

**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  
Нелинейные задачи механики сплошной среды**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

Е.В. Позняк

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

Е.В. Позняк

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f

И.В.  
Меркурьев

## 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-4 Способен разрабатывать методические и нормативные документы. в том числе проекты стандартов и сертификатов с учетом действующих стандартов качества, обеспечивать их внедрение на производстве

ИД-1 Способен разработать методику расчета объекта профессиональной деятельности и изложить ее в форме методического документа

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

ИД-2 Способен изложить математическую постановку задач механики сплошной среды в линейной и нелинейной постановке

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-3 Способен решать сложные инженерные задачи, применяя теории механики разрушения, композиционных материалов, пластичности, ползучести, физики прочности, учитывать физически- и геометрически-нелинейное деформирование

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1. Тест «Нелинейные модели и состояния в механике сплошной среды» (Тестирование)
2. КМ-2. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
3. КМ-3. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР (Решение задач)
2. КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР (Решение задач)
3. КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР (Решение задач)
4. КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР (Решение задач)

## БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	8	12	4	8	12	15

Введение							
Введение	+						
Модели и состояния сплошной среды							
Модели и состояния сплошной среды		+		+			
Геометрически нелинейные задачи							
Геометрически нелинейные задачи			+		+		
Постановка нелинейных задач механики сплошной среды							
Постановка нелинейных задач механики сплошной среды			+			+	+
Вес КМ:	20	40	40	0	0	0	0

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

### **БРС курсовой работы/проекта**

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Раздел 1 (задача 1 п.1)		+			
Раздел 2 (задача 1 п.2,3)			+		
Раздел 3 (задача 2 п.1)				+	
Раздел 4 (задача 2 п.2, оформление отчета по курсовой работе)					+
Вес КМ:		25	25	25	25

## 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-4	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub> Способен разработать методику расчета объекта профессиональной деятельности и изложить ее в форме методического документа	Знать: основные нормативные документы по расчетам на прочность, их структуру, содержание и область применения Уметь: оформлять решение инженерных задач механики сплошной среды в виде пошаговых расчетных методик, формулировать рекомендации к расчету проводить расчеты на прочность по нормативным документам, проверять полученные результаты путем сравнительного анализа с результатами, полученными в ходе расчетов с применением программных комплексов	КМ-3. Контрольная работа №2 (Контрольная работа) КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР (Решение задач) КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР (Решение задач)
ОПК-10	ИД-2 <sub>ОПК-10</sub> Способен	Знать:	КМ-1. Тест «Нелинейные модели и состояния в механике сплошной

	<p>изложить математическую постановку задач механики сплошной среды в линейной и нелинейной постановке</p>	<p>основы моделирования и расчета на прочность элементов конструкций, находящихся в стадии нелинейного деформирования при запроектных нагрузках, в том числе в специализированных программных комплексах математическую постановку физически-нелинейных задач механики сплошной среды (на примерах пластического деформирования металлов, бетона, грунтов, ползучести металлов, нелинейной упругости) математическую постановку геометрически-нелинейных задач механики</p> <p>Уметь:</p> <p>применять классические методы оценки прочности физически-нелинейных моделей для простых расчетных схем создавать компьютерные геометрически-нелинейные модели</p>	<p>среды» (Тестирование)          КМ-3. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)          КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР (Решение задач)          КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР (Решение задач)</p>
--	--	--	--

		<p>элементов конструкций, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS</p> <p>применять для расчета нормативные документы (своды правил), создавать компьютерные модели элементов конструкций в состоянии физически-нелинейного деформирования, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS</p>	
ПК-1	<p>ИД-3<sub>ПК-1</sub> Способен решать сложные инженерные задачи, применяя теории механики разрушения, композиционных материалов, пластичности, ползучести, физики прочности, учитывать физически-геометрически-нелинейное деформирование</p>	<p>Знать:</p> <p>основы теории прочности физически-нелинейных сред</p> <p>Уметь:</p> <p>получать, анализировать и представлять решения (в том числе численные) нелинейных задач механики</p>	<p>КМ-2. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР (Решение задач)</p>

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

### **КМ-1. КМ-1. Тест «Нелинейные модели и состояния в механике сплошной среды»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование проводится в аудитории в течение 2 ак.ч.

#### **Краткое содержание задания:**

##### **Вариант 1**

##### **Задание 1**

Укажите верные высказывания

1. Равенства нулю касательных напряжений на элементарных площадках можно добиться, ориентируя определенным образом координатные оси.
2. Диагональные элементы сферического тензора напряжений равны первому инварианту тензора напряжений.
3. Тензор Коши описывает напряженное состояние сплошной среды, при котором относительные перемещения малы.
4. Относительное изменение элементарного объема есть линейный инвариант тензора деформаций Грина-Лагранжа.

##### **Ответ:**

- 1- верно;
- 2 - не подходит, т.к. на диагонали утроенные значения первого инварианта;
- 3 - не верно, тензор Коши – тензор деформаций, то есть «напряженное» надо заменить на «деформированное»;
- 4 – не верно, тензора Коши;

##### **Задание 2.**

Выбрать правильные варианты.

Первые инварианты тензоров напряжений и деформаций связаны соотношениями:

1. Обобщенный закон Гука.
2. Линейная зависимость с коэффициентом пропорциональности, равным модулю сдвига.
3. Закон Гука для одноосного напряженного состояния.
4. Закон Гука в девиаторной форме.
5. Линейная зависимость с коэффициентом пропорциональности, равным модулю объемной деформации материала.

##### **Ответ: 5.**

##### **Задание 3.**

Установите соответствие между терминами и определениями:

- а) Идеальная пластичность,
- б) Идеальная (или линейная) упругость,
- в) Упрочнение

1. свойство тела изменять форму и размеры под действием внешних нагрузок и восстанавливать свою конфигурацию при снятии нагрузок.
  2. модель материала, при котором пластическое деформирование происходит при постоянных напряжениях, равных пределу текучести.
  3. состояние материала, при котором зависимость между напряжениями и деформациями однозначная, нелинейная и обратимая.
  4. состояние материала, при котором в нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями входит время.
  5. модель материала, при котором зависимость между напряжениями и деформациями линейная.
  6. состояние материала, при котором зависимость между напряжениями и деформациями однозначная, нелинейная и необратимая (действует эффект Баушингера).
- Ответ: а)-2, б)-5, в)-6, 1- упругость, 3 – нелинейная упругость, 4 - ползучесть.**

#### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: математическую постановку физически-нелинейных задач механики сплошной среды (на примерах пластического деформирования металлов, бетона, грунтов, ползучести металлов, нелинейной упругости)</p>	<p>1. Дать определение инвариантам тензора напряжений. Разложение тензора напряжений на девиатор и шаровой тензор. Интенсивность касательных напряжений.</p>
<p>Уметь: применять классические методы оценки прочности физически-нелинейных моделей для простых расчетных схем</p>	<p>1. Вывести формулу формулу для тензора деформаций Грина-Лагранжа 2. Показать, что в случае больших деформаций напряжения будут зависеть от функции перемещений (воспользоваться принципом виртуальной работы)</p>

#### **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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

#### **КМ-2. КМ-2. Контрольная работа №1**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится в аудитории в течение 2 ак.ч.

**Краткое содержание задания:**

<i>Контрольная работа «Нелинейные задачи МСС» Вариант 1</i>	
<p>1. Брус, жестко заделанный с обоих концов, подвергается воздействию силы <math>P = 4\sigma_T F</math>, <math>F</math> - площадь поперечного сечения. Материал бруса упрочняется по билинейному закону с заданными <math>\sigma_T</math>, <math>E</math>, <math>E_T</math>, <math>E = 2E_T</math>. Найти перемещение точки приложения силы.</p>	
<p>2. Записать условие текучести Губера-Мизеса для случаев плоской деформации и плоского напряженного состояния.</p>	

Figure 1 Один из вариантов контрольной работы №1

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основы теории прочности физически-нелинейных сред</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приведите классификацию упругих материалов. Теорема Нолла. Линейно- и нелинейно-упругий материал.</li> <li>2. Идеальная пластичность. Поверхность текучести. Привести примеры.</li> <li>3. Понятие упрочнения. Эффект Баушингера. Изотропное и кинематическое упрочнение.</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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-3. КМ-3. Контрольная работа №2**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится в аудитории в течение 2 ак.ч.

## Краткое содержание задания:

1. Основные качественные особенности бетона, обнаруженные в ходе эксперимента. Прочностные характеристики бетона.
2. Предельное состояние грунта. Механизмы разрушения.
3. Определить удлинение свободно висящего медного бруса, возникающее под действием собственного веса. Длина бруса равна  $L$ , диаграмма растяжения может быть представлена степенной функцией  $\varepsilon = A\sigma^n$ ,  $A, n$  - известные постоянные величины,  $\rho_{Cu}$  - плотность меди.

Figure 2 Один из вариантов контрольной работы

## Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные нормативные документы по расчетам на прочность, их структуру, содержание и область применения	1. Виды расчетов на прочность в СП 52-101-2003. Диаграммы состояния бетона и арматуры.
Знать: математическую постановку геометрически-нелинейных задач механики	1. Записать тензор Коши-Грина. В чем состоит геометрический смысл компонент тензора?
Уметь: оформлять решение инженерных задач механики сплошной среды в виде пошаговых расчетных методик, формулировать рекомендации к расчету	1. Вывести формулу для радиальных усилий, напряжений и перемещений при установившейся ползучести лопаток ПГТ. 2. Получить решение для прямого поперечного изгиба стержня в условиях установившейся ползучести.
Уметь: создавать компьютерные геометрически-нелинейные модели элементов конструкций, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS	1. Вывести формулу для второго тензора напряжений Пиолы-Кирхгофа. 2. Вывести формулу для тензора Грина-Лагранжа.

## 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-4. КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 0

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится проверка выполнения раздела 1 курсовой работы

### Краткое содержание задания:

#### Раздел 1. Проектирование железобетонной балки

Балка прямоугольного поперечного сечения с размерами  $b \times h$  испытывает нагрузку от собственного веса и внешнюю эксплуатационную нагрузку.

1. Определить величину предельной эксплуатационной нагрузки  $R_{пред}$  для бетонной балки из расчета по предельным состояниям первой группы в соответствии с [1], п.6.1, появление трещин в растянутой зоне не допускается.
2. Подобрать одиночную продольную рабочую арматуру класса А-III для обеспечения несущей способности железобетонной балки при эксплуатационной нагрузке, вдвое превышающей  $R_{пред}$ .
3. Для балки с подобранной арматурой рассчитать величину момента образования трещин, нормальных к продольной оси балки, и соответствующую этому моменту величину эксплуатационной нагрузки  $R_{тр}$ .

[1] СП 52-101-2003 БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основы моделирования и расчета на прочность элементов конструкций, находящихся в стадии нелинейного деформирования при запроектных нагрузках, в том числе в специализированных программных комплексах	1.Описать основные качественные особенности бетона, обнаруженные в ходе эксперимента. 2.Перечислить прочностные характеристики бетона. 3.Назовите основные предположения при расчете железобетона на прочность. Какие предельные состояния бетонных конструкций вы знаете?
Уметь: применять для расчета нормативные документы (своды правил), создавать компьютерные модели элементов конструкций в состоянии физически-нелинейного деформирования, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS	1.Провести расчет бетонной балки, работающей на изгиб, по предельным состояниям первой группы по своду правил СП 52-101-2003. 2.Провести расчет армирования бетонной балки на заданную нагрузку. 3.Для железобетонной балки рассчитать величину момента образования трещин, нормальных к продольной оси балки.

### 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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## **КМ-5. КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 0

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится проверка выполнения раздела 2 курсовой работы

**Краткое содержание задания:**

### **Раздел 2. Проектирование железобетонной балки**

Построить модель железобетонной балки в ПК ANSYS и провести проверочный расчет для величины внешней нагрузки, меньшей и большей предельной нагрузки, найденной из условия начала трещинообразования  $R_{тр}$ . Проанализировать результаты, сделать выводы

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: создавать компьютерные геометрически-нелинейные модели элементов конструкций, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS	1.Опишите процедуру создания нелинейной конечно-элементной модели железобетонной конструкции в ANSYS.
---	---

**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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-6. КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 0

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится проверка выполнения раздела 3 курсовой работы

**Краткое содержание задания:**

### Раздел 3. Верификация модели грунта

Составить план верификационных расчетов для проверки расчетов грунтовых оснований по модели Друккера-Прагера в ПК ANSYS.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные нормативные документы по расчетам на прочность, их структуру, содержание и область применения	1.Каковы предельные состояния грунта и механизмы разрушения?
Уметь: оформлять решение инженерных задач механики сплошной среды в виде пошаговых расчетных методик, формулировать рекомендации к расчету	1.Объяснить процедуру прочностного расчета грунтовых оснований по СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений
Уметь: проводить расчеты на прочность по нормативным документам, проверять полученные результаты путем сравнительного анализа с результатами, полученными в ходе расчетов с применением программных комплексов	1.Определить необходимые для прочностного расчета механические характеристики грунта по СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений

**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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-7. КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 0

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится проверка выполнения раздела 4 курсовой работы

**Краткое содержание задания:**

### Раздел 4. Верификация модели грунта

Построить модель грунтового основания в ПК ANSYS и провести проверочный расчет по предварительно разработанному верификационному плану. Проанализировать полученные результаты.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные нормативные документы по расчетам на прочность, их структуру, содержание и область применения	1.С какой целью проводится верификационный расчет? Как он планируется? 2.Какая модель грунта была применена для проведения верификационного расчета в курсовой работе?
Уметь: оформлять решение инженерных задач механики сплошной среды в виде пошаговых расчетных методик, формулировать рекомендации к расчету	1.Проанализировать полученные в ходе верификационного расчета результаты, обосновать адекватность примененной модели грунта
Уметь: получать, анализировать и представлять решения (в том числе численные) нелинейных задач механики	1.Объяснить построение расчетной конечно-элементной модели в ANSYS (выбор типа конечных элементов, модели грунта, постановка граничных условий, нагрузка и т.д.)

**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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Билет №1

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1</b>	<i>Утверждаю: Зав. кафедрой</i>
	Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	<i>« » 2021 г.</i>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Два различных подхода к изучению прочностных свойств материала. Теории прочности. Примеры.</li><li>2. Понятие упрочнения. Эффект Баушингера. Изотропное и кинематическое упрочнение.</li><li>3. Найти предельную нагрузку из условий текучести Треска-Сен-Венана и Губера-Мизеса для замкнутой тонкостенной сферы радиусом <math>R</math> и толщиной <math>h</math>, находящейся под действием внутреннего давления.</li></ol>		

Figure 3 Экзаменационный билет №1

## Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме. На подготовку ответа отводится 90 минут.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-4</sub> Способен разработать методику расчета объекта профессиональной деятельности и изложить ее в форме методического документа

## Вопросы, задания

1. Билет №5

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №5</b>	<i>Утверждаю: Зав. кафедрой</i>
	Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	<i>« » 2021 г.</i>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Виды расчетов на прочность в СП 52-101-2003. Диаграммы состояния бетона и арматуры.</li><li>2. Критерии прочности, применяемые при расчетах грунтовых оснований.</li><li>3. Тонкий плоский прямоугольный лист толщиной <math>h</math> равномерно растянут вдоль осей симметрии <math>x_{1,2}</math> распределенной по длине нагрузкой интенсивностью <math>p</math>. Составить условие текучести Губера-Мизеса и определить величину предельной нагрузки.</li></ol>		

2. Билет №6

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №6</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	« » 2021 г.
<p>1. Идеальная пластичность. Поверхность текучести. Примеры.</p> <p>2. Прочностные характеристики бетона. Основные физико-механические факторы, обеспечивающие совместную работу бетона и арматуры.</p> <p>3. Брус длиной <math>2a</math>, жестко заделанный с обоих концов, нагружен в центре продольной силой <math>P = 4\sigma_T F</math>, <math>F</math> - площадь поперечного сечения. Материал бруса упрочняется по билинейному закону с заданными <math>\sigma_T</math>, <math>E</math>, <math>E_T</math>, <math>E = 2E_T</math>:</p> $\varepsilon_{11} = \frac{\sigma_{11}}{E}, \quad \sigma_{11} \leq \sigma_T; \quad \varepsilon_{11} = \frac{\sigma_T}{E} + \frac{\sigma_{11} - \sigma_T}{E_T}, \quad \sigma_{11} > \sigma_T.$ <p>Найти перемещение точки приложения силы.</p>		

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Ниже записано одно из положений теории ... (какой?)

$$Dev d\varepsilon^P = d\lambda \cdot Dev \sigma$$

Ответы:

1. деформационной теории 2. Филоненко-Бородича 3. пластического течения

Верный ответ: 3

2. Для расчетов по какой теории предназначены диаграммы нелинейного деформирования бетона и железобетона в СП 63.13330.2018. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.?

Ответы:

1. Нелинейная деформационная теория
2. Теория ползучести
3. Теория пластического течения

Верный ответ: 1

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ОПК-10 Способен изложить математическую постановку задач механики сплошной среды в линейной и нелинейной постановке

### Вопросы, задания

1. Билет №11

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №11</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	« » 2021 г.
<p>1. Тензор Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора. Тензор Грина-Лагранжа.</p> <p>2. Радиальные усилия, напряжения и перемещения при установившейся ползучести лопаток ПГТ.</p> <p>4. Записать условие текучести Треска-Сен-Венана для тонкостенной цилиндрической оболочки толщиной <math>h</math>, нагруженной внутренним давлением. Найти предельное давление для открытой и закрытой оболочки.</p>		

2. Билет №12

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №12</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	«...» 2021 г.
<p>1. Инварианты тензора напряжений. Разложение тензора напряжений на деватор и шаровой тензор. Интенсивность касательных напряжений.</p> <p>2. Классификация упругих материалов. Теорема Нолда. Линейно- и нелинейно-упругий материал.</p> <p>3. Записать условие текучести Губера-Мизеса для плоской деформации и плоского напряженного состояния.</p>		

### 3.Билет №9

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №9</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	«...» 2021 г.
<p>1. Понятие упрочнения. Поверхность нагружения. Эффект Баушингера и модели упрочнения.</p> <p>2. Основные положения теории пластического течения и деформационной теории.</p> <p>3. Консольная балка прямоугольного поперечного сечения (<math>b \times 2h</math>) длиной <math>L</math> нагружена распределенной нагрузкой интенсивностью <math>q</math>. Определить размер зоны пластического деформирования в момент полного исчерпания несущей способности.</p>		

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.Критерий Друккера-Прагера применяется для расчета...

Ответы:

1. бетона и железобетона 2. вязко-упругих сред 3. грунтовых оснований

Верный ответ: 3

2.Это деформации ...

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right],$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right],$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right],$$

$$2\varepsilon_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$2\varepsilon_{zx} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x},$$

$$2\varepsilon_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y}.$$

Ответы:

1. Коши 2. Грина-Лагранжа 3. Альманси

Верный ответ: 2

3. Матрица Якоби - это матрица ...

Ответы:

1. касательной жесткости 2. частных производных от элементов вектора невязки по узловым перемещениям 3. секущей жесткости 4. связывающая вектор напряжений и вектор деформаций

Верный ответ: 2

4. Как изменятся напряжения в элементах статически-определимой конструкции при ползучести?

Ответы:

1. увеличатся 2. уменьшатся 3. не изменятся

Верный ответ: 3

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-1 Способен решать сложные инженерные задачи, применяя теории механики разрушения, композиционных материалов, пластичности, ползучести, физики прочности, учитывать физически- и геометрически-нелинейное деформирование

### Вопросы, задания

#### 1. Билет №2

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №2</b>	<i>Утверждаю: Зав. кафедрой</i>
	Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	<i>« » 2021 г.</i>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Основные механические характеристики грунтов. Механизмы разрушения и критерии прочности.</li><li>2. Система разрешающих уравнений при ползучести. Степенной закон для скорости деформации при установившейся ползучести.</li><li>3. Записать условие текучести Губера-Мизеса для тонкостенной цилиндрической оболочки, нагруженной внутренним давлением. Найти предельное давление для открытой и закрытой оболочки.</li></ol>		

#### 2. Билет №3

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №3</b>	<i>Утверждаю: Зав. кафедрой</i>
	Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	<i>« » 2021 г.</i>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение ползучести, кривые ползучести. Описание стадий ползучести. Характеристики прочности при ползучести. Диаграмма напряжения – температура.</li><li>2. Физические и механические теории прочности, дать сравнительную характеристику, привести примеры.</li><li>3. Замкнутая тонкостенная сфера толщиной <math>h</math> находится под действием внутреннего давления <math>p</math>. Найти зависимость изменения диаметра сферы от величины давления. Материал упрочняется по степенному закону <math>\varepsilon = A\sigma^n</math>.</li></ol>		

#### 3. Билет №4

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №4</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	« » 2021 г.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные качественные особенности бетона, обнаруженные в ходе эксперимента. Прочностные характеристики бетона. Методы нормативного расчета бетонных и железобетонных элементов на прочность.</li> <li>2. Механизмы разрушения грунта. Экспериментальное определение прочностных характеристик при расчетах на сдвиг.</li> <li>3. Определить удлинение свободно висящего медного бруса, возникающее под действием собственного веса. Длина бруса равна <math>L</math>, диаграмма растяжения представлена степенной функцией <math>\varepsilon = A\sigma^n</math>, <math>A, n</math> - известные постоянные величины, <math>\rho_{Cu}</math> - плотность меди.</li> </ol>		

#### 4.Билет №8

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №8</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	« » 2021 г.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уравнение равновесия в напряжениях при учете больших перемещений. Второй тензор напряжений Цолды-Кирхгофа.</li> <li>2. Понятие упрочнения. Эффект Баушингера. Изотропное и кинематическое упрочнение.</li> <li>3. Консольная балка прямоугольного поперечного сечения (<math>b \times 2h</math>) длиной <math>L</math> нагружена сосредоточенной силой <math>P</math> на свободном конце. Определить размеры зоны пластического деформирования при <math>P = \frac{3bh^2}{4L} \sigma_T</math>.</li> </ol>		

#### 5.Билет №7

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №7</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждаю: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	« » 2021 г.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Система разрешающих уравнений при ползучести. Степенной закон для скорости деформации при установившейся ползучести.</li> <li>2. Классификация нелинейных задач. Постановка задачи нелинейного деформирования.</li> <li>3. Брус, жестко заделанный с обоих концов, нагружен продольной силой <math>P</math>. Найти опорные реакции при условии, что материал упрочняется по степенному закону <math>\varepsilon = A\sigma^n</math>, <math>A, n</math> - известные постоянные величины. Площадь поперечного сечения бруса <math>F</math>, длина <math>L = a + b</math>. Сила приложена на расстоянии <math>a</math> от левой опоры.</li> </ol>		

#### 6.Билет №10

	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №10</b> Кафедра <u>Динамики и прочности машин</u>	Утверждено: Зав. кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина <u>Нелинейные задачи механики сплошной среды</u>	
	Институт <u>Энергомашиностроения и механики</u>	« » 2021 г.
<p>1. Система разрешающих уравнений при ползучести. Степенной закон для скорости деформации при установившейся ползучести. Радиальные усилия, напряжения и перемещения при установившейся ползучести лопаток ПГТ.</p> <p>2. Идеальная пластичность. Поверхность текучести. Примеры.</p> <p>3. Найти предельную нагрузку из условия текучести Треска-Сен-Венана для замкнутой тонкостенной сферы, находящейся под действием внутреннего давления.</p>		

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В физически-нелинейной модели сплошной среды нелинейными являются:

Ответы:

1. геометрические уравнения 2. уравнения состояния 3. уравнения равновесия  
Верный ответ: 2

2. В геометрически-нелинейной модели нелинейными являются:

Ответы:

1. уравнения равновесия 2. уравнения, связывающие перемещения и деформации 3. уравнения состояния

Верный ответ: 2

3. Назовите критерий прочности:

$$|\sigma_1 - \sigma_2| = (2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \sigma_1 - \sigma_2) \cdot \sin \varphi,$$

$$|\sigma_2 - \sigma_3| = (2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \sigma_2 - \sigma_3) \cdot \sin \varphi,$$

$$|\sigma_3 - \sigma_1| = (2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \sigma_3 - \sigma_1) \cdot \sin \varphi.$$

Ответы:

1. Губера-Мизеса 2. Друккера-Прагера 3. Мора-Кулона

Верный ответ: 3

4. Это выражение является ...

$$\sqrt{I_2(D\epsilon\sigma)}$$

Ответы:

1. интенсивностью касательных напряжений 2. интенсивностью напряжений 3. эквивалентным напряжением Губера-Мизеса

Верный ответ: 1

5. Предел длительной прочности - это ...

Ответы:

1. максимальное напряжение, при котором при заданной температуре к концу заданного срока службы разрушение не произойдет
2. максимальное напряжение, при котором при заданной температуре к концу заданного срока службы возникнет заданная деформация
3. максимальное напряжение, при котором при заданном числе циклов нагружения разрушение не произойдет

Верный ответ: 1

## **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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

**Для курсового проекта/работы:**

**2 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Защита проходит в виде беседы с преподавателями, в ходе которой магистр представляет законченный оформленный отчет по курсовой работе и отвечает на вопросы по проделанной работе и полученным результатам.

### ***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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.