

**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
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Я.И.
Листратов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

Г.Г. Яньков

Заведующий
выпускающей кафедрой

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

Д.Н.
Герасимов

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 расчета теплопередачи в технических устройствах и энергетическом оборудовании методы решения стационарных задач теплопроводности методы решения нестационарных задач теплопроводности 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 « δ мм» для трех случаев:
 - а) стенка стальная, « λ_1 » Вт/мК;
 - б) стенка бетонная, « λ_2 » Вт/мК;
 - в) стенка из диатомитового кирпича, « λ_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 « δ_1 мм», коэффициент теплопроводности материала « λ_1 » Вт/мК, температуры омывающих стенку жидкостей « $T_{ж1}$ » °С, « $T_{ж2}$ » °С и соответствующие коэффициенты теплоотдачи « α_1 » Вт/м²К и « α_2 » Вт/м²К.
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 « δ_2 мм», $\lambda_2 = 0,056$ Вт/мК, внешняя оболочка из гипсолитовых плит имеет толщину « δ_3 мм» и $\lambda_3 = 0,43$ Вт/мК. Коэффициенты теплоотдачи соответственно равны « α_1 »Вт/м²К и « α_2 » Вт/м²К. Размеры камеры « L_1 м», $L_2 = \langle L_2 \text{ м} \rangle$, $L_3 = \langle L_3 \text{ м} \rangle$. Построить график распределения температуры в стенке камеры.
4) В плоской стенке с теплопроводностью « λ » Вт/мК и толщиной « B см» происходит объемное тепловыделение по закону: (« G Втм³», « γ_1 м»). Известна температура стенки на левой поверхности « T »°С, а также тепловые потери на правой границе « q Втм²». 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 « δ_1 _мм», изготовленного из материала с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 0,28 + 2,2 \cdot 10^{-4} T$ Вт/мК, и наружного - толщиной « δ_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 « α_1 » Вт/м² К. Температура наружного воздуха $T_{ж2} = 35$ оС, коэффициент теплоотдачи « α_2 » Вт/м² 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/м²К.

- 1.1 Провод без изоляции.
- 1.2 Провод покрыт слоем резиновой изоляции толщиной « $\delta_{из}$ _мм» мм.
2. Провод охлаждается водой с температурой $T_{ж} = 20$ 0С, Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности равен « α_2 » Вт/м²К.
- 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 UO₂ с размерами « d_1 _мм» и « d_2 _мм», помещенных в оболочку из нержавеющей стали толщиной « δ _мм» Рассчитать максимальную температуру в твэле, если мощность внутренних источников тепла равна « q_v » 10⁸ Вт/м³, а отвод тепла от твэла осуществляется только с наружной поверхности, на которой заданы граничные условия: « $T_{ж}$ » 0С и « α » Вт/м²К. Коэффициент теплопроводности двуокиси 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 $R_t = 2 \cdot 10^{-5}$ м²К/Вт. Построить график распределения температуры в твэле

Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: методы расчета теплопередачи в технических устройствах и энергетическом оборудовании</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое коэффициент теплоотдачи и коэффициент теплопередачи? 2. Нарисуйте график распределения температуры в сплошном цилиндре при $q_v = \text{const}$? 3. Что такое интегральная теплопроводность ? 4. Нарисуйте график распределения температуры в цилиндрической стенке при переменном коэффициенте теплопроводности материала стенки ? 5. Нарисуйте график распределения температуры в плоской стенке при переменном коэффициенте теплопроводности материала стенки ?
<p>Уметь: выбирать оптимальный метод решения задач теплопроводности</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нарисуйте график распределения температуры в цилиндрической стенке при $q_v = \text{const}$ и граничных условиях 1 и 3 рода 2. Что такое критический диаметр изоляции ? 3. Порядок расчета температурного поля в цилиндрическом твэле при переменном коэффициенте теплопроводности материала твэла. 4. 1. Рассчитать температурное поле в двухслойной стенке с размерами δ_1 и δ_2, коэффициентами теплопроводности λ_1 и λ_2 при граничных условиях 3 рода на обеих поверхностях. 5. 1. Рассчитать температурное поле в цилиндрической стенке с внутренними источниками тепла $q_v = \text{const}$ при граничных условиях 2 рода на внутренней поверхности и 3 рода на наружной поверхности.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения задания: 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 задания: 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 задания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 α_1 Вт/м²К, α_2 Вт/м²К, 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 α_1 (либо α_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 δ мм и имеет длину l мм. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к гильзе равен α Вт/м²К. 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	<ol style="list-style-type: none">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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 α Вт/м²К, коэффициент теплопроводности стали λ Вт/мК, коэффициент температуропроводности a м²/с. Определить:

1. Температуру в центре болванки через τ_1 мин.
2. Время τ_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"> 1. 1. Что такое числа Bi и Fo и какова их роль в нестационарных задачах теплопроводности ? 2.Что такое регулярный режим охлаждения (нагрева) тел ? 3.Условия, необходимые для реализации регулярного режима 4.Что такое метод перемножения решений ?
Уметь: ставить задачи и решать уравнения теплопроводности аналитически	<ol style="list-style-type: none"> 1.Изобразите нестационарное одномерное 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**Оценка: 2**Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 λ_1 и λ_2 (Вт/мК), плотности и

теплоемкости – соответственно ρ_1, ρ_2 (кг/м³) и c_{p1}, c_{p2} (Дж/кгК). Термическое контактное сопротивление между пластиной и оболочкой – rt (м²К/Вт). В пластине действуют внутренние источники тепла интенсивностью qV (Вт/м³). На поверхности оболочки заданы граничные условия 3 рода – коэффициент теплоотдачи α (Вт/м²К) 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:

<p>Уметь: ставить задачи теплопроводности и решать их численно с применением современных ЭВМ и языков программирования</p>	<p>1. Как получить дискретный аналог для граничных условий ? 2. Как разрешить систему уравнений для дискретного аналога метода контрольного объема ? 3. Как получить дискретный аналог для случая, когда коэффициент теплопроводности зависит от температуры ?</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-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 δ , если в стенке действуют внутренние источники тепла интенсивностью qV . 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 δ . 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:

<p>Знать: методы решения нестационарных задач теплопроводности</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1. В чем заключается идея метода функций Грина? 2. Что такое функция Грина ? 3. Каковы условия, при которых можно применить метод функций Грина для решения уравнения теплопроводности ? 4. В чем заключается идея операционных методов решения уравнения теплопроводности 5. Что такое преобразование Лапласа ? 6. Как осуществить переход в пространство “изображения” ? 7. Как осуществить переход в пространство "оригинала" 8. Что такое метод разделения переменных? 9. При каких условиях можно применить метод разделения переменных для решения уравнения теплопроводности ? 10. Что такое ортогональность собственных функций ? 11. Что такое собственная функция ?
<p>Уметь: ставить задачи и решать уравнения теплопроводности аналитически</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нарисуйте график функции Грина применительно к задачам о температурном поле в плоской стенке. 2. Нарисуйте график функции Грина применительно к задачам о температурном поле в цилиндрической стенке. 3. Свойства преобразования Лапласа 4. Как на практике воспользоваться теоремой Хевисайда для получения “оригинала” ? 5. Можно ли применить метод разделения переменных для решения неоднородного уравнения теплопроводности ? 6. Как найти собственные значения в методе разделения переменных ?

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

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/м²К.

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_{ПК-3} 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 мм²/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) δ из асбеста с коэффициентом теплопроводности (вар) $\lambda=11$ Вт/мК. Коэффициент теплоотдачи в окружающую среду равен α (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 м² 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 δ 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 λ , высотой H и толщиной δ . Температура в системе отопления 60°С, температура окружающего воздуха 20°С, коэффициент теплоотдачи к воздуху 9 Вт/м²К.

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 ρ и λ .

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 δ_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 ($\lambda_{ст}$, ρ , c_p) толщиной 2δ , нагретый изначально до T_0 °С охладится на воздухе с температурой 20°С (погрешность определения температуры 0.5 градуса). Коэффициент теплоотдачи к воздуху α .

10. Задача 10 С помощью численного метода контрольного объема найти распределение температуры в плоском слое теплопроводностью λ 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

Оценка: 2

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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Использование только результатов промежуточной аттестации