

**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
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Листратов Я.И. |
| | Идентификатор | R5aad743-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-1 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 обрешенной 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

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

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

КМ-6 Защита расчетного задания п.6 «Аналитические методы решения уравнения теплопроводности» (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| 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 |

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

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | уравнения теплопроводности аналитически выбирать оптимальный метод решения задач теплопроводности | |
|--|--|--|--|

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:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|---|---|
| Знать: методы решения стационарных задач теплопроводности | 1. Напишите уравнение теплопроводности. 2. Напишите закон Фурье. 3. Что такое граничные условия сопряжения, |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|---|---|
| | 1, 2 и 3 рода? 4.Напишите выражения для теплового потока через 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 |
| Уметь: ставить задачи теплопроводности и решать их численно с применением современных ЭВМ и языков программирования | 1. 1. Рассчитать поле температур в плоской стенке при $q_v=0$ при граничных условиях 3 рода на левой и правой поверхностях. 2. 1. Рассчитать поле температур в плоской стенке при $q_v=0$ при граничных условиях 3 рода на левой поверхности и 2 рода на правой поверхностях. 3.Рассчитать поле температур в цилиндрической стенке при $q_v=0$ при граничных условиях 3 рода на левой и правой поверхностях. 4.Рассчитать поле температур в сферической стенке при $q_v=0$ при граничных условиях 3 рода на левой и правой поверхностях. 5.Рассчитать температурное поле в цилиндрической при $q_v=0$ при граничных 1 рода на внутренней поверхности и 3 рода на наружной поверхности |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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 « $T_{с1}$ » 0С, температура на поверхности изоляции - « $T_{с2}$ » 0С.
2. 3) Вычислить допустимую силу тока в медном проводе диаметром « d _мм» при условии, что максимальная температура меди не должна превышать $T_{макс} = 80$ 0С, для четырех случаев:
 1. Провод находится в воздушной среде при температуре $T_{ж} = 20$ 0С, 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 » 10^8 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:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|---|---|
| Знать: методы расчета теплопередачи в технических | 1. Что такое коэффициент теплоотдачи и коэффициент теплопередачи? |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|--|---|
| устройствах и энергетическом оборудовании | 2. Нарисуйте график распределения температуры в сплошном цилиндре при $qv = \text{const}$? 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 ? |
| Уметь: выбирать оптимальный метод решения задач теплопроводности | 1. Нарисуйте график распределения температуры в цилиндрической стенке при $qv = \text{const}$ 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 $qv = \text{const}$ при граничных условиях 2 рода на внутренней поверхности и 3 рода на наружной поверхности. |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: 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 δ ст мм, коэффициент теплопроводности материала стенки λ 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:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|---|--|
| 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 ? |
| Уметь: ставить задачи теплопроводности и решать их численно с применением | <ol style="list-style-type: none"> 1. Изобразите изменение температуры в плоском прямом ребре, находящемся в |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|---|--|
| современных ЭВМ и языков программирования | <p>среде с известной температурой и коэффициентом теплоотдачи</p> <p>2. Как рассчитать эффективность ребра для ребер простой и сложной формы ?</p> <p>3. Как рассчитать эффективность оребренной стенки ?</p> <p>4. Как рассчитать теплопередачу через оребренную стенку ?</p> |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|--|---|
| Знать: методы решения нестационарных задач теплопроводности | <p>1. Что такое числа Bi и Fo и какова их роль в нестационарных задачах теплопроводности ?</p> <p>2. Что такое регулярный режим охлаждения (нагрева) тел ?</p> <p>3. Условия, необходимые для реализации регулярного режима</p> <p>4. Что такое метод перемножения решений ?</p> |
| Уметь: ставить задачи и решать уравнения теплопроводности аналитически | <p>1. Изобразите нестационарное одномерное температурное поле в плоской пластине при граничных условиях 3-го рода</p> <p>2. Определите количество тепла, переданного в процессе охлаждения (нагрева) плоской пластины</p> <p>3. Что такое "направляющая точка" ?</p> <p>4. Как использовать регулярный режим в задачах исследования теплофизических свойств веществ ?</p> |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|---|---|
| Уметь: ставить задачи теплопроводности и решать их численно с применением современных ЭВМ и языков программирования | <ol style="list-style-type: none"> 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 ? |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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 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 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:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки |
|--|---|
| Знать: методы решения нестационарных задач теплопроводности | <ol style="list-style-type: none"> 1. В чем заключается идея метода функций Грина? 2. Каковы условия, при которых можно применить метод функций Грина для решения уравнения теплопроводности ? 3. В чем заключается идея операционных методов решения уравнения теплопроводности 4. Что такое преобразование Лапласа ? 5. Как осуществить переход в пространство “изображения” ? 6. Как осуществить переход в пространство "оригинала" 7. Что такое метод разделения переменных? 8. При каких условиях можно применить метод разделения переменных для решения уравнения теплопроводности ? 9. Что такое ортогональность собственных функций ? |
| Уметь: ставить задачи и решать уравнения теплопроводности аналитически | <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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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 $D=40\text{мм}$ и длиной $L=0.8\text{м}$, если прикрепить к его поверхности $N=22$ плоских продольных медных ребра теплопроводностью $\lambda=390\text{Вт/мК}$, высотой $H=20\text{мм}$ и толщиной $\delta=1\text{мм}$. Температура в системе отопления 50°C , температура окружающего воздуха 20°C , коэффициент теплоотдачи к воздуху $6\text{ Вт/м}^2\text{К}$.

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_{ПК-1} 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 $T_{ж}=25\text{°C}$ должна быть не выше $T_m=70\text{°C}$. 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) $\lambda_m=64\text{ Вт/мК}$. Удельное электрическое сопротивление стали (вар) $\rho_m=0.13\text{ Ом мм}^2/\text{м}$.
2. Задача 2 По стальной трубе ($\lambda=20\text{ Вт/мК}$) диаметром $d_{вн}/d_{нар}$ (вар) движется сухой насыщенный водяной пар ($T_s=100\text{°C}$). Для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду с температурой 20°C трубу необходимо теплоизолировать, для этого на наружную поверхность трубы наносят теплоизоляцию толщиной (вар) δ из асбеста с коэффициентом теплопроводности (вар) $\lambda=11\text{ Вт/мК}$. 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 $\lambda = 1\text{ Вт/мК}$ и толщиной $\delta = 25\text{ см}$ происходит объемное тепловыделение по закону (вар): . Задана температура на поверхности стенки $T_c=20\text{°C}$. 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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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 («неудовлетворительно»)

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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Использование только результатов промежуточной аттестации.