#### Вариант №26

**Контрольная работа по теплотехнике включает в себя:**

1. **Задачи № 1, 2, 3, 4, 5 (начиная со стр.26) – исходные данные брать по своему варианту.**
2. **Контрольные вопросы – см. стр. 47.**

#### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

#### Общие методические указания

К решению задач контрольного задания следует приступать только после того, как изучите соответствующий раздел курса. Рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе. Следует стараться запомнить примерные значения параметров задачи (исходные и вычислительные): они также содержат полезную информацию.

Контрольные задачи составлены по стовариантной системе, в которой к каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по последней и предпоследней цифре шифра (личного номера) студента заочника. Вариант работы должен соответствовать шифру студента. Работа, выполненная не по своему варианту, не рассматривается.

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие условия:

а) выписать условие задачи и исходные данные;

б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом;

в) вычисления проводить в единицах СИ;

г) после решения задачи нужно дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы;

д) в конце контрольной работы должен быть приведен список используемой литературы.

Для заметок рецензента оставлять поля.

**Выполнять все задачи по своему варианту.**

#### Задача № 1

Смесь газов с начальной температурой *Т*1 = 300 К сжимается от давления *p*1 = 0,1 МПа до давления *p*2. Сжатие может происходить по изотерме, по адиабате и по политропе с показателем политропы *n*.

Определить для каждого из трех процессов сжатия конечную температуру *Т*2 и объем *v*2 смеси, изменение внутренней энергии Δ*U*, энтальпии Δ*H* и энтропии смеси Δ*S*, а также теплоту *Q* и работу *L*. Результаты расчетов занести в таблицу 2 и изобразить процессы сжатия в *p-v* и *T-S* – диаграммах. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 1.

Примечание. Расчет провести приняв теплоемкость постоянной.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Состав смеси | *n* | Предпоследняя цифра шифра | *p*2,  МПа |
| 0 | 2 кг О2 + 8 кг N2 | 1,25 | 0 | 0,9 |
| 1 | 5 кг СО2 + 5 кг СО | 1,3 | 1 | 1,0 |
| 2 | 3 кг СО + 7 кг О2 | 1,4 | 2 | 0,85 |
| 3 | 6 кг N2 + 4 кг СО2 | 1,5 | 3 | 0,8 |
| 4 | 5 кг Н2 О + 5 кг СО2 | 1,4 | 4 | 0,95 |
| 5 | 2 кг N2 + 8 кг Н2 | 1,3 | 5 | 0,9 |
| 6 | 4 кг СО + 6 кг Н2 | 1,2 | 6 | 0,85 |
| 7 | 2 кг СО2 + 8 кг СО | 1,1 | 7 | 0,9 |
| 8 | 1 кг Н2 + 9 кг N2 | 0,9 | 8 | 0,8 |
| 9 | 5 кг N2 + 5 кг СО2 | 0,8 | 9 | 0,7 |

# Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Процессы | *V*2 | *T*2 | Δ*U* | Δ*H* | Δ*S* | Q | L |
| м3 | К | кДж | кДж | кДж/К | кДж | кДж |
| Изотермический |  |  |  |  |  |  |  |
| адиабатный *k*= |  |  |  |  |  |  |  |
| Политропный *n* = |  |  |  |  |  |  |  |

**Методические указания**

Смесь газов можно рассматривать как идеальный газ. Параметры газовой смеси рассчитываются по уравнению состояния

*pV* = *MRT*,

где *p*– абсолютное давление, Па;

*V* – объем смеси, м3;

*М* – масса смеси, кг;

*R* = 8314/μ - газовая постоянная смеси, Дж/(кг·К);

*Т* – температура, К;

μ - средняя молекулярная масса смеси, кг/кмоль.

При массовом задании смеси μ вычисляется по формуле:

******,

где μ1, μ2 - молекулярная масса 1 и 2 компонентов;

*М*1 и *М*2 - масса 1 и 2 компонентов, (кг).

Для расчета конечных параметров, работы и теплоты процессов используются зависимости, приведенные в таблице 3

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип  процесса | Связь параметров | Работа изменения объема,  Дж | Внешняя работа,  Дж | Теплота,  Дж |
| Изохорный  *v= const* |  | *W=*0 | *L=Мv(p*1*-p*2*)* | *Q=CvM(T*2*-T*1*)* |
| Изобарный  *P = const* |  | *W=Мp(v*2*-v*1*)* | *L=*0 | *Q=CpM(T*2*-T*1*)* |
| Изотерм-ный  *Т = const* |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Адиабат-ный  *dq =* 0 |  |  | *L=kW* | *Q=*0 |
| Политропный  *pvn = const* |  |  | *L=nW* |  |

Здесь *М* – масса участвующего в процессе газа, *W* – работа изменения объема, *L*– внешняя работа, *Сп* – теплоемкость в политропном процессе.

 - показатель адиабаты.

Изменение внутренней энергии *(*Δ*U)* и энтропии *(*Δ*S)* для любого процесса при условии постоянной теплоемкости рассчитывается по соотношениям:

Δ*U = MCV* (*T*2 *- T*1),

Δ*H = MCP* (*T*2 *- T*1),

,

.

Удельная массовая теплоемкость смеси при постоянном давлении при массовом задании смеси может быть рассчитана по формуле:

,

где  - число киломолей *i*-го компонента смеси;

μ *CP****i*** - мольная теплоемкость при постоянном давлении, значение которой приведено в таблице 1 приложения.

Удельная массовая теплоемкость смеси при постоянном объеме может быть найдена по уравнению Майера

*CV = CP – R* .

***Пример:***

Смесь газов, состоящая из 6 кг азота и 4 кг гелия, с начальной температурой *t*1 = 27 0C сжимается от давления *P* = 0,1 МПа до давления *P* = 0,6 МПа. Сжатие проходит по политропе с показателем *n* = 1,2.

Определить конечную температуру *T***2**, и объем ***v2***, изменение внутренней энергии (Δ*U*), энтальпии (Δ*H*), энтропии (Δ*S*), а также работу (*L*) и теплоту процесса (*Q*).

***Решение:***

Молекулярная масса смеси газов:

 кг/кмоль.

Газовая постоянная смеси:

 кДж/(кг·К).

Азот является двухатомным газом μ*CP* = 29,1 кДж/(кг К), гелий является одноатомным газом μ*CP* = 20,8 кДж/(кг К). (Приложение таблица 1).

Так как количество киломолей компонентов смеси *ni* ***=*** *Mi/*μ*i****,*** массовые теплоемкости смеси определятся по формулам:

 кДж/(кг·К).

 кДж/(кг·К).

Температура смеси после сжатия:

.

Конечный объем смеси:

.

Изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии:

;

;

.

Показатель адиабаты смеси газов:

.

Теплота и работа процесса:

;

;

Изображение процесса сжатия в *T–S*– диаграмме представлено на рисунке 1



Рис. 1.

Обозначения: ***р*1**, ***р*2** – изобары начального и конечного состояния газа, соответственно, **1-2*а*** – адиабата, **1-2*п*** – политропа, **1-2*и*** – изотерма.

Значение показателя политропы находится между 1 и *k* = 1,6, следовательно, процесс сжатия будет расположен между изотермой 1–2*и* и адиабатой 1–2*а****.***.

***Вывод***: В процессе сжатия смеси газов работа будет затрачиваться, а теплота, несмотря на то, что температура в процессе сжатия растет, отводится.

***Задача № 2***

Компрессор, производительностью *V*1, м3/час, состоящий из *m* ступеней, сжимает газ от давления *Р*1 до *Р*2. Сжатие в ступенях происходит по политропе с показателем *n*. Промежуточное давление выбрано оптимально, а охлаждение во всех теплообменниках производится до начальной температуры *T*1, К. Охлаждающая вода, прокачивающаяся через рубашки цилиндров и теплообменники, нагревается на Δ*t* = 13 0С.

**Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 4**

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Газ | μ,  кг/ кмоль | *V*1  м3/ час | *n* | *т*, число ступеней | Предпоследняя цифра шифра | *Р*1***,***  МПа | *Т*1***,***  К | *Р*2***,***  МПа |
| 0 | гелий Не | 4 | 3000 | 1,35 | 3 | 0 | 0,12 | 293 | 1,92 |
| 1 | воздух | 29 | 3500 | 1,28 | 2 | 1 | 0,2 | 311 | 3,2 |
| 2 | азот N2 | 28 | 4000 | 1,35 | 4 | 2 | 0,08 | 272 | 1,28 |
| 3 | углекисл. газ СО2 | 44 | 5000 | 1,2 | 3 | 3 | 0,14 | 423 | 2,24 |
| 4 | водород Н2 | 2 | 2000 | 1,21 | 2 | 4 | 0,50 | 372 | 8,0 |
| 5 | кислород О2 | 32 | 4000 | 1,31 | 4 | 5 | 0,24 | 324 | 3,84 |
| 6 | окись углерода СО | 28 | 5000 | 1,25 | 3 | 6 | 0,16 | 401 | 2,56 |
| 7 | метан СН4 | 16 | 3500 | 1,19 | 2 | 7 | 0,06 | 346 | 0,96 |
| 8 | азот N2 | 28 | 6000 | 1,3 | 4 | 8 | 3 | 293 | 48 |
| 9 | гелий  Не | 4 | 2500 | 1,4 | 3 | 9 | 0,04 | 311 | 0,64 |

Найти общую мощность, затрачиваемую на сжатие в компрессоре, и расход охлаждающей воды. Сравнить найденную мощность с мощностью, которая затрачивается на сжатие в одноступенчатом компрессоре с процессом сжатия по политропе с тем же показателем *n*. Теплоемкость в расчетах считать постоянной. Перед расчетом изобразить принципиальную схему компрессора, а также процессы сжатия изобразить в *p–v* и *T–S* – диаграммах.

**Методические указания**

Техническая (внешняя) работа *L*, затрачиваемая в одноступенчатом компрессоре, зависит от характера процесса сжатия и равна:

* при изотермическом сжатии

******;

* при адиабатическом сжатии

;

* при политропном сжатии

.

Теоретическую мощность привода компрессора можно определить по соотношению:

,

т. е. мощность равна работе, затрачиваемой на сжатие рабочего тела в компрессоре, в единицу времени (работе за 1 секунду).

Количество теплоты, отводимое от рабочего тела при сжатии в компрессоре, рассчитывается по формулам:

* при изотермическом сжатии

*Q = L*;

* при адиабатическом сжатии

*Q =* 0;

* при политропном сжатии

,

здесь *G* ***–*** массовая производительность компрессора.

Для получения газа высокого давления применяют многоступенчатые компрессоры, в которых процесс сжатия осуществляется в нескольких последовательно соединенных цилиндрах с промежуточным охлаждением газа в охладителях.

Степень повышения давления в каждой ступени компрессора выбирается из условия:

,

где , ,  - степень сжатия в первой, во второй, в третьей ступени компрессора.

 - степень сжатия в компрессоре,

*m* – число ступеней в компрессоре.

Схема такого трехступенчатого компрессора представлена на рисунке 2.

Рис. 2.

Обозначения:**1**, **2**, **3** – первая, вторая, третья ступени сжатия; **4**, **5** - промежуточные охладители. Стрелки на схеме показывают направление движения охлаждающей жидкости.

Диаграммы процесса сжатия в трехступенчатом компрессоре в *p-v*и *T-S* – диаграммах изображены на рисунке 3.

Рис. 3

Обозначения: ***р*1**, ***р'***, ***р"***, ***р*2 *–*** начальное, промежуточные после первой и второй ступени и конечное давления, соответственно, ***T*1**, ***T*2** – температуры начала и конца сжатия, соответственно, **1-2, 3-4**, **5-6, *–*** политропное сжатие в первой, второй, третьей ступенях компрессора, **2-3**, **4-5**– изобарное охлаждение газа в промежуточных холодильниках.

Если рабочее тело перед каждой ступенью охлаждается до начальной температуры, то работа, затрачиваемая в каждой ступени, будет одинакова, т.е.

.

Теплота, отводимая при политропном сжатии в каждой ступени, будет одинакова и равна:

,

где  – температура рабочего тела за каждой ступенью компрессора.

Теплота, отводимая от рабочего тела в каждом промежуточном охладителе (теплообменнике), может быть вычислена по формуле:

.

***Пример:***

В двухступенчатом компрессоре, производительностью *V*1 = 100 м3/час, сжимается воздух от *Т*1 = 300 К и *р*1= 0,1 МПа до *р*2= 6,4 МПа по политропе с показателем политропы *n* = 1,2.

Определить мощность привода компрессора *N* и расход охлаждающей воды G*В****,*** если вода, проходя через компрессор и промежуточные холодильники, нагревается на Δ*t* = 13 ºС.

***Решение:***

Степень повышения давления в каждой ступени будет:



Давление газа после первой ступени:

.

Работа, затрачиваемая на сжатие воздуха в 1 ступени компрессора:

.

Мощность привода компрессора:

.

Расход охлаждающей воды через компрессор:

,

где *Q* – количество теплоты, которое забирает охлаждающая вода от воздуха, сжимаемого в компрессоре.

******.

Для расчета *Q*1 и *Q*охл нужно знать массовую производительность компрессора и температуру за каждой ступенью компрессора.

Массовая производительность компрессора:

.

Температура воздуха после каждой ступени сжатия компрессора:

.

Количество теплоты, отводимой от каждой ступени компрессора:

кДж/с.

Теплота, отводимая в промежуточном охладителе:

кДж/с.

Расход охлаждающей воды:

кг/с,

где *С*рв = 4,19 кДж/(кг · К) - теплоемкость воды.

***Задача № 3***

Цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания имеет следующие характеристики: *n*1 - показатель политропы в процессе сжатия рабочего тела, (процесс 1 – 2); *n*2 - показатель политропы в процессе расширения рабочего тела, (процесс 3 – 4);  - степень сжатия;  - степень повышения давления;  - степень предварительного расширения. Начальные параметры *Р*1 и *t*1. Принимая за рабочее тело воздух, требуется:

1. Определить тип цикла ДВС;

2. Определить параметры *p*, *v*, *T*для основных точек (1, 2, 3, 4) цикла;

3. Найти теплоту *q* и работу *w* для каждого процесса, из которых состоит цикл;

4. Найти работу цикла *l*0, термический КПД η*t* и среднеиндикаторное давление;

5. Изобразить цикл в *T–S* – диаграмме;

6. Показать на *p-v* и *T–S* –диаграммах процессы, в которых осуществляется подвод тепла и в которых тепло отводится.

Теплоемкость рабочего тела, обладающего свойствами воздуха, принять постоянной (приложение, таблица 1).

Исходные данные, необходимые для решения задачи, приведены в таблице 5 по вариантам индивидуальных заданий.

Результаты расчетов поместить в таблице 6.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Цикл | *n*1 | *n*2 | ε | λ | ρ | Предпоследняя цифра шифра | *T*1,  K | *P*1,  МПа |
| 0 |  | 1,4 | 1,35 | 5 | 4.6 | - | 0 | 273 | 0.10 |
| 1 | 1,34 | 1,3 | 5,5 | 4.3 | - | 1 | 283 | 0.11 |
| 2 | 1,3 | 1,23 | 6 | 4,0 | - | 2 | 303 | 0,12 |
| 3 | 1,32 | 1,25 | 6,5 | 3,8 | - | 3 | 323 | 0,09 |
| 4 | 1,36 | 1,25 | 7 | 3,4 | - | 4 | 343 | 0,13 |
| 5 |  | 1,4 | 1,36 | 12 | - | 2,2 | 5 | 263 | 0,08 |
| 6 | 1,38 | 1,33 | 13 | - | 2,0 | 6 | 273 | 0,09 |
| 7 | 1,36 | 1,3 | 14 | - | 1,8 | 7 | 283 | 0,10 |
| 8 | 1,34 | 1,28 | 15 | - | 1,7 | 8 | 303 | 0,11 |
| 9 | 1,32 | 1,36 | 16 | - | 1,7 | 9 | 323 | 0,12 |

Таблица 6.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры основных точек | | | | Процесс | *q*,  кдж/кг | *w*,  кдж/кг | *ηt* =  *l*0 = ,кДж/кг  *pi* = ,МПа |
| Точка | *Т*, К | *p*,  МПа | *v*,  м3/кг | 1–2 |  |  |
| 1 |  |  |  | 2–3 |  |  |
| 2 |  |  |  | 3–4 |  |  |
| 3 |  |  |  | 4-1 |  |  |
| 4 |  |  |  | Σ | | |

#### Методические указания

При термодинамическом исследовании циклов ДВС делается допущение о применимости в качестве рабочего тела идеального газа с постоянной теплоемкостью, а также допущение о термодинамической обратимости процессов, составляющих цикл. В двигателях внутреннего сгорания осуществляются циклы с подводом теплоты при постоянном объеме (карбюраторные или газовые двигатели), с подводом теплоты при постоянном давлении (компрессорные дизели) и цикл со смешанным подводом теплоты (бескомпрессорные дизели).

Найти параметры рабочего тела в основных точках цикла, а также рассчитать теплоту и работу каждого процесса, из которых состоит цикл, можно по соотношениям, приведенным в таблице 3.

Работа цикла

,

где *qi*, *li* - теплота и работа *i*-го процесса, из которых состоит цикл;

*n* - число процессов, из которых состоит цикл.

Термический КПД

,

где *q*1 - подведенная теплота, кДж/кг.

Подведенная теплота равна сумме теплоты процессов, в которых теплота имеет положительное значение.

Среднее индикаторное значение

.

***Пример:***

Цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты (см. рис. 4) имеет следующие характеристики (показатель политропы сжатия, показатель адиабаты, степень сжатия, степень повышения давления, степень предварительного расширения):

*n*1 = 1,2; *n*2 = *k*; ε = 12; λ = 3,0; ρ = 1,3.

Начальные параметры:

*Т*1 = 350 К, *p*1 = 0,08 МПа.

Рабочее тело обладает свойствами воздуха.

Требуется:

1. Определить параметры *p*, *v*, *Т* в основных точках;

2. Рассчитать теплоту и работу каждого процесса, из которого состоит цикл;

3. Найти работу цикла ДВС *l*0, термический КПД, ŋ*t* и среднеиндикаторное давление *pi*;

1. Изобразить цикл на *T-S* – диаграмме.



Рис. 4

Обозначения: **1-2 *–*** политропное сжатие воздуха в цилиндре, **2-3**, **3-4** – сгорание топлива (подвод теплоты к рабочему телу),**4–5** ***–*** расширение продуктов сгорания в цилиндре, **5-1** – выхлоп продуктов сгорания (отвод теплоты от рабочего тела).

***Решение:***

Определим параметры для узловых точек.

Удельный объем для точки 1

м3/кг,

где  Дж/(кг·К).

Рассчитываем параметры для точки 2

м3/кг.

Рассматриваем политропный процесс 1–2, находим температуру

,

давление:

.

Рассчитываем параметры для точки 3

давление:

,

рассматривая изохорный процесс 2–3, находим температуру

,

удельный объем:

м3/кг.

Рассчитываем параметры для точки 4

давление:

,

удельный объем:

 м3/кг,

температура:

.

Рассчитываем параметры точки 5***.*** Учитывая, что процесс 1–5 изохорный

м3/кг.

Рассматривая адиабатный процесс 4–5, находим:

;

здесь k= 1,4 (Приложение, таблица 1),

температура:

.

Расчет теплоты и работы для процессов:

а) процесс 1–2 – политропный процесс, c показателем политропы *n*1 = 1,2.

кДж/кг,

 кДж/кг;

б) процесс 2–3–изохорный процесс

 кДж/кг,

;

в) процесс 3–4 – изобарный процесс

 кДж/кг,

 кДж/кг,

г) процесс 4–5 – адиабатный процесс

,

 кДж/кг,

д) процесс 5–1 – изохорный процесс

 кДж/кг.

.

Работа цикла:

 кДж/кг.

Термический КПД цикла:

.

Средне индикаторное давление:

.

Таблица 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры основных точек | | | | Процессы | *q* | *w* | *ηt****=***0,57  *l*0***=***778 кДж/кг  *pi****=***0,85 Мпа |
| Точка | *Т*, К | *р*, Мпа | *v*, м3/кг |  | кДж/кг | кДж/кг |
| 1 | 350 | 0,1 | 1,0 | 1–2 | -161 | -323 |
| 2 | 575 | 1,96 | 0,084 | 2–3 | 825 | 0 |
| 31 | 1725 | 5,89 | 0,084 | 3–4 | 532 | 153 |
| 3 | 2257 | 5,89 | 0,11 | 4–5 | 0 | 949 |
| 4 | 934 | 0,27 | 1,0 | 5-1 | -418 | 0 |

Изображение цикла ДВС со смешанным подводом теплоты в *T-S* ***–*** диаграмме приведено на рисунке 5.



Рис. 5

Обозначения: **1-2 *–*** политропное сжатие воздуха в цилиндре, **2-3**,**3-4** – сгорание топлива (подвод теплоты к рабочему телу),**4-5 *–*** расширение продуктов сгорания в цилиндре, **5-1** – выхлоп продуктов сгорания (отвод теплоты от рабочего тела).

Задача № 4

В резервуаре диаметром *d* и высотой *h* хранится нефть при температуре *t*ж1, снаружи резервуар омывается воздухом с температурой *t*ж2. Резервуар выполнен из стали толщиной стен *δ*с = 25мм, коэффициент теплопроводности стали λс = 45,4 Вт/(м · К). Со стороны нефти на стенке и на крышке резервуара имеется слой парафина толщиной *δn*, коэффициент теплопроводности парафина *λп* = 0,12 Вт/(м · К).

Определить количество теплоты, которое передается от нефти к воздуху за сутки через боковую поверхность и крышку резервуара, и температуры наружной и внутренней поверхностей резервуара, а также на поверхности парафина.

Построить график изменения температуры, в стенке резервуара и в слое парафина.

Данные, необходимые для решения, выбрать из таблицы 7.

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | δ*n* | *d* | *h* | *t*ж1 | *t*ж2 | Предпоследняя цифра шифра | α1 | α2 |
| мм | м | м | 0С | 0С | Вт/(м2 · К) | |
| 0 | 40 | 15 | 10 | 75 | -40 | 0 | 1000 | 30 |
| 1 | 35 | 16 | 9 | 70 | -35 | 1 | 900 | 25 |
| 2 | 30 | 17 | 8 | 60 | -20 | 2 | 800 | 20 |
| 3 | 35 | 18 | 7 | 65 | -15 | 3 | 700 | 15 |
| 4 | 40 | 19 | 6 | 70 | -10 | 4 | 600 | 20 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5 | 30 | 20 | 5 | 75 | -0 | 5 | 500 | 25 |
| 6 | 45 | 21 | 6 | 70 | 5 | 6 | 600 | 30 |
| 7 | 20 | 22 | 7 | 65 | 10 | 7 | 700 | 15 |
| 8 | 25 | 23 | 8 | 60 | 15 | 8 | 800 | 25 |
| 9 | 30 | 24 | 9 | 55 | 20 | 9 | 900 | 30 |

**Методические указания**

При решении задачи следует обратить особое внимание на такие понятия как коэффициент теплопередачи, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоотдачи.

При условии, когда *d*2***/****d*1→1, цилиндрическую стенку можно рассматривать как плоскую стенку. В этом случае теплота, передаваемая через 1 м2 плоской стенки:

.

Теплота, теряемая нефтью за время τ:

Q = q F τ,

где τ – время,

*F* - полная поверхность резервуара, м2.

Температура интересующих поверхностей находится из уравнений:



***Пример***:

По трубопроводу диаметром *d*1*/d*2 = 150/160 течет нефть с температурой *t*ж1 = 80 0С. Трубопровод покрыт слоем изоляции толщиной *δ*из = 50 мм. Температура окружающего воздуха *t*ж2 = - 20 0С .Коэффициент теплоотдачи от нефти к воздуху α1 = 100 Вт/(м2 К) и от изоляции к воздуху α2 = 10 Вт/(м2 К). Коэффициент теплопроводности материала трубопровода λ1 = 45 Вт/(м К), коэффициент теплопроводности изоляции λиз = 0,3 Вт/(м К).

Определить температуру на внутренней, на внешней поверхностях трубопровода и на внешней поверхности изоляции.

***Решение:***

График изменения температуры по толщине трубопровода и изоляции вычисленный по условию задачи представлен на рисунке 6



Рис.6

Обозначения: ***t*ж1** – температура нефти, ***t*ж2** – температура окружающего воздуха, ***t*c1*-*** температура на внутренней поверхности трубопровода, ***t*c2** – температура на поверхности контакта внешней стенки трубопровода и внутренней поверхности изоляции, ***t*c3** – температура на внешней поверхности изоляции.

Тепловой поток на единицу длины трубопровода:





=Вт/м.

Температуры на внутренней и внешней поверхностях трубопровода:

,

.

Температура на внешней поверхности изоляции:

.

***Задача 5***

Определить потери теплоты излучением и свободной конвекцией с 1 м длины горизонтального нефтепровода, проложенного над землей.

Известны наружный диаметр нефтепровода *d****,*** температура наружной поверхности нефтепровода, температура окружающего воздуха *t*ж, коэффициент теплового излучения поверхности трубы *ε*.

Теплофизические свойства воздуха приведены в приложении, таблица 2. Данные для решения задачи приведены в таблице 8.

Таблица 8

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | *d* | *t*с | Предпоследняя цифра шифра | *t*ж | ε |
| мм | 0С | 0С |
| 0 | 200 | 70 | 0 | -40 | 0,9 |
| 1 | 220 | 75 | 1 | -35 | 0,85 |
| 2 | 240 | 80 | 2 | -30 | 0,80 |
| 3 | 260 | 75 | 3 | -20 | 0,78 |
| 4 | 280 | 70 | 4 | -40 | 0,84 |
| 5 | 300 | 65 | 5 | -35 | 0,86 |
| 6 | 320 | 60 | 6 | -40 | 0,77 |
| 7 | 340 | 65 | 7 | -20 | 0,81 |
| 8 | 350 | 70 | 8 | -10 | 0,92 |
| 9 | 360 | 75 | 9 | 0 | 0,88 |

#### Методические указания

Потери теплоты за счет свободной конвекции можно определить по закону Ньютона–Рихмана.

,

где  - средний коэффициент теплоотдачи к воздуху.

Для расчета коэффициента теплоотдачи от горизонтальной трубы в условиях естественной конвекции в большом объеме рекомендуется уравнение подобия вида.

,

где  - число Нуссельта;

*d* - наружный диаметр трубы,

λ - коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м К),

*B* и *n* - постоянные, выбираемые по величине произведения (Gr Pr)m (таблица 9); индекс *m* говорит о том, что теплофизические величины выбираются по температуре *tm* ***=*** *0,5(t*с *+ t*ж*)****.***

Gr *= g*βΔ*td*3*/ν*2 - число Грасгофа;

β - температурный коэффициент объемного расширения, 1/К (для газов β = 1/*Т*ж);

ν- коэффициент кинематической вязкости жидкости, м2/с;

Pr – число Прандтля.

Таблица 9.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (Gr Рr)m | *B* | *n* |
| 10-3 ÷ 5·102 | 1,18 | 1/8 |
| 5·102 ÷ 2·107 | 0,54 | 1/4 |
| >2·107 | 0,135 | 1/3 |

Теплота, передаваемая излучением от тела, расположенного в большом объеме, к среде с температурой *t*ж рассчитывается по формуле

,

где *С*0 = 5,67 Вт/(м2 ⋅ К4) – излучательная способность абсолютно черного тела.

***Пример***:

Определить тепловые потери излучением и свободной конвекцией от горизонтально расположенной плиты размерами 1х0,5 м2. Теплоотдающая поверхность направлена вверх. Температура плиты *t*с = 200 0С, температура окружающего воздуха *t*ж = 0 0С, коэффициент теплового излучения поверхности плиты ε = 0,8

***Решение***:

Теплофизические характеристики воздуха выбираем из приложения

Таблица 2 по *tm* = 0,5(*t*с + *t*ж) = 100 0С:

λ = 0,0321 Вт/(м к), ν = 23,13·10-6 м2/с, Рr = 0,688.

При расчете числа Грасгофа, за определяющий размер в данной задаче берется наименьший размер пластины, т.е. *d* = 0,5 м.

.

По произведению (Gr Pr)m = 9,7·108·0,686 = 6,67·108 из таблицы 9 выбираем *B* = 0,135, *n* = 1/3.

Число Нуссельта:

.

Коэффициент теплоотдачи:

Вт/м2·К.

Если теплоотдающая поверхность направлена вверх, то найденное значение α нужно увеличивать на 30%, т.е.

 Вт/м2·К.

Потери теплоты за счет свободной конвекции:

.

Потери теплоты за счет излучения:

.

Общие потери от горизонтальной плиты в воздух:

*Q = Q*к *+ Q*л *=* 984 + 1008 = 1992 Вт.

В данной задаче потери теплоты за счет конвекции и излучением соизмеримы. Чем выше температура поверхности плиты, тем потери теплоты от излучения будут расти быстрее, чем за счет конвекции и наоборот.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

**Общие методические указания**

Номера вопросов даны в таблице 10 в зависимости от двух последних цифр шифра студента. Например, если две последние цифры шифра студента 37, то по последней цифре (7) студент отвечает на вопросы 8 и 18, а по предпоследней цифре (3) на вопросы 24 и 34.

Отвечать на вопросы следует кратко, по существу.

Таблица 10

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Номера вопросов | | Предпоследняя цифра шифра | Номера вопросов | |
| 0 | 1 | 11 | 0 | 21 | 31 |
| 1 | 2 | 12 | 1 | 22 | 32 |
| 2 | 3 | 13 | 2 | 23 | 33 |
| 3 | 4 | 14 | 3 | 24 | 34 |
| 4 | 5 | 15 | 4 | 25 | 35 |
| 5 | 6 | 16 | 5 | 26 | 36 |
| 6 | 7 | 17 | 6 | 27 | 37 |
| 7 | 8 | 18 | 7 | 28 | 38 |
| 8 | 9 | 19 | 8 | 29 | 39 |
| 9 | 10 | 20 | 9 | 30 | 40 |

**Вопросы**

1. В баллоне внутренним диаметром 22 см находится углекислый газ. Манометр показывает давление 2,5 МПа. Баллон находится в помещении с температурой 20 0С. Определить массу газа в баллоне.
2. Как изменится плотность атмосферного воздуха, если температура его понизилась с 20 0С до 0 0С, а барометрическое давление не изменилось?
3. Давление атмосферного воздуха в помещении объемом 7х4х3 м3 составляет 0,1 МПа. Как изменится плотность воздуха и его количество в кг, если температура снизится с 25 0С до 10 0С?
4. Природный газ (*R* = 720 Дж/кг·К) находится в резервуаре емкостью 100м3 при давлении 0,95 МПа (показания манометра) и температуре 25 0С. Определить массу газа, выпущенного из резервуара, если открыть вентиль. Атмосферное давление 0,1 МПа.
5. Во сколько раз масса аэростата, заполненного гелием, больше массы аэростата, заполненного водородом, если давление газа 0,1 МПа, температура 20 0С, объем аэростата 4000 м3, масса оболочки аэростата 700 кг, мольные массы гелия и водорода равны соответственно 4 кг/кмоль и 2кг/кмоль.
6. Сравните массы воздуха в неотапливаемом помещении зимой и летом. Размеры помещения 5х10х3 м3, атмосферное давление 0,1 МПа, температура зимой – 20 0С, летом 25 0С.
7. Объемный состав компонентов влажного воздуха: 21 % кислорода О2 (μ=32), 78,1 % азота N2 (μ= 28) и 0,9 водяного пара Н2О (μ = 18). Определить газовую постоянную влажного воздуха.
8. Месторождение природного газа имеет объемный состав: 94 % метана СН4 (μ = 16), 4,5 % азота N2 (μ= 28), и 1,5 % этана C2H6 (μ= 30). Ежесуточная выдача газа составляет 10 млн. м3. Сколько килограмм газа выдается каждые сутки?
9. Два сосуда разобщены между собой. В одном сосуде объемом 100 л находится окись углерода СО2 (μ= 44) при температуре 1500 0С и давлении 1МПа, в другом сосуде объемом 50 л находится азот N2 (μ= 28) при температуре 300 0C и давлении 2 МПа. Какое давление покажет манометр после соединения манометров между собой, если температура газовой смеси 622 0С.
10. В баллоне находятся 6,22 кг газовой смеси, состоящей из кислорода О2 (μ= 32) и азота N2 (μ= 28). Газовая постоянная смеси R = 262,6 Дж/кг·К, объем баллона 40 л. Найти объемный состав газовой смеси.
11. Показать, что теплоемкость политропного процесса при соответствующих значениях политропы переходит в теплоемкость изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного процессов.
12. Изобразить в *T-S* – координатах политропные процессы расширения газа от *p*1*, v*1до*v*2, если показатель политропы а) *n <* 1, б) 1 ***<*** *n* ***<****k*, в) *n* ***>*** *k.*В каком из этих процессов теплоемкость отрицательна?
13. Параметры изобарного процесса воздуха: *p* = 0,5 МПа, *v*1 = 0,1 м3/кг, *v*2 = 0,6 м3/кг. Определить *T*1***,*** *T*2, работу процесса *w* и *l*. Показать процесс в *p-v* ***–*** диаграмме.
14. В изохорном процессе аммиак (NH3) имеет параметры: *p*1 = 0,1МПа, *v*= 0,5 м3/кг, *p*2 = 0,5 МПа. Определить работу процесса *w* и *l*, температуры *T*1 и *T*2. Изобразить процесс в *p-v* – диаграмме.
15. Для изобарного процесса воздуха дано: *t*1 = 30 0С, *t*2 = 150 0С. Определить работу процесса (*w*)**.** Принять, что воздух – идеальный газ.
16. Для изохорного процесса воздуха дано: *t*1 = 30 0С, *t*2 = 150 0С. Определить внешнюю работу процесса (*l*)**.** Принять, что воздух – идеальный газ.
17. При проведении эксперимента было выяснено, что для нагрева 10 кг углекислого газа СО2, заключенного в герметичном баллоне, от 100 0С до 1800С требуется 609 кДж тепла. Рассчитать по этим данным среднюю теплоемкость углекислого газа.
18. В изобарном процессе метана СН4 температура изменяется от 20 0С до 150 0С. Изобразить процесс в *p-v*и*T-S* – диаграммах. Вычислить Δ*и****,*** Δ*h****,*** Δ*S.*
19. Назвать 5 состояний, в которых может находиться Н2О. Дать характеристику этих состояний.
20. Что такое степень сухости пара? Как рассчитываются параметры мокрого пара?
21. Какие состояния Н2О располагаются на диаграммах *p-v*, *h-s*и*T-S* на пограничных кривых, между пограничными кривыми, слева от нижней пограничной кривой, справа от верхней пограничной кривой?
22. Чем объяснить, что в изотермическом процессе водяного пара не выполняется равенство *q = w = l*,справедливое для идеального газа?
23. Что такое предельная скорость истечения газа или пара, в каких случаях она реализуется?
24. Скорость звука. Зависимость скорости звука от параметров рабочего тела.
25. Изобразите профили изменения параметров рабочего тела (давления, температуры, удельного объема, скорости потока, скорости звука) при движении потока через суживающееся сопло, сопло Лаваля, расширяющееся сопло.
26. Что такое процесс дросселирования? Дифференциальный эффект дросселирования, температура инверсии?
27. Как выбирается профиль сопла?
28. Что такое индикаторная диаграмма компрессора? Проведите сравнение действительной и теоретической индикаторной диаграмм.
29. Классификация компрессорных установок, основные конструктивные системы поршневого компрессора.
30. Назовите типы ДВС с термодинамической точки зрения, изобразите их циклы в *p-v*и*T-S* – диаграммах, покажите, в каких процессах подводится тепло, в каких отводится.
31. Циклы газотурбинных установок, способы регенерации теплоты в ГТУ, *p-v*и*T-S* – диаграммы циклов газотурбинных установок, указать, в каких процессах подводится теплота, в каких отводится.
32. Способы переноса теплоты. Сформулируйте законы теплопередачи, какой физический смысл имеют коэффициенты пропорциональности в законах теплопередачи?
33. Какими способами передается теплота от горячей воды к воздуху через стенку батареи отопления?
34. Тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через цилиндрическую или плоскую стенку, рассчитывается по формуле , Вт. Запишите формулы для термического сопротивления *R* плоской и цилиндрической стенок.
35. Как формулируются граничные условия первого, второго и третьего рода? Для чего они используются при решении дифференциального уравнения, в чем их отличие?
36. Что такое коэффициент теплопередачи? Запишите выражение коэффициента теплопередачи плоской стенки, цилиндрической стенки. Отличие коэффициента теплопередачи от коэффициента теплоотдачи и коэффициента теплопроводности.
37. Сформулируйте условие подобия физических процессов. Каково практическое применение теории подобия и моделирования процессов конвективного теплообмена?
38. Какие режимы могут иметь место при вынужденном течении жидкости в трубах? Как определить режим течения?
39. Приведите уравнение подобия для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при вынужденном турбулентном течении жидкости в трубе. Проанализируйте зависимость коэффициента теплоотдачи от диаметра трубы, вязкости, скорости, теплопроводности, теплоемкости и плотности жидкости.
40. Запишите числа Грасгофа, Рейнольдса и Прандтля, поясните их физический смысл, докажите, что они безразмерны путем подстановки размерности величин, входящих в них.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

МОЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ ПО ДАННЫМ КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ кДж/(кмоль К)

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Газы | μ*Сv,* | μ*Сp,* |  |
| одноатомные | 12,5 | 20,8 | 1,67 |
| Двухатомные, воздух | 20,8 | 29,1 | 1,4 |
| Трехатомные,  многоатомные | 24,9 | 33,3 | 1,29 |

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУХА ПРИ ДАВЛЕНИИ

760 мм рт.ст.

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *t***,**0С | *λ*·10-2, Вт/(м К) | *ν*·105, м2/с | Pr |
| 0 | 2,44 | 13,28 | 0,707 |
| 10 | 2,51 | 14,10 | 0,705 |
| 20 | 2,59 | 15,03 | 0,703 |
| 30 | 2,67 | 16,00 | 0,701 |
| 40 | 2,76 | 16,96 | 0,699 |
| 50 | 2,83 | 17,95 | 0,698 |
| 100 | 3,21 | 23,13 | 0,688 |
| 200 | 3,94 | 34,85 | 0,680 |
| 300 | 4,60 | 48,33 | 0,674 |
| 400 | 5,21 | 63,09 | 0,678 |
| 500 | 5,75 | 79,38 | 0,687 |
| 600 | 6,23 | 96,89 | 0,699 |
| 700 | 6,71 | 115,4 | 0,705 |
| 800 | 7,19 | 143,8 | 0,71 |
| 900 | 7,64 | 155,1 | 0,717 |
| 1000 | 8,08 | 177,1 | 0,719 |
|  |  |  |  |