

ТНис 01

- Предмет «Теплоносители и их свойства»
- Параметры состояния
- Уравнения состояния газов

Основные сведения



Автор: к.т.н., доцент кафедры Тепловых
электрических станций НГТУ
Шаров Юрий Иванович.

Учебное пособие по вариативной дисциплине БЗ
«Теплоносители и их свойства» в форме слайд-конспекта
подготовлено в 2014 году и предназначено для:
бакалавров направления (специальности) 140100.62
Теплоэнергетика и теплотехника

(ФГОС введен в действие приказом № 635 от 18.11.2009 г.,
регистрационный номер 15818, дата утверждения 24.12.2009 г.).

Расчасовка лекционного курса

Семестр	5		
Лекции, час.	18		
Практические занятия, час.		18	
Лабораторные занятия, час.		18	
Индивидуальная работа, час.		0	
Всего аудиторных занятий, час.		54	
Из них в активной и интерактивной форме, час.		16	
Самостоятельная работа, час.		54	
В том числе КП, КР. РГЗ, подготовка к контр. работе, час.			Контр.
Консультации, час.		-	
Зачет, диф. зачет, час.		ДЗ	
Сессия (экзамен), час.		-	
Всего часов	108		
Всего зачетных единиц (кредитов)		3	

Список литературы

Основной список:

1. Шаров Ю. И. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : слайд-конспект лекций / Ю. И. Шаров. - Новосибирск, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с #.
2. Шаров Ю. И. Основы теплотехники и перенос энергии и массы [Электронный ресурс] : слайд-конспект лекций / Ю. И. Шаров. - Новосибирск, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с #.
3. Овчинников, Ю.В. Основы технической термодинамики / Ю. В. Овчинников. – Новосибирск: НГТУ. – 2010. – 292 с.
4. Шаров Ю.И. О диаграммах состояния экологически безопасных хладагентов / Ю.И. Шаров, Г.А. Долгополов // Теплоэнергетические системы и агрегаты. – 2003. Выпуск 7. – С. 199-205.

Дополнительный список литературы

Дополнительный список:

1. Варгафтик Н.В. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей.– М.: Наука, 1972.
2. Теплотехника // под ред. И.Н. Сушкина. - М. : Metallургия, 1981. – 479 с.
3. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции / В.Я. Рыжкин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 327 с.
4. Шаров Ю.И. Техническая термодинамика. Сборник лабораторных работ / Ю.И. Шаров, П.А. Щинников. – Новосибирск: НГТУ. – 2011. – 16 с.
5. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа. – 1980. – 559 с.

Дополнительный список литературы

6. Шаров Ю.И. Расчет теплообменника ЦТП : методические указания к РГР для студентов ФЭН / НГТУ ; [сост. Ю.И. Шаров]. – Новосибирск, 2013. – 32 с.
7. Холодильная установка : методические указания для студентов ФЭН / НГТУ ; [сост. Ю.И. Шаров]. – Новосибирск, 2018. – 19 с.
8. Григорьева О.К. Исследование термодинамических процессов поршневого компрессора : методические указания / НГТУ ; [сост. О.К. Григорьева, О.В. Боруш]. – Новосибирск, 2013. – 16 с.
9. Шаров Ю.И. Тенденции развития ТЭС / Ю.И. Шаров, О.В. Боруш. – Новосибирск : НГТУ. – 2017, – 259 с.
10. Wustmann, F. Stand der Umsetzung des DREWAG–Energieconzeptes / F. Wustmann // Kraftwerktechnisches Kolloquium. Technische Universität Dresden. – 2015. – Vortrag 2.

Теплоносители

Теплоносителями являются: воздух, газообразные продукты сгорания топлива в тепловых двигателях. В холодильных установках теплота переносится хладоносителями (холодильными агентами).

Эти теплоносители можно считать практически идеальными газами или смесями идеальных газов. Для технических нужд часто требуется сжатый воздух, для его получения применяются компрессоры.

В системах теплоснабжения и отопления используются горячая вода и водяной пар.

Водяной пар это реальный газ. Свойства идеальных и реальных газов изучаются в технической термодинамике.

Наука – техническая термодинамика

Техническая термодинамика – это наука, изучающая закономерности взаимного преобразования тепловой и механической энергий.

Тепловая энергия – это энергия хаотического движения молекул и атомов газа.

Механическая энергия – это энергия движения макроскопических тел (человека, автомобиля, самолета).

Преобразование механической энергии в тепловую происходит легко и не требует особых условий.

Преобразование тепловой энергии в механическую

Преобразование тепловой энергии в механическую можно осуществить только в тепловом двигателе:

- двигателе внутреннего сгорания (ДВС),
- паротурбинной установке (ПТУ),
- газотурбинной установке (ГТУ).

Преобразование тепловой энергии в механическую в тепловом двигателе происходит **при расширении газообразного рабочего тела.**

Рабочее тело – идеальный газ

В ДВС и ГТУ таким рабочим телом являются газообразные продукты сгорания топлива, а в паротурбинной установке (ПТУ) – водяной пар, полученный в парогенераторе.

Газообразные продукты сгорания топлива можно считать практически идеальным газом.

Водяной пар является реальным газом и не подчиняется законам идеальных газов.

Идеальный газ – это газ, состоящий из недеформируемых молекул, не имеющих собственного объема и не взаимодействующих между собой.

Терминология термодинамики

Термодинамическая система – это совокупность макроскопических тел, обменивающихся энергией как друг с другом, так и с окружающей (внешней) средой. Примером такой системы является газ в цилиндре с подвижным поршнем.

Изолированная (замкнутая) термодинамическая система, если она не взаимодействует с окружающей средой.

Теплоизолированная (адиабатная) система окружена адиабатной оболочкой, исключаящей теплообмен с окружающей средой.

Например, газ в сосуде, покрытом идеальной теплоизоляцией.

Однородная, гомогенная и гетерогенная системы

Однородная система – это система с одинаковым составом и физическими свойствами во всем объеме.

Гомогенная система, если внутри нее нет поверхностей раздела (лед, вода, пар).

Гетерогенная система состоит из нескольких макроскопических частей с различными физическими свойствами, разделенными между собой видимыми поверхностями раздела.

Гомогенные части системы, отделенные от остальных частей видимыми поверхностями раздела, называются **фазами** (вода со льдом – двухфазная система).

Удельный объем рабочего тела

Состояние рабочего тела описывается параметрами состояния.

Всего в термодинамике шесть параметров состояния: удельный объем, абсолютное давление, абсолютная температура, внутренняя энергия, энтальпия и энтропия.

Удельный объем – это объем 1 кг газа, м³/кг:

$$v=V/m,$$

где V – полный объем газа, м³;

m – масса газа, кг.

Плотность газа

Величина, обратная удельному объему, называется **плотностью** – массой 1 м^3 газа, кг/м^3 :

$$\rho = m/V.$$

Отсюда следует, что их произведение равно единице:

$$\rho v = 1.$$

Давление газа в молекулярно-кинетической теории газов трактуется как средний результат ударов молекул о стенки сосуда.

Давление газа

Оно направлено по нормали к стенке сосуда и представляет собой силу, действующую на 1 м^2 поверхности:

$$1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па.}$$

Давление может также измеряться в Мега Паскалях, барах, атмосферах, миллиметрах ртутного столба, метрах водяного столба.

Соотношения между ними:

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа} = 750 \text{ мм.рт.ст.} = 0,981 \text{ ат} = 9,81 \text{ м.вод.ст.}$$

Параметр состояния – абсолютное давление

Атмосферное давление B измеряется барометром, избыточное $p_{и}$ (превышающее атмосферное) – манометром, разрежение $p_{в}$ (вакуум) – вакуумметром.

Параметром же состояния является абсолютное давление P_a .

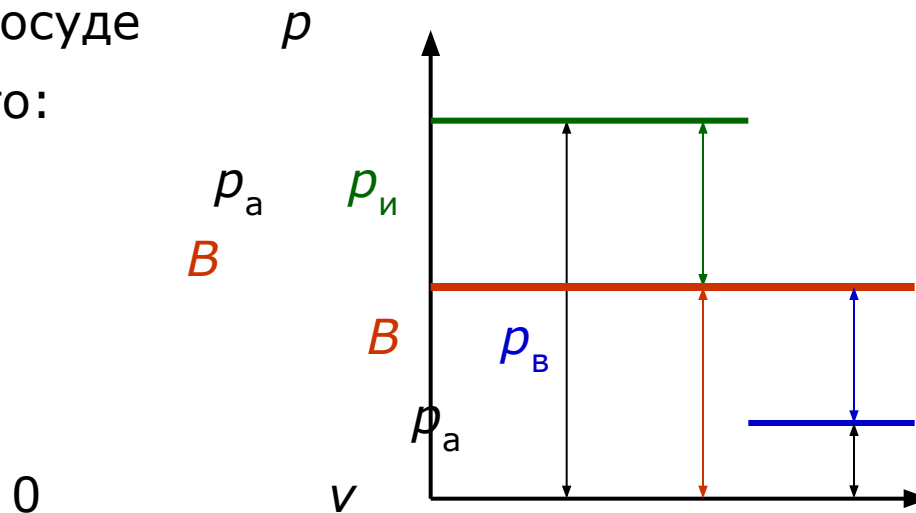
Если давление в сосуде выше атмосферного:

$$p_a = B + p_{и};$$

а если ниже

атмосферного, то:

$$p_a = B - p_{в}.$$



Параметр состояния абсолютная температура

Температура характеризует степень нагрева тела и представляет собой меру средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

Понятие температура применимо только к макротелам и не имеет смысла для одной или нескольким молекул.

Температура измеряется жидкостными термометрами, термометрами сопротивления, термопарами, оптическими пирометрами.

Основное уравнение теории газов

Параметром состояния является абсолютная температура, К:

$$T, \text{К} = t, \text{°С} + 273,15.$$

За 0 °С принята температура плавления льда при атмосферном давлении, а за 100 °С – температура кипения воды.

Все законы идеальных газов были получены вначале опытным путем, а затем выведены **из основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов:**

$$p = \frac{2}{3} nm \overline{v^2}$$

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов

где p – давление, Па; n – количество молекул в единице объема, мол/м³; m – масса молекулы, кг; w – средняя скорость движения молекул, м/с.

Обозначим через N число молекул в 1 кг газа, тогда уравнение (1) запишется в виде:

$$p = \frac{2 N m w^2}{3 v}$$

Перенесем удельный объем в левую часть уравнения и учтем, что кинетическая энергия пропорциональна температуре $mw^2/2=BT$, где B – коэффициент пропорциональности.

Объединенный закон Бойля-Мариотта и Гей-Люссака:

Тогда уравнение молекулярно-кинетической теории для двух состояний газа запишется в виде:

$$p_1 v_1 = 2/3 N B T_1; \quad p_2 v_2 = 2/3 N B T_2.$$

Поделив левые и правые части этих уравнений одно на другое и перенеся начальные параметры влево, а конечные – вправо,

получим выражение объединенного закона
Бойля-Мариотта и Гей-Люссака:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = \text{const.} \quad (2)$$

Законы идеальных газов

Из выражения (2) при $T=const$ получаем **закон Бойля-Мариотта**:

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad \text{или} \quad p v = const; \quad (3)$$

при $p=const$ – **закон Гей-Люссака**:

$$v_1/T_1 = v_2/T_2 \quad \text{или} \quad v/T = const; \quad (4)$$

а при $v=const$ – **закон Шарля** для идеальных газов:

$$p_1/T_1 = p_2/T_2 \quad \text{или} \quad p/T = const. \quad (5)$$

Уравнение состояния идеальных газов

В выражении (2) объединенного закона Бойля-Мариотта и Гей-Люссака для произвольного состояния газа:

$$pv/T = \text{const.}$$

Назовем *Const* газовой постоянной, обозначим ее буквой *R*, приведем уравнение к общему знаменателю и мы получим **уравнение состояния идеальных газов (Клапейрона) для 1 кг:**

$$pv = RT. \quad (6)$$

Уравнение Клапейрона

Умножая левую и правую части уравнения Клапейрона на массу газа m и учитывая, что $m\nu=V$, получим

уравнение состояния идеальных газов для произвольной массы газа m :

$$pV=mRT. \quad (7)$$

Уравнение Клапейрона – Менделеева

Русский ученый Д.И. Менделеев предложил по аналогии записать уравнение Клапейрона **для 1 кило моля газа**,

умножив левую и правую части выражения (6) на молекулярную массу μ :

$$p(\mu v) = (\mu R)T. \quad (8)$$

Кило моль газа

Уравнение (8) носит название Клапейрона-Менделеева.

1 кило моль газа – это масса газа в килограммах, численно равная его молекулярной массе μ .

(μv) – объем 1 кило моля газа, $\text{м}^3/\text{кмоль}$;

(μR) – универсальная газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К})$.

К выводу закона Авогадро

Пусть имеются два равных объема $V_1 = V_2 = V$ двух разных газов.

Давление каждого из газов можно выразить по основному уравнению молекулярно-кинетической теории газов:

$$p_1 = \frac{2}{3} n_1 \frac{m_1 w_1^2}{2} \quad p_2 = \frac{2}{3} n_2 \frac{m_2 w_2^2}{2}$$

Пусть давления газов равны между собой $p_1 = p_2$, тогда:

$$\frac{2}{3} n_1 \frac{m_1 w_1^2}{2} = \frac{2}{3} n_2 \frac{m_2 w_2^2}{2}$$

Пусть температуры газов тоже равны между собой, то есть равны их средние кинетические энергии $m_1 w_1^2 / 2 = m_2 w_2^2 / 2$.

Закон Авогадро

Из выражения (9) при этом следует: $n_1 = n_2$. (10)

Умножив обе части уравнения на объем V , получим:
 $n_1 V = n_2 V$. После сокращения одинаковых объемов газов V
получим **выражение закона Авогадро**:

$$N_1 = N_2, \quad (11)$$

то есть в равных объемах разных газов при одинаковых физических условиях ($p_1 = p_2$; $T_1 = T_2$) содержится равное число молекул.

Следствие из закона Авогадро

Выражение (10) – это закон Авогадро для 1 м³ газов.

Масса газа в 1 м³ – это его плотность ρ , значит

$$\rho_1 = \frac{\mu_1}{\mu_2} \rho_2$$

то есть:

при $\rho_1 = \rho_2$; $T_1 = T_2$ плотности газов пропорциональны их молекулярным массам – следствие из закона Авогадро.

Объемы кило молей газов

С учетом того, что $\rho = 1/v$:

$$v_2/v_1 = \mu_1/\mu_2,$$

или:

$$, \quad \boxed{\mu_1 v_1 = \mu_2 v_2} \quad (13)$$

то есть при одинаковых физических условиях объемы кило молей разных газов равны между собой.

Газовая постоянная

Найдем из уравнения Клапейрона – Менделеева (8), записанного для нормальных физических условий, величину универсальной газовой постоянной, Дж/(кмоль·К):

$$(\mu R) = \frac{p_0(\mu v_0)}{T_0} = \frac{101325 \cdot 22,414}{273,15} = 8314.$$

Тогда газовая постоянная для конкретного газа, например, для воздуха, Дж/(кг·К):

$$R = (\mu R) / \mu = 8314 / 29 = 287.$$