

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

---

Направление подготовки/специальность: 15.03.03 Прикладная механика

Наименование образовательной программы: Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ДИНАМИКА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	Вариативная
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.В.11.08.02
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	6 семестр - 6;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	216 часов
<b>Лекции</b>	6 семестр - 42 часа;
<b>Практические занятия</b>	6 семестр - 28 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	6 семестр - 16 часов;
<b>Самостоятельная работа</b>	6 семестр - 125,2 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	6 семестр - 17,7 часов;
<b>Иная контактная работа</b>	6 семестр - 4 часа;
<b>включая:</b>	
<b>Коллоквиум</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Защита курсового проекта</b>	6 семестр - 0,3 часа;
<b>Экзамен</b>	6 семестр - 0,5 часа;
	<b>всего - 0,8 часа</b>

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

В.Э. Цой

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(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)

## 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
ПК-11 способностью проектировать детали и узлы с использованием программных систем компьютерного проектирования на основе эффективного сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов		знать: - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой; - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем; - Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем.  уметь: - Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой; - Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем; - 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 части, формируемой участниками образовательных отношений блока дисциплин основной профессиональной образовательной программе Динамика и прочность

машин, приборов и аппаратуры (далее – ОПОП), направления подготовки 15.03.03 Прикладная механика, 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 6 зачетных единиц, 216 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	78	6	22	-	14	-	-	-	-	-	42	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> 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><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, материалов практических занятий</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], 11-79</p>
1.1	Введение	20		6	-	4	-	-	-	-	-	10	-	
1.2	Классификация возмущений уравнений по малому параметру	28		8	-	4	-	-	-	-	-	16	-	
1.3	Асимптотические методы решений регулярно возмущённых по малому параметру уравнений	30		8	-	6	-	-	-	-	-	16	-	
2	Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические	32		10	-	6	-	-	-	-	-	16	-	



													фазой. Методы осреднения" и подготовка к контрольной работе <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], 297-379 [6], 9-176 [7], 140-211
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовой проект (КП)	36.0	-	-	-	14	-	4	-	0.3	17.7	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>42</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>0.8</b>	<b>91.7</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>42</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	<b>16</b>		<b>4</b>		<b>0.8</b>	<b>125.2</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. 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 движения 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 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

#### 6 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Разделение движений в системах с разрывными характеристиками.

#### **График выполнения курсового проекта**

Неделя	1 - 6	7 - 12	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	1	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	50	50	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	50	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем

### 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	
<b>Знать:</b>					
Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	ПК-11(Компетенция)	+			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 систем с погранслоем	ПК-11(Компетенция)			+	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
Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	ПК-11(Компетенция)		+		Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем"
<b>Уметь:</b>					
Применять алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	ПК-11(Компетенция)	+			Контрольная работа/Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела 1
Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем	ПК-11(Компетенция)	+	+		Коллоквиум/Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с

					погранслоем"
Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	ПК-11(Компетенция)			+	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

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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **6 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.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### *Экзамен (Семестр №6)*

Итоговая оценка выставляется по совокупности экзаменационной и семестровой оценок

#### *Курсовой проект (КП) (Семестр №6)*

Оценка за курсовую работу выставляется по совокупности оценок промежуточной аттестации и защиты

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. В. Вазов- "Асимптотические разложения решений обыкновенных дифференциальных уравнений", Издательство: "Мир", Москва, 1968 - (464 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=464125>;

2. Новожилов, И. В. Фракционный анализ / И. В. Новожилов . – М. : Изд-во МГУ, 1991 . – 190 с. - ISBN 5-211-01564-9 .;

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. Филиппов, А. Ф. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью / А. Ф. Филиппов . – М. : Наука, 1985 . – 224 с.;

5. Боголюбов, Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский . – М. : Гос. изд-во технико-теоретич. лит., 1955 . – 448 с.;
6. Волосов, В. М. Метод осреднения в теории нелинейных колебательных систем / В. М. Волосов, Б. И. Моргунов . – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1971 . – 507 с.;
7. 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. Майнд Видеоконференции;
5. Scilab;
6. Python.

### **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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

### **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>Тип помещения</b>	<b>Номер аудитории, наименование</b>	<b>Оснащение</b>
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Б-407, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-407, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-407, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Б-110/1, Кабинет сотрудников каф. "РМДиПМ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-06а, Учебная лаборатория	стеллаж для хранения книг



## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Динамика мехатронных систем

(название дисциплины)

#### 6 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 – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	5	8	9	12
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

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА  
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Динамика мехатронных систем**

(название дисциплины)

**6 семестр**

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:**

КМ-1 Проверка графика выполнения КП

КМ-2 Проверка графика выполнения КП

**Вид промежуточной аттестации – защита КП.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	6	12
1	Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем		+	+
		Вес КМ, %:	50	50