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

Направление подготовки/специальность: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Робототехнические устройства

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

Рабочая программа дисциплины
ДИНАМИКА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Блок:	**Блок 1 «Дисциплины (модули)»**
Часть образовательной программы:	**Обязательная**
№ дисциплины по учебному плану:	**Б1.О.05.08**
Трудоемкость в зачетных единицах:	**7 семестр - 3;**
Часов (всего) по учебному плану:	**108 часов**
Лекции	**7 семестр - 4 часа;**
Практические занятия	**7 семестр - 4 часа;**
Лабораторные работы	**не предусмотрено учебным планом**
Консультации	**7 семестр - 2 часа;**
Самостоятельная работа	**7 семестр - 96,8 часа;**
в том числе на КП/КР	**не предусмотрено учебным планом**
Иная контактная работа	**7 семестр - 0,9 часа;**
включая: **Контрольная работа** **Коллоквиум**	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	**7 семестр - 0,3 часа;**

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Меркурьев И.В. Идентификатор: Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883(	И.В. Меркурьев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Долбикова Н.С. Идентификатор: Re789edb1-DolbikovaNS-479113b3	Н.С. Долбикова
Заведующий выпускающей кафедрой	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Мезин С.В. Идентификатор: R420ae592-MezinSV-dc40cfee	С.В. Мезин

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Применять асимптотические методы для построения и исследования уравнений динамики мехатронных систем.

Задачи дисциплины

- Изучение основных определений, теорем асимптотических методов решения уравнений динамики;
- Изучение основных алгоритмов решения уравнений динамики асимптотическими методами;
- Формирование навыков применения алгоритмов асимптотических методов для решения задач динамики мехатронных систем;
- Формирование навыков применения компьютерных систем, например, Mathematica для решения задач динамики мехатронных систем.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**	**Запланированные результаты обучения**
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ИД-10$_{ОПК-1}$ Применяет методы статики, кинематики, динамики, аналитической механики для исследования механических систем	знать: - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем; - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем. уметь: - Применять алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Робототехнические устройства (далее – ОПОП), направления подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы теории и ключевые алгоритмы дисциплин "Линейная алгебра", "Аналитическая геометрия", «Математический анализ», "Теория колебаний и динамика машин", "Вычислительная механика", "Прикладные методы теории колебаний".
- уметь Применять для решения динамических уравнений ключевые алгоритмы дисциплин "Линейная алгебра", "Аналитическая геометрия", «Математический анализ», "Теория колебаний и динамика машин", "Вычислительная механика", "Прикладные методы теории колебаний".
- уметь Применять математические компьютерные системы

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа								СР		
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
							КПР	ГК	ИККП	ТК				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений	34.3	7	2.0	-	2.0	-	-	-	0.3	-	30	-	***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" и подготовка к контрольной работе
1.1	Введение	12.1		1	-	1	-	-	-	0.1	-	10	-	***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" , подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, материалов практических занятий ***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" ***Изучение материалов литературных источников:*** [5], С.11-79
1.2	Классификация возмущений уравнений по малому параметру	11.1		0.5	-	0.5	-	-	-	0.1	-	10	-	
1.3	Асимптотические методы решений регулярно возмущённых по малому параметру уравнений	11.1		0.5	-	0.5	-	-	-	0.1	-	10	-	
2	Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические	32.3		1	-	1	-	-	-	0.3	-	30	-	***Подготовка курсовой работы:*** Изучение материала по разделу "Разделение движений в системах с разрывными характеристиками. Качение приторможенного колеса". В задании требуется при различных известных

	методы их решений													постоянных динамических параметрах и
2.1	Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем	32.3		1	-	1	-	-	-	0.3	-	30	-	начальных значениях фазовых переменных исследовать характер процесса торможения колеса силами кулонова трения. Задача решается асимптотическими методами разделения движений в системах с разрывными характеристиками. Переход одного режима качения в другой трактуется как наложение и снятие голономных и неголономных связей. Для выполнения работы необходимо использовать компьютерные системы, например, Mathematica ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, материалов консультаций по выполнению курсовой работы ***Изучение материалов литературных источников:*** [1], 120-130 [2], С.264-370, 434-448 [3], С.6-72 [4], С.6-72
3	Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения	21.4		1	-	1	-	-	-	0.3	-	19.1	-	***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения" , подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения" ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, материалов практических занятий ***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу "Разделение движений в системах с быстрой
3.1	Асимптотические методы решения динамических уравнений в системах с быстрой фазой	21.4		1	-	1	-	-	-	0.3	-	19.1	-	

														фазой. Методы осреднения" и подготовка к контрольной работе ***<u>Изучение материалов литературных источников:</u>*** [5], С.140-211
	Зачет с оценкой	20.0		-	-	-	-	2	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	**108.0**		**4.0**	**-**	**4.0**	**-**	**2**	**-**	**0.9**	**0.3**	**79.1**	**17.7**	
	Итого за семестр	**108.0**		**4.0**	**-**	**4.0**	**2**		**0.9**		**0.3**	**96.8**		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений

1.1. Введение

История происхождения и смысл понятия «мехатронные системы», примеры мехатронных систем. Определение, цель использования асимптотических методов..

1.2. Классификация возмущений уравнений по малому параметру

Приведение систем уравнений к безразмерному нормализованному виду. Классы движений. Варианты введения малого параметра. Разделение движений в жёстких системах. Регулярные и сингулярные возмущения по малому параметру. Два типа асимптотических разложений по малому параметру. Избыточность в приближённых методах..

1.3. Асимптотические методы решений регулярно возмущённых по малому параметру уравнений

Теорема Пуанкаре. Секулярные члены. Построение методом Пуанкаре приближённого решения уравнения гармонического осциллятора с малым разбросом коэффициента жёсткости от номинального значения. Метод Пуанкаре-Ляпунова (Линдштедта-Пуанкаре). Применение метода Пуанкаре-Ляпунова для построения приближённого решения гармонического осциллятора с малым разбросом коэффициента жёсткости от номинального значения..

2. Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений

2.1. Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с пограничным слоем

Разделение движении в системах с пограничным слоем. Медленное и быстрое безразмерное время. Вырожденная и присоединённая системы уравнений. Теорема Тихонова. Построение вырожденной системы уравнений в системах с иерархией числовых значений характерных времён. О переходе к вырожденным уравнениям на бесконечном интервале времени. 9.Асимптотические разложения решений в системах с пограничным слоем. Асимптотическое разложение в задаче Стокса о вертикальном падении шара в вязкой жидкости на классе движения «в большом». Асимптотическое разложение в задаче о движении физического маятника в сильно вязкой среде. Разделение движений в системах с разрывными характеристиками..

3. Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения

3.1. Асимптотические методы решения динамических уравнений в системах с быстрой фазой

Метод осреднения Крылова-Боголюбова. Стандартная форма и обобщение стандартной формы уравнений метода осреднения Крылова-Боголюбова. Алгоритм асимптотического разложения метода Крылова-Боголюбова. Оценка точности приближений метода осреднения Крылова-Боголюбова. 12.Порождающая система уравнений, осреднение по траекториям порождающей системы метода Крылова-Боголюбова. 13.Метод осреднения в системах с несколькими быстрыми фазами. Осреднённые уравнения первого приближения. Резонансы в многочастотных системах. Метод осреднения в резонансном случае. Резонансные колебания физического маятника при горизонтальных колебаниях точки подвеса. Метод гармонической

линеаризации. Определение автоколебаний. Исследование устойчивости периодического решения с использованием критерия Михайлова..

3.3. Темы практических занятий

1. Приведение систем уравнений к безразмерному нормализованному виду;
2. Метод осреднения Крылова-Боголюбова;
3. Построение методом Пуанкаре приближённых решений уравнений;
4. Построение методом Пуанкаре-Ляпунова (Линдштедта-Пуанкаре)приближённых решений уравнений;
5. Разделение движении в системах с погранслоем;
6. Метод гармонической линеаризации.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения"

Индивидуальные консультации по курсовому проету /работе (ИККП)

1. Консультации проводятся по разделу "Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
Знать:					
Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем	ИД-10$_{ОПК-1}$	+			Контрольная работа/Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3
Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	ИД-10$_{ОПК-1}$		+		Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем"
Уметь:					
Применять алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	ИД-10$_{ОПК-1}$			+	Контрольная работа/Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела1

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Смешанная форма

1. Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела1 (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем" (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №7)

Итоговая оценка выставляется по совокупности экзаменационной и семестровой оценок

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Новожилов, И. В. Фракционный анализ / И. В. Новожилов. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 190 с. – ISBN 5-211-01564-9.;
2. В. Вазов- "Асимптотические разложения решений обыкновенных дифференциальных уравнений", Издательство: "Мир", Москва, 1968 - (464 с.) https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=464125;
3. Васильева, А. Б. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений / А. Б. Васильева, В. Ф. Бутузов. – М. : Высшая школа, 1990. – 207 с. – (Актуальные вопросы прикладной и вычислительной математики).;
4. Вазов, В. Асимптотические разложения решений обыкновенных дифференциальных уравнений : пер. с англ. / В Вазов. – М. : Мир, 1968. – 464 с.;
5. Моисеев, Н. Н. Асимптотические методы нелинейной механики : учебное пособие для университетов / Н. Н. Моисеев. – 2-е изд., перераб. – М. : Наука, 1981. – 400 с..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. **ЭБС Лань** - https://e.lanbook.com/
2. **ЭБС "Университетская библиотека онлайн"** - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. **Научная электронная библиотека** - https://elibrary.ru/
4. **Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ)** - http://elib.mpei.ru/login.php
5. **Федеральный портал "Российское образование"** - http://www.edu.ru

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-417/6, Белая мультимедийная студия	стол компьютерный, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Ж-417/7, Световая черная студия	стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, микрофон, мультимедийный проектор, экран, оборудование специализированное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ж-200б, Конференц-зал ИДДО	стол, стул, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-417 /2а, Помещение для инвентаря	стеллаж для хранения инвентаря, экран, указка, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, спортивный инвентарь, хозяйственный инвентарь, запасные комплектующие для оборудования

Приложение А

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Динамика мехатронных систем

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3 (Контрольная работа)

КМ-2 Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем" (Коллоквиум)

КМ-3 Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела1 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	3	6	9
1	Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений				
1.1	Введение		+		
1.2	Классификация возмущений уравнений по малому параметру		+		
1.3	Асимптотические методы решений регулярно возмущённых по малому параметру уравнений		+		
2	Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений				
2.1	Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем			+	
3	Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения				
3.1	Асимптотические методы решения динамических уравнений в системах с быстрой фазой				+
		Вес КМ, %:	35	35	30