

**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: Теплофизика**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теория теплопроводности**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Листратов Я.И.
	Идентификатор	R5aadb743-ListratovYI-6964dfbf

(подпись)


Я.И.  
Листратов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc


(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

(подпись)

Д.Н.  
Герасимов

(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-3 Способен проводить расчеты теплофизических характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования

ИД-1 Владеет навыками расчета процессов гидродинамики и теплообмена в энергетическом оборудовании

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Проверка задания

1. Защита расчетного задания п.1 «Расчет температурного поля в плоской и цилиндрической стенке» (Контрольная работа)
2. Защита расчетного задания п.2 «Расчет температурного поля при наличии внутренних источников и переменном коэффициенте теплопроводности» (Контрольная работа)
3. Защита расчетного задания п.3 «Расчет температурного поля и теплопередачи для случая орбренной поверхности» (Контрольная работа)
4. Защита расчетного задания п.4 «Расчет нестационарного температурного поля в телах конечных размеров» (Контрольная работа)
5. Защита расчетного задания п.5 «Численный расчет нестационарного температурного поля в плоском тепловыделяющем элементе» (Контрольная работа)
6. Защита расчетного задания п.6 «Аналитические методы решения уравнения теплопроводности» (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	3	5	7	9	11	13
Основные положения теории тепломассообмена							
Роль тепломассообмена в современной науке и технике			+				
Теплопроводность			+				
Уравнение теплопроводности							
Закон сохранения энергии применительно к твердым телам		+	+				

Дифференциальное уравнение теплопроводности	+	+	+	+	+	+
Условия однозначности задач теплопроводности	+	+				
Стационарные температурные поля в плоской, цилиндрической и сферической стенке						
Стационарное одномерное температурное поле в плоской стенке	+	+	+			
Стационарное одномерное температурное поле в цилиндрических телах	+	+	+			
Стационарное одномерное температурное поле в сферических телах	+	+	+			
Интенсификация теплопередачи путем оребрения поверхности			+			
Нестационарные температурные поля						
Нестационарное одномерное температурное поле в плоской пластине				+		+
Нестационарное одномерное температурное поле в сплошном бесконечном цилиндре и шаре				+		+
Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров				+		+
Численные методы решения задач теплопроводности						
Методы получения дискретного аналога уравнения теплопроводности.		+			+	
Дискретный аналог для нестационарного одномерного уравнения теплопроводности.					+	
Особенности дискретных аналогов для дву- и трехмерных уравнений теплопроводности, а также в случае, если теплопроводность среды зависит от температуры.					+	
Аналитические методы решения задач теплопроводности						
Метод разделения переменных				+		+
Операционные методы				+		+
Метод функций Грина				+		+
Вес КМ:	15	20	15	15	20	15

\$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-3	ИД-1ПК-3 Владеет навыками расчета процессов гидродинамики и теплообмена в энергетическом оборудовании	Знать: методы решения стационарных задач теплопроводности методы решения нестационарных задач теплопроводности методы расчета теплопередачи в технических устройствах и энергетическом оборудовании методы интенсификации теплопередачи в энергетическом оборудовании путем оребрения поверхностей Уметь: выбирать оптимальный метод решения задач теплопроводности ставить задачи и решать уравнения теплопроводности аналитически	Защита расчетного задания п.1 «Расчет температурного поля в плоской и цилиндрической стенке» (Контрольная работа) Защита расчетного задания п.2 «Расчет температурного поля при наличии внутренних источников и переменном коэффициенте теплопроводности» (Контрольная работа) Защита расчетного задания п.3 «Расчет температурного поля и теплопередачи для случая оребренной поверхности» (Контрольная работа) Защита расчетного задания п.4 «Расчет нестационарного температурного поля в телах конечных размеров» (Контрольная работа) Защита расчетного задания п.5 «Численный расчет нестационарного температурного поля в плоском тепловыделяющем элементе» (Контрольная работа) Защита расчетного задания п.6 «Аналитические методы решения уравнения теплопроводности» (Контрольная работа)

		ставить задачи теплопроводности и решать их численно с применением современных ЭВМ и языков программирования	
--	--	--	--

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

### КМ-1. Защита расчетного задания п.1 «Расчет температурного поля в плоской и цилиндрической стенке»

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент приносит оформленный отчет о выполнении расчетного задания и отвечает на вопросы

#### Краткое содержание задания:

- 1) Определить плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной « $\delta$  мм» для трех случаев:
  - а) стенка стальная, « $\lambda_1$ » Вт/мК;
  - б) стенка бетонная, « $\lambda_2$ » Вт/мК;
  - в) стенка из диатомитового кирпича, « $\lambda_3$ » Вт/мК;Температуры на поверхностях стенки равны:  
« $T_{c1}$ »°С, « $T_{c2}$ » °С.  
2) Вычислить плотность теплового потока через плоскую стенку и температуры на ее поверхности, если заданы: толщина стенки « $\delta_1$  мм», коэффициент теплопроводности материала « $\lambda_1$ » Вт/мК, температуры омывающих стенку жидкостей « $T_{ж1}$ » °С, « $T_{ж2}$ » °С и соответствующие коэффициенты теплоотдачи « $\alpha_1$ » Вт/м<sup>2</sup>К и « $\alpha_2$ » Вт/м<sup>2</sup>К.  
Насколько уменьшится тепловой поток, если в процессе эксплуатации поверхность стенки (с горячей стороны) покроется слоем загрязнения толщиной  $\delta_2 = 0,1$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2 = 0,08$  Вт/мК?  
Построить графики распределения температуры для обоих случаев.
2. 3) Определить хладопроизводительность холодильной машины, необходимой для поддержания температуры в холодильной камере « $T_{ж1}$ »°С, при температуре окружающего воздуха « $T_{ж2}$ »°С. Стенка камеры выполнена трехслойной: внутренняя оболочка - стальная, толщиной  $\delta_1 = 3$  мм,  $\lambda_1 = 40$  Вт/мК, затем идет слой из стекловаты толщиной « $\delta_2$  мм»,  $\lambda_2 = 0,056$  Вт/мК, внешняя оболочка из гипсолитовых плит имеет толщину « $\delta_3$  мм» и  $\lambda_3 = 0,43$  Вт/мК. Коэффициенты теплоотдачи соответственно равны « $\alpha_1$ »Вт/м<sup>2</sup>К и « $\alpha_2$ » Вт/м<sup>2</sup>К. Размеры камеры « $L_1$  м»,  $L_2 = \langle L_2 \rangle$  м,  $L_3 = \langle L_3 \rangle$  м. Построить график распределения температуры в стенке камеры.  
4) В плоской стенке с теплопроводностью « $\lambda$ » Вт/мК и толщиной « $B$  см» происходит объемное тепловыделение по закону: (« $\Gamma$  Втм<sup>3</sup>», « $\gamma_1$  м»). Известна температура стенки на левой поверхности « $T$ »°С, а также тепловые потери на правой границе « $q$  Втм<sup>2</sup>». Найти максимальную температуру в стенке, количество тепла, выделяемое на ее поверхностях. Построить график распределения температуры и плотности теплового потока в стенке.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы решения стационарных задач теплопроводности	1. Напишите уравнение теплопроводности. 2. Напишите закон Фурье. 3. Что такое граничные условия сопряжения, 1, 2 и 3 рода? 4. Напишите выражения для теплового потока через
---	--

	<p>плоскую стенку при граничных условиях 1 и 3 рода.          5. Напишите выражения для теплового потока через цилиндрическую стенку при граничных условиях 1 и 3 рода.          6. Что такое коэффициент теплопередачи</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

**КМ-2. Защита расчетного задания п.2 «Расчет температурного поля при наличии внутренних источников и переменном коэффициенте теплопроводности»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент приносит оформленный отчет о выполнении расчетного задания и отвечает на вопросы

**Краткое содержание задания:**

1. 1) Стенка топочной камеры состоит из двух слоев: внутреннего: - толщиной « $\delta_1$ \_мм», изготовленного из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1 = 0,28 + 2,2 \cdot 10^{-4} T$  Вт/мК, и наружного - толщиной « $\delta_2$ \_мм» с  $\lambda_2 = 0,087 + 2,4 \cdot 10^{-4} T$  Вт/мК, (здесь T в оС). Температура газов внутри камеры равна « $T_{ж1}$ » оС, коэффициент теплоотдачи « $\alpha_1$ » Вт/м<sup>2</sup> К. Температура наружного воздуха  $T_{ж2} = 35$  оС, коэффициент теплоотдачи « $\alpha_2$ » Вт/м<sup>2</sup> К. Рассчитать плотность теплового потока через стенку топочной камеры и температуры на ее поверхностях. Построить график распределения температур.
- 2) Рассчитать плотность линейного теплового потока и построить график распределения температуры в криотрубопроводе, выполненном в виде трубы из нержавеющей стали с диаметрами  $d_1/d_2 = 28 / 32$  мм,  $\lambda_{ст} = 20$  Вт/мК, покрытой снаружи слоем изоляции толщиной « $\delta_{из}$ \_мм», « $\lambda_{из}$ » Вт/мК. Температура внутренней поверхности трубопровода равна « $T_{с1}$ » оС, температура на поверхности изоляции - « $T_{с2}$ » оС.
2. 3) Вычислить допустимую силу тока в медном проводе диаметром « $d$ \_мм» при условии, что максимальная температура меди не должна превышать  $T_{макс} = 80$  оС, для четырех случаев:
  1. Провод находится в воздушной среде при температуре  $T_{ж} = 20$  оС, коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности равен  $\lambda_1 = \alpha_1$  Вт/м<sup>2</sup>К.
    - 1.1 Провод без изоляции.
    - 1.2 Провод покрыт слоем резиновой изоляции толщиной « $\delta_{из}$ \_мм» мм.
  2. Провод охлаждается водой с температурой  $T_{ж} = 20$  оС, Коэффициент теплоотдачи на



наружной поверхности равен  $\alpha_2$  Вт/м<sup>2</sup>К.

2.1 Провод без изоляции.

2.2 Провод покрыт слоем резиновой изоляции толщиной « $\delta_{из}$  мм» мм.

Коэффициент теплопроводности резины равен  $\lambda_{из} = 0,16$  Вт/мК, удельное электрическое сопротивление меди  $\rho_{ом} = 1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Для всех рассмотренных случаев построить графики распределения температур. Объяснить полученные результаты

4) Полый цилиндрический твэл изготовлен из таблеток UO<sub>2</sub> с размерами « $d1_{мм}$ » и « $d2_{мм}$ », помещенных в оболочку из нержавеющей стали толщиной « $\delta_{мм}$ » мм. Рассчитать максимальную температуру в твэле, если мощность внутренних источников тепла равна « $q_v$ » Вт/м<sup>3</sup>, а отвод тепла от твэла осуществляется только с наружной поверхности, на которой заданы граничные условия: « $T_{ж}$ » ОС и « $\alpha$ » Вт/м<sup>2</sup>К. Коэффициент теплопроводности двуоксида урана  $\lambda_{топл} = [5500 / (560 + T) + 0,942 \cdot 10^{-10} T^3]$  Вт/мК (здесь T в градусах К), коэффициент теплопроводности нержавеющей стали равен  $\lambda_{ст} = 19$  Вт/мК, термическое сопротивление между топливом и оболочкой равно  $R_t = 2 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>К/Вт. Построить график распределения температуры в твэле

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы расчета теплопередачи в технических устройствах и энергетическом оборудовании	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Что такое коэффициент теплоотдачи и коэффициент теплопередачи?</li><li>2. Нарисуйте график распределения температуры в сплошном цилиндре при <math>q_v = \text{const}</math> ?</li><li>3. Что такое интегральная теплопроводность ?</li><li>4. Нарисуйте график распределения температуры в цилиндрической стенке при переменном коэффициенте теплопроводности материала стенки ?</li><li>5. Нарисуйте график распределения температуры в плоской стенке при переменном коэффициенте теплопроводности материала стенки ?</li></ol>
Уметь: выбирать оптимальный метод решения задач теплопроводности	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Нарисуйте график распределения температуры в цилиндрической стенке при <math>q_v = \text{const}</math> и граничных условиях 1 и 3 рода</li><li>2. Что такое критический диаметр изоляции ?</li><li>3. Порядок расчета температурного поля в цилиндрическом твэле при переменном коэффициенте теплопроводности материала твэла.</li><li>4. Рассчитать температурное поле в двухслойной стенке с размерами <math>\delta_1</math> и <math>\delta_2</math>, коэффициентами теплопроводности <math>\lambda_1</math> и <math>\lambda_2</math> при граничных условиях 3 рода на обеих поверхностях.</li><li>5. Рассчитать температурное поле в цилиндрической стенке с внутренними источниками тепла <math>q_v = \text{const}</math> при граничных условиях 2 рода на внутренней поверхности и 3 рода на наружной поверхности.</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. Защита расчетного задания п.3 «Расчет температурного поля и теплопередачи для случая оребренной поверхности»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент приносит оформленный отчет о выполнении расчетного задания и отвечает на вопросы

#### **Краткое содержание задания:**

- 1) Плоская металлическая стенка с одной стороны омывается горячим газом, а с другой стороны охлаждается кипящей водой. Для интенсификации теплопередачи было решено на поверхности, обращенной к газу приварить ребра. По ошибке ребра были приварены со стороны воды. Вычислить тепловой поток через стенку и сравнить его с тем, который имел бы место для стенки, оребренной со стороны газа, а также для неоребренной стенки. Вычисления проделать для следующих значений величин: температура газа  $T_{ж1}$  оС, температура воды  $T_{ж2}$  оС, коэффициенты теплоотдачи соответственно равны  $\alpha_1$  Вт/м<sup>2</sup>К,  $\alpha_2$  Вт/м<sup>2</sup>К, толщина стенки  $\delta_{ст}$  мм, коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda_{ст} = 20$  Вт/мК. Вычислить поверхность теплообмена (с правильно приваренными ребрами), необходимую для передачи 1000 кВт тепла. Принять, что ребра изготавливаются из того же материала, что и стенка; коэффициенты теплоотдачи на поверхности ребер принять равными соответственно  $\alpha_1$  (либо  $\alpha_2$ ). Толщина ребер равна  $\delta_r = 3$  мм, высота ребер  $h_r$  мм, расстояние между ребрами  $s = 10$  мм.
- 2) Температура газа, движущегося по трубопроводу, измеряется термопарой, помещенной в гильзу, впаянную в трубопровод). Гильза выполнена из трубки с наружным диаметром  $d_n$  мм, толщиной стенки  $\delta$  мм и имеет длину  $l$  мм. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к гильзе равен  $\alpha$  Вт/м<sup>2</sup>К. Термопара прижата к запаянному концу гильзы и показывает температуру  $T_1$  оС, температура основания гильзы (трубопровода) равна  $T_2$  оС. Рассчитать ошибку в показаниях термопары и истинную температуру газа для двух случаев: а) гильза выполнена из меди,  $\lambda_m = 380$  Вт/мК.; б) гильза выполнена из нержавеющей стали  $\lambda_{ст} = 19,6$  Вт/мК.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы интенсификации теплопередачи в энергетическом оборудовании путем оребрения поверхностей	1. Со стороны какой поверхности нужно выполнять оребрение стенки для увеличения теплопередачи ? 2. Каков физический смысл числа Био, рассчитанного для ребра ? 3. Может ли нанесение оребрения ухудшить теплопередачу? 4. Какие материалы нужно применять для оребрения
---	--

	поверхности ? 5.Что такое коэффициент оребрения? 6.Что такое эффективность ребра и оребренной поверхности ?
--	---

**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. Защита расчетного задания п.4 «Расчет нестационарного температурного поля в телах конечных размеров»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент приносит оформленный отчет о выполнении расчетного задания и отвечает на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Стальная цилиндрическая болванка диаметром  $d$  мм и высотой  $H$  мм с начальной температурой  $T_0=200^{\circ}\text{C}$  помещается в печь, где она нагревается продуктами сгорания с температурой  $T_{ж} 0^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи равен  $\alpha$  Вт/м<sup>2</sup>К, коэффициент теплопроводности стали  $\lambda$  Вт/мК, коэффициент температуропроводности  $a$  м<sup>2</sup>/с. Определить:

1. Температуру в центре болванки через  $\tau_1$  мин.
2. Время  $\tau_2$ , в течение которого температура в центре болванки достигнет значения  $T_k 0^{\circ}\text{C}$ , а также температуры в середине образующей ( $T_b$ ), в центре основания ( $T_a$ ) и по периметру основания ( $T_c$ ) в этот момент времени.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы решения нестационарных задач теплопроводности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое числа <math>Bi</math> и <math>Fo</math> и какова их роль в нестационарных задачах теплопроводности ?</li> <li>2.Что такое регулярный режим охлаждения (нагревания) тел ?</li> <li>3.Условия, необходимые для реализации регулярного режима</li> <li>4.Что такое метод перемножения решений ?</li> </ol>
Уметь: ставить задачи и решать	1.Изобразите нестационарное одномерное

уравнения теплопроводности аналитически	температурное поле в плоской пластине при граничных условиях 3-го рода 2. Определите количество тепла, переданного в процессе охлаждения (нагрева) плоской пластины 3. Что такое "направляющая точка" ? 4. Как использовать регулярный режим в задачах исследования теплофизических свойств веществ ?
--	--

**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-5. Защита расчетного задания п.5 «Численный расчет нестационарного температурного поля в плоском тепловыделяющем элементе»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент приносит оформленный отчет о выполнении расчетного задания и отвечает на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Рассчитать численным методом нестационарное температурное поле в плоском твэле, представляющем собой плоскую пластину с внутренними источниками тепла в защитной оболочке, предотвращающей контакт топлива с теплоносителем. Толщина топливной пластины –  $S$  (мм), толщина оболочки –  $S_1$  (мм), коэффициенты теплопроводности оболочки и пластины соответственно  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  (Вт/мК), плотности и теплоемкости – соответственно  $\rho_1, \rho_2$  (кг/м<sup>3</sup>) и  $c_{p1}, c_{p2}$  (Дж/кгК). Термическое контактное сопротивление между пластиной и оболочкой –  $rt$  (м<sup>2</sup>К/Вт). В пластине действуют внутренние источники тепла интенсивностью  $qV$  (Вт/м<sup>3</sup>). На поверхности оболочки заданы граничные условия 3 рода – коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  (Вт/м<sup>2</sup>К) и температура охлаждающего теплоносителя –  $T_{ж}$  (°С). Принять число узловых точек равным  $n = 10$ . Нестационарность температурного поля в твэле обусловлена изменением в начальный момент времени ( $t = 0$ ) двух величин, указанных в двух последних столбцах таблицы. Исходное стационарное распределение температуры, а также стационарное температурное поле, соответствующее новому значению параметров, рассчитывается аналитически в процессе подготовки задачи к ее численному решению на ЭВМ.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: ставить задачи теплопроводности и решать их	1. Как получить дискретный аналог для граничных условий ?
--	---

численно с применением современных ЭВМ и языков программирования	2.Как разрешить систему уравнений для дискретного аналога метода контрольного объема ? 3.Как получить дискретный аналог для случая, когда коэффициент теплопроводности зависит от температуры ?
--	--

**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. Защита расчетного задания п.6 «Аналитические методы решения уравнения теплопроводности»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент приносит оформленный отчет о выполнении расчетного задания и отвечает на вопросы

**Краткое содержание задания:**

- 1) Рассчитать нестационарное температурное поле в плоской стенке толщиной  $\delta$ , если в стенке действуют внутренние источники тепла интенсивностью  $q_v$ . В начальный момент задано распределение температуры в виде функции  $f(x)$ , при граничных условиях первого рода на обеих поверхностях стенки.
- 2) Решить задачу о нестационарном температурном поле в плоской стенке толщиной  $\delta$ . В начальный момент температура стенки равна нулю. В последующие моменты времени температура левой поверхности стенки равна  $T_0$ , а температура правой поверхности равна 0.
- 3) Найти функцию Грина для плоской стенки при следующих граничных условиях: на левой поверхности стенки заданы граничные условия 1 рода, на правой поверхности – граничные условия 3 рода.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы решения нестационарных задач теплопроводности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.</li> <li>1. В чем заключается идея метода функций Грина?</li> <li>2.Что такое функция Грина ?</li> <li>3.Каковы условия, при которых можно применить метод функций Грина для решения уравнения теплопроводности ?</li> <li>4.В чем заключается идея операционных методов</li> </ol>
---	---

	<p>решения уравнения теплопроводности</p> <p>5.Что такое преобразование Лапласа ?</p> <p>6.Как осуществить переход в пространство “изображения” ?</p> <p>7.Как осуществить переход в пространство "оригинала"</p> <p>8.Что такое метод разделения переменных?</p> <p>9.При каких условиях можно применить метод разделения переменных для решения уравнения теплопроводности ?</p> <p>10.Что такое ортогональность собственных функций ?</p> <p>11.Что такое собственная функция ?</p>
<p>Уметь: ставить задачи и решать уравнения теплопроводности аналитически</p>	<p>1.Нарисуйте график функции Грина применительно к задачам о температурном поле в плоской стенке.</p> <p>2.Нарисуйте график функции Грина применительно к задачам о температурном поле в цилиндрической стенке.</p> <p>3.Свойства преобразования Лапласа</p> <p>4.Как на практике воспользоваться теоремой Хевисайда для получения “оригинала” ?</p> <p>5.Можно ли применить метод разделения переменных для решения неоднородного уравнения теплопроводности ?</p> <p>6.Как найти собственные значения в методе разделения переменных ?</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*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 6 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

Экзаменационный билет №21

1. Сопоставление аналитических и численных методов решения уравнения теплопроводности. Методы получения дискретного аналога уравнения теплопроводности.
2. Во сколько раз увеличится мощность стального трубчатого радиатора с наружным диаметром  $D=40$  мм и длиной  $L=0.8$  м, если прикрепить к его поверхности  $N=22$  плоских продольных медных ребра теплопроводностью  $\lambda=390$  Вт/мК, высотой  $H=20$  мм и толщиной  $\delta=1$  мм. Температура в системе отопления  $50$  °С, температура окружающего воздуха  $20$  °С, коэффициент теплоотдачи к воздуху  $6$  Вт/м<sup>2</sup>К.

### Процедура проведения

Студент получает билет, письменно осуществляет подготовку к ответу на вопросы билета, затем отвечает устно преподавателю

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-3</sub> Владеет навыками расчета процессов гидродинамики и теплообмена в энергетическом оборудовании

### Вопросы, задания

1. Задача 1 Допустимая нагрузка для стальной (вар) шины прямоугольного сечения  $b \times \delta$  мм (вар), установленной на ребро (меньшую сторону), не должна превышать  $I_m$  (вар). Максимальная температура шины при температуре окружающего воздуха  $T_{ж}=25$  °С должна быть не выше  $T_m=70$  °С. Вычислить температуру на поверхности шины и определить, каким должен быть коэффициент теплоотдачи с ее поверхности, чтобы температура шины не превышала максимально допустимого значения. Построить поле температур в шине и зависимость теплового потока. Коэффициент теплопроводности стали (вар)  $\lambda_m=64$  Вт/мК. Удельное электрическое сопротивление стали (вар)  $\rho_m=0.13$  Ом мм<sup>2</sup>/м.
2. Задача 2 По стальной трубе ( $\lambda=20$  Вт/мК) диаметром  $d_{вн}/d_{нар}$  (вар) движется сухой насыщенный водяной пар ( $T_s=100$  °С). Для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду с температурой  $20$  °С трубу необходимо теплоизолировать, для этого на наружную поверхность трубы наносят теплоизоляцию толщиной (вар)  $\delta$  из асбеста с коэффициентом теплопроводности (вар)  $\lambda=11$  Вт/мК. Коэффициент теплоотдачи в окружающую среду равен  $\alpha$  (вар). Построить поле температур в изолированной трубе, считая, что на внутренней поверхности трубы температура стенки равна  $T_c=T_s$ . Определить тепловые потери в окружающую среду на единицу длины трубопровода. Определить эффективна ли в данных условиях теплоизоляция, если нет, то дайте свои рекомендации по теплоизоляции данного трубопровода.
3. Задача 3 В плоской стенке с теплопроводностью  $\lambda = 1$  Вт/мК и толщиной  $\delta = 25$  см происходит объемное тепловыделение по закону (вар): . Задана температура на поверхности стенки  $T_c=20$  °С. Найти максимальную температуру в стенке, количество

тепла, выделяемое 1 м<sup>2</sup> ее поверхности. Построить график распределения температуры и плотности теплового потока в стенке.

4. Задача 4 Трубу покрывают двумя слоями изоляции из разных материалов, но одинаковой толщины. Первый слой, лежащий на трубе, имеет коэффициент теплопроводности в  $N$  раз больше, чем второй. Наружный диаметр неизолированной трубы в  $M$  раз больше толщины одного слоя изоляции. В какую сторону и во сколько раз изменятся тепловые потери с 1 м длины трубопровода, если слои изоляции поменять местами? При анализе принять, что  $\lambda_{из} \ll \lambda_{ст}$  и пренебречь сопротивлением теплоотдачи. Качественно построить график изменения температуры в многослойной стенке.

5. Задача 5 Паропровод с наружным диаметром  $d$  покрыт слоем изоляции толщиной  $\delta$  и теплопроводностью  $\lambda = \lambda(T)$ , Вт/(мК) (температура в градусах Цельсия). На поверхностях слоя изоляции температуры равны  $T_{с1}$  и  $T_{с2}$  °С. Найти потери теплоты в паропроводе, если его длина  $L$  м. Построить график распределения температуры и плотности теплового потока в слое.

6. Задача 6. Во сколько раз увеличится мощность стального трубчатого радиатора с наружным диаметром  $D$  и длиной  $L$ , если приварить к его поверхности  $N$  плоских продольных ребра теплопроводностью  $\lambda$ , высотой  $H$  и толщиной  $\delta$ . Температура в системе отопления 60°С, температура окружающего воздуха 20°С, коэффициент теплоотдачи к воздуху 9 Вт/м<sup>2</sup>К.

7. Задача 7 Трубка из нержавеющей стали обогревается электрическим током путем непосредственного включения в электрическую цепь. Длина трубки  $L$ , наружный и внутренний диаметры равны соответственно  $d_n$  и  $d_{вн}$ . Вся теплота, выделяемая в стенке трубки, отводится через внешнюю поверхность трубки. Определить перепад температур в стенке, силу тока, пропускаемого по трубке, и построить поле температур, если тепловой поток, отводимый от внешней поверхности трубки  $Q$ . Удельное электрическое сопротивление и коэффициент теплопроводности материала трубки равны соответственно  $\rho$  и  $\lambda$ .

8. Задача 8 В сосуде Дьюара, хранится жидкий азот ( $T_s = -196$ °С при атмосферном давлении). Сосуд представляет собой сферическую емкость из титана ( $\lambda_c = 15$  Вт/мК), внутренняя стенка внутренним диаметром  $d_{вн}$  с толщиной стенки  $\delta_{вн}$  и внешняя стенка наружным диаметром  $d_n$  и толщиной стенки  $\delta_n$ . Пространство между стенками заполнено аэрогелем с теплопроводностью ( $\lambda = 0.014$  Вт/мК). Определить массу азота, испаряющегося в сутки (теплота парообразования  $r = 197.6$  кДж/кг) и построить график зависимости температуры в стенке сосуда, если температура на поверхности сосуда 20°С.

9. Задача 9 Определить промежуток времени, в течении которого лист стали ( $\lambda_{ст}$ ,  $\rho$ ,  $c_p$ ) толщиной  $2\delta$ , нагретый изначально до  $T_0$  оС охладится на воздухе с температурой 20°С (погрешность определения температуры 0.5 градуса). Коэффициент теплоотдачи к воздуху  $\alpha$ .

10. Задача 10 С помощью численного метода контрольного объема найти распределение температуры в плоском слое теплопроводностью  $\lambda$  и толщиной  $L$  с постоянными внутренними источниками тепла  $q_v$ , если заданы температуры  $T_{вн}$  и  $T_{нар}$  на внутренней и внешней поверхностях соответственно. Построить распределение температуры в слое и сравнить его с точным решением уравнения теплопроводности для данной задачи.

Рекомендация: для метода контрольного объема выбрать число узловых точек равным  $N$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Напишите уравнение теплопроводности
- 2.
1. Напишите закон Фурье.
- 3.



1. Что такое граничные условия сопряжения, 1, 2 и 3 рода?
- 4.
1. Напишите выражения для теплового потока через плоскую стенку при граничных условиях 1 и 3 рода.
5. Что такое коэффициент теплоотдачи и коэффициент теплопередачи?
6. Что такое регулярный режим охлаждения (нагрева) тел ?
7. Что такое интегральная теплопроводность ?
8. Что такое критический диаметр изоляции ?
9. С какой стороны нужно выполнять ребрение стенки для увеличения теплопередачи ?
10. Что такое числа  $Bi$  и  $Fo$  ?

## **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**

Использование только результатов промежуточной аттестации