

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 2025

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 регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем; - 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. уметь: - Применять алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем; - Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой; - Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем. |

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> |
| 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 | - | <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> |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|--|-----|---|-----|---|---|-----|-----|-----|------|------|--|
| | | | | | | | | | | | | | | 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. 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 пограничным слоем;
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

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 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 | 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 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 |
| Уметь: | | | | | |
| 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" |
| 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 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 |
|---|------------------------|---|--|--|--|

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-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 |

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 |