

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

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Компьютерное моделирование процессов нанотехнологии**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волков Ю.А.
	Идентификатор	R23e9797a-VolkovYurA-41f285d8

(подпись)

Ю.А. Волков

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae29

(подпись)

А.С.  
Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.  
Пузина

(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-4 Способен к разработке наноразмерных материалов и устройств  
ИД-3 Имеет навыки расчета теплофизических процессов в современных низкоразмерных устройствах, навыки компьютерного моделирования этих процессов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Динамика упругих элементов в микро-электромеханической системе в двумерной постановке (Контрольная работа)
2. Итерационные методы для расчета статических прогибов упругих элементов (Контрольная работа)
3. Понятие об итерационных методах решения уравнений динамики микро-электромеханических систем (Контрольная работа)
4. Реализации двумерного сеточного преобразования Фурье в виде функции (Контрольная работа)
5. Сильно деформированные упругие элементы и уравнения Феппля (Контрольная работа)
6. Собственные векторы и собственные значения конечно-разностной задачи Штурма-Лиувилля (Контрольная работа)
7. Собственные моды и собственные частоты колебаний. Представление решения в виде ряда по собственным модам (Контрольная работа)
8. Уравнения равновесия изотропного тела. Температурное расширение тел и деформации с изменением температуры (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Основные понятия теории упругости					
Теория упругости	+	+			
Уравнения, описывающие состояние деформированных тел	+	+			
Упругие свойства кристаллов					

Свободная энергия деформированного кристалла			+	+
Уравнения движения для смещений			+	+
Динамика упругих элементов				
Уравнение малых колебаний мембраны	+	+		
Вынужденные колебания мембраны	+	+		
Колебания и прогибы тонких пластин				
Жесткость пластины на изгиб			+	+
Консольные балки как кантилеверы атомно-силовых микроскопов			+	+
Численные методы решения уравнения малого прогиба мембраны				
Конечно-разностная задача Штурма-Лиувилля для оператора Лапласа	+	+		
Одномерные математические модели микро-электромеханических систем				
Микро-электромеханические системы с управлением электрическим полем			+	+
Вес КМ:	20	20	30	30

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	8	12	16
Задача Штурма-Лиувилля в двумерной постановке					
Разделение переменных для двумерного оператора Лапласа	+	+			
Собственные функции и собственные значения и их связь с сеточным преобразованием Фурье в двух измерениях	+	+			
Модели микро-электромеханических систем					
Понятие об итерационных методах решения нелинейных уравнений	+	+			
Бигармоническое уравнение равновесия	+	+			
Большие прогибы упругих элементов					
Анализ критериев малости прогиба			+	+	
Вес КМ:	20	20	30	30	

§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
ПК-4	ИД-3ПК-4 Имеет навыки расчета теплофизических процессов в современных низкоразмерных устройствах, навыки компьютерного моделирования процессов этих	<p>Знать:</p> <p>численные методы для моделирования процессов в микро- и нано-электромеханических устройствах</p> <p>основные физические величины и уравнения, возникающие при описании тел в деформированном состоянии</p> <p>Уметь:</p> <p>работать на современных языках программирования высокого уровня самостоятельно разбираться в методах математического моделирования работы микро-электромеханических устройств</p>	<p>Уравнения равновесия изотропного тела. Температурное расширение тел и деформации с изменением температуры (Контрольная работа)</p> <p>Собственные моды и собственные частоты колебаний. Представление решения в виде ряда по собственным модам (Контрольная работа)</p> <p>Собственные векторы и собственные значения конечно-разностной задачи Штурма-Лиувилля (Контрольная работа)</p> <p>Понятие об итерационных методах решения уравнений динамики микро-электромеханических систем (Контрольная работа)</p> <p>Реализации двумерного сеточного преобразования Фурье в виде функции (Контрольная работа)</p> <p>Итерационные методы для расчета статических прогибов упругих элементов (Контрольная работа)</p> <p>Динамика упругих элементов в микро-электромеханической системе в двумерной постановке (Контрольная работа)</p> <p>Сильно деформированные упругие элементы и уравнения Фешля (Контрольная работа)</p>

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

7 семестр

**КМ-1. Уравнения равновесия изотропного тела. Температурное расширение тел и деформации с изменением температуры**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные физические величины и уравнения, возникающие при описании тел в деформированном состоянии	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Основные понятия теории упругости: смещение, деформация, напряжение</li><li>2.Закон Гука. Формулировка. Ограничения применимости</li><li>3.Модуль Юнга и коэффициент Пуассона как упругие характеристики материала</li><li>4.Гармоническое приближение энергии деформированного состояния</li><li>5.Соотношения Дюамеля-Неймана</li><li>6.Изотропное тело. Уравнения его равновесия</li><li>7.Влияние температуры на расширение и деформацию тел</li><li>8.Мембраны как пример упругих элементов. Уравнение малых их колебаний</li><li>9.Мембрана с закрепленным краем. Однородное волновое уравнение и его решение</li></ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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-2. Собственные моды и собственные частоты колебаний. Представление решения в виде ряда по собственным модам**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные физические величины и уравнения, возникающие при описании тел в деформированном состоянии	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Собственные моды и собственные частоты колебаний упругих элементов</li><li>2.Представление решения однородного волнового уравнения колебаний в виде ряда по собственным модам</li><li>3.Вынужденные колебания мембраны. Резонанс</li><li>4.Классификация численных методов решения уравнений малого прогиба мембраны</li><li>5.Оператор Лапласа. Конечно-разностная задача Штурма-Лиувилля</li><li>6.Конечно-разностная задача Штурма-Луивилля. Собственные векторы и собственные значения</li><li>7.Ортогональность сеточных собственных функций</li><li>8.Представление решения уравнений малого прогиба мембраны в виде конечного ряда по сеточным собственным функциям задачи Штурма-Лиувилля</li></ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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. Собственные векторы и собственные значения конечно-разностной задачи Штурма-Лиувилля**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: самостоятельно разбираться в методах математического моделирования работы микро-электромеханических устройств	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Что такое свободная энергия деформированного кристалла? Как ее определить?</li><li>2.Определение кубической решетки. Что в ней описывает тензор упругих модулей?</li><li>3.Соотношения Дюамеля-Неймана для кристалла с кубической решеткой</li><li>4.Смещения. Как записать уравнение движения для них?</li><li>5.Сравните кристаллические тела с изотропными телами с точки зрения упругости. Критерий изотропности</li><li>6.Как описать малый прогиб мембраны с помощью конечно-разностной задачи Штурма-Лиувилля?</li><li>7.Как определить собственные векторы и собственные значения конечно-разностной задачи Штурма-Лиувилля? Ортогональность сеточных собственных функций</li><li>8.Конечный ряд по собственным функциям решения задачи Штурма-Лиувилля</li></ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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-4. Понятие об итерационных методах решения уравнений динамики микро-электромеханических систем**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: самостоятельно разбираться в методах математического моделирования работы микро-электромеханических устройств	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Что такое жесткость пластины на изгиб? На что влияет данный параметр? Способы измерения и анализа</li><li>2.Описание динамики пластин и консольных балок с помощью бигармонического уравнения</li><li>3.Колебания и прогибы тонких пластин. Определение собственных частот колебаний пластин</li><li>4.Особенности применения консольных балок в качестве кантилеверов атомно-силовых микроскопов</li><li>5.Классификация микро-электромеханических систем с управлением электрическим полем. Основные свойства</li><li>6.Определение давления поля в квазиплоском приближении</li><li>7.Итерационные методы решения уравнений динамики микро-электромеханических систем</li><li>8.Неконтролируемое схлопывание электродов при достижении критического напряжения как бифуркация решения нелинейного уравнения. Способы решения проблемы</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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*

**8 семестр**

**КМ-5. Реализации двумерного сеточного преобразования Фурье в виде функции**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: численные методы для моделирования процессов в микро- и нано-электромеханических устройствах	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Особенности двумерной постановки задачи Штурма-Луивилля</li> <li>2. Разделение переменных для двумерного оператора Лапласа</li> <li>3. Конечно-разностная задача Штурма-Лиувилля для двумерного оператора Лапласа</li> <li>4. Двумерное сеточное преобразование Фурье</li> <li>5. Собственные функции и собственные значения применительно к сеточному преобразованию Фурье</li> <li>6. Представление решения конечно-разностной задачи в виде сеточного ряда Фурье</li> </ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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-6. Итерационные методы для расчета статических прогибов упругих элементов**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: численные методы для моделирования процессов в микро- и нано-электромеханических устройствах	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Микро-электромеханические системы. Классификация, модели</li> <li>2. Итерационные методы решения нелинейных уравнений прогибов</li> <li>3. Стационарное положение упругого элемента.</li> <li>4. «Вязкое» приближение для его вычисления</li> <li>5. Бигармоническое уравнение равновесия упругих элементов</li> </ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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-7. Динамика упругих элементов в микро-электромеханической системе в двумерной постановке**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: работать на современных языках программирования высокого уровня	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Волны изгиба в двумерном упругом элементе</li><li>2. Бигармонический оператор волнового уравнения для описания волн изгиба в двумерном случае</li><li>3. Вычисление тензоров упругих модулей в двумерном случае</li><li>4. Динамика мембраны, выполненной из графена. Модели, особенности расчетов</li><li>5. Вычисление Гауссовой кривизны через тензоры</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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-8. Сильно деформированные упругие элементы и уравнения Феппла

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам дается час на подготовку письменного ответа на поставленные задачи, вопросы

**Краткое содержание задания:**

Дайте подробное описание следующих тем:

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: работать на современных языках программирования высокого уровня	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Особенности измерений и описания больших прогибов упругих элементов</li><li>2. Малость прогиба. Критерии, анализ</li><li>3. Классификация материалов по степени малости прогиба</li><li>4. Большой прогиб. Однослойный графен</li><li>5. Гауссова кривизна поверхности. Напряжения в упругом элементе в случае больших прогибов</li><li>6. Описание сильно деформированных упругих элементов уравнениями Феппла</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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

## 7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Уравнение малых колебаний мембраны. Собственные моды и собственные частоты колебаний
2. Численные методы решения одномерного уравнения равновесия мембраны в электрическом поле

### Процедура проведения

Студенты по очереди вытягивают билеты, расположенные на столе текстом вниз. Записывается номер билета и время начала подготовки ответа. Через определенное время (по умолчанию час) студенты с расписанными ответами подходят к преподавателю и начинают рассказывать билет своими словами

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-ЗПК-4 Имеет навыки расчета теплофизических процессов в современных низкоразмерных устройствах, навыки компьютерного моделирования этих процессов

### Вопросы, задания

1. Уравнение малых колебаний мембраны. Собственные моды и собственные частоты колебаний
2. Вынужденные колебания. Явление резонанса
3. Нелинейные волны изгиба
4. Математические модели микроэлектромеханических устройств
5. Уравнение равновесия мембраны в электрическом поле
6. Явление неконтролируемого схлопывания электродов
7. Численные методы решения одномерного уравнения равновесия мембраны в электрическом поле
8. Численные методы решения двумерного уравнения равновесия мембраны в электрическом поле
9. Численные методы решения одномерного волнового уравнения динамики мембраны в МЭМС
10. Численные методы решения двумерного волнового уравнения динамики мембраны в МЭМС
11. Особенности разложения решения в ряд Фурье
12. Сеточная задача Штурма-Лиувилля
13. Сеточное преобразование Фурье
14. Собственные функции и собственные значения конечно-разностной задачи в прямоугольной области
15. Нелинейные волны изгиба

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Модуль Юнга характеризует:  
Ответы:

способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации  
способность материала сопротивляться изменению формы при сохранении его объема  
способность объекта изменять свой объем под воздействием всестороннего нормального напряжения

Верный ответ: способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации

2. Что является причиной возникновения температурных напряжений?

Ответы:  
изменение температуры  
ограниченность объема  
комбинация обоих условий

Верный ответ: комбинация обоих условий

3. По своему физическому смыслу механическое напряжение является:

Ответы:  
давлением  
линейной деформацией  
изменением объема

Верный ответ: давлением

4. Изотропное тело характеризуется тем, что:

Ответы:  
физические свойства его неизменны во всех направлениях  
физические свойства его в разных направлениях отличаются

Верный ответ: физические свойства его неизменны во всех направлениях

5. Собственная частота колебаний - это:

Ответы:  
минимальная частота внешних приложенных колебаний, изменяющих состояние системы  
число колебательных циклов, совершаемых динамической системой за секунду в процессе её свободных колебаний по одной из собственных форм

Верный ответ: число колебательных циклов, совершаемых динамической системой за секунду в процессе её свободных колебаний по одной из собственных форм

6. Примером вынужденных колебаний является:

Ответы:  
колебания грузика на маятнике  
раскачивание качелей  
механические часы  
все

Верный ответ: раскачивание качелей

7. Требование, предъявляемое к балкам:

Ответы:  
жестко закреплена с двух сторон  
ее длина сильно больше ширины и высоты

Верный ответ: ее длина сильно больше ширины и высоты

8. Как называются упругие консольные балки, применяемые в атомно-силовой микроскопии?

Ответы:  
кантрелл  
кантилевер  
кантемир

Верный ответ: кантилевер

9. Оператор Штурма-Луивилля:

Ответы:

интегральный оператор первого порядка  
дифференциальный оператор первого порядка  
дифференциальный оператор второго порядка

Верный ответ: дифференциальный оператор второго порядка

10. Устройства МЭМС содержат:

Ответы:

микроэлектронные компоненты  
микромеханические компоненты  
микроэлектронные и микромеханические компоненты

Верный ответ: микроэлектронные и микромеханические компоненты

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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 по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

### **8 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

#### **Пример билета**

1. Формулировка задачи Штурма-Лиувилля в двумерной постановке. Основные понятия, методика решения
2. Итерационные методы решения нелинейных уравнений применительно к моделированию работы МЭМС

#### **Процедура проведения**

Студенты по очереди вытягивают билеты, расположенные на столе текстом вниз. Записывается номер билета и время начала подготовки ответа. Через определенное время (по умолчанию час) студенты с расписанными ответами подходят к преподавателю и начинают рассказывать билет своими словами

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-4 Имеет навыки расчета теплофизических процессов в современных низкоразмерных устройствах, навыки компьютерного моделирования этих процессов

### **Вопросы, задания**

1. Формулировка задачи Штурма-Лиувилля в двумерной постановке. Основные понятия, методика решения
2. Оператор Лапласа. Конечно-разностная задача Штурма-Лиувилля для двумерного оператора Лапласа
3. Собственные функции и собственные значения и их связь с сеточным преобразованием Фурье в двух измерениях
4. Сеточные ряды Фурье. Применение их для решения конечно-разностной задачи
5. Итерационные методы решения нелинейных уравнений применительно к моделированию работы МЭМС
6. Стационарное положение упругого элемента. «Вязкое» приближение для его вычисления
7. Волновое уравнение с бигармоническим оператором для описания волн изгиба в двумерном случае
8. Прогибы упругих элементов. Критерии малости прогиба
9. Гауссова кривизна поверхности и ее связь с напряжениями в упругом элементе в случае больших прогибов
10. Уравнения Фешля применительно к описанию сильно деформированных упругих элементов

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. В чем заключается нетривиальность решения уравнения?

Ответы:

наличие комплексной части  
отличность от нуля

Верный ответ: отличность от нуля

2. Оператор Лапласа по своему смыслу:

Ответы:

дифференциальный  
интегральный

Верный ответ: дифференциальный

3. Собственные вектора по отношению друг к другу:

Ответы:

коллинеарны  
перпендикулярны

Верный ответ: коллинеарны

4. Стационарное положение системы характеризуется:

Ответы:

минимумом потенциальной энергии  
максимумом потенциальной энергии  
выделением тепла

Верный ответ: минимумом потенциальной энергии

5. Из производных какого порядка состоит бигармоническое уравнение?

Ответы:

второго  
четвертого

первого

Верный ответ: четвертого

6. По своему направлению волны изгиба являются:

Ответы:

поперечными

продольными

Верный ответ: поперечными

7. Основным технологическим процессом изготовления устройств МЭМС является:

Ответы:

фотолитография

электронная литография

оттиск

Верный ответ: фотолитография

8. Из скольких атомов углерода состоит элементарная ячейка графена?

Ответы:

из четырех

из восьми

из шести

Верный ответ: из шести

9. Носителями заряда в полупроводниках служат:

Ответы:

электроны и дырки

электронный газ

ионы

фотоны

Верный ответ: электроны и дырки

10. Как называется мера искривления поверхности в окрестности какой-либо её точки?

Ответы:

свертка тензора кривизны

метрический тензор

Гауссова кривизна

Верный ответ: Гауссова кривизна

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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 по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент