

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электротехнологические установки и системы**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Моделирование электротехнологических процессов**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Щербаков А.В.
	Идентификатор	Raf18b6c8-ShcherbakovAV-abf82f1

А.В.  
Щербаков

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кулешов А.О.
	Идентификатор	Rc98b17a6-KuleshovAO-26442bbf

А.О.  
Кулешов

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Цырук С.А.
	Идентификатор	Raf2c04da-TsyrukSA-47ef358f

С.А. Цырук

## 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-6 Способен принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности

ИД-5 Демонстрирует понимание основных принципов организации и проведения математического моделирования и экспериментальных исследований объектов профессиональной деятельности и использования результатов моделирования и экспериментальных исследований при проектировании

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Разработка программы для моделирования процесса теплопереноса (Программирование (код))

Форма реализации: Письменная работа

1. Граничные условия и источники теплоты. Алгоритмизация многомерных задач теплопереноса (Тестирование)
2. Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии» (Тестирование)
3. методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование». Гибридные модели (открытый тест - с вычислениями) (Тестирование)
4. Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса (Тестирование)
5. Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии (Тестирование)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	4	6	8	12	14	16
Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии							
Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии	+						
Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода							

контрольных объемов						
Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода контрольных объемов		+				
Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах						
Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах			+			
Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах						
Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах				+		
Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения тепломассопереноса в жидкостях и его алгоритмизация						
Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения тепломассопереноса в жидкостях и его алгоритмизация					+	
Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов						
Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов						+
Вес КМ:	10	10	10	50	10	10

\$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-6	ИД-5ПК-6 Демонстрирует понимание основных принципов организации и проведения математического моделирования и экспериментальных исследований объектов профессиональной деятельности и использования результатов моделирования и экспериментальных исследований при проектировании	Знать: методы численной интерпретации граничных условий и источников теплоты для различных электротехнологий современные подходы к моделированию течения жидкой среды со свободной поверхностью при действии источников нагрева для решения различных задач электротехнологии концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования процессов переноса в жидких и газообразных средах при реализации электротехнологических процессов алгоритмы численного решения многомерных задач нестационарного	Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии (Тестирование) Граничные условия и источники теплоты. Алгоритмизация многомерных задач теплопереноса (Тестирование) Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса (Тестирование) Разработка программы для моделирования процесса теплопереноса (Программирование (код)) Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии» (Тестирование) методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование». Гибридные модели (открытый тест - с вычислениями) (Тестирование)

		<p>теплообмена Уметь: разрабатывать алгоритмы численного решения системы уравнений Навье- Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с использованием подхода Эйлера и метода контрольных объемов применять полученные знания для самостоятельной разработки и алгоритмизации комплексных моделей электротехнологических процессов</p>	
--	--	--	--

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

### КМ-1. Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестовое задание состоит из 10 вопросов в каждом из двух вариантов заданий. Время проведения - 20 минут.

#### Краткое содержание задания:

*Тест проводится на проверку знаний алгоритмов численного решения многомерных задач нестационарного теплообмена при сварке, плавке, пайке и наплавке, на основе явной и неявной разностных схем*

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: алгоритмы численного решения многомерных задач нестационарного теплообмена	<p>1.</p> <p>1. К какому типу дифференциальных уравнений второго порядка относится нестационарное уравнение теплопроводности?</p> <p>а. уравнение эллиптического типа б. уравнение параболического типа в. уравнение гиперболического типа</p> <p>Ответ - б.</p> <p>2. Какая из разностных аппроксимаций производной обладает вторым порядком точности по шагу аппроксимации?</p> <p>а. левая разностная производная б. правая разностная производная в. центральная разностная производная</p> <p>Ответ - в.</p> <p>3. При использовании неявной разностной схемы для уравнения теплопроводности применяют:</p> <p>а. левую разностную производную по времени б. правую разностную производную по времени в. центральную разностную производную по времени</p> <p>Ответ - а.</p> <p>4. Какой метод численного решения линейных алгебраических уравнений, получаемых в результате разностной аппроксимации уравнения теплопроводности при использовании явной разностной схемы можно применять?</p> <p>а. прямой и обратный ход прогонки. б. метод простой итерации. в. любой из алгоритмов решений матричных уравнений трехдиагонального вида (TDMA)</p> <p>Ответ - б.</p> <p>5. Как определяются неизвестные прогоночные коэффициенты для нулевого узла сетка при</p>
---	---

	<p>реализации “прямого хода” метода прогонки?  а. из аппроксимации начальных условий.  б. из аппроксимации граничных условий.  в. итерационным методом последовательных приближений.  Ответ - б.</p> <p>6. Разработана компьютерная программа, производящая численное решение нестационарного уравнения теплопроводности. К какому типу моделей ее можно отнести  а. физическая модель  б. дескриптивная математическая модель  в. нормативная математическая модель  г. оптимизационная математическая модель  Ответ - б.</p> <p>7. В чем преимущества применения неявных разностных схем в сравнении с явными?  а. удобство распараллеливания вычислений  б. более простой алгоритм  в. больший запас устойчивости  Ответ - в.</p> <p>8. Какой из методов расщепления многомерных дифференциальных уравнений по пространственным направлениям использует полностью неявные разностные операторы?  а. метод переменных направлений  б. метод дробных шагов  Ответ - б.</p> <p>9. В чем заключается идея применения метода конечных разностей для решения дифференциальных уравнений?  а. в использовании вместо производных их конечно-разностных аналогов для преобразования уравнений в линейные алгебраические.  б. в выражении точного аналитического решения дифференциального уравнения.  в. в применении операторного метода решения дифференциального уравнения  Ответ - а.</p> <p>10. Что обычно понимают под шаблоном разностной схемы?  а. метод аппроксимации производных, входящих в уравнение  б. метод реализации прямого и обратного хода прогонки  в. графическое отображение связей рассматриваемого узла с соседними узлами, а также с узлами рассматриваемыми на других временных слоях (или дробных шагах)  Ответ - в.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**



Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 90% от общего числа

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа

## **КМ-2. Граничные условия и источники теплоты. Алгоритмизация многомерных задач теплопереноса**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестовое задание состоит из 10 вопросов в каждом из двух вариантов заданий. Время проведения - 20 минут.

### **Краткое содержание задания:**

*Тест проводится на проверку знаний методов численной интерпретации граничных условий и источников теплоты для различных видов электротехнологических процессов; кроме того, проверяются знания методов решения многомерных задач теплопереноса*

### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методы численной интерпретации граничных условий и источников теплоты для различных электротехнологий</p>	<p>1.1. Каким образом можно задавать источник нагрева при численном решении уравнения теплопроводности?</p> <p>а. как объемно-распределенный источник, входящий в уравнение</p> <p>б. как граничное условие</p> <p>в. обоими способами (в зависимости от характера источника нагрева и размеров расчетной области)</p> <p>Ответ - в.</p> <p>2. Почему в при изучении процессов обработки концентрированными источниками нагрева (лазерный и электронный луч), источник представляют распределенным по глубине металлического слоя?</p> <p>а. это делают в тех случаях, когда используется уравнение теплопроводности, и не учитывается углубление источника в материал за счет давления паров в режиме “кинжального” проплавления.</p> <p>б. это обусловлено тем, что глубина проникновения электронов (фотонов) в материал велика, и создает</p>
---	---

	<p>эффект “кинжального” проплавления          Ответ - а.</p> <p>3. Граничные условия первого рода для уравнения теплопроводности соответствуют случаю:          а. задания закона теплообмена с окружающей средой          б. задания нулевой первой производной температуры          в. задания температуры на границе          Ответ - в.</p> <p>4. Граничные условия второго рода для уравнения теплопроводности соответствуют случаю:          а. задания закона теплообмена с окружающей средой          б. задания нулевой первой производной температуры          в. задания температуры на границе          Ответ - б.</p> <p>5. Граничные условия Стефана необходимо рассматривать в случае:          а. теплообмена с окружающей средой за счет конвекции          б. теплообмена с окружающей средой за счет теплопроводности          в. наличием границы фазового перехода          Ответ - в.</p> <p>6. Что понимают под “эффективным радиусом” источника нагрева при использовании гауссова распределения?          а. радиус, внутри которого выделяется 100% энергии пучка          б. радиус, внутри которого выделяется 90% энергии пучка          в. дисперсию гауссова распределения          Ответ - в.</p> <p>7. Какой закон подходит для описания потерь тепла при лучистом теплообмене?          а. закон Стефана-Больцмана          б. закон Ньютона          в. закон Фурье          Ответ - а.</p> <p>8. Какие задачи теплообмена можно отнести к нелинейным?          а. задачи с движущимися источниками нагрева          б. задачи, учитывающие зависимости теплофизических свойств от температуры          в. задачи с движущейся средой в расчетной области          Ответ - б.</p> <p>9. Какой метод подходит для решения многомерных задач теплопроводности в случае использования явной разностной схемы?          а. метод переменных направлений          б. метод дробных шагов          в. метод простой итерации          ответ - в.</p> <p>10. Какой из перечисленных ниже методов решения</p>
--	--

	<p>дифференциальных уравнений второго порядка можно отнести к методам расщепления, или локально-одномерным методам, применимым для решения многомерных задач?</p> <p>а. метод Эйлера  б. метод дробных шагов (метод Яненко)  в. метод простой итерации  ответ - б.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 90% от общего числа*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент правильно ответил менее, чем на 60% вопросов.*

**КМ-3. Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестовое задание состоит из 10 вопросов в каждом из двух вариантов заданий. Время проведения - 20 минут.

**Краткое содержание задания:**

*Тест проводится на проверку знаний концепций Эйлера и Лагранжа для моделирования процессов переноса в жидких и газообразных средах*

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования процессов переноса в жидких и газообразных средах при реализации электротехнологических процессов</p>	<p>1.1. Основная идея концепции Эйлера заключается в следующем.</p> <p>а. Жидкость рассматривается как система частиц, каждая из которых имеет свою систему координат.  б. Система координат неподвижна. Жидкость - сплошная среда, которая течет сквозь нее.  в. жидкость рассматривается как сплошная среда, но дополнительно введены частицы-маркеры  Ответ - б.</p> <p>2. Каким уравнением будет описываться теплоперенос в жидкости при использовании подхода Лагранжа?</p>
---	--

	<p>а. Уравнением энергии с конвективными слагаемыми  б. Уравнением теплопроводности  в. Уравнением движения  Ответ - б.</p> <p>3. Какие из перечисленных методов построения математической модели жидкости относятся к лагранжевым?  а. метод крупных частиц  б. метод конечных элементов  в. метод конечных разностей  г. метод сглаженных частиц  Ответы - а, г.</p> <p>4. Какие из перечисленных методов построения математической модели жидкости относятся к эйлеровым?  а. метод крупных частиц  б. метод конечных элементов  в. метод конечных разностей  г. метод сглаженных частиц  Ответы - б, г.</p> <p>5. В чем физический смысл конвективного слагаемого в уравнении теплообмена, записанном в постановке Эйлера?  а. оно необходимо для учета вклада теплопроводности  б. оно учитывает, то, что изменение температуры в рассматриваемой точке среды может быть связано с перемещением жидкости, изначально имеющей другую температуру  в. учитывает действие внутренних источников нагрева  Ответ - б.</p> <p>6. Для какой модели жидкости записываются уравнения Навье-Стокса?  а. эйлерова жидкость  б. ньютоновская жидкость  в. невязкая жидкость  Ответ - б.</p> <p>7. Какие слагаемые включает в себя производная Лагранжа (субстанциональная производная) ?  а. локальную и конвективную (адвективную) производные  б. локальную и левую разностную производную скорости по времени  в. конвективную и адвективную производные  Ответ - а.</p> <p>8. Какая из концепций в настоящее время применяется в коммерческих программах инженерного анализа (CAE-системах)?  а. концепция Эйлера  б. концепция Лагранжа  в. обе концепции</p>
--	---

	<p>Ответ - в.</p> <p>9. При использовании какой из концепций (Эйлера, или Лагранжа), векторные и скалярные величины рассчитываются в виде полей, с привязкой к фиксированным точкам пространства?</p> <p>а. Эйлера концепция б. Лагранжева концепция в. концепция Буссинеска</p> <p>Ответ - а.</p> <p>10. При использовании какого подхода (Эйлера, или Лагранжа) отпадает необходимость в реализации специализированных алгоритмов моделирования изменения уровня жидкости вблизи свободных поверхностей?</p> <p>а. подход Эйлера б. подход Лагранжа в. концепция Буссинеска</p> <p>Ответ - б.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 90% от общего числа*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент правильно ответил менее, чем на 60% вопросов.*

**КМ-4. Разработка программы для моделирования процесса теплопереноса**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Программирование (код)

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает расчетное задание, состоящее из двух разделов. На защите студент отвечает на вопросы преподавателя.

**Краткое содержание задания:**

*Расчетное задание защищает для проверки умения разрабатывать алгоритмы численного решения уравнения теплопроводности (первая часть) и системы уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с использованием подхода Эйлера и метода контрольных объемов (вторая часть)*

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: разрабатывать алгоритмы численного решения системы уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с использованием подхода Эйлера и метода контрольных объемов

1. Студенту предлагается разработать программу в любой среде программирования (предпочтительнее Microsoft Visual Studio Community и любой из языков входящих в эту среду - Visual Basic, C++, C#, Java или Visual Fortran)

1. Численное решение уравнения теплопроводности. В первой части задание необходимо разработать программу для решения двумерной задачи теплообмена (описываемой уравнением теплопроводности) с заданными начальными и граничными условиями.
2. Численный расчет поля скоростей и поля давлений с использованием алгоритма SIMPLE. Во второй части задания студенту предлагается осуществить разработку алгоритма итерационного метода “Предиктор-Корректор” для расчета поля скоростей и поля давлений в жидкой среде, отвечающих условию несжимаемости и предложить идею для применения программы для моделирования электротехнологических процессов.

После успешного выполнения задания студенту предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Какие численные методы использованы для решения уравнения теплопроводности?
2. Каким образом выбирался шаг координатной сетки и временной шаг?
3. В течение какого времени наступает квазистационарный режим теплообмена?
4. Каким образом рассчитывалось поле давления, обеспечивающее выполнение условия несжимаемости?
5. В чем идея использования “шахматной” или смещенной координатной сетки для расчета скалярных и векторных величин?
6. Отвечает ли поле скоростей в рассматриваемом случае условию несжимаемости?
7. В чем идея метода “предиктор-корректор” для решения системы уравнений Навье-Стокса?
8. Чем отличается уравнение теплопереноса в жидкой среде от уравнения теплопроводности?
9. Какие фрагменты созданной программы удобно реализовывать в виде подпрограмм?
10. Какие этапы вычислений могут быть реализованы с применением распараллеливания вычислений?

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 90% от общего числа*

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Студент правильно ответил менее, чем на 60% вопросов.

### КМ-5. Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестовое задание состоит из 10 вопросов в каждом из двух вариантов заданий. Время проведения - 20 минут.

**Краткое содержание задания:**

*Тест проводится на проверку знаний современных подходов к моделированию течения жидкой среды со свободной поверхностью при реализации электротехнологических процессов*

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: современные подходы к моделированию течения жидкой среды со свободной поверхностью при действии источников нагрева для решения различных задач электротехнологии</p>	<p>1.1.Какая группа методов моделирования подвижной среды стала основой для зарождения метода гидродинамики сглаженных частиц (SPH)? а. методы Эйлера б. методы крупных частиц и модель Леннарда-Джонса в. методы переменных направлений Ответ - б.</p> <p>2. Что определяет шаг сглаживания при реализации метода SPH? а. шаг перемещения частицы за один временной интервал б. радиус, в пределах которого необходимо учитывать взаимодействие рассматриваемой частицы с окружающими в. шаг интегрирования по времени Ответ - б.</p> <p>3. Что необходимо делать в цикле программы, реализующей алгоритм лагранжевого метода (и в том числе метода SPH) для расчета траекторий перемещения частиц среды? а. вычислять силы, ускорения и скорости в каждой точке неподвижной эйлеровой системы координат б. перебирать все частицы системы, и для каждой из них рассчитать все равнодействующие сил, обусловленные действием окружающих частиц и</p>
--	---

	<p>внешних силовых полей.          Ответ - б.</p> <p>4. В чем причина роста популярности метода SPH в настоящее время?          а. создание новых численных методов решения дифференциальных уравнений второго порядка          б. развитие технологии распараллеливания вычислений          Ответ - б.</p> <p>5. Каким образом удобно задавать функцию ядра сглаживания при реализации метода SPH?          а. аналитически          б. в виде табличной функции          Ответ - а.</p> <p>6. Каким образом удобно задавать градиент и лапласиан функции ядра сглаживания при реализации метода SPH?          а. аналитически          б. в виде табличной функции          Ответ - а.</p> <p>7. В чем основное преимущество SPH-метода перед методами, использующими дискретные частицы?          а. возможность их комбинации с сеточными методами          б. более близкое к реальным слабосжимаемым жидкостям распределение плотности и давления за счет сглаживания распределений плотности и других величин          Ответ - б.</p> <p>8. Метод “объема жидкости”, или VOF, относится к лагранжевым, или эйлеровым методам?          а. лагранжевым          б. эйлеровым          в. комбинированным          Ответ - б.</p> <p>9. Метод “маркеров в ячейках”, или MAC, относится к лагранжевым, или эйлеровым методам?          а. лагранжевым          б. эйлеровым          в. комбинированным          Ответ - в.</p> <p>10. Каким образом при реализации метода SPH в подавляющем большинстве случаев рассчитывают поле давление в жидкости          а. с использованием метода “предиктор-корректор”          б. путем решения уравнения Пуассона для давления и коррекции скорости (итерационным методом)          в. путем непосредственного расчета поля давления исходя из поля плотности, с применением специального уравнения состояния, например, уравнения Тэйта          Ответ - в.</p>
--	--



**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 90% от общего числа

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Студент правильно ответил менее, чем на 60% вопросов.

**КМ-6. методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование». Гибридные модели (открытый тест - с вычислениями)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестовое задание состоит из 10 вопросов в каждом из двух вариантов заданий. Время проведения - 20 минут.

**Краткое содержание задания:**

*Тест проводится на проверку умений применять полученные знания для самостоятельной разработки и алгоритмизации комплексных моделей электротехнологических процессов, в том числе с использованием метода Монте-Карло*

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: применять полученные знания для самостоятельной разработки и алгоритмизации комплексных моделей электротехнологических процессов</p>	<p>1.1.Какие задачи тепломассообмена можно считать нелинейными? а. задачи с неравномерным начальным распределением температуры б. задачи с изменяющейся во времени мощностью источника нагрева в. задачи с теплофизическими и другими свойствами материала, зависящими от решения уравнений (например, от температуры) Ответ - в. 2. В чем заключается практическая сложность решения задачи Стефана для фазового перехода “твердое тело - жидкость”? а. в необходимости учета температурной зависимости теплопроводности б. в том, что скрытая теплота плавления, которая поглощается при плавлении, и выделяется при кристаллизации, влияет на температурное поле и положение фронтов плавления и кристаллизации</p>
--	--

Ответ - б.

3. Какие методы могут применяться для численного решения задачи Стефана?

а. применение “искусственных” источников и стоков теплоты, действующих в контрольных объемах, где происходит плавление и кристаллизация.

б. решение уравнения теплообмена относительно теплосодержания (энтальпии)

в. оба метода

Ответ - в.

4. Какой из конечно-разностных методов решения задачи Стефана обеспечивает более устойчивое решение вблизи границы плавления или кристаллизации?

а. метод “скрытых” источников и стоков тепла

б. метод решения уравнения теплообмена относительно энтальпии

Ответ - б.

5. Каким образом рассчитывается температурное поле по рассчитанному полю теплосодержания?

а. методом интегрирования теплосодержания от начального значения, соответствующего комнатной температуре, до рассчитанного в данном контрольном объеме по температуре, с учетом теплоты затрачиваемой на фазовые переходы в интервале температур солидуса и ликвидуса

б. методом интегрирования теплосодержания от начального значения, соответствующего комнатной температуре, до рассчитанного в данном контрольном объеме по температуре, без учета теплоты затрачиваемой на фазовые переходы в интервале температур солидуса и ликвидуса

Ответ - а.

6. В чем заключается эффект Марангони?

а. в появлении направленного движения жидкости вдоль поверхности раздела сред вследствие наличия градиента температуры или концентрации вдоль этой поверхности

б. в изменении плотности жидкости вследствие нагрева

Ответ - а.

7. Как проявляет себя эффект Марангони в процессах сварки и родственных процессах для различных материалов?

а. практически не проявляет

б. вызывает формирование усиления швов и повышение высоты наплавляемого слоя

в. Проявляется в существенном различии формы поперечного сечения областей проплавления в зависимости от того, растет вязкость с увеличением температуры, или наоборот, снижается

Ответ - в.

	<p>8. В каких случаях удобно гибризовать эйлеровы и лагранжевы методы моделирования процессов?</p> <p>а. при необходимости одновременного учета макро- и микромасштабных процессов и явлений - например, движения жидкого металла и торможения электронов</p> <p>б. при моделировании свободной поверхности (MAC-метод)</p> <p>в. в обоих случаях.</p> <p>Ответ - в.</p> <p>9. Какой из перечисленных методов решения задач тепломассообмена можно отнести к гибридным, объединяющим эйлеров и лагранжев подход?</p> <p>а. VOF - метод</p> <p>б. MAC - метод</p> <p>в. SPH - метод</p> <p>Ответ - б.</p> <p>10. В чем суть приближения непрерывных потерь, применяемого при моделировании торможения электронов в различных средах с использованием метода Монте-Карло?</p> <p>а. все процессы взаимодействия (потери энергии и отклонения частиц) рассматриваются как дискретные</p> <p>б. все процессы взаимодействия (потери энергии и отклонения частиц) рассматриваются как непрерывные</p> <p>в. процессы торможения (потери энергии) рассматриваются как непрерывные, а процессы отклонения - как дискретные.</p> <p>Ответ - в.</p> <p>11. Запишите выражения для правой, центральной и левой разностной производной температуры по координаты. Проведите оценку порядка точности аппроксимации.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 90% от общего числа*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильные ответы в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент правильно ответил менее, чем на 60% вопросов.*



# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

## Пример билета

Пример билета

1. Численные методы решения уравнения теплопроводности. Метод конечных разностей.
2. Нелинейные процессы на свободной поверхности в жидких средах (эффект Марангони)

## Процедура проведения

Студент получает один билет из двадцати четырех. В билете содержится 2 вопроса. Время на подготовку к ответу составляет 70 минут

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-6</sub> Демонстрирует понимание основных принципов организации и проведения математического моделирования и экспериментальных исследований объектов профессиональной деятельности и использования результатов моделирования и экспериментальных исследований при проектировании

### Вопросы, задания

- 1.1. Цели и задачи математического моделирования.
2. Классификация моделей. Материальное, идеальное, знаковое, математическое моделирование.
3. Классификация математических моделей. Аналитические, цифровые, регрессионные и смешанные модели.
4. Адекватность и верификация моделей.
5. Классификация дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка, применяемых при моделировании физических процессов.
6. Понятие теплопроводности. Закон Фурье. Теплоемкость тела. Уравнение теплопроводности.
7. Уравнение теплопроводности. Начальные и краевые условия.
8. Численные методы решения уравнения теплопроводности. Метод конечных разностей.
9. Аппроксимация производных первого и второго порядков по методу конечных разностей.
10. Одномерное уравнение теплопроводности в конечно-разностной форме при использовании явной и неявной разностных схем.
11. Суть метода прогонки для решения одномерного уравнения теплопроводности.
12. Аппроксимация граничных условий при использовании метода прогонки.
13. Решение двумерных тепловых задач с использованием явной разностной схемы
14. Локально-одномерные методы для решения многомерных задач с использованием неявной разностной схемы: метод переменных направлений и метод мелких шагов.
15. Гидродинамические процессы: подходы Эйлера и Лагранжа
16. Система уравнений Навье-Стокса. Физический смысл уравнений

17. Метод «предиктор-корректор» (алгоритм SIMPLE) для численного решения уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости
18. Использование переменных «функция тока-завихренность» для решения двумерных задач конвективного переноса в слабосжимаемых средах
19. Моделирование процессов испарения
20. Методы крупных частиц в физике
21. Гидродинамика сглаженных частиц: подход Лагранжа
22. Моделирование движения заряженных частиц в электрическом поле
23. Моделирование движения частиц в магнитном поле
24. Метод Монте-Карло на примере рассеяния электронов в твердых телах
25. Методы численного интегрирования: метод прямоугольников, вычисление двумерных интегралов, метод Монте-Карло.

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

1. К какому типу дифференциальных уравнений второго порядка относится нестационарное уравнение теплопроводности?

Ответы:

- а. уравнение эллиптического типа
- б. уравнение параболического типа
- в. уравнение гиперболического типа

Верный ответ: б

2. Какая из разностных аппроксимаций производной обладает вторым порядком точности по шагу аппроксимации?

Ответы:

- а. левая разностная производная
- б. правая разностная производная
- в. центральная разностная производная

Верный ответ: в

3. При использовании неявной разностной схемы для уравнения теплопроводности применяют:

Ответы:

- а. левую разностную производную по времени
- б. правую разностную производную по времени
- в. центральную разностную производную по времени

Верный ответ: а

4. Какой метод численного решения линейных алгебраических уравнений, получаемых в результате разностной аппроксимации уравнения теплопроводности при использовании явной разностной схемы можно применять?

Ответы:

- а. прямой и обратный ход прогонки.
- б. метод простой итерации.
- в. любой из алгоритмов решений матричных уравнений трехдиагонального вида (TDMA)

Верный ответ: б

5. Разработана компьютерная программа, производящая численное решение нестационарного уравнения теплопроводности. К какому типу моделей ее можно отнести

Ответы:

- а. физическая модель
- б. дескриптивная математическая модель
- в. нормативная математическая модель
- г. оптимизационная математическая модель

Верный ответ: б

6. В чем преимущества применения неявных разностных схем в сравнении с явными?

Ответы:

- а. удобство распараллеливания вычислений
- б. более простой алгоритм
- в. больший запас устойчивости

Верный ответ: в

7. Какие задачи теплообмена можно отнести к нелинейным?

Ответы:

- а. задачи с движущимися источниками нагрева
- б. задачи, учитывающие зависимости теплофизических свойств от температуры
- в. задачи с движущейся средой в расчетной области

Верный ответ: б

8. Какой из перечисленных ниже методов решения дифференциальных уравнений второго порядка можно отнести к методам расщепления, или локально-одномерным методам, применимым для решения многомерных задач?

Ответы:

- а. метод Эйлера
- б. метод дробных шагов (метод Яненко)
- в. метод простой итерации

Верный ответ: б

9. Основная идея концепции Эйлера заключается в следующем.

Ответы:

- а. Жидкость рассматривается как система частиц, каждая из которых имеет свою систему координат.
- б. Система координат неподвижна. Жидкость - сплошная среда, которая течет сквозь нее.
- в. жидкость рассматривается как сплошная среда, но дополнительно введены частицы-маркеры

Верный ответ: б

10. Для какой модели жидкости записываются уравнения Навье-Стокса?

Ответы:

- а. эйлерова жидкость
- б. ньютоновская жидкость
- в. невязкая жидкость

Верный ответ: б

11. Какие слагаемые включает в себя производная Лагранжа (субстанциональная производная)?

Ответы:

- а. локальную и конвективную (адвективную) производные
- б. локальную и левую разностную производную скорости по времени
- в. конвективную и адвективную производные

Верный ответ: а

12. Что определяет шаг сглаживания при реализации метода гидродинамики сглаженных частиц (SPH)?

Ответы:

- а. шаг перемещения частицы за один временной интервал
- б. радиус, в пределах которого необходимо учитывать взаимодействие рассматриваемой частицы с окружающими
- в. шаг интегрирования по времени

Верный ответ: б

13. Метод "объема жидкости", или VOF, относится к лагранжевым, или эйлеровым методам?

Ответы:

- а. лагранжевым
- б. эйлеровым
- в. комбинированным

Верный ответ: б

14.Метод “маркеров в ячейках”, или МАС, относится к лагранжевым, или эйлеровым методам?

Ответы:

- а. лагранжевым
- б. эйлеровым
- в. комбинированным

Верный ответ: в

15.В чем суть приближения непрерывных потерь, применяемого при моделировании торможения электронов в различных средах с использованием метода Монте-Карло?

Ответы:

- а. все процессы взаимодействия (потери энергии и отклонения частиц) рассматриваются как дискретные
- б. все процессы взаимодействия (потери энергии и отклонения частиц) рассматриваются как непрерывные
- в. процессы торможения (потери энергии) рассматриваются как непрерывные, а процессы отклонения - как дискретные.

Верный ответ: в

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

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильных ответов в количестве не менее 90% от общего числа*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильных ответов в количестве не менее 75%, но не более 90% от общего числа*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильных ответов в количестве не менее 60%, но не более 75% от общего числа*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Студент дал правильных ответов в количестве менее 60%*

## ***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 экзаменационной составляющих