

ФБГОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»
Кафедра двигателей внутреннего сгорания

Теплотехника»

**Часть 3.
Основы теплопередачи**

составлен
кандидатом технических наук, доцентом
Ивным
Александром Андреевичем
в соответствии с действующим государственным
образовательным стандартом ВО

Ярославль, 2014-2016

Дисциплина «Теплопередача»

Предмет изучения

самопроизвольные (необратимые) процессы распространения энергии в виде теплоты в среде с неоднородным распределением температур или между телами, сопровождающиеся массопереносом или без него

Цель изучения

определение температурного поля в телах, расчет интенсивности теплопередачи в элементах энергоустановок (теплообменниках)

Основные понятия теории теплопередачи

1. Температура – мера внутренней (кинетической) энергии;

1. Температурное поле – совокупность значений температур в каждой точке тела (или среды) в каждый момент времени.

1. Изотермическая поверхность – совокупность значений одинаковых температур в неоднородном **3-х мерном** температурном поле.

1. Изотерма – линия, получаемая при сечении изотермической поверхности плоскостью.

5 Перепад температур Δt – разность температур между двумя изотермическими поверхностями (линиями), поверхностью и окружающей средой.

6. Градиент температуры - отношение температурного перепада Δt между двумя изотермами к расстоянию между ними по нормали Δn .

Основные понятия теории теплопередачи

Градиент температуры – вектор, численно равный производной от температуры по нормали к изотермической поверхности и направленный в сторону увеличения температуры.

.

Единицы измерения градиента температуры **К/м.**

Основные понятия теории теплопередачи

Тепловой поток – количество теплоты (Дж), передаваемое в единицу времени от более «нагретого» к менее «нагретому» телу, Вт.

Плотность (поверхностная) теплового потока – тепловой поток, отнесенный к единице площади теплопередающей поверхности, Вт/м²; является вектором, направленным по нормали к изотермической поверхности в сторону уменьшения температуры противоположно $\text{grad } t$:

Плотность (линейная) теплового потока – тепловой поток, отнесенный к единице длины теплопередающей цилиндрической поверхности, Вт/м.

СПОСОБЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Теплопроводность

Конвекция

Излучение

Теплопроводность

Теплопроводность – вид теплопередачи, при котором перенос энергии в форме теплоты в неравномерно нагретой сплошной среде, имеет атомно-молекулярный характер, не связанный с макроскопическим движением среды.

Необходимое условие – наличие свободных частиц (молекул).

Установлено опытным путем, что количество переносимой теплоты зависит: от физической природы тела (теплопроводность), геометрии (толщина стенки, площади поперечного сечения), разности температур, длительности процесса (времени!): $Q=f(\delta, S, \lambda, \Delta T, \tau)$, Дж.

Основной закон теплопроводности (гипотеза Био-Фурье) :

Вт/м².

где λ - коэффициент теплопроводности.

Коэффициент теплопроводности

Вещества	Коэффициент теплопроводности	Особенности
Газы	0,005-0,6	с увеличением температуры увеличивается.
Воздух	0,025	
Жидкости	0,065-0,70	с увеличением температуры уменьшается за исключением воды и глицерина.
Вода	0,65	
Теплоизоляционные материалы	0,04-3,0	с увеличением температуры увеличивается.
Металлы	20-419	У чистых металлов с увеличением температуры убывает (кроме бериллия).

Конвекция

Конвекция – вид теплопередачи, осуществляемый за счет перемещения массы неравномерно нагретой жидкой или газообразной среды.

Конвекция **вынужденная** осуществляется под действием внешних силовых полей;

Конвекция **свободная** - осуществляется под действием объемных сил.

Конвективный теплообмен – результат совместного действия и теплопроводности и конвекции в одной и той же среде

Теплоотдача (конвективная теплоотдача) - конвективный теплообмен между твердой поверхностью и окружающей средой (жидкостью или газом).

Конвективная теплоотдача

Теплоотдача (конвективная теплоотдача) - конвективный теплообмен между твердой поверхностью и окружающей средой (жидкостью или газом).

Установлено опытным путем, что количество передаваемой теплоты зависит от *физической природы среды, свойств границы среды и твердого тела, разности температур между средой и поверхностью.*

Основной закон теплоотдачи (Ньютона-Римана) - плотность теплового потока на границе жидкости (газа) и твердой поверхности пропорциональна разности их температур:

где a -коэффициент теплоотдачи;

t_w -температура поверхности; t_f -температура жидкости или газа.

**Примерные значения коэффициентов теплоотдачи
 α , Вт/(м²К)
для характерных случаев теплоотдачи**

Режим течения	α
Свободная конвекция газов	5 ÷ 50
Вынужденная конвекция газов.	30 ÷ 500
Свободная конвекция воды	100 ÷ 1000
Вынужденная конвекция воды	500 ÷ 30000
Кипение воды	2000 ÷ 40000
Пленочная конденсация водяного пара	4000-15000

Стационарная теплопередача через плоскую стенку

Плотность теплового потока

где

- термические сопротивления

- полное
термическое
сопротивление

Стационарная теплопередача через плоскую неоднородную стенку

Плотность теплового потока

где

- суммарное термическое сопротивление многослойной стенки

Температуры поверхностей и на границах слоев :

где n – количество слоев

Стационарная теплопередача через цилиндрическую стенку

Линейная плотность теплового потока

где

-полное
сопротивление

линейное

термическое

Стационарная теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку

Линейная плотность теплового потока

где

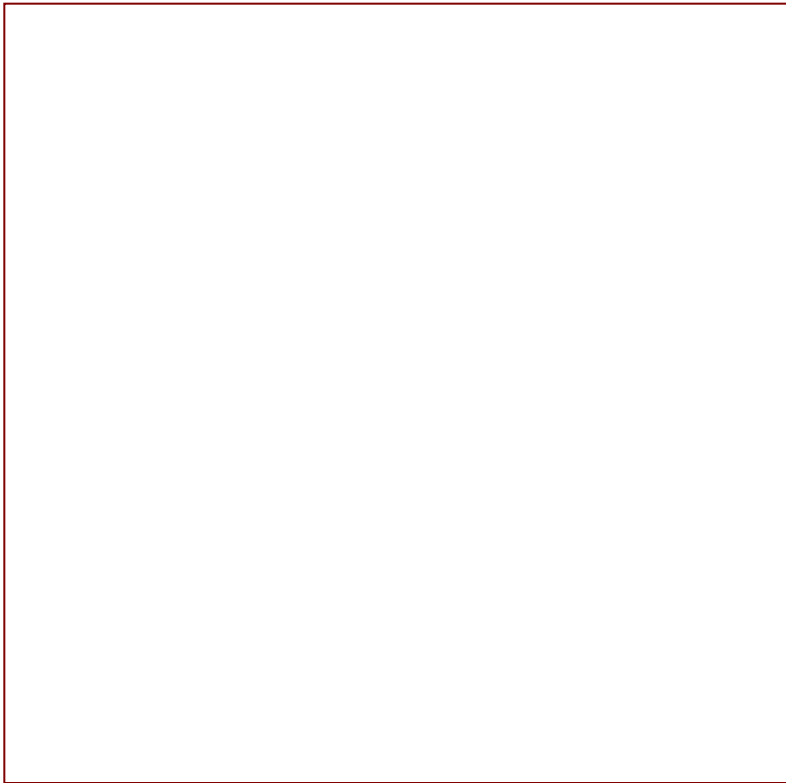
-суммарное линейное термическое
сопротивление

Температуры поверхностей и на границах слоев :

Тепловая изоляция на трубе

Тепловая изоляция – это слой материала с низким коэффициентом теплопроводности на теплопередающей поверхности.

Назначение тепловой изоляции: снижение тепловых потерь, снижение температуры поверхности.



Основные положения теории подобия. Критерии и числа подобия.

Подобными являются процессы,

- имеющие одинаковую физическую природу (описываются одинаковыми уравнениями);
- осуществляемые **в геометрически** подобных системах.
- у которых поля физических величин, определяющие процессы на границе рассматриваемых поверхностей заданы подобным же образом (подобие граничных условий).
- у которых численно равны одноименные критерии подобия.

Критерии и числа подобия – безразмерные комплексы, составленные из размерных физических величин, характерных для рассматриваемого процесса.

Критерии подобия формируются из заранее известных (определяющих) величин.

Числа подобия формируются из искоемых (определяемых) величин.

Критерии и числа подобия, используемые в задачах конвективного теплообмена

1. Число Нуссельта - безразмерный коэффициент теплоотдачи.

2. Критерий Рейнольдса характеризует подобие сил при вынужденном движении среды: соотношение между силами инерции и силами вязкости в потоке; определяет режим течения жидкости.

3. Критерий Прандтля характеризует подобие свойств текучей среды (соотношение вязкостных и инерционных тепловых свойств

4. Критерий Грасгоффа - характеризует подобие сил при свободном движении неизотермического потока: соотношение между подъемной силой единицы объема, возникающей вследствие разности плотностей, и силой вязкости.

Критериальные уравнения, используемые в задачах конвективного теплообмена

Вынужденное течение внутри трубы круглого сечения

Свободное движение
у горизонтальной трубы:

у вертикальной поверхности

Поперечное обтекание одиночной трубы:

Излучение

Излучение - вид теплопередачи в пространстве, обусловленный переносом энергии с помощью электромагнитных волн.

Излучение

интегральное

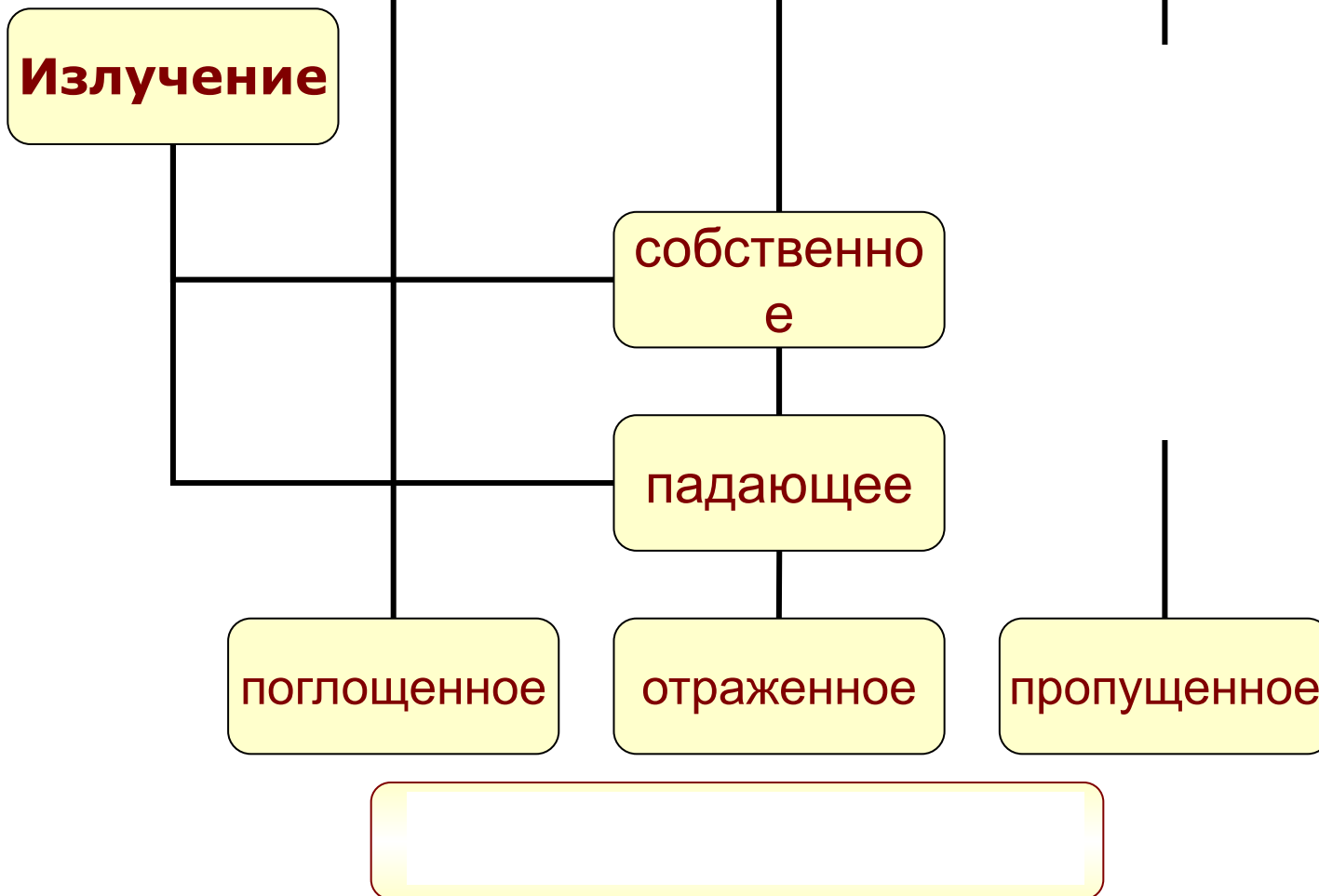
монохроматическое

Поверхностная плотность потока *интегрального* излучения – отношение потока излучения к площади поверхности для всего диапазона длин волн.

Поверхностная плотность потока *монохроматического* излучения - отношение потока излучения к площади поверхности и величине интервала длин волн.

Классификация потоков излучения

Лучистый теплообмен – это совместные процессы взаимного испускания, поглощения, отражения и пропускания электромагнитных волн между телами. Тела могут иметь *одинаковую температуру*.



Классификация потоков излучения



- коэффициент отражения

- коэффициент поглощения

- коэффициент пропускания



Классификация потоков излучения

Излучение

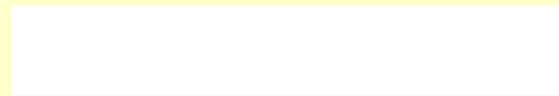
эффективное

результатирующее

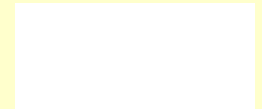
Для термодинамического равновесия

Законы теплового излучения

Законы теплового излучения применимы к абсолютно черным телам, у которых поток падающего излучения равен поглощаемому потоку:



и для термодинамического равновесия системы, когда



и



Закон М. Планка

Закон М. Планка (1900 г.) устанавливает зависимость плотности потока собственного монохроматического излучения от длины волны и абсолютной температуры для абсолютно черного тела:



где W_{λ} Вт*м² 1-ая константа излучения

($h=6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с-постоянная Планка);

T , м.К - 2-ая константа излучения;

($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. – постоянная Больцмана)

$C_0 = 3 \cdot 10^8$ м/с-скорость света в вакууме;

Физический смысл закона М. Планка

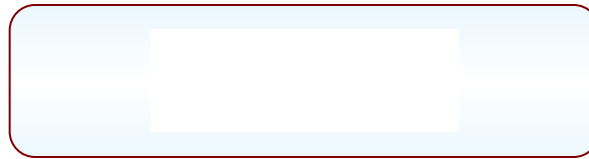


1. Каждой длине волны при постоянной температуре соответствует свое значение
2. С повышением температуры плотность потока монохроматического излучения возрастает.
3. Спектральная плотность потока излучения имеет максимум на каждой температуре, соответствующий определенной длине волны.
4. Максимальная плотность потока излучения с повышением температуры смещается в сторону более коротких волн (закон смещения Вина).

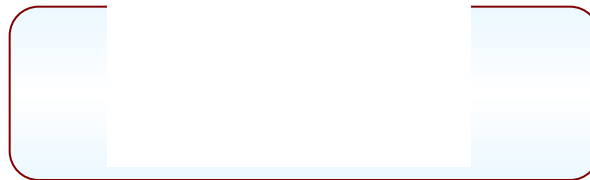
Закон Стефана-Больцмана

устанавливает зависимость плотности потока собственного интегрального излучения абсолютно черного тела от абсолютной температуры и от физической природы (излучательной способности) тела.

Плотность потока интегрального излучения по всем направлениям пропорциональна 4-степени абсолютной температуры.



- постоянная Стефана-Больцмана



где

- коэффициент интегрального излучения

Закон Стефана-Больцмана

Для системы из 2-х «серых» тел:

где

- приведенный коэффициент интегрального излучения системы из 2-х «серых» тел

c_1 и c_2 – коэффициенты интегрального излучения 2-х «серых» тел.

- коэффициент интегрального излучения абсолютно черного тела

Теплообменные аппараты

- **Теплота** – способ передачи внутренней энергии; процесс необратимый, самопроизвольный.
- **Теплоноситель** – вещество, обладающее внутренней энергией и способное отдавать или воспринимать ее при взаимодействии с другим теплоносителем
- **Теплообменный аппарат** – устройство, предназначенное для передачи внутренней энергии в виде теплоты от одного теплоносителя к другому.

Классификация по принципу действия

Теплообменные аппараты

Контактные

● непосредственный контакт и смешение теплоносителей (градирни, деаэраторы, скрубберы)

Регенеративные

• периодический нагрев и охлаждение одной и той же поверхности (регенераторы, воздухонагреватели)

Рекуперативные

теплота передаётся через стенку, разделяющую горячий и «холодный» теплоносители при одновременном их протекании

Теплообменные аппараты

В рекуперативных ТА теплота передаётся через стенку, разделяющую горячий и «холодный» «теплоносители»



Классификация по назначению

Теплообменные аппараты

Рекуперативные

Нагреватели

Охладители

Конденсатор
ы

Испарители

Классификация по схеме течения

Схемы течения

Прямоточная

Противоточная

Перекрестная

Классификация РТА по виду поверхности

Рекуперативные ТА

Кожухотрубные

Трубчатые

Пластинчатые

Спиральные

Змеевиковые

Устройство кожухотрубного теплообменного аппарата

1 - Корпус; 2 - Трубный пучок; 3 –Трубные решетки;
4 –Крышки; 5-Элементы крепления; 6 – патрубки входа
и выхода теплоносителей.

Конструкторский расчет рекуперативных теплообменных аппаратов

Цель: определение необходимой площади поверхности для передачи заданного теплового потока.

Исходные данные:

- Тепловой поток (тепловая нагрузка), Q , Вт
- Температуры на входе
- Теплофизические свойства теплоносителей
- Температуры на выходе или массовые расходы теплоносителей : G_1 и G_2
или

- Схема течения

Конструкторский расчет

В основе расчета – уравнение теплового баланса:

и уравнение теплопередачи:

Конструкторский расчет

Полная теплоемкость массового расхода

Изменение температур теплоносителей в рекуперативном теплообменнике обратно пропорционально их полным расходным теплоемкостям

Конструкторский расчет

Изменение температур теплоносителей
для прямоточной схемы

Всегда для прямоточной схемы

Конструкторский расчет

Изменение температур теплоносителей
для прямоточной схемы

Всегда для прямоточной схемы

Конструкторский расчет

Изменение температур теплоносителей для прямоточной схемы

Большее изменение температур имеет место для теплоносителя с меньшей расходной теплоемкостью!

Конструкторский расчет

Изменение температур теплоносителей
для противоточной схемы

Конструкторский расчет

Изменение температур теплоносителей
для противоточной схемы

Конструкторский расчет

Изменение температур теплоносителей для противоточной
схемы

Большее изменение температур имеет место для теплоносителя с меньшей расходной теплоемкостью!

Уравнение теплопередачи

В рекуперативных ТА теплота передаётся через стенку, разделяющую «горячий» и «холодный» «теплоносители»

Уравнение теплопередачи

- для элемента поверхности

- для всей поверхности

- площадь теплопередающей поверхности

где - средний коэффициент теплопередачи всей поверхности

- средний температурный напор

Определение среднего температурного напора аналитическим путем

Закон изменения температурного напора для прямоточной схемы

или
:



Температурный напор уменьшается вдоль поверхности теплообмена независимо от соотношения полных теплоемкостей по экспоненциальному закону.

Определение среднего температурного напора аналитическим путем

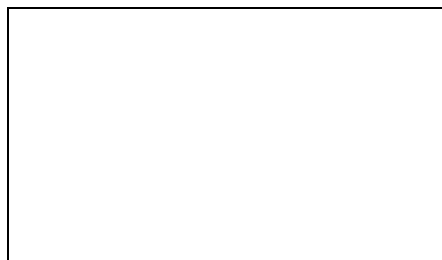
Закон изменения температурного напора для противоточной схемы

При $C1 < C2$ ($m > 0$) температурный напор **уменьшается** вдоль поверхности теплообмена по экспоненциальному закону.

При $C1 > C2$ ($m < 0$) температурный напор **увеличивается!** вдоль поверхности теплообмена по экспоненциальному закону.

Средний логарифмический температурный напор

При осреднении для всей
поверхности:



Для прямотока



Для
противотока