ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ

Государственного образовательного учреждения

высшего профессионального образования

«Братский государственный университет»

Специальность: 13.02.02 Теплоснабжение и теплотехническое оборудование

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1 и №2**

по курсу «Теоретические основы теплотехники и гидравлики»

и экзаменационные вопросы

для заочного отделения

###### Братск 2016

Рассмотрено на заседании кафедры Э и СД дисциплин

от 2016 г.

Одобрено и утверждено на заседании кафедры Э и СД

от 2016 г.

###### Составила (разработала) Тырина Н.М., преподаватель кафедры Э и СД

# **Контрольная работа № 1**

по разделу **«*Термодинамика*»**

**Тема:** Решение задач по термодинамическим процессам в газах.

**Цель работы:** Научиться применять основные термодинамические зависимости в различных процессах.

###### Теоретическое введение

Основными термодинамическими процессами являются:

1. процесс сообщения или отнятия теплоты при постоянном объеме газа  
   (υ = const) - изохорный процесс;
2. процесс сообщения или отнятия теплоты при постоянном давлении  
   (ρ = const) - изобарный процесс;
3. процесс сообщения или отнятия теплоты при постоянной температуре  
   (t = const) -изотермический процесс;
4. процесс сообщения или отнятия теплоты извне (dq = 0) - адиабатный  
   процесс;
5. процесс, к котором изменение параметров подчиняется уравнению

pυm = const

где:m - величина, постоянная для данного процесса, - политропный процесс.

Изохорный процесс

В диаграмме рυ этот процесс изображается прямой 1-2, параллельной оси ординат. Уравнение прямой 1- 2 (рис.1), называемой изохорой, υ = const.

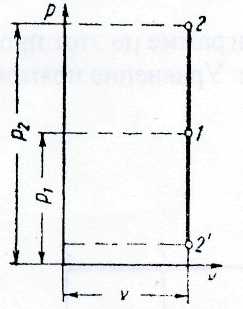


Рисунок 1. Уравнение прямой 1-2.

Зависимость между начальными и конечными параметрами процесса

 (1)

Изменение внутренней энергии

 (2)

Если в процессе участвует М кг или VH м3 газа, то количество теплоты или изменение внутренней энергии газа

 (3)

где: VH - количество газа в m3 при нормальных условиях.

Если количество теплоты необходимо подсчитать, пользуясь нелинейной зависимостью теплоемкости от температуры, то следует пользоваться формулой :

q υ = c υ m  t2 – с υ m1 t1, (4)

В изохорном процессе газ работы не совершает ( L = 0 ).

###### Пример расчета

1. В закрытом сосуде заключен газ при разряжении p1 = 6667 Па и температуре t1 = 70°С. Показание барометра - 101 325 Па. До какой температуры нужно охладить газ, чтобы разряжение стало р2 = 13 332Па?

Решение.

Так как процесс происходит при υ = const., то согласно формуле (1)



Изобарный процесс

В диаграмме рυ этот процесс изображается прямой 1-2, параллельной оси абсцисс. Уравнение прямой (рис. 2), называемой изобарой, р = соnst.

Зависимость между начальными и конечными параметрами процесса

 (5)

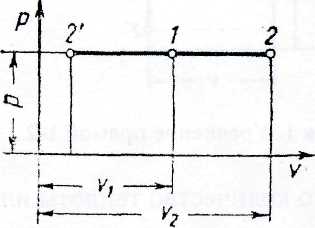


Рисунок 2. Уравнение прямой 1-2.

Работа 1 кг газа

ℓ = (υ2 – υ1), (6)

или ℓ = R (Т2 – Т1). (7)

Для М кг газа

L = Mp (υ 2 - υ1) = p (V2-Vi), (8)

или L = MR (t2 - t 1).

Если в процессе р = const учавствует М кг или VH м3 газа, то количество теплоты

Q = Mcpm (t2 – t 1) = VH c'pm (t2 – t1), (9)

где V н - количество газа в м при нормальных условиях.

Если количество теплоты необходимо подсчитать, пользуясь нелинейной зависимостью теплоемкости от температуры, то следует пользоваться формулой

q p = сpm2 t2 - сpml t1. (10)

Изменение внутренней энергии газа определяют по формуле (4).

**Пример расчета**

Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м3 воздуха при постоянном избыточном давлении р = 0,2 МПа от t1 =100°С до t2 = 500°C? Какую работу при этом совершит воздух?

Давление атмосферы принять равным 101 325 Па.

Решение.

Согласно уравнению (10):

q р = с pm2 t 2 - сpm1 t1.

Пользуясь таблицей (приложение), находим

срm1= 1,0061 кДж/кг (кг · К); срт2 = 1,0387 кДж/кг (кг · К);

Следовательно,

Qр = 1,0387 · 500 – 1,0061 · 100 = 418,7 кДж/кг.

Массу воздуха определяем из характеристического уравнения



Таким образом,

Qр = Мqр = 5,63 · 418,7 = 2357 кДж.

Количество теплоты можно получить не только по массе воздуха, но и по его объему. В этом случае уравнение (10) следует написать так:

Q р = с/ pm2 t 2 – с/ pm1 t1.

Пользуясь таблицей, получаем

с/ pm1 = (с/ pm) 100 = 1,3004 кДж (м3 · К);

с/ pm2 = (с/ pm) 100 = 1,3274 кДж (м3 · К);

Тогда

Qр = 1,3274 · 500 – 1,3004 · 100 = 541,4 кДж/м3 .

Объем воздуха должен быть приведен к нормальным условиям. Согласно уравнению

.

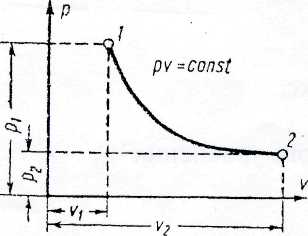


Таким образом Qр = qр Vн = 541,4 · 4,35 = 2356 кДж.

Работа газа по уравнению (9)

L = МR (t2 – t1) = 5,63 · 287 · 400 = 646,3 кДж.

###### Изотермический процесс



Кривая изотермического процесса, называемая изотермой, в диаграмме pυ изображается равнобокой гиперболой (рис.3). Уравнение изотермы в координатах pυ.

pυ = const.

Рисунок 3. Уравнение изотермы в координатах рυ.

Зависимость между начальными и конечными параметрами определяется формулами:

 (11)

 (12)

Работу 1 кг идеального газа находят из уравнений:

 (13)

 (14)

 (15)

 (16)

Если в процессе участвуют М кг газа, то полученные из формул (13) – (16) значения нужно увеличить в М раз. Можно также для этого случая в формулах (15) и (16) заменить удельный объем υ полным объемом V. Тогда получим

 (17)

 (18)

Так как в изотермическом процессе t = соnst, то для идеального газа

Δt = сυm (t2 – t1) = 0.

Количество теплоты, сообщаемой газу или отнимаемой от него,

q t = ℓ (19)

или

Q t = L (20)

Натуральный логарифм, входящий в формулы, может быть десятичным по соотношению

ℓgN = 2,03 ℓgN.

###### Пример расчета

1 кг воздуха при температуре t1 = 30 ˚С и начальном давлении р1 0,1 Мпа сжимается изотермически до конечного давления р2 = 1 Мпа.

Определить конечный объем, затрачиваемую работу и количество теплоты, отводимой от газа.

Решение.

Найдем начальный объем воздуха из уравнения состояния:



Так как в изотермическом процессе

р1υ1 = р2υ2,

то конечный объем



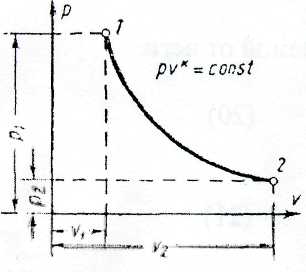
Работа, затрачиваемая на сжатие 1 кг воздуха, получается из уравнения (14):



Количество теплоты, отводимой от газа, равно работе, затраченной на сжатие. Следовательно,

Q = -200 кДж/кг.

**Адиабатный процесс**



Уравнение адиабаты в системе координат рυ (рис.4) при постоянной теплоемкости (cu=const) для идеального газа

рυ k = const,

где  - показатель адиабаты.

Рисунок 4. Уравнение адиабаты в системе координат pv.

Зависимости между начальными и конечными параметрами процесса:

между р и υ  (21)

между Т и υ , (22)

между р и Т  (23)

Работу 1 кг газа находят по следующим формулам:

 (24)

 (25)

 (26)

 (27)

Для определения работы М кг газа нужно в формулах (24), (25) и (27) заменить удельный объем υ и общим объемом V газа. Тогда получим:

 (28)

 (29)

 (30)

Формула (26) для М кг газа примет следующий вид:

 (31)

Уравнение первого закона для адиабатного процесса имеет вид:

Q = d u + d ℓ.

следовательно,

d u = - d ℓ.

или

∆ u = - ℓ, (32),

т.е. *изменение внутренней энергии газа и работа адиабатного процесса равны по величине и противоположны по знаку.*

Изменение внутренней энергии идеального газа в адиабатном процессе может быть также выражено уравнением

∆ u = сυm (t 2 – t 1). (33)

###### Пример расчета

1 кг воздуха при начальной температуре t 1 = 30°С и давлении p1 = 0,1 МПа сжимается адиабатно до конечного давления р2 = 1 МПа.

Определить конечный объем, конечную температуру и затрачиваемую работу.

Решение

Из соотношения параметров в адиабатном процессе по уравнению (23) находим



откуда



Принимаем k = 1,4, получаем







N = 1,931.

Т2 = 303 · 1,931 = 585 К; t2 = 312˚С.

Значение величины  можно взять из таблицы. Как видно из этой

таблицы, для адиабатного сжатия при



Затраченная работа по уравнению (26)



Конечный объем определяется из уравнения состояния



Тема**: Термодинамические процессы состояния водяного пара**

Цель: Закрепить умение работать с hS диаграммой водяного пара

Теоретическое введение

Получить водяной пар можно двумя способами: испарением и кипением.

Испарением называется процесс образования пара из воды, происходящей только со свободной поверхности.

Кипением называется процесс образования водяного пара во всем объемежидкости.

Существует два вида кипения: пузырьковое и пленочное. Температура, при которой начинается процесс кипения, называется температурой кипения или температурой насыщения. Температура кипения при данном давлении остается постоянной, пока вся жидкость не превратится в пар. Пар, образующийся над поверхностью кипящей жидкости, называется насыщенным паром

Насыщенный пар может быть сухим и влажным. Сухим насыщенным паром называется такой пар, который, находясь над поверхностью кипящей жидкости, не содержит взвешенных капелек жидкости. Влажным насыщенным паром называется механическая смесь сухого насыщенного пара икипящей жидкости. Перегретым паром называется пар, имеющий болеевысокую температуру при данном давлении, чем сухой насыщенный пар.

Процесс обратный парообразованию называется процессом конденсации.

Диаграмма hS

Диаграмма hS имеет много ценных свойств: она позволяет быстро

определять параметры пара с достаточной для технических расчетов точ- ностью, дает возможность определять энтальпию водяного пара и разности

энтальпий в виде отрезков, чрезвычайно наглядно изображает адиабатный

процесс, имеющий большое значение при изучении паровых двигателей, и,

наконец, позволяет быстро, наглядно и достаточно точно решать различные практические задачи.

1. Изохорный процесс

Так как при *v* = constработа пара равна 0, то вся сообщаемая пару теплота расходуется на увеличение (уменьшение) его внутренней энергии, и,

следовательно:

q*v*= u2 – u1 , (9)

гдеu – внутренняя энергия, кДж/кг

u = h – P*v*, (10)

гдеh – энтальпия пара, кДж/кг

P – давление, Па

*v* – удельный объём, м3/кг

**h**

***v***

**t2**

**2**

**x = 1**

**1**

**x1**

**S**

Рисунок 5. Изохорный процесс в hsдиаграмме

2. Изобарный процесс

Количество теплоты, участвующей в данном процессе, кДж/кг

qр= h2– h1 (11)

Работа в данном процессе, кДж/кг

ℓ = P ( *v*2– *v*1) (12)

Изменение внутренней энергии

∆u = u2 – u1 (13)

**h**

**P**

**t2**

**2**

**x = 1**

**x1**

**1**

**S**

Рисунок 6 - Изобарный процесс в hsдиаграмме

3. Изотермический процесс

В области влажного пара изотермический процесс одновременно является изобарным.

Количество теплоты, участвующей в изобарном процессе

q = T ( S2 - S1 ) (14)

Работа пара находится из первого закона термодинамики

q = ∆u + ℓ, откуда

ℓ = q - ∆u = T ( S2 - S1 ) – (u2 – u1 ) (15)

**h**

**S**

**1**

**2**

**t**

**x1**

**x = 1**

Рисунок 7 - Изотермический процесс в hsдиаграмме

4. Адиабатный процесс

С достаточной точностью можно принять для водяного пара зависимостьP*v*k = const

Для сухого насыщенного пара

k = 1,135

Для влажного пара

k = 1,035 + 0,1 х

Для перегретого пара

k = 1,3

**h**

**t**

**1**

**x = 1**

**x1**

**2**

**S**

Рисунок 8 - Адиабатный процесс в hsдиаграмме

**Пример расчета к задаче № 2**

1кг водяного пара с начальным давлением P1 = 0,3мПа и степенью сухости х=0,92 изотермически расширяется; при этом к нему подводится теплота q =560 кДж/кг. Определить, пользуясь hS диаграммой, параметры конечного состояния пара, работу расширения, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии.

Решить также задачу, если расширение происходит изобарно

( P = const )

Изобразить процессы в P*v*, TSи hS диаграммах.

**Решение:**

1. T = const – изотермический процесс

1 кг. пара расширяется изотермически от начальных параметров:

P1 = 0,3мПа

х1= 0,92

q = 560 кДж/кг

**2**

**h**

**S**

**1**

**t = const**

**x1 = 0,92**

**x = 1**

**P1**

**P2**

Рисунок 9 – изотермический процесс

P – давление, Па

h – энтальпия, кДж/кг

S– энтропия, кДж/кг ∙ 0К

*v*– удельный объем, м3/кг

t – абсолютная температура, 0C

**x1**– степень сухости

В точке 1 по hS диаграмме определяем:

P1 = 0,3 мПа

h1 = 2539кДж/кг

S1 = 6,57 кДж/кг ∙ 0К

*v*1 = 0,59 м3/кг

t1 = 1300C = 130 + 273 = 4030К

Находим энтропию 2 точки:

( S2 - S1 ) = q / T = 560 / 403 = 1,38кДж/кг ∙ 0К

S2 = 1,38 + 6,57 = 7,95 кДж/кг ∙ 0К

В точке 2 по hS диаграмме определяем:

P2 = 0,04 мПа

*v*2=4,8 м3/кг

h2 = 2740 кДж/кг

∆u = 0

ℓ = q =>560 кДж/кг

1. P = const – изобарный процесс

1 кг пара расширяется изобарно, имея начальные параметры:

**S**

**2**

**h**

**1**

**x1 = 0,92**

**x = 1**

**P=const**

**t2**

**t1**

Рисунок 9 – изобарный процесс

P – давление, Па

h – энтальпия, кДж/кг

S– энтропия, кДж/кг ∙ 0К

*v*– удельный объем, м3/кг

t – абсолютная температура, 0C

**x1**– степень сухости

В точке 1 по hS диаграмме определяем:

P1 = 0,3мПа

h1 = 2539кДж/кг

S1 = 6,57 кДж/кг ∙ 0К

*v*1 = 0,59 м3/кг

t1 = 1300C

Находим энтальпию 2 точки:

qр= h2– h1

h2= qр+ h1

h2= 560 + 2539 = 3099кДж/кг

В точке 2 по hS диаграмме определяем:

S2 = 7,23кДж/кг ∙ 0К

*v*2 = 1,09 м3/кг

t2 = 3250C

ℓ = P ( *v*2– *v*1)

ℓ = 0,3 ∙ ( 1,09 – 0,59) = 0,15 мДж/кг

## Задания для контрольной работы № 1

## Вариант 1

1. Сосуд объемом 0,01 м3 заполнен кислородом при давлении Р1 = 12 МПа. Определить конечное давление кислорода и количество сообщенной ему теплоты, если начальная температура кислорода t1 = 10˚С, а конечная t2= 35˚С. Теплоемкость кислорода считать зависящей от температуры. Изобразить процесс в Рv и Тs координатах.
2. Перегретый пар давлением Р1 = 3 МПа и t1 = 350˚С адиабатно расширяется до Р2 = 0,2 МПа. Определить v1, h1, t2, v2, х 2, ℓ, ∆U. Изобразить процесс в h,s диаграмме.
3. Сформулируйте закон Менделеева – Клайперона.
4. Как определить теплоемкость газовой смеси?
5. Изобразить h,s в координатах процесс параообразования с пояснением областей и характерных точек.
6. Где применяется сопло Лаваля?
7. Изобразить цикл паровой компрессорной холодильной установки, дайте ее описание.

### Вариант 2

1. В закрытом сосуде емкостью V = 0,5 м3, содержится двуокись углерода при Р1 = 0,7 МПа и t1 = 527˚С.

Как изменится давление газа, если от него отнять 450 кДж? Принять зависимость

с = f (t) нелинейной. Изобразить процесс в Р,v и Тs координатах.

2. Перегретый пар давлением Р1 = 5 МПа и t1 = 400˚С адиабатно расширяется, превращаясь во влажный пар с х2 = 0,95. Определитьv1, h1, t2, v2, Р2, ℓ, ∆U. Изобразить процесс в h,s диаграмме.

3. Как определяется газовая постоянная смеси?

4. Почему теплоемкость при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме? Какая между ними существует зависимость?

5. Изобразите основные термодинамические процессы водяного пара в h,s координатах.

6. Какой процесс называется процессом дросселирования?

1. Изобразите цикл воздушной холодильной установки и дайте ее описание.

#### Вариант 3

1. 2 м3 воздуха с начальной температурой t1 = 20˚С расширяется при постоянном давлении до 3м3 в следствии сообщенной газу 900 кДж теплоты. Определить конечную температуру, давление газа в процессе и работу расширения. Принять зависимость с = f (t) нелинейной.

Изобразить процесс РS и Тs в координатах.

2. Пар из котла с параметрами Р1 = 2 МПа и х1 = 0,96 поступает в пароперегреватель при Р = соnst. Температура пара повышается до t2 = 520˚С.

Определить начальное и конечные параметры q, ℓ, ∆U.

Изобразить процесс РS и Тs в координатах.

3. Каким способом можно задать газовую смесь?

4. Какие существуют виды теплоемкости? Что такое теплоемкость?

5. Изобразите основные термодинамические процессы водяного пара в Тs координатах.

6. Изобразите схему цикла Ренкина, поясните рисунок.

1. Изобразите теоретическую индикаторную диаграмму многоступенчатого компрессора. Поясните рисунок.

##### Вариант 4

1. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания находится воздух, при температуре 400˚С. Вследствие подвода теплоты конечный объем воздуха увеличился в 2,3 раза. В процессе расширения воздуха давление в цилиндре практически оставалось постоянным. Найти конечную температуру воздуха и удельные количества теплоты и работы, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной. Изобразить процесс в Рv, и Тs координатах.

2. Влажный пар с параметрами Р1 = 5 МПа и х = 0,93 поступает в пароперегреватель при Р = соnst, где он нагревается до t2 = 450˚С. Определить начальные и конечные параметры q, ℓ, ∆U. Изобразить процесс в h, s диаграмме.

3. Сформулируйте закон Дальтона.

4. Сформулируйте I закон термодинамики, его аналитическое выражение.

5. Изобразите основные процессы водяного пара в РV координатах.

6. Начертите цикл Ренкина в РV координатах, поясните характерные точки. Как определяется термический КПД цикла?

7. Изобразите термическую индикаторную диаграмму поршневого компрессора. Поясните рисунок.

**Вариант 5**

1. Для осуществления изотермического сжатия 0,8 кг воздуха при Р1 = 0,1 МПа и t1 = 25˚С затрачена работа в 100 кДж. Найти давление Р2 сжатого воздуха и количество теплоты, которое необходимо при этом отвести от газа. Изобразить процесс в Р, v и Тs координатах.
2. Начальное состояние пара характеризуется параметрами Р1 = 1 МПа и х = 0,85.

Какое количество тепла необходимо подвести к пару при постоянном объеме, чтобы температура возросла до t2 = 300˚С. Определить начальное и конечные параметры. Изобразить процесс в h , s координатах.

1. Что называется универсальной газовой постоянной?
2. Как графически изображается термодинамический процесс в Рv координатах и как на этой диаграмме изображается работа газа?
3. Изобразить в Тs координатах процесс парообразования с пояснением основных областей и характерных точек.
4. Назовите способы повышения термического кпд цикла Ренкина.
5. Изобразите схему газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном объеме и дайте ее описание, а также теоретический цикл в Рv координатах.

**Вариант 6**

1. Воздух при давлении Р1 = 0,1 МПа и температуре t1 = 27˚С сжимается в компрессоре до Р2 = 3,5 МПа. Определить величину работы L, затраченной на сжатие 100кг воздуха, если воздух сжимается изотермически. Изобразить процесс в Рv. и Тs координатах.
2. Влажный пар с параметрами Р1 = 3Мпа и х1 = 0,9 необходимо нагреть до t2 = 400˚С. Какое количество тепла при этом необходимо подвести к пару, если процесс протекает при v = соnst? Определить начальные и конечные параметры. Изобразить процесс в h, s диаграмме.
3. Сформулируйте закон Авогадро.
4. Как определяется количество теплоты для 1 кг газа и для М кг газа?
5. Изобразить в Рv координатах процесс парообразования с пояснением основных областей и характерных точек.
6. Изобразите цикл Ренкина в Тs координатах с пояснениями.

7. Изобразите схему газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении и дайте ее описание, а также теоретический цикл в Рv координатах.

**Вариант 7**

1. 1 кг воздуха при температуре t1 = 15˚С и начальном давлении Р1 = 0,1 МПа адиабатно сжимается до 0,8 МПа. Найти работу, конечный объем и конечную температуру. Изобразить процесс в РV и ТS координатах.
2. 1 кг пара с начальными параметрами Р1 = 1,2 МПа и х1 = 0,95 изотермически расширяется до Р2 = 0,01 МПа. Определить начальные и конечные параметры q,ℓ, ∆U. Изобразить процесс в h,s диаграмме.
3. Сформулируйте закон Гей-Люссака.
4. Какой процесс называется изохорным, его характеристики, связь между параметрами, количество тепла, работа, графическое изображение в Рv и Тs координатах.
5. В чем состоит сущность II закона термодинамики?
6. Изобразить цикл ПСУ с вторичным перегревом пара. Каково назначение вторичного перегрева?
7. Изобразить Рv и Тs в координатах теоретический цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном давлении. Запишите основные характеристики цикла.

Вариант 8

1. 1 кг воздуха занимающий объем V1 = 0,09 м3/кг при Р1 = 1,1 МПа расширяется до 10-кратного объема. Получить конечное давление и работу, совершенную воздухом, в изотермическом и адиабатном процессах. Изобразить процессы в Рv и Тs координатах.
2. 1 кг пара с начальными параметрами Р1 = 5 МПа и х1 = 0,9 изотермически расширяется до Р2 = 0,01 МПа. Определить параметры в начале и конце процесс а также q,ℓ, ∆U. Изобразить процесс в h,s координатах.
3. Сформулируйте закон Бойля-Мариотта.
4. Какой процесс называется изобарным, его характеристики, связь между параметрами, количество тепла, работа, графическое изображение в Рv и Тs координатах.
5. В чем сущность обратного цикла Карно и как определяется его термический КПД?
6. Каково назначение теплофикационного цикла в паросиловых установках?
7. Изобразить h, d диаграмму влажного воздуха, пояснить рисунок.

##### Вариант 9

1. Воздух в количестве 3 м3 от Р1 = 0,5 Мпа и t1 = 45˚С до Р2 = 0,15 МПа. Объем занимаемой при этом воздухом, становится равным 10 м3. Найти показатель политропы, конечную температуру, полученную работу и количество отведенной теплоты. Изобразить процесс в Р,v и Тs координатах.
2. Пар из котла при абсолютном давлении Р1 = 2 МПа и х1 = 0,95 поступает в пароперегреватель, в котором ему сообщается дополнительное тепло при неизменном давлении. Температура пара повышается до t2 = 500˚С. Определить параметры в начале и в конце процесса, а также q, ℓ, ∆U. Изобразить процесс в h,s координатах.
3. В чем отличие идеального от реального газа?
4. Какой процесс называется адиабатным, его характеристики, связь между параметрами, количество тепла, работа, графическое изображение в Рv и Тs координатах.
5. В чем сущность прямого цикла Карно и как определяется его термический КПД?
6. Каково назначение регенеративного цикла в паросиловых установках?
7. Каковы основные характеристики влажного воздуха?

Вариант 10

1. 1 кг воздуха при Р1 = 0,6 МПа и t1 = 100˚С расширяется политропно до давления Р2 = 0,2 МПа. Определить конечное состояние воздуха, изменение внутренней энергии, количество подведенной теплоты и полученную работу, если показатель политропы n = 1,1. Изобразить процесс в Р,v и Тs координатах.
2. Пар с параметрами Р1 = 1 МПа и х1 = 0,9 поступает в пароперегреватель при Р = соnst. Температура пара повышается до t2 = 300˚С. Определить параметры в начале и в конце процесса по h,s диаграмме. Изобразить процесс в h,s координатах.
3. Назовите основные и дополнительные параметры состояния рабочего тела и единицы измерения.
4. Какой процесс называется изотермическим, его характеристики, связь между параметрами, графическое изображение в Рv и Тs координатах.
5. Что такое круговой процесс и как определяется его термический КПД?
6. Как определяется термический КПД цикла Ренкина? Удельный расход пара и теплоты, располагаемый теплоперепад, относительный и абсолютный внутренний К.П.Д. Изобразить РV и ТS координатах теоретический цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме. Запишите его основные характеристики. Как определяется q1, q2, ℓо, ηt ?

# **Вопросы к экзамену**

раздел **«*Термодинамика*»**

1. Давление, температура, удельный объем, удельный вес, плотность, единицы измерения.
2. Понятие реального и идеального газа.
3. Основные законы идеального газа.
4. Понятие о газовой смеси, способы задания состава смеси.
5. Парциальные величины, закон Дальтона.
6. Понятие о теплоемкости, виды.
7. Зависимость теплоемкости от процесса.
8. Теплоемкость газовой смеси.
9. Первый закон термодинамики, значение закона, энтальпия.
10. Термодинамические процессы в газах, их исследование, изображение в РV и ТS диаграммах.
11. Прямой цикл Карно, термический КПД.
12. Обратный цикл Карно, холодильный коэффициент.
13. Второй закон термодинамики, энтальпия.
14. Свойства реальных газов. Уравнение Ван-Дер-Ваальса.
15. Основные определения водяного пара, процесс парообразования РV,ТS, НS диаграмме.
16. Термодинамические процессы парообразования в РV,ТS, НS диаграммах.
17. Истечение суживающихся сопел, сопло Лаваля, диффузор.
18. Сущность процесса дросселирования, процесс дросселирования водяного пара в НS диаграмме.
19. Назначение и принцип работы поршневого компрессора, теоретическая индикаторная диаграмма. Принцип работы многоступенчатого компрессора, Рv диаграмма работы компрессора.
20. Принцип работы ДВС – карбюраторы, дизели.
21. Идеальный цикл ДВС с подводом тепла при Р = соnst, со смешанным подводом тепла, термический КПД циклов.
22. Принципиальная схема ГТУ, термический КПД, способы повышения КПД.
23. Принципиальная схема ПСУ.
24. Теоретический цикл Ренкина.
25. ПСУ с промежуточным перегревом, РV,ТS диаграмма.
26. Регенеративный цикл ПСУ.
27. Теплофикационный ПСУ.

**Тема**:Определение коэффициента теплоотдачи при свободном и

вынужденном движении.

Цель работы: Правильно определять виды движения, порядок выполнения при свободном и вынужденном движении.

**Теоретическое введение**

Если тело А передало каким – либо образом телу В некоторое количество тепла Q, то говорят, что между этими телами произошел **теплообмен.**

Различают два принципиально отличных друг от друга вида теплообмена. Один из них связан с преобразованием энергии: это – теплообмен излучением или радиацией. В этом случае тепловая энергия, теряемая теплом А, превращается в лучистую энергию, распространяющиеся лучи достигают тела В, и здесь происходит полное или частичное преобразование лучистой энергии в тепловую, которая и воспринимается телом В. Другой вид теплообмена заключается в том, что передача тепла от одного тела к другому происходит путем соприкосновения:

а) переход тепла от горячего теплоносителя к поверхности стенки и от горячей стенки к холодному теплоносителю называется **теплоотдачей.**

б) распространение тепла внутри одного и того же тела называется **теплопроводностью.**

Частным случаем теплоотдачи является **конвекция**, если теплообмен происходит в газовой среде. К основным факторам, определяющим количество тепла, передаваемого в конвективном теплообмене, относятся:

1. причина возникновения движения жидкости;

2. форма и размеры поверхности, участвующей в конвективном теплообмене.

В зависимости от причины, вызывающей движение жидкости, различают два рода движения: свободное и вынужденное.

**Свободное движение** (естественное) возникает в следствии разности плотностей нагретых и холодных частиц жидкости, что вызывает появление так называемой подъемной силы.

**Вынужденное движение**возникает под влиянием силового воздействия на жидкость извне – насосом, вентилятором и др. Различают два режима движения: ламинарный и турбулентный.

При **ламинарном** движении отдельные слои жидкости перемещаются параллельно друг другу, перемешиваясь.

При **турбулентном**, наоборот, частицы жидкости хаотически перемещаются в различных направлениях, в том числе перпендикулярно основному потоку, что приводит к интенсивному перемешиванию. Сложность процесса движения жидкости около стенок и проистекающая отсюда сложность явления теплоотдачи приводит к тому, что задача о нахождении коэффициента α теоретическим путем точно может быть решена только для немногих простейших случаев.

Методика постановки опытов для решения вопросов, связанных с явлениями теплообмена и сопротивлений при движении жидкостей, устанавливается **теорией подобия**, которая позволяет, с одной стороны, уменьшить число исследуемых факторов, а с другой – производить опыты не на самих аппаратах, часто очень громоздких и дорогих, а на моделях, т. е. на устройствах, удобных для экспериментирования и дешевых.

Согласно теории подобия нет необходимости выяснять зависимость коэффициента теплоотдачи от каждого в отдельности из тех факторов, которые на него влияют. В настоящее время тепловые потоки в конвективном теплообмене по закону Ньютона – Рихмана:

Q = α ∙ (tст– tж ) ∙ F , Вт (16)

или q = α ∙ (tст– tж ) ,

где α –коэффициент теплоотдачи, Вт/м2 0С;

  tст – температура стенки, о С;

tж – средняя температура жидкости, о С;

F – площадь поверхности нагрева, м2 .

**Критерии подобия**

1. Критерий Нуссельта:

, (17)

где – определяющий размер, м;



– коэффициент теплопроводности жидкости.

2.Критерий Рейнольдса:

где – скорость движения теплоносителя, м/c;



– кинематический коэффициент вязкости;



– динамический коэффициент вязкости;

– плотность жидкости.

Если Re> 2320 –режим движения турбулентный,

Re< 2320 – режим движения ламинарный.

1. Критерий Прандтля:

гдеg – ускорение свободного падения.

1. Критерий Грасгофа:

,

где - разность температур между жидкостью и стенкой, о С;

- коэффициент объемного расширения, о К-1.

5. Критерий Пекле:

Pe = Re ∙ Pr

Таблица 5 - Зависимость Gr ∙ Pr от C и m

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Расположение  поверхностей | Gr ∙ Pr | С | n |
| Вертикальная | 103 - 109 | 0.75 | 0.25 |
| Вертикальная | > 6 ∙ 1010 | 0.15 | 1/3 |
| Горизонтальная | 103 – 109 | 0.5 | 0.25 |

**Пример расчета**

Определить коэффициент теплоотдачи, плотность теплового потока и тепловой поток, если заданный теплоноситель дымовой газ движется по горизонтальной трубе. d = 400 мм, длина трубы ℓ = 5м, скорость теплоносителя = 5 м/с, температура теплоносителя tж = 400 оС, температура стенки tст = 160 оС.

Расчет произвести для:

а) свободного движения;

б) вынужденного движения.

1) Решение задачи при вынужденном движении

Дано:

Дымовой газ

d = 400 мм = 0,4м

ℓ = 5м

= 5 м/с

tж = 400 оС

tст = 160 оС

Вычислим число Re:

где – скорость движения теплоносителя, м/c



– кинематический коэффициент вязкости, м2/c



– диаметр, м

Re> 2320 – следовательно, режим движения – турбулентный .

Число Нуссельта при турбулентном режиме движения определим по формуле М.А. Михеева:

где - коэффициент для учета влияния начального участка трубы. Он зависит от соотношения ℓ/d, - берем из таблицы.

Значения Prж и Prст – берем из таблицы физических свойств дымовых газов.

Prж = 0,64 при tж = 400 оС

при tст = 160 оС

Найдем коэффициент теплоотдачи:

где - коэффициент теплопроводности дымовых газов;

где – коэффициент теплоотдачи ,

– температура теплоносителя, оС

–температура стенки, оС

Найдем тепловой поток:

где F – площадь поверхности нагрева, м2

2) Решение задачи при свободном движении

Дано:

Дымовой газ

d = 400 мм = 0,4м

ℓ = 5м

tж = 400 оС

tст = 160 оС

Расчетная зависимость для среднего коэффициента теплоотдачи при свободном движении жидкости:

Найдем критерий Грасгофа:

где g – ускорение свободного падения;

– коэффициент объемного расширения, 1/ оК;

– кинематический коэффициент вязкости, м2/с;

– изменение температур между стенкой и средой, оС.

Так как у нас дымовой газ, то коэффициент объемного расширения находится по формуле:

Коэффициент С и показатель степени n зависит от величины Gr ∙ Pr и конфигурации поверхности тела.

10 3 – 10 9 С таблицы 1. берем значения С = 0,5 и n = 0,25

Найдем коэффициент теплоотдачи:

Найдем тепловой поток

где F – площадь поверхности нагрева, м2

# **Контрольная работа № 2**

по разделу **«*Теплопередача* »**

## Вариант 1

1. Определить коэффициент теплопроводности кирпичной стенки печи толщиной 380 мм, если температура внутренней поверхности стенки 300˚С и наружной 60˚С потери теплоты через стенку q = 190 Вт/м2.
2. Определить плотность тепловодопотока от горячей воды, которая движется со скоростью ω = 1,8 м/сек, к стенке трубы d = 36 мм (труба вертикальная), tст = 70˚С, tв = 140˚С.
3. Что такое свободное и вынужденное движение?
4. Закон Стефана – Вольцмана для абсолютно черного тела и для серого тела.
5. Что представляют собой теплообменные аппараты?
6. Что такое температурное поле?

**Вариант 2**

1. Определить удельный тепловой поток через бетонную стенку толщиной 300 мм, если температуры на внутренней и наружной стенках равны tвн =15˚С,

tн = - 15˚С. Коэффициент теплопроводности равен λ = 1 Вт/м˚К.

1. Вертикальная труба с наружным диаметром d = 50 мм смывается воздухом, который движется со скоростью ω = 1,2 м/сек. Температура трубы t = 300˚С, температура воздуха tж = 30˚С. Определить коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока.
2. Запишите формулу для определения теплового потока через цилиндрическую однослойную стенку. Какой физический смысл коэффициента теплопроводности?
3. Что такое коэффициент теплоотдачи, физический смысл, единицы измерения?
4. Как происходит изменение температур рабочего тела по ходу в теплообменном аппарате с противотоком? Как определяется температурный напор?
5. В каких теплообменных аппаратах теплообмен осуществляется через стенку? Схема.

**Вариант 3**

1. Определить необходимую толщину изоляции, если допустимые температуры ее поверхностей t1 = 350˚С, t2 = 50˚С, а удельный тепловой поток через изоляцию не должен превосходить 450 Вт/м. Коэффициент теплопроводности изоляции λ = 0,12 Вт/м˚К стенка плоская.
2. Определить тепловой поток от вертикальной пластины высотой 3,5 м и шириной 2 м, находящейся в неподвижной воде с температурой tж = 30˚С, температура пластин tст = 100˚С.
3. Запишите закон Фурье для плоской многослойной стенки, что представляет собой термическое сопротивление теплопроводности?
4. Запишите основное уравнение теплопередачи через плоскую однослойную стенку. В чем заключается физический смысл коэффициента теплопередачи?
5. Чем отличаются противоточная схема движения теплоносителя от прямоточной?
6. Объясните с точки зрения теплопередачи, почему комната нагреется быстрее, если увеличить количество нагревательных приборов?

**Вариант 4**

1. Определить температуру на границах слоев трехслойной изоляции трубы. Наружный диаметр трубы равен 245 мм, толщина слоев δ1 = 80 мм, δ2 = 50 мм,

δ3 = 30 мм. Коэффициент теплопроводности изоляционных материалов λ1 = 0,03Вт/м˚К, λ2 =0,06 Вт/м˚К, λ3 =0,12 Вт/м˚К температура на поверхности трубы 250˚С и наружной поверхности изоляции 65˚С.

2. Горизонтальная труба с наружным диаметром 70 мм обтекается нисходящим потоком воздуха со скоростью 2 м/сек. Температура воздуха 20˚С. Определить коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока.

3. Как определяется тепловой поток через цилиндрическую многослойную стенку? 4. Что такое термическое сопротивление теплопроводности?

4. Что представляет собой степень черноты?

5. Как происходит изменение рабочих тел по ходу в теплообменном аппарате с параллельным током? Как определяется температурный напор?

6. В теплообменнике теплоноситель – вода передает свое тепло через стенку воздуху. Какой способ передачи тепла здесь присутствует? Дать определение.

**Вариант 5**

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали 450 Вт/м. Температура поверхности под изоляцией tс1 = 450˚С, температура внешней поверхности изоляции tс2 = 50˚С. Определить толщину изоляции, если изоляция выполнена из совелита, для которого λ = 0,09 + 0,0000874 t.
2. Пластина обтекается поперечно водой (tж = 20˚С). Температура пластины tст = 80˚С. Длина пластины 2 м. Определить коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока от пластины к воде.
3. Запишите закон Фурье для плоской однослойной стенки. Что представляет собой коэффициент теплопроводности?
4. Запишите основное уравнение теплопередачи, если тепловой поток направлен через многослойную плоскую стенку. Что такое термическое сопротивление теплопередачи?
5. Чем отличаются теплопроводность от теплопередачи?
6. Где быстрее закипит вода: в стальной кастрюле или в керамической (начальные параметры одинаковы)?

**Вариант 6**

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали 450 Вт/м. Температура поверхности под изоляцией tс1 = 400˚С, температура внешней поверхности изоляции tс2 = 45˚С. Определить толщину изоляции, если изоляция выполнена из асботермита, для которого λ = 0,109 + 0,000146 t.
2. Пластина обтекается продольно воздухом (tж = 20˚С). Температура пластины tст = 140˚С. Длина пластины = 3 м. Определить коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока от пластины к воздуху.
3. Перечислите основные виды передачи тепла и дайте их определения.
4. В каком порядке осуществляется расчет конвективного теплообменника, если движение вынужденное?
5. Объясните с точки зрения теплопередачи, - почему пароперегреватели, расположенные в топке котла, называются радиационными, а в газоходе – конвективными?
6. Чем отличается температурный напор при противотоке от температурного напора при прямотоке?

**Вариант 7**

1. Стена сушильной камеры выполнена из слоя красного кирпича толщиной 250 мм и слоя строительного войлока. Температура на внешней поверхности кирпичного слоя tс1 = 110˚С и на внешней поверхности войлочного слоя tс3 = 25˚С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича λ1 = 0,7 Вт/м˚К и строительного войлока λ2 =

0,046 Вт/м˚К. Вычислить температуру в плоскости соприкосновения слоев и толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через 1 м2 стены камеры не

превышают q = 110 Вт/м2.

2. Определить плотность теплового потока и коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции от дымовых газов (tдг = 400˚С) к поверхности труб пароперегревателя d = 40 мм, температура стенки пароперегревателя tст = 250˚С.

3. Каково назначение теории подобия, область применения?

4. Что называется абсолютно белым, абсолютно черным, абсолютно прозрачными телами?

5. Приведите основную классификацию теплообменных аппаратов по принципам действия.

1. От чего зависит коэффициент теплопроводности?

**Вариант 8**

1. Определить тепловой поток и плотность теплового потока, проходящего через стальную пластину толщиной 50 мм, имеющую размеры 2 х 2 м, температура tс1 = 350˚С, tс2 = 250˚С, λ = 45 Вт/м˚К.

2. Определить плотность теплового потока от пара ( ω = 1 м/сек) к поверхности стенки теплообменника диаметром 1 м, если температура пара tж= 280˚С, температура стенки t = 150˚С.

3. Что такое ламинарный и турбулентный вид движения?

4. Закон Планка.

5. Что представляет собой рекуперативные теплообменные аппараты?

1. Докажите, критерии Nu и Rе являются безразмерными величинами.

**Вариант 9**

1. Плоская стенка бака площадью 5 м2 покрыта двухслойной тепловой изоляцией. Cтенка бака стальная, толщиной δ1 = 8 мм, с коэффициентом λ = 46,5 Вт/м˚С.

Первый слой изоляции выполнен из новоазбозурита толщиной δ2 = 50 мм,

коэффициент теплопроводности которого определяется уравнением λ2 = 0,144 + 0,00014t. Второй слой изоляции толщиной δ3 = 10 мм представляет собой штукатурку (λ 3= 0,698 Вт/м˚С).Температуры внутренней поверхности бака tс1 = 250˚С и внешней поверхности изоляции tс2 = 50˚С, вычислить количество теплоты, передаваемой через стенку и температуры на границе слоев изоляции.

2. Определить тепловые потери конвекций от стены сушильной камеры, расположенной внутри сушильного цеха. Средняя температура поверхности стены tст = 300˚С, температура воздуха в цехе tж = 20˚С, высота стены h = 2 м, ширина b = 6 м.

3. Запишите закон Ньютона – Рихмана. Какой вид передачи тепла он описывает? Дайте определение этого вида передачи тепла.

4. Закон Вина.

5. Что представляют собой теплообменные аппараты смешанного типа?

6.Что называется установившемся и неустановившемся движением?

**Вариант 10**

1. Определить термическое сопротивление теплопроводности и количество тепла, проходящее через кирпичную стенку толщиной 40 см (λкирп = 0,85 Вт/м˚К), покрытую слоем штукатурки толщиной 20 мм (λштук = 0,7 Вт/м˚К), если температура внутренней поверхности стенки 18˚С, наружной 20˚С, площадь стены 15 м2. Определить также температуру на границе слоев.
2. Горизонтальная труба с наружным диаметром d = 80 мм обтекается восходящим потоком воздуха. Температура трубы tст = 200˚С по поверхности не изменяется. Температура воздуха tж = 30˚С. Определить плотность теплового потока от трубы к воздуху и коэффициент теплоотдачи.
3. Как определяются критерии Nu, Рг, Gг, Ре? Какие величины входят в эти критерии?
4. Что такое сложный теплообмен?
5. Чем отличается теплоотдача от теплопередачи?
6. Почему мясо на медленном огне варится быстрее, чем на быстром?

# **Вопросы к экзамену**

по разделу **«*теплопередача*»**

1. Значение теплопередачи в технике. Эффективность использования продукции ТЭЦ и котельных.
2. Основные способы передачи тепла (определения)
3. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его зависимость от различных факторов.
4. Тепловой поток через плоскую многослойную стенку, термическое сопротивление, теплопроводность.
5. Тепловой поток через цилиндрическую однослойную и многослойную стенку.
6. Коэффициент теплоотдачи, его зависимость от различных факторов. Закон Ньютона – Рихмана.
7. Свободное и вынужденное движение теплоносителя, порядок определения.
8. Режим движения жидкости, их влияние на определения.
9. Назначение теории подобия, область применения. Критерии подобия.
10. Коэффициент теплоотдачи при кипении жидкости, обтекании пучка труб.
11. Уравнение баланса лучистой энергии.
12. Абсолюто белые, абсолютно черные и абсолютно прозрачные тела, серое тело.
13. Закон Планка, Стефана – Больцмана, Вина, степень черноты.
14. Коэффициент теплопередачи, физический смысл, единица измерения. Теплопередача через плоскую стенку, через цилиндрическую стенку.
15. Сложный теплообмен.
16. Классификация теплообменных аппаратов по принципам действия.
17. Изменение температур рабочих тел по ходу в теплообменном аппарате с параллельным током, температурный градиент.
18. Изменение температур рабочего тела по ходу в теплообменном аппарате с противотоком, температурный градиент.