

**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
Устойчивость и стабилизация движения динамических систем**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Капустина О.М.
	Идентификатор	R6f4a785d-KapustinaOM-1bc0f249

(подпись)

О.М.

Капустина

(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-1e4a883c

(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. 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

ИД-2 Применяет методы исследования устойчивости и стабилизации движения при решении робототехнических задач

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. РГР по разделу 4 Задачи управления и стабилизации движения (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа по разделу 3 Устойчивость по первому приближению. Влияние различных сил на устойчивость равновесия консервативной системы (Решение задач)

Форма реализации: Проверка задания

1. Индивидуальная задача для самостоятельного выполнения по разделу 2 Устойчивость стационарных движений (Решение задач)

2. Решение индивидуальной задачи по разделу 1 Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова. (Решение задач)

Форма реализации: Устная форма

1. Устный опрос по разделу 1 Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова. (Коллоквиум)

БРС дисциплины

3 семестр

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

	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5
	Срок КМ:	4	6	8	12	15
Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова.						
Определение устойчивости. Уравнения возмущённого движения		+	+			
Функции Ляпунова. Теоремы об устойчивости и неустойчивости		+	+			
Устойчивость стационарных движений						
Устойчивость равновесия системы при действии потенциальных сил				+		
Механические системы с циклическими координатами				+		
Устойчивость по первому приближению. Влияние различных сил на устойчивость равновесия консервативной системы						
Устойчивость линейных систем					+	
Теоремы Ляпунова об устойчивости и неустойчивости по первому приближению.					+	
Влияние диссипативных и гироскопических сил на устойчивость равновесия консервативной системы.					+	
Задачи управления и стабилизации движения						
Задачи стабилизации и оптимальной стабилизации						+
Задача о стабилизации и оптимальной стабилизации по первому приближению						+
Вес КМ:		10	20	10	20	40

\$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
ПК-1	ИД-3 _{ПК-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: Основные положения, определения, теоретические результаты теории устойчивости Уметь: Применять физико-математический аппарат, методы анализа, моделирования, теоретического исследования устойчивости динамических систем	Решение индивидуальной задачи по разделу 1 Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова. (Решение задач) Устный опрос по разделу 1 Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова. (Коллоквиум)
ПК-2	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	Знать: Постановки задач, теоремы о стабилизации и оптимальной стабилизации движения Уметь: Пользоваться информационно-справочными компьютерными системами, системами	РГР по разделу 4 Задачи управления и стабилизации движения (Расчетно-графическая работа)

	информационных технологий и технических средств	компьютерной алгебры	
ПК-2	ИД-2 _{ПК-2} Применяет методы исследования устойчивости и стабилизации движения при решении робототехнических задач	Знать: Теоремы об устойчивости и неустойчивости движения по первому приближению Теоремы об устойчивости и неустойчивости положений равновесия, стационарных движений, теоремы о влиянии на устойчивость равновесия консервативной системы сил различной природы Уметь: Использовать текстовые, графические компьютерные редакторы, программы для создания презентаций	Индивидуальная задача для самостоятельного выполнения по разделу 2 Устойчивость стационарных движений (Решение задач) Контрольная работа по разделу 3 Устойчивость по первому приближению. Влияние различных сил на устойчивость равновесия консервативной системы (Решение задач)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Решение индивидуальной задачи по разделу 1 Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова.

Формы реализации: Проверка задания

Тип контрольного мероприятия: Решение задач

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение индивидуальной задачи вне аудитории

Краткое содержание задания:

1. Дать определение устойчивости по Ляпунову
2. Для представленных уравнений и систем уравнений найти положения равновесия и исследовать их устойчивость
3. С помощью системы Mathematica построить фазовые портреты на плоскостях $x, \dot{x}$, $\dot{x}, y$
4. Меняя с помощью функции Manipulate начальные условия, проиллюстрировать устойчивость или неустойчивость положений равновесия
5. Представить исследование в виде файла системы Mathematica (файла с расширением nb)

Номер варианта	
1	$\dot{x} = -x^2$

Figure 1 Пример задачи для самостоятельного выполнения по разделу 1

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные положения, определения, теоретические результаты теории устойчивости	1.1. Дать определение устойчивости по Ляпунову.. 2. Знать теорему об устойчивости и об асимптотической устойчивости Ляпунова
Уметь: Применять физико-математический аппарат, методы анализа, моделирования, теоретического исследования устойчивости динамических систем	1.1. Для представленных уравнений и систем уравнений найти положения равновесия и исследовать их устойчивость 2. С помощью системы Mathematica построить фазовые портреты на плоскостях 3. Меняя с помощью функции Manipulate начальные условия, проиллюстрировать устойчивость или неустойчивость положений равновесия 4. Представить исследование в виде файла системы Mathematica (файла с расширением nb)

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 40

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-2. Устный опрос по разделу 1 Устойчивость движения. Основные понятия и теоремы прямого метода Ляпунова.

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент устно отвечает на вопросы преподавателя в аудитории

Краткое содержание задания:

Выполнить одно из заданий

1. Дать определение невозмущённого и возмущённого движения
2. Дать определение устойчивого и неустойчивого движения по отношению к фазовым переменным системы
3. Дать определение устойчивости по отношению к функциям фазовых переменных (координат) системы
4. Описать метод Четаева построения функции Ляпунова по связке интегралов

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные положения, определения, теоретические результаты теории устойчивости	1. Дать определение невозмущённого и возмущённого движения
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 40

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-3. Индивидуальная задача для самостоятельного выполнения по разделу 2 Устойчивость стационарных движений

Формы реализации: Проверка задания

Тип контрольного мероприятия: Решение задач

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Самостоятельное решение задачи вне аудитории

Краткое содержание задания:

По гладкому проволочному кольцу радиуса R , расположенному в вертикальной плоскости, может скользить без трения колечко A . К этому колечку на нити подвешен груз весом P ; другая нить, перекинутая через ничтожно малый блок B , расположенный на конце горизонтального диаметра большого кольца, имеет на конце C другой груз весом Q . Определить положения равновесия колечка A и исследовать, какие из них устойчивы, какие нет.

Указание. Положение колечка A следует характеризовать центральным углом $\varphi = \angle DOA$. Надо отдельно рассматривать равновесие колечка на верхней и нижней полуокружностях.

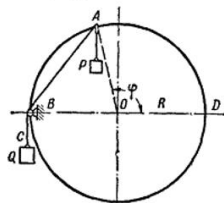


Figure 2 Пример индивидуальной задачи

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Теоремы об устойчивости и неустойчивости положений равновесия, стационарных движений, теоремы о влиянии на устойчивость равновесия консервативной системы сил различной природы	1. Знать условия устойчивости положений равновесия, стационарных движений
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-4. Контрольная работа по разделу 3 Устойчивость по первому приближению. Влияние различных сил на устойчивость равновесия консервативной системы

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Решение задач

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение индивидуальной задачи в аудитории

Краткое содержание задания:

Выяснить, при каких значениях параметра a нулевое решение является:

- Асимптотически устойчивым
- Устойчивым, но не асимптотически

с) Неустойчивым

$$\begin{cases} \dot{x} = ax + y - (a+1)x^2, \\ \dot{y} = x + ay \end{cases}$$

Figure 3 Пример задачи контрольной работы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Теоремы об устойчивости и неустойчивости движения по первому приближению	1. Знать теоремы об устойчивости и неустойчивости по первому приближению, определение критического случая устойчивости
Уметь: Использовать текстовые, графические компьютерные редакторы, программы для создания презентаций	1. Уметь строить первое приближение уравнений возмущённого движения и исследовать устойчивость невозмущённых движений по этим уравнениям

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 40

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-5. РГР по разделу 4 Задачи управления и стабилизации движения

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 40

Процедура проведения контрольного мероприятия: Самостоятельное выполнение вне аудитории

Краткое содержание задания:

Рассмотреть задачу стабилизации верхнего неустойчивого положения равновесия перевёрнутого однозвенного физического маятника. Доказать управляемость по Калману маятника, вывести условия, которым должны удовлетворять параметры закона управления, обеспечивающего асимптотическую устойчивость верхнего положения равновесия. Создать программу Mathematica, с помощью которой сгенерировать случайные значения параметров закона управления, стабилизирующего верхнее положение равновесия, построить область управляемости на фазовой плоскости исходных переменных и на плоскости нормальных координат, дать геометрическую иллюстрацию стабилизации верхнего положения равновесия при выбранных параметрах закона управления.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Постановки задач, теоремы о стабилизации и оптимальной стабилизации движения	1.Постановка задачи стабилизации движения, условия асимптотической устойчивости управляемого движения
Уметь: Пользоваться информационно-справочными компьютерными системами, системами компьютерной алгебры	1.Алгоритм исследования устойчивости по уравнениям управляемого движения, владение системой Mathematica

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 40

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ 	Кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин Дисциплина Устойчивость и стабилизация движения динамических систем	Утверждаю:  Зав. кафедрой Меркуров И.В. 22 декабря 2020 г.
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2		
1. Асимптотическая устойчивость. Асимптотическая устойчивость в целом. Устойчивость на конечном интервале времени (λ, A, t_0, T устойчивость). Устойчивость при постоянно действующих возмущениях. Постановка задачи об устойчивости по отношению к части переменных. Определение устойчивости по отношению к части переменных. Асимптотическая устойчивость по отношению к части переменных. 2. Выяснить, при каких значениях параметра a нулевое решение является: - асимптотически устойчивым - устойчивым, но не асимптотически - неустойчивым $\begin{aligned}\dot{x} &= ax + y + (a+1)x^3, \\ \dot{y} &= x + ay.\end{aligned}$		

Процедура проведения

Устный ответ после подготовки по индивидуальным билетам

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗПК-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

- 1.1. Определение устойчивости по Ляпунову относительно фазовых переменных и функций фазовых переменных. Особенности определения устойчивости по Ляпунову. Орбитальная устойчивость. Условная устойчивость. Устойчивость неавтономных систем.
2. Уравнения возмущённого движения. Канонический вид уравнений возмущённого движения. Уравнения Пуассона. Уравнения возмущённого движения в общем случае определения устойчивости по отношению к функциям фазовых переменных. Определение устойчивости по Ляпунову нулевого решения уравнений возмущённого движения
3. Асимптотическая устойчивость. Асимптотическая устойчивость в целом. Устойчивость на конечном интервале времени. Устойчивость при постоянно действующих возмущениях. Постановка задачи об устойчивости по отношению к части переменных. Определение устойчивости по отношению к части переменных. Асимптотическая устойчивость по отношению к части переменных.

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.1. Определение устойчивости по Ляпунову относительно фазовых переменных.
2. Особенности определения устойчивости по Ляпунову.

3. Уравнения возмущённого движения.
4. Определение устойчивости по Ляпунову нулевого решения уравнений возмущенного движения
5. Асимптотическая устойчивость.
6. Два метода исследования устойчивости.
7. Функции Ляпунова.
8. Знакопостоянные и знакоопределённые функции

Ответы:

Дать правильный ответ на каждый вопрос

Верный ответ: Правильный ответ на каждый вопрос

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1ПК-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

- 1.1. Постановка задачи о стабилизации. Пример построения управления, обеспечивающего асимптотическую устойчивость поступательного прямолинейного движения корпуса трёхколёсной тележки.
2. Стабилизация верхнего положения равновесия подъёмного крана.
3. Стабилизация верхнего положения равновесия маятника с точкой подвеса на колесе.
4. Постановка задачи об оптимальной стабилизации. Теорема Красовского об оптимальной стабилизации. Связь теоремы Красовского об оптимальной стабилизации с принципом максимума Понтрягина.
5. Стабилизация верхнего положения равновесия физического маятника с минимальными затратами энергии.

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.1. Постановка задачи о стабилизации.
2. Постановка задачи об оптимальной стабилизации.
3. Теорема Красовского об оптимальной стабилизации.
4. Связь теоремы Красовского об оптимальной стабилизации с принципом максимума Понтрягина.

Ответы:

Дать правильный ответ на каждый вопрос

Верный ответ: Правильный ответ на каждый вопрос

3. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-2 Применяет методы исследования устойчивости и стабилизации движения при решении робототехнических задач

Вопросы, задания

- 1.1. Теорема Лагранжа об устойчивости равновесия систем под действием потенциальных сил.
2. Две теоремы Ляпунова об обратимости теоремы Лагранжа.
3. Коэффициенты устойчивости Пуанкаре. Степень неустойчивости. Формулировки теоремы Лагранжа об устойчивости положений равновесия и теоремы Ляпунова о неустойчивости с использованием понятия коэффициентов устойчивости Пуанкаре.
4. Бифуркация равновесия. Закон смены устойчивости на некоторой ветви кривой равновесия. Закон смены устойчивости при фиксированном значении параметра.
5. Механические системы с циклическими интегралами. Циклические и позиционные координаты. Циклические интегралы. Функция Рауса. Уравнения Рауса. Интеграл

энергии систем с циклическими координатами. Приведённая система. Стационарные движения. Теоремы Рауса и Ляпунова об устойчивости стационарных движений.

6. Устойчивость линейных систем. Характеристическое уравнение, характеристические числа. Теорема об устойчивости нулевого решения линейной системы уравнений возмущённого движения.

7. Постановка задачи об устойчивости по первому приближению. Теоремы Ляпунова об устойчивости и неустойчивости по первому приближению.

Материалы для проверки остаточных знаний

1.1. Теорема Лагранжа об устойчивости равновесия систем под действием потенциальных сил.

2. Коэффициенты устойчивости Пуанкаре. Степень неустойчивости.

3. Формулировки теоремы Лагранжа об устойчивости положений равновесия и теоремы Ляпунова о неустойчивости с использованием понятия коэффициентов устойчивости Пуанкаре.

4. Бифуркация равновесия.

5. Постановка задачи об устойчивости по первому приближению.

6. Теоремы Ляпунова об устойчивости и неустойчивости по первому приближению.

Ответы:

Дать правильный ответ на каждый вопрос

Верный ответ: Правильный ответ на каждый вопрос

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 40

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

По совокупности оценок за семестровую успеваемость и ответ на экзамене