения манипулятора в обобщённых координатах y_B^B, φ.  2. Составить уравнения движения манипулятора в обобщённых координатах φ, d. 

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача полностью решена. Получены ответы на все поставленные вопросы. Допускаются принципиальные неточности в ответах.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача решена. Получены ответы на почти все поставленные вопросы. Допускаются принципиальные неточности в ответах.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Поставленная в контрольной работе задача в целом решена. Получены ответы не на все поставленные вопросы. Допускаются неточности в ответах.

КМ-4. Моделирование движения шестиногого шагающего аппарата

Формы реализации: Проверка задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

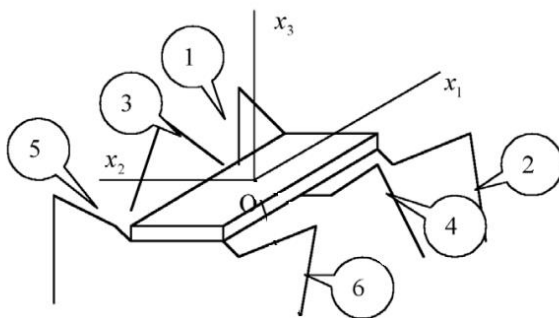
Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа. Выполняется как индивидуальное домашнее задание. Изложение результатов работы содержит примерно 10 страниц текста и графический материал, полученный с помощью современного пакета компьютерной математики.

Краткое содержание задания:

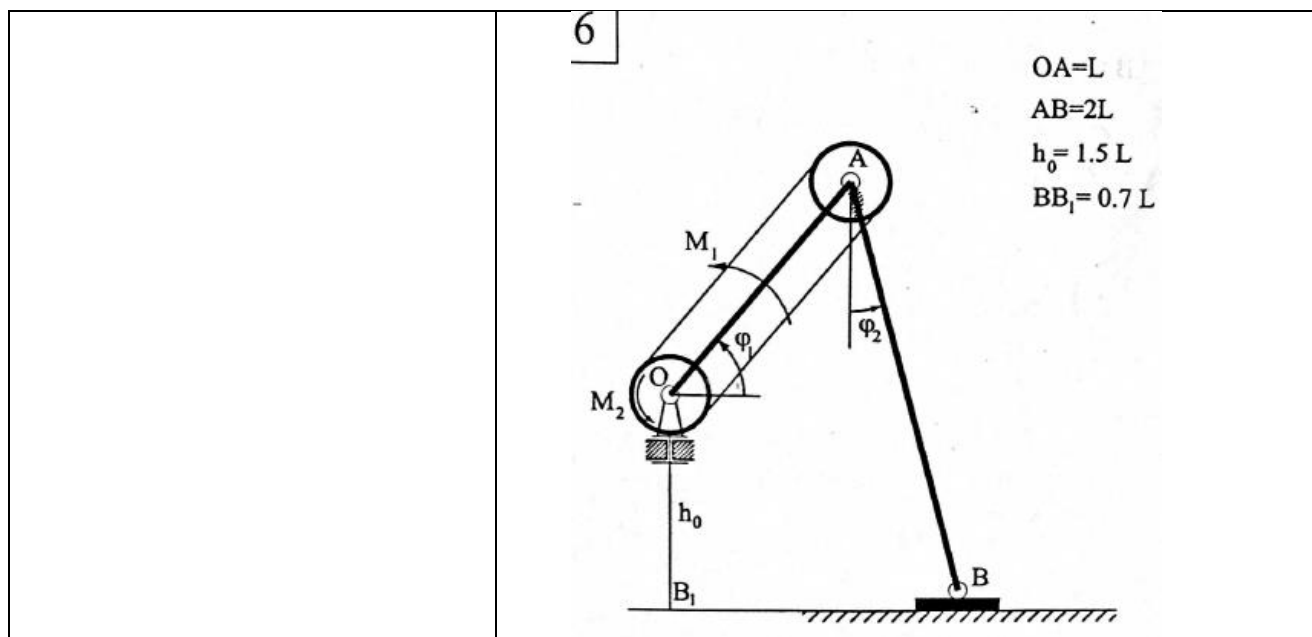
Исследовать движение шестиногого шагающего аппарата по наклонной плоскости.

Корпус аппарата совершает полностью комфортабельное движение. Ноги считаются невесомыми. Походка - "трёшками": ноги 1,4,5 - опорные, ноги 2,3,6 - переносятся; ноги 1,4,5 - переносятся, ноги 2,3,6 - опорные.



Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методы теоретической механики, используемые при исследовании движения шагающих аппаратов	1.Что такое статические и динамические энергозатраты на ходьбу?
Уметь: моделировать движение конкретных шагающих аппаратов и манипуляционных роботов, используя современные программные пакеты	1.Разработать программу в математическом пакете для численного моделирования движения ША. 2.Определить движения звеньев опорной ноги и управляющие моменты, используя результаты численного решения уравнений динамики и кинематики. 3.Определить энергозатраты на ходьбу, используя результаты численного решения уравнений динамики и кинематики.
Уметь: разрабатывать математические модели шагающих аппаратов, используя методы теоретической механики	1.Составить уравнения динамики движения, используя общие теоремы динамики. 2.Составить уравнения кинематики опорной ноги, найти выражения для управляющих моментов.



Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Демонстрируется степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетно-графический материалов выполнено на высоком уровне.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Демонстрируется степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетно-графический материалов удовлетворительное.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Демонстрируется степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено в большей степени, но не полностью. Оформление расчетно-графических материалов удовлетворительное.

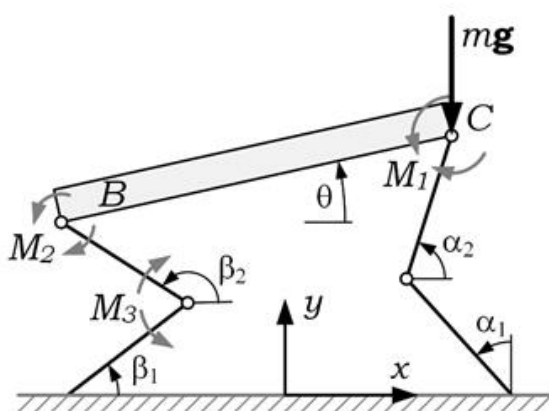
СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Энергетические затраты при ходьбе шагающего аппарата.
2. Платформа Стюарта – параллельный механизм с шестью степенями свободы. Прямая и обратная задачи кинематики параллельного манипулятора
3. Задача. Составить уравнения движения двуногого шагающего аппарата в двухопорной фазе. Обобщённые координаты: x_C^C, y_C^C, θ . Определите управляющие моменты M_i^i при полностью комфортабельном движении корпуса. Ноги аппарат считать невесомыми.



Процедура проведения

Экзамен проводится по билетам в устной форме. Время на подготовку ответа составляет 90 минут. При необходимости экзаменатор может задать студенту уточняющие вопросы по билету и дополнительные вопросы из экзаменационной программы.

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

1. Компетенция/Индикатор: Ид-1опк-4 Использует имеющиеся программные пакеты и, при необходимости, разрабатывает новое программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования

Вопросы, задания

1. Моделирование движения шагающих аппаратов в пакете Mathematica: вывод уравнений движения и их численное решение
2. Моделирование движения шагающих аппаратов в пакете Mathematica: решение краевых задач периодических походок

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Приведённый ниже фрагмент программы на языке Wolfram Mathematica используется для:

```
In[18]:= T =
1 / 2 (m1 (1 + Sin[φ1[t]] ^ 2) L ^ 2 φ1'[t] ^ 2 +
I2 φ2'[t] ^ 2);
q = {φ1[t], φ2[t]};
dq = {φ1'[t], φ2'[t]};
p = D[T, {dq}]
```

```
Out[21]= {L^2 m1 (1 + Sin[φ1[t]]^2) φ1'[t], I2 φ2'[t]}
```

```
In[22]:= LeftHandPart = D[p, t] - D[T, {q}]
```

```
Out[22]= {L^2 m1 Cos[φ1[t]] Sin[φ1[t]] φ1'[t]^2 +
L^2 m1 (1 + Sin[φ1[t]]^2) φ1''[t], I2 φ2''[t]}
```

Ответы:

- Вывода уравнений Аппеля
- Вывода уравнений Лагранжа
- Составления уравнения кинетического момента
- Вывода уравнений равновесия

Верный ответ: b.

2. Приведённый ниже фрагмент программы на языке Wolfram Mathematica используется для:

```
In[23]:= DSolve[{x''[t] + x[t] == 0, x[0] == Pi, x[2] == 0}, x, t]
Out[23]= {{x -> Function[{t}, Pi Cos[t] - Pi Cot[2] Sin[t]]}}
```

Ответы:

- Решения задачи Коши для уравнения колебаний
- Численного решения уравнения колебания
- Решения краевой задачи для уравнения колебаний
- Численного решения задачи Коши для уравнения колебаний

Верный ответ: c.

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ОПК-11} Организует разработку математического обеспечения процедур анализа и синтеза проектных решений мехатронных и робототехнических устройств

Вопросы, задания

- Ритмика и кинематика двуногой ходьбы. Диаграмма Вильсона
- «Дельта-параметры» двухопорной фазы. Квадрат «Тау-тэ»
- Комфортабельное движение. Фазы и типы движения
- Регулярные, симметричные, повторяющиеся походки
- Алгоритм исследования комфортабельной походки. Уравнения движения. Поиск периодического решения
- Решение краевой задачи, обеспечивающее периодическое пошаговое движение аппарата

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Выберите пропущенное слово.

Передвижение шагающего аппарата, при котором одна из точек аппарата движется равномерно и прямолинейно, называется движением.

Ответы:

- периодическим
- условно комфортабельным
- комфортабельным
- условно периодическим

Верный ответ: 3) комфортабельным

2. Выберите пропущенное слово, соответствующее приведенному определению.

..... – это движение шагающего аппарата, при котором его корпус совершает поступательное движение с постоянной скоростью.

Ответы:

- 1) полностью комфортабельное движение
- 2) комфортабельное движение
- 3) правильный шаг
- 4) бег

Верный ответ: 1) полностью комфортабельное движение

3. Выберите верный вариант ответа.

Как называется походка шагающего аппарата, при которой происходит чередование одноопорных и двухопорных фаз?

Ответы:

- 1) правильный шаг
- 2) комфортабельное движение
- 3) бег
- 4) ходьба

Верный ответ: 4) ходьба

4. Выберите верный вариант ответа.

Как называется походка шагающего аппарата, при которой происходит чередование безопорных, одноопорных и двуопорных фаз?

Ответы:

- 1) комфортабельное движение
- 2) скакание
- 3) бег
- 4) ходьба

Верный ответ: 2) скакание

5. Выберите верный вариант ответа.

Как называется походка шагающего аппарата, при которой происходит чередование безопорных и одноопорных фаз?

Ответы:

- 1) бег
- 2) скакание
- 3) правильный шаг
- 4) ходьба

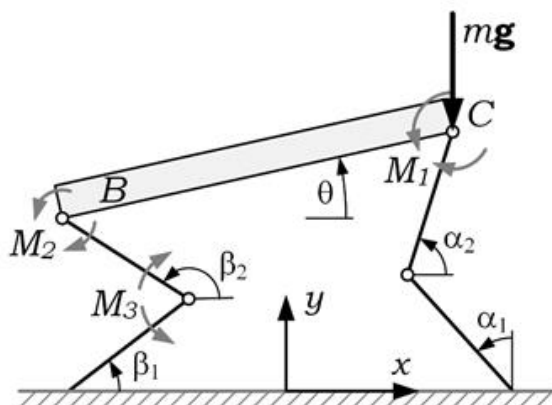
Верный ответ: 1) бег

3. Компетенция/Индикатор: ИД-З_{ОПК-13} Разрабатывает математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением методов формальной логики, методов конечных автоматов, сетей Петри, методов искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетических алгоритмов, искусственных нейронных и нейро-нечетких сетей

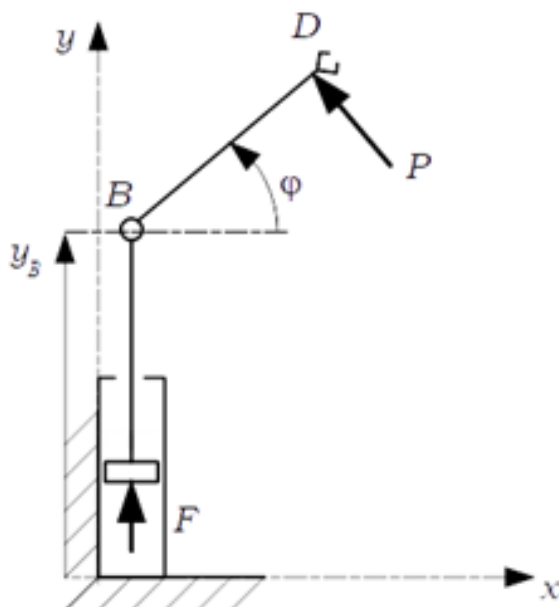
Вопросы, задания

1. Энергетические затраты при ходьбе шагающего аппарата
2. Энергетические затраты при беге двуногого аппарата
3. Синергия. Оценка работы при ходьбе и беге
4. Кинематика опорной ноги при комфортабельном движении точки подвеса ног
5. Управляющие моменты при одноопорной фазе. Уравнения плоского движения механизма. Матричное представление уравнений динамики

6. Манипулятор с гибким звеном. Уравнения движения. Задачи наблюдения и управления. Полный и неполный вектор измерений. Синтез управления
7. Прямая и обратная задачи кинематики манипулятора. Кинематически избыточные манипуляторы. Понятия сингулярности и манипулятивности манипулятора
8. Платформа Стюарта – параллельный механизм с шестью степенями свободы. Прямая и обратная задачи кинематики параллельного манипулятора
9. Составить уравнения движения двуногого шагающего аппарата в двухопорной фазе. Обобщённые координаты: x_C^C, y_C^C, θ . Определите управляющие моменты M_i^i при полностью комфортабельном движении корпуса. Ноги аппарат считать невесомыми.

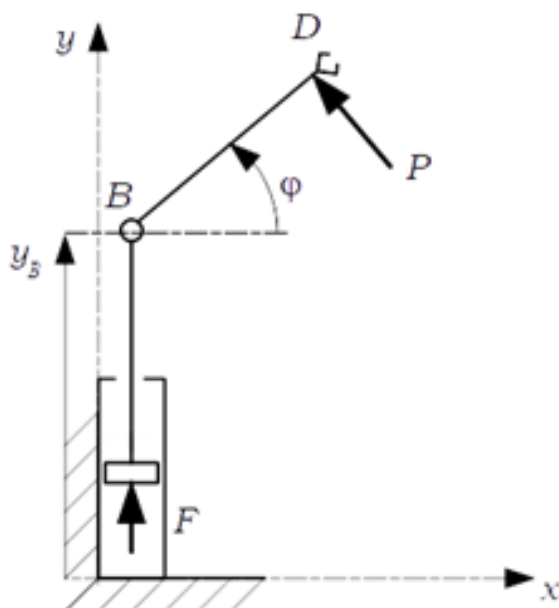


10. Составить уравнения движения манипулятора в обобщённых координатах y_B^B, φ .



Материалы для проверки остаточных знаний

1. Составить уравнения движения манипулятора в обобщённых координатах y_B^B, φ .



Ответы:

Записать уравнения Лагранжа для манипулятора как системы с двумя степенями свободы. Найти кинетическую энергию и обобщённые силы. Провести корректный вывод уравнений

Верный ответ: Правильность решения оценивается экспертом/экзаменатором

2. Выберите верный вариант ответа.

Как называется тип управления роботом, при котором обобщенная сила, входящая в уравнение Лагранжа 2-го рода, задается пропорциональной обобщенному импульсу в виде?

$$Q = \gamma(t) \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\mathbf{q}}} \right)^T$$

Ответы:

- 1) программное управление
- 2) импульсное управление
- 3) коллинеарное управление
- 4) ортогональное управление

Верный ответ: 3) коллинеарное управление

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Даны полные правильные обоснованные ответы на все вопросы билета и дополнительные вопросы.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Ответы на все вопросы билета и дополнительные вопросы правильные и обоснованные, содержат неточности или небольшое количество ошибок.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Ответы в целом правильные, содержат неточности и ошибки. Дан ответ хотя бы на один теоретический вопрос и решена задача.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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