

**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

**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	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)

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. ПК-11 способностью проектировать детали и узлы с использованием программных систем компьютерного проектирования на основе эффективного сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов

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

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	5	8	9
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

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %		
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
	Срок КМ:	6	12
Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем		+	+
Вес КМ:		50	50

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
ПК-11	ПК-11(Компетенция)	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	Контрольный опрос по разделу 1 Регулярно возмущённые по малому параметру системы уравнений и асимптотические методы их решений (Коллоквиум) Контрольная работа по теме "Приближённое решение уравнений динамики методом Пуанкаре" раздела 1 (Контрольная работа) Контрольный опрос по разделу 2 "Асимптотические методы решений динамических уравнений в системах с погранслоем" (Коллоквиум) Контрольный опрос по разделу 3 Разделение движений в системах с быстрой фазой. Методы осреднения (Коллоквиум) Контрольная работа по теме "Метод осреднения Крылова Боголюбова" раздела 3 (Контрольная работа)

		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	
--	--	--	--

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 регулярно 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

$$\begin{aligned}M \frac{dV}{dT} &= M G - K V, \\ \frac{dX}{dT} &= V, \\ X(0) &= X_o, \\ V(0) &= V_o.\end{aligned}\tag{1}$$

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

$$M G - K V = 0$$

скорость установившегося движения

$$V_1 = \frac{M G}{K}.$$

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

$$M \frac{dV}{dT} = -K V.$$

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:

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

Контрольные вопросы/задания:

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

возмущённых по малому параметру уравнений динамики мехатронных систем	
Уметь: Применять алгоритмы асимптотических методов решения уравнений динамики 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

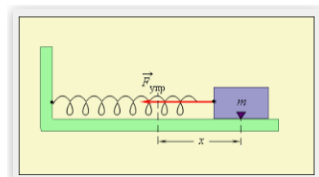


Рис. 1 Груз на шероховатой плоскости

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

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

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

6 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

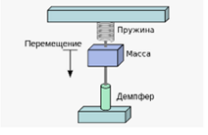
МЭИ 	Кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машины Дисциплина Динамика мехатронных систем	Утверждаю:  Зав. кафедрой Меркуров И.В. 7 июня 2021 г.
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2		
1. Варианты введения малого параметра. 2. Найти методом осреднения приближённое решение в первом по малому параметру 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}, $F_{\text{сopp}}=R \cdot v$, $\epsilon=R / K \cdot \sqrt{M / K}$.		

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: ПК-11(Компетенция)

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 движений 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 движений 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:

6 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