

**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: Компьютерные технологии управления в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Динамика мехатронных 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	Адамов Б.И.
	Идентификатор	R2db20bbf-AdamovBI-4e0d2620

(подпись)

Б.И. Адамов

(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)

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. ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

ИД-15 Применяет аппарат теории колебаний, в том числе асимптотические методы, для исследования и моделирования динамики мехатронных систем

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

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)

БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	6	8	10	11
Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений						
Введение	+	+	+			
Классификация возмущений уравнений по малому параметру	+	+				
Асимптотические методы решений регулярно возмущённых по малому параметру уравнений	+	+				
Сингулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений						

Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем			+		
Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения					
Асимптотические методы решения динамических уравнений в системах с быстрой фазой				+	+
Вес КМ:	20	20	20	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

БРС курсовой работы/проекта

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %			
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
	Срок КМ:	4	8	11
Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем		+	+	+
Вес КМ:		30	30	40

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
ОПК-1	ИД-15 _{ОПК-1} Применяет аппарат теории колебаний, в том числе асимптотические методы, для исследования и моделирования динамики мехатронных систем	<p>Знать:</p> <p>Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем</p> <p>Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем</p> <p>Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой</p> <p>Уметь:</p> <p>Применять алгоритмы асимптотических методов решения регулярно</p>	<p>Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений (Коллоквиум)</p> <p>Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела 1 (Контрольная работа)</p> <p>Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем" (Коллоквиум)</p> <p>Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения (Коллоквиум)</p> <p>Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3 (Контрольная работа)</p>

		<p>возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем</p> <p>Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем</p> <p>Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой</p>	
--	--	--	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Устный опрос с возможными письменными комментариями в процессе ответа

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	1. Какие системы дифференциальных уравнений называются регулярно возмущёнными по малому параметру?
---	--

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: 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: 50

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

КМ-2. Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела 1

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение в аудитории индивидуального задания с применением компьютерной системы Mathematica

Краткое содержание задания:

ЗАДАЧА 1

Уравнения вертикального падения шара в вязкой среде (задача Стокса) в проекциях на направленную вниз вертикальную ось x имеют вид

$$\begin{aligned}M \frac{dV}{dT} &= MG - KV, \\ \frac{dX}{dT} &= V, \\ X(0) &= X_0, \\ V(0) &= V_0.\end{aligned}\quad (1)$$

Здесь M – масса шара, X – координата центра масс, V – проекция на ось X скорости центра масс, G – ускорение свободного падения под действием разности веса и архимедовой силы.

Провести нормализацию уравнений (1), перейдя к безразмерным переменным согласно формулам замены

$$t = \frac{T}{T_*}, v = \frac{V}{V_*}, x = \frac{X}{X_*}.$$

Для качественных оценок найдём из уравнения установившегося движения

$$MG - KV = 0$$

скорость установившегося движения

$$V_1 = \frac{MG}{K}.$$

Постоянную времени, характеризующую изменение скорости за счёт силы трения, найдём из уравнения

$$M \frac{dV}{dT} = -KV.$$

Эта постоянная равна

$$T_1 = \frac{M}{K}.$$

Рассмотреть класс движений при малых временах $T \ll T_1$ с малой начальной скоростью $V_0 \ll V_1$.

Выбрать

$$T_* = \mu T_1, V_* = V_0 = \mu V_1, X_* = V_* T_*, \mu \ll 1.$$

Отыскивая решение уравнений падения шара, записанных в безразмерном нормализованном форме, в виде рядов по степеням малого параметра μ

$$\begin{aligned} x &= x^{(0)} + \mu x^{(1)} + \mu^2 x^{(2)} + \dots, \\ v &= v^{(0)} + \mu v^{(1)} + \mu^2 v^{(2)} + \dots, \end{aligned}$$

найти методом Пуанкаре приближённое решение уравнений движения

$$\begin{aligned} x_{(1)} &= x^{(0)} + \mu x^{(1)}, \\ v_{(1)} &= v^{(0)} + \mu v^{(1)}. \end{aligned} \tag{2}$$

Записать решение (2) в размерных переменных.

Построить в зависимости от времени t графики точного x, v , приближенного $x_{(1)}, v_{(1)}$ решения уравнений (1), а также графики погрешности

$$\begin{aligned} \Delta x &= x - x_{(1)}, \\ \Delta v &= v - v_{(1)}. \end{aligned}$$

Принять:

$$\begin{aligned} M &= 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ кг}, G = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}, K = 0,2 \text{ Н с / м}, \\ X(0) &= 0,01 \text{ м}, \mu = 0,1. \end{aligned}$$

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения регулярно	1. В чем заключается метод Пуанкаре нахождения приближённого решения уравнений динамики?
---	--

возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	
Уметь: Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	1. Как применить метод Пуанкаре для приближённого решения уравнений динамики заданной механической системы?

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: 60

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: 50

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

КМ-3. Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем"

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Устный опрос с возможными письменными комментариями в процессе ответа

Краткое содержание задания:

Ответить на предложенные вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	1. Как ввести малый параметр в системах с быстрым и медленным временем? Что называется погранслоем?
Уметь: Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем	1. Как построить вырожденную и присоединённую систему уравнений?

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: 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: 50

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

КМ-4. Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Устные ответы на вопросы, дополненные при необходимости письменными комментариями

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем	1.Что собой представляет стандартная форма и обобщение стандартной формы уравнений метода осреднения Крылова-Боголюбова?
Уметь: Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	1.Описать алгоритм реализации метода осреднения Крылова Боголюбова

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: 60

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: 50

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

КМ-5. Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение в аудитории индивидуального задания с применением компьютерной системы Mathematica

Краткое содержание задания:

Найти методом осреднения приближённое решение в первом по малому параметру приближении уравнений свободных колебаний груза на горизонтальной плоскости рис. 1 под действием упругой силы пружины и кулоновой силы трения

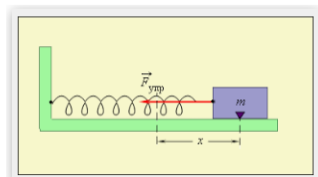


Рис. 1 Груз на шероховатой плоскости

Ось x направлена по горизонтали, начало отсчёта находится в положении равновесия груза.

Построить графики амплитуды a и фазы φ координаты проекции скорости v , погрешностей a , φ , x , v в зависимости от времени.

Масса груза $M=10^{-2}$ кг, коэффициент жёсткости пружины $K=20$ кг c^{-2} , коэффициент трения груза о плоскость $f=0,02$, $x(0)=3,5 \cdot 10^{-2}$ м, $\dot{x}(0)=0,001$ м c^{-1}

$$|F_{\text{тр}}| = f M \dot{x} = 0,00196 \text{ Н}$$

$$\epsilon = f M \dot{x} / (K x(0)) = 0,0028$$

тби

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Основные определения, теоремы, алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики систем с погранслоем	1. Что собой представляет метод осреднения Крылова Боголюбова?
Уметь: Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики мехатронных систем с быстрой фазой	1. Найти методом осреднения Крылова Боголюбова приближённое решение уравнений динамики заданной механической системы

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: 60

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: 50

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

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ Кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин
Дисциплина Динамика мехатронных систем

Утверждаю:
Меркулов
Зав. кафедрой
Меркулов И.В.
7 июня 2021 г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Варианты введения малого параметра.

2. Найти методом осреднения приближённое решение в первом по малому параметру приближении уравнений свободных колебаний груза на рисунке под действием упругой силы пружины и силы вязкого сопротивления, пропорциональной первой степени скорости груза.

Ось x направлена по вертикали, начало отсчёта находится в положении равновесия груза.




Рис. Груз, подвешенный с помощью упруго-демпфирующего элемента

Масса груза $M=10^{-3}$ кг, коэффициент жёсткости пружины $K=20,5$ кг c^{-2} , коэффициент демпфирования $R = 2,1 \cdot 10^{-3}$ кг c^{-1} , $x(0)=3,47 \cdot 10^{-3}$ м, $\dot{x}(0)=0,001$ м c^{-1} , $F_{сопр}=R \dot{v}$, $\epsilon=R / K / \sqrt{M / K}$.

Figure 1 Пример экзаменационного билета

Процедура проведения

Проводится по индивидуальным билетам в устной форме в аудитории

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-15_{ОПК-1} Применяет аппарат теории колебаний, в том числе асимптотические методы, для исследования и моделирования динамики мехатронных систем

Вопросы, задания

- 1.1. История происхождения и смысл понятия «мехатронные системы», примеры мехатронных систем.
2. Определение, цель использования асимптотических методов.
3. Приведение систем уравнений к безразмерному нормализованному виду. Классы движений. Варианты введения малого параметра. Разделение движений в жёстких системах.
4. Регулярные и сингулярные возмущения по малому параметру. Два типа асимптотических разложений по малому параметру. Избыточность в приближённых методах.
5. Теорема Пуанкаре.
6. Секулярные члены. Построение методом Пуанкаре приближённого решения уравнения гармонического осциллятора с малым разбросом коэффициента жёсткости от номинального значения.

7. Метод Пуанкаре-Ляпунова (Линдштедта-Пуанкаре). Применение метода Пуанкаре-Ляпунова для построения приближённого решения гармонического осциллятора с малым разбросом коэффициента жёсткости от номинального значения.
8. 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.
10. Разделение движений в системах с разрывными характеристиками.
11. 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.

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.1. История происхождения и смысл понятия «мехатронные системы», примеры мехатронных систем.
2. Определение, цель использования асимптотических методов.
3. Приведение систем уравнений к безразмерному нормализованному виду. Классы движений. Варианты введения малого параметра.
4. Регулярные и сингулярные возмущения по малому параметру.
5. Теорема Пуанкаре.
6. Секулярные члены.
7. Метод Пуанкаре-Ляпунова (Линдштедта-Пуанкаре).
8. Разделение движения в системах с погранслоем. Медленное и быстрое безразмерное время. Вырожденная и присоединённая системы уравнений. Теорема Тихонова. О переходе к вырожденным уравнениям на бесконечном интервале времени.
9. Разделение движений в системах с разрывными характеристиками.
10. Метод осреднения Крылова-Боголюбова.
11. Порождающая система уравнений,

Ответы:

Дать правильный ответ на вопрос

Верный ответ: Правильный ответ на 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: 60

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: 50

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

Итоговая оценка выставляется по совокупности экзаменационной и семестровой оценок

Для курсового проекта/работы:

8 семестр

Форма проведения: Защита КП/КР

I. Процедура защиты КП/КР

Ответ на вопросы по курсовой работе преподавателям из принимающей комиссии

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: 60

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: 50

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

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