

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

**Направление подготовки/специальность: 15.04.03 Прикладная механика**

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

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг**

**Москва  
2022**

## 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. ОПК-5 Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов

ИД-2 Способен разработать программные коды для численного решения задач механики сплошной среды

2. ОПК-10 Способен разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики

ИД-3 Способен разработать компьютерные модели объектов профессиональной деятельности

3. ПК-1 Готов участвовать в научных и расчетно-экспериментальных исследованиях объектов профессиональной деятельности с целью обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости, долговечности, безопасности и надежности

ИД-2 Способен выполнять расчеты в профессиональных конечно-элементных программных комплексах

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет устойчивости балок МКЭ (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Тест 1. Особенности расчета устойчивости балок МКЭ (Тестирование)

2. Численные методы анализа сложных конструкций (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %			
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
	Срок КМ:	4	8	12
Расчет собственных колебаний и устойчивости конструкций МКЭ				
Расчет собственных колебаний и устойчивости конструкций МКЭ		+		
Вопросы моделирования механических систем				

Вопросы моделирования механических систем		+	
Введение в программный комплекс ANSYS/CAE Fidesys			
Введение в программный комплекс ANSYS/CAE Fidesys			+
Решение задач механики сплошной среды методом конечных разностей			
Решение задач механики сплошной среды методом конечных разностей			+
Вес КМ:	30	20	50

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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-5	ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Способен разработать программные коды для численного решения задач механики сплошной среды	Знать: - принципы разработки цифровых моделей конструкций с применением МКЭ Уметь: - создавать цифровые модели конструкций в программном комплексе ANSYS	Тест 1. Особенности расчета устойчивости балок МКЭ (Тестирование) Численные методы анализа сложных конструкций (Коллоквиум)
ОПК-10	ИД-3 <sub>ОПК-10</sub> Способен разработать компьютерные модели объектов профессиональной деятельности	Знать: - основы метода конечных разностей Уметь: - применять метод конечных разностей для решения задач механики сплошной среды	Численные методы анализа сложных конструкций (Коллоквиум)
ПК-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Способен выполнять расчеты в профессиональных конечно-элементных программных комплексах	Знать: - сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, опасности и угрозы, возникающие в	Расчет устойчивости балок МКЭ (Контрольная работа) Численные методы анализа сложных конструкций (Коллоквиум)

		этом процессе Уметь: - проводить динамический расчет конструкций методом конечных элементов в ПК ANSYS/CAE Fidesys	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Тест 1. Особенности расчета устойчивости балок МКЭ

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты отвечают на два вопроса билета в устной форме. При необходимости приводятся письменные комментарии.

#### Краткое содержание задания:

Продемонстрировать понимание постановки задачи о потере устойчивости, знание методов решения понимание результатов расчета критической нагрузки

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: - принципы разработки цифровых моделей конструкций с применением МКЭ	1.3. В какую сторону относительно точных значений дает оценки критической нагрузки линейный анализ по МКЭ? 4. Как выглядит численный критерий потери устойчивости при расчете диаграммы нагружения в нелинейном анализе? 2.5. К какому типу нелинейности принадлежит явление потери устойчивости упругих систем?
---	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* На два вопроса даны правильные содержательные ответы.

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Туманные ответы не по существу.

### КМ-2. Расчет устойчивости балок МКЭ

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

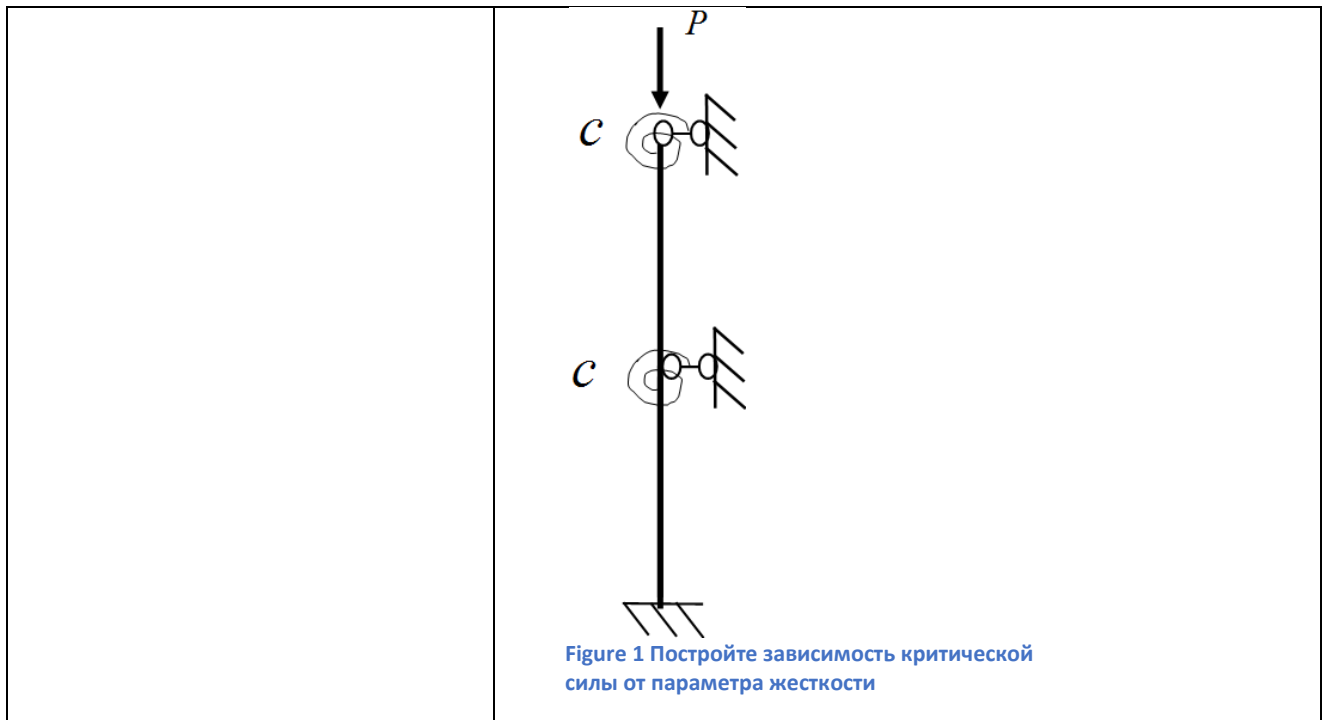
**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают индивидуальные варианты задачи о потере устойчивости, которую они выполняют в письменном виде.

#### Краткое содержание задания:

Построить зависимость критической нагрузки от жесткости упругой связи. Сравнить решение по МКЭ с точным решением сопротивления материалов

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: - сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, опасности и угрозы, возникающие в этом процессе	1.Задача 3 Постройте зависимость критической силы от параметра жесткости
---	---



**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания: Исчерпывающее решение*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Решение в целом верное, но имеются описки, не влияющие на сущность ответа*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Ход решения верный, но есть ошибка, которая привела к неправильному ответу.*

**КМ-3. Численные методы анализа сложных конструкций**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают задание с двумя вопросами, на которые они должны дать устные ответы

**Краткое содержание задания:**

Дать грамотные ответы, касающиеся особенностей численного моделирования поведения конструкций при различного рода воздействиях.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: - основы метода конечных разностей	1.13. Какие разностные схемы называются «условно устойчивыми»? 14. Какие разностные схемы называются абсолютно устойчивыми»? 15. Физический смысл условия Куранта.
---	--



	16. Какой параметр характеризует с количественной стороны понятие «аппроксимация» в теории разностных схем?
Уметь: - создавать цифровые модели конструкций в программном комплексе ANSYS	<p>1.1. Как расчетным путем убедиться, что конструкция имеет способность к жестким смещениям?</p> <p>2. Поясните на простейшем примере качественную зависимость частот собственных колебаний от основных характеристик конструкции.</p> <p>3. Почему формы колебаний, рассчитанные методом конечных элементов, получаются заведомо приближенными? Как это обстоятельство влияет на оценки собственных частот?</p> <p>4. Для кэ-модели симметричной закрепленной балки с центральной упругой опорой (линейной пружиной) определяются три первые собственные частоты изгибных колебаний. Объясните, почему вторая частота не зависит от жесткости пружины.</p>
Уметь: - применять метод конечных разностей для решения задач механики сплошной среды	<p>1.11 Объясните роль фиктивных точек при разностной аппроксимации дифференциальных граничных условий.</p> <p>12. Дайте любое определение устойчивости разностной схемы.</p> <p>13. Сформулируйте основную теорему теории разностных схем.</p> <p>14. Сформулируйте критерий Неймана устойчивости разностных схем для задач с одной зависимой переменной.</p> <p>15. Сформулируйте критерий Неймана устойчивости разностных схем для задач с несколькими зависимыми переменными.</p>
Уметь: - проводить динамический расчет конструкций методом конечных элементов в ПК ANSYS/CAE Fidesys	<p>1.5. Поясните на примерах, какой эффект учитывает матрица начальных усилий при расчете конструкций с большими перемещениями.</p> <p>6. Почему в задаче расчета на устойчивость решается не полная, а частичная проблема собственных значений?</p> <p>7. Приведите качественную картину аппроксимации перемещений и напряжений на линейных и квадратичных элементах в плоской задаче теории упругости.</p> <p>8. Какой простейший прием используется для стыковки разнородных элементов в МКЭ?</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Развернутые содержательные ответы на оба вопроса с дополнительными уточнениями

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Непонимание сущности вопросов

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

Вопросы:

1. Как проверить выполнение статических граничных условий в конечно-элементном расчете?
2. Основные этапы решения задач по МКЭ

Задача:

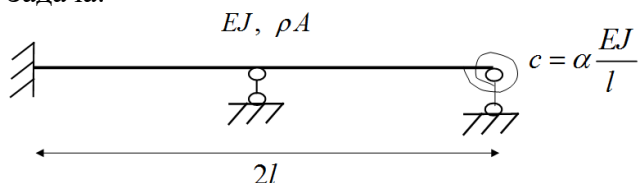


Figure 2 1. Постройте качественную зависимость первой собственной частоты колебаний балки от жесткости пружины.

2. Оцените значения частоты и нарисуйте примерный вид первой формы колебаний в предельных случаях.

### Процедура проведения

Студент берет билет, готовит в течение 1,5 часов ответы в письменном виде. На ответы отводится 0,5 часа.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-5</sub> Способен разработать программные коды для численного решения задач механики сплошной среды

### Вопросы, задания

1. Задача 2

1. Постройте качественную зависимость первой собственной частоты колебаний балки от жесткости пружины.

2. Оцените значения частоты и нарисуйте примерный вид первой формы колебаний в предельных случаях.

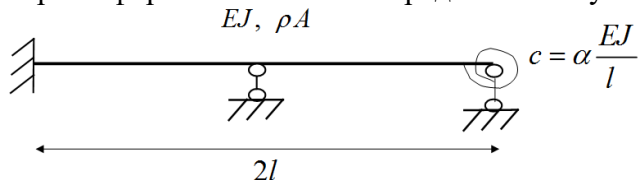


Figure 3 1. Постройте качественную зависимость первой собственной частоты колебаний балки от жесткости пружины.

2. Оцените значения частоты и нарисуйте примерный вид первой формы колебаний в предельных случаях.

2.5. Каким образом можно проверить выполнение статических граничных условий в конечно-элементном расчете?

6. Почему для стыковки разнородных элементов (например, *solid* и *beam*) необходимо составлять дополнительные уравнения связи?

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для определения собственных частот и форм колебаний механической системы решают:

Ответы:

а) уравнения движения с начальными условиями б) обобщенную задачу на собственные значения в) систему алгебраических уравнений равновесия узлов

Верный ответ: б)

2. Какой параметр в МКЭ учитывает отличие плоского напряженного состояния от состояния плоской деформации?

Ответы:

а) матрица функций перемещений б) матрица деформаций в) матрица упругости обобщенного закона Гука

Верный ответ: в)

3. Какой расчетный параметр позволяет установить зоны конечно-элементной модели, где может потребоваться сгущение сетки?

Ответы:

а) эквивалентные напряжения б) энергетическая оценка погрешности в) картина поля перемещений

Верный ответ: б)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-3опк-10 Способен разработать компьютерные модели объектов профессиональной деятельности

## Вопросы, задания

1. Задача 1

Исследуйте устойчивость разностной схемы для уравнения переноса

Исследуйте устойчивость разностной схемы

$$\frac{1}{\Delta t} (y_n^{m+1} - y_n^m) + \frac{v}{\Delta x} (y_n^{m+1} - y_{n-1}^{m+1}) = 0$$

для уравнения переноса  $u_t + vu_x = 0$  ( $v > 0$ )

2.4. Оценка критической нагрузки в линейном анализе устойчивости по МКЭ является осторожной или рискованной (идет в запас по устойчивости или наоборот)?

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Спектр отклика используется для:

Ответы:

а) решения уравнений динамики сооружения б) сведения динамической задачи о сейсмостойкости к эквивалентной статической задаче в) анализа собственных колебаний сооружения

Верный ответ: б)

2. К какой математической задаче сводится линейный анализ устойчивости конструкций:

Ответы:

а) система линейных уравнений равновесия б) система нелинейных уравнений равновесия в) частичная проблема собственных значений

Верный ответ: в)

3. Матрица геометрической жесткости в задачах устойчивости стержней учитывает влияние:

Ответы:

а) продольного усилия на изгибную жесткость при больших перемещениях б) поперечных усилий на критическое значение нагрузки в) начальной кривизны на критическое значение нагрузки

Верный ответ: а)

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Способен выполнять расчеты в профессиональных конечно-элементных программных комплексах

### Вопросы, задания

#### 1. Вопросы

1. Почему для балки, нагруженной сосредоточенными силами (моментами) МКЭ дает точное распределение изгибающего момента (в пренебрежении вычислительной погрешностью), а в случае распределенной нагрузки эпюра момента получается приближенной?
2. Почему расчет методом конечных элементов дает завышенные оценки собственных частот относительно истинных значений? Как влияет уточнение кэ-модели конструкции на расчетные оценки собственных частот?
- 3 Почему в динамике конструкций для моделей с большим числом степеней свободы решают частичную, а не полную проблему собственных значений?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что понимают под термином «квадратичный конечный элемент» при решении задач теории упругости?

Ответы:

а) элемент в форме квадрата (куба) б) функции перемещений элемента – полиномы второй степени относительно независимых пространственных переменных в) регулярные сетки с прямоугольными ячейками

Верный ответ: б)

2. Аппроксимации напряжений на квадратичном элементе:

Ответы:

а) постоянные (однородные) б) линейные в) фрагменты квадратичных парабол

Верный ответ: б)

3. Сколько параметров треугольного квадратичного элемента в плоской задаче теории упругости описывают напряженно-деформированное состояние?

Ответы:

а) 12 б) 10 в) 9

Верный ответ: в)

## II. Описание шкалы оценивания

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

**Для курсового проекта/работы:**

**1 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Студент получает вопросы по каждой выполненной задаче КП в развитие полученного решения

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 5 выставляется студенту, правильно выполнившему все задание, с подробными комментариями полученных результатов.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 4 выставляется студенту, в целом правильно выполнившему все задание, но допустившему поправки в размерностях величин и оценочных расчетах прочности.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 0*

*Описание характеристики выполнения знания: За данный курсовой проект оценка 3 не ставится из принципиальных соображений.*

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка за курсовой проект определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»