

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.03.09
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:	
Коллоквиум	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	7 семестр - 0,3 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Цой В.Э.
	Идентификатор	Rd9d3a9dd-TsoyVE-b05eb4b4

В.Э. Цой


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Долбикова Н.С.
	Идентификатор	Re789edb1-DolbikovaNS-479113b

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 уравнений динамики систем с погранслоем; - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой; - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем. уметь: - Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем; - Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой; - 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	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" , подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, материалов практических занятий</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], С.11-79</p> <p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Изучение материала по разделу "Разделение движений в системах с разрывными характеристиками. Качение приторможенного колеса". В задании требуется при различных известных</p>
1.1	Введение	12.1		1	-	1	-	-	-	0.1	-	10	-	
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	-	

	методы их решений															
2.1	Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем	32.3	1	-	1	-	-	-	0.3	-	30	-			<p>постоянных динамических параметрах и 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</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, материалов консультаций по выполнению курсовой работы</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 120-130 [2], С.264-370, 434-448 [3], С.6-72 [4], С.6-72</p>	
3	Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения	21.4	1	-	1	-	-	-	0.3	-	19.1	-			<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения" , подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p>	
3.1	Асимптотические методы решения динамических уравнений в системах с быстрой фазой	21.4	1	-	1	-	-	-	0.3	-	19.1	-			<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения"</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, материалов практических занятий</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Разделение движений в системах с быстрой</p>	

														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 погранслоем

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

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 проекту /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 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" раздела 1 Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений
Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	ИД-10 _{ОПК-1}		+		Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем"
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 Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения
Уметь:					
Применять алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	ИД-10 _{ОПК-1}	+			Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений
Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	ИД-10 _{ОПК-1}			+	Контрольная работа/Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3 Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой.

					Методы осреднения
Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем	ИД-10 _{ОПК-1}		+		Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем"

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" раздела 1 (Контрольная работа)
3. Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения (Коллоквиум)

Форма реализации: Устная форма

1. Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений (Коллоквиум)
2. 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-201, Компьютерный читальный зал	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

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Динамика мехатронных систем

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений (Коллоквиум)
- КМ-2 Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела 1 (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем" (Коллоквиум)
- КМ-4 Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения (Коллоквиум)
- КМ-5 Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	6	8	10	11
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, %:			20	20	20	20	20