

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет

Институт нефти, газа и энергетики

Кафедра теплоэнергетики и теплотехники

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Методические указания по изучению дисциплины
и выполнению контрольной работы
для студентов заочной формы обучения
направления 21.03.01 – Нефтегазовое дело

Краснодар
2015

Составители: канд. техн. наук, доц. Б.П. Колесников
ст. преподаватель Ю.В. Королева

Термодинамика и теплопередача. Методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения направления 21.03.01 – Нефтегазовое дело/ Сост. Б.П. Колесников, Ю.В. Королева; Кубан. гос. технол. ун-т. Каф. Теплоэнергетики и теплотехники.– Краснодар: 2015. – 25 с.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. каф. ТЭТ Е.В. Кочарян
канд. техн. наук, доц. каф. ОНГП Е.И. Величко

Содержание

Введение.....	4
1 Содержание дисциплины.....	5
2 Инструкция по работе с учебно-методическим пособием...	7
2 Задание на контрольную работу.....	7
3 Оформление контрольной работы	13
4 Вопросы для подготовки к экзамену	17
5 Список рекомендуемой литературы.....	20
Приложение А (справочное).....	21
Приложение Б (справочное).....	22
Приложение В (справочное).....	23
Приложение Г (справочное).....	24

Введение

Термодинамика и теплопередача есть общетехническая дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств.

Инженеры неэнергетических специальностей в своей практической деятельности сталкиваются с тепловыми процессами и с их конструктивным оформлением в виде теплоэнергетического оборудования, встроенного в технологические процессы.

Задачи дисциплины «Термодинамика и теплопередача» – подготовка специалистов неэнергетического профиля, владеющих навыками грамотной эксплуатации современного теплового оборудования отрасли в целях максимальной экономии топлива и материалов, интенсификации и оптимизации современных энерготехнологических процессов.

1 Содержание дисциплины

1.1 Основная информация о дисциплине

Таблица 1.

Вид учебной работы и формы контроля	Очная форма		Заочная форма	
	всего	курс, семестр	всего	курс, семестр
Общая трудоемкость дисциплины: – в зачетных единицах – в часах	3 108	Пк., 4с.	3 108	Шк., 5с.
Аудиторные занятия, часов:	54	Пк., 4с.	10	Шк., 5с.
– лекции	36	Пк., 4с.	6	Шк., 5с.
– практические (ПЗ)				
– лабораторные (ЛР)	18	Пк., 4с.	4	Шк., 5с.
Самостоятельная работа, часов:	54	Пк., 4с.	98	Шк., 5с.
– курсовой проект (работа)				
– прочие виды	54	Пк., 4с.	98	Шк., 5с.
Зачет				
Экзамен	+	Пк., 4с.	+	Шк., 5с.

1.2 Тематический план дисциплины

Таблица 2.

№ раздела дисциплины	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы
1	Техническая термодинамика	*		*
2	Теплопередача	*		*

1.3 Содержание лекций
Таблица 3

№ раздела дисциплины	Наименование раздела, подраздела, и их содержание	Количество часов	
		очная форма обучения	заочная форма обучения
1	Техническая термодинамика:	18	4
	1.1. Основные понятия и определения. Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система. Основные термические и калорические параметры состояния. Идеальный газ. Смеси идеальных газов.	2	
	1.2. Теплоемкость. Первый закон термодинамики. Формулировка и аналитическое выражение первого закона термодинамики.	2	
	1.3. Второй закон термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики. Цикл Карно. Холодильный коэффициент.	2	
	1.4. Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Водяной пар. Расчет термодинамических процессов в водяном паре.	2	
	1.5. Влажный воздух.	2	
	1.6. Термодинамика потока. Истечение и дросселирование, процессы сжатия газов и паров.	2	
	1.7. Циклы энергетических установок.	2	
	1.8. Цикл Ренкина и его исследование.	2	
	1.9. Циклы холодильных установок.	2	

2	Теплопередача:	18	4
	2.1. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты. Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Краевые условия. Дифференциальное уравнение теплопроводности.	2	
	2.2. Конвективный теплообмен. Основные понятия и определения. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.	4	
	2.3. Основы теории подобия. Условия подобия физических явлений. Определяющие критерии. Метод моделирования.	2	
	2.4. Теплообмен при кипении жидкости; механизм процесса при пузырьковом и пленочном режимах кипения.	2	
	2.5. Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация.	2	
	2.6. Теплообмен излучением. Общие понятия и определения. Тепловой баланс лучистого теплообмена.	2	
	2.7. Теплопередача. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки. Коэффициент теплопередачи.	2	
2.8. Теплообменные аппараты. Классификация. Средний температурный напор. Тепловой баланс теплообменных аппаратов.			
	Всего:	36	8

1.4 Лабораторные работы

Таблица 4

№ раздела дисциплины	№ и наименование лабораторной работы	Количество часов	
		очная форма обучения	заочная форма обучения
1	№1 Исследование изобарной теплоемкости газа при атмосферном давлении	4	4
	№2 Определение теплоты парообразования	6	
2	№3 Исследование теплопроводности сыпучего материала	4	
	№4 Исследование теплоотдачи от горизонтальной трубы при свободной конвекции	4	
	Всего:	18	4

2 Инструкция по работе с методическими указаниями

Контрольная работа состоит из четырех задач и четырех вопросов. Номер варианта соответствует двум последним цифрам шифра зачётной книжки. По номеру варианта из таблицы А.1 приложения А выбирают номера вопросов. Данные для решения задач приведены в таблицах 1 – 5.

В разделе «Темы лабораторных работ» приведены наименования лабораторных работ, которые будут проводиться в период лабораторно-экзаменационной сессии.

В пособии представлены вопросы, выносимые на экзамен, а в приложении необходимый справочный материал.

3 Задание на контрольную работу

Задача 1. Сравнить мощность, затраченную на сжатие метана в одно- и двухступенчатом компрессоре в случае политропного сжатия с показателем политропы n , если объемный расход метана при параметрах всасывания V_1 , начальные параметры p_1 и t_1 , конечное давление – p_k .

Определить температуру метана на выходе из компрессора, количество теплоты, отводимое от цилиндров и промежуточного теплообменника. Изобразить (без масштаба) процессы одно- и двухступенчатого сжатия на p - v -, T - s -диаграммах.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 5.

Таблица 5 – Исходные данные для задачи 1

Первая цифра варианта	V_1 , м ³ /с	p_1 , МПа	t_1 , °С	Вторая цифра варианта	p_k , МПа	n
0	0,10	0,090	0	0	1,0	1,26
1	0,11	0,092	5	1	1,2	1,24
2	0,12	0,094	10	2	1,4	1,22
3	0,13	0,096	15	3	1,6	1,20
4	0,14	0,098	20	4	1,8	1,18
5	0,15	0,100	25	5	2,0	1,16
6	0,16	0,102	30	6	2,2	1,14
7	0,17	0,104	35	7	2,4	1,12
8	0,18	0,106	40	8	2,6	1,10
9	0,19	0,108	45	9	2,8	1,08

Методические указания. Метан считать идеальным газом с физическими свойствами: молекулярная масса $\mu = 16$, показатель адиабаты

$k = 1,31$, газовая постоянная $R = 518,27$ Дж/(кг·К). Необратимостью в процессе сжатия пренебречь.

Теплоёмкость принять независимой от температуры и определить по соотношениям: изохорная теплоемкость $C_V = R/(k - 1)$,

$$\text{изобарная теплоемкость } C_P = C_V \cdot k.$$

Поскольку процесс сжатия в компрессоре политропный, температуру в конце процесса T_2 , К, определить из формулы

$$\frac{T_2}{T_1} = \pi^{\frac{n-1}{n}},$$

где π – степень повышения давления в ступени компрессора $\pi = \sqrt[Z]{\frac{p_k}{p_1}}$;

Z – количество ступеней в компрессоре: одноступенчатый компрессор $Z = 1$, двухступенчатый $Z = 2$.

Для расчета мощности N , кВт, затраченной на сжатие, воспользоваться выражением

$$N = Z \cdot M \frac{n}{n-1} R \cdot T_1 \left(\pi^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right),$$

где M – массовый расход метана, определить из уравнения Клапейрона, кг/с.

Количество теплоты, отводимое в цилиндрах компрессора, Q_u , Вт:

$$Q_u = Z \cdot M \cdot C_V \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1).$$

Количество теплоты, отводимое в промежуточном теплообменнике Q_m , Вт:

$$Q_m = M C_p (T_2 - T_1).$$

Задача 2. В паротурбинной установке (ПТУ), работающей по циклу Ренкина, параметры пара перед турбиной p_1 и t_1 , давление в конденсаторе p_2 . Внутренний относительный КПД турбины $\eta_{oi}^T = 0,9$. Расход пара – D кг/с.

Определить: параметры рабочего тела в характерных точках цикла ПТУ, количество подведённой и отведённой теплоты, работу и мощность насоса, турбины и ПТУ, термический и внутренний КПД. Определить также расход топлива с низшей теплотой сгорания $Q_n^p = 35000$ кДж/кг.

Изобразить (без масштаба) обратимый и необратимый циклы ПТУ на $p\nu$ -, Ts -диаграммах.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 6.

Таблица 6 – Исходные данные для задачи 2

Первая цифра варианта	D , кг/с	p_1 , МПа	Вторая цифра варианта	t_1 , °С	p_2 , кПа
0	20	5	0	500	3,5
1	25	5,5	1	510	4,0
2	30	6	2	520	4,5
3	35	6,5	3	530	5,0
4	40	7	4	540	3,5
5	45	7,5	5	550	4,0
6	50	8	6	560	4,5
7	55	8,5	7	570	5,0
8	60	9	8	580	3,5
9	65	9,5	9	590	4,0

Методические указания. Необходимые для решения задачи параметры воды и пара определить с помощью hs -диаграммы для водяного пара и таблиц термодинамических свойств воды и пара (Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара/ С.Л. Ривкин, А.А. Александров. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 80 с.).



Рисунок 2 – Схема определения параметров пара

Необратимостью сжатия в насосе пренебречь.

Цикл Ренкина (рисунок 1) состоит из следующих процессов: 1-2 – адиабатное обратимое расширение пара в турбине, 1-2д – адиабатное необратимое расширение пара в турбине, 2-3 (2д-3) – изобарная конденсация пара в конденсаторе, 3-4 – адиабатное сжатие воды в насосе, 4-5 – изобарный подогрев воды в котле до температуры кипения, 5-6 – изобарное парообразование в котле, 6-1 – изобарный перегрев пара в пароперегревателе.

Рисунок 1 – Цикл Ренкина

Расчет начать с определения параметров

(h, s, t) состояния воды и пара в характерных точках цикла.

В точке 1 (перегретый пар) и точке 2 (влажный насыщенный пар) параметры определить по hs -диаграмме (схема представлена на рисунке 2).

Энтальпию в конце процесса необратимого расширения пара в турбине (точка 2д) рассчитать по формуле

$$h_{2д} = h_1 - (h_1 - h_2)\eta^{T_{oi}}.$$

В остальных точках (3, 4, 5, 6) параметры определить с помощью таблиц термодинамических свойств воды и пара.

Поскольку процессы подвода и отвода теплоты в цикле являются изобарными, подведенная q_1 и отведенная q_2 теплота может быть рассчитана по разности энтальпий в конце и начале процесса. Для определения теплового потока Q , кВт, воспользоваться выражением

$$Q = D \cdot q.$$

Работа, затраченная на сжатие воды в насосе l_n и полученная при расширении пара в турбине l_t , рассчитывается так же по разности энтальпий в процессе, так как эти процесса являются адиабатными. Мощность насоса N_n и турбины N_t , кВт, определить по формуле

$$N = D \cdot l.$$

Работу ($l_{пту}$) и мощность ($N_{пту}$) ПТУ определить по разности работы и мощности турбины и насоса. Расчет провести отдельно для обратимого и необратимого цикла.

Термический η_t и внутренний η_i КПД цикла рассчитать как отношение полезной работы соответствующего цикла к затраченной теплоте.

Расход топлива в обратимом цикле b , кг/с, определить по формуле

$$b = \frac{Q_1}{Q_H^p}.$$

Задача 3. По стальному трубопроводу длиной 100 м, наружным диаметром d и толщиной стенки δ со скоростью w движется метан с температурой $t_{ж1}$. Трубопровод покрыт изоляционным материалом с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{из} = 0,07$ Вт/(м·К). Температура окружающей среды (воздуха) – $t_{ж2}$. Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающую среду – α_2 .

Определить тепловой поток, проходящий через трубопровод, и диаметр изоляции, при котором температура её наружной поверхности $t_{из} = 40^\circ\text{C}$.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 7.

Таблица 7 – Исходные данные для задачи 3

Первая цифра варианта	d/δ , мм	$t_{ж1}$, °C	Вторая цифра варианта	w , м/с	α_2 , Вт/(м ² ·К)	$t_{ж2}$, °C

0	57/5	100	0	6,0	3,5	-20
1	60/4	95	1	6,5	4,0	-15
2	76/5	90	2	7,0	4,5	-10
3	89/6	85	3	7,5	5,0	-5
4	102/5	80	4	8,0	5,5	0
5	108/6	75	5	8,5	6,0	5
6	114/6	70	6	9,0	6,5	10
7	127/5	100	7	9,5	7,0	15
8	140/6	80	8	10,0	7,5	20
9	152/7	90	9	10,5	8,0	25

Методические указания. Задача решается для случая стационарной теплопередачи через многослойную цилиндрическую стенку, состоящую из стальной трубы и изоляции.

Диаметр тепловой изоляции $d_{из}$, при котором температура её наружной поверхности $t_{из} = 40^{\circ}\text{C}$, определить графоаналитическим методом (рисунок 3). Для этого построить в масштабе графики зависимости линейной плотности теплового потока q_l , Вт/м, переданного через изолированный трубопровод

$$q_l = k_l \cdot \pi (t_{ж1} - t_{ж2}) \quad (1)$$

и отданного с поверхности изоляции в окружающую среду

$$q_l = \alpha_2 \cdot \pi \cdot d_{из} (t_{из} - t_{ж2}) \quad (2),$$

от диаметра изоляции $d_{из}$. В формуле (1) k_l – линейный коэффициент теплопередачи через двухслойную цилиндрическую стенку, Вт/(м·К):

$$k_l = \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_B} + \frac{1}{2\lambda_{тр}} \ln \frac{d}{d_B} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{из}} \right)^{-1},$$

где d_B – внутренний диаметр трубы $d_B = d - 2\delta$, м;

$\lambda_{тр}$ – коэффициент теплопроводности материала трубы, $\lambda_{тр} = 45$ Вт/(м·К);

α_1 – коэффициент теплоотдачи от метана к стенке трубы, Вт/(м²·К).

Коэффициент α_1 определить для случая вынужденной конвекции при турбулентном режиме течения, используя критериальное уравнение

$$Nu = \frac{\alpha_1 d_B}{\lambda_M} = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43},$$

где $Re = \frac{w d_B}{v_M}$ – число Рейнольдса;

$Pr = \frac{v_M}{a_M}$ – число Прандтля;

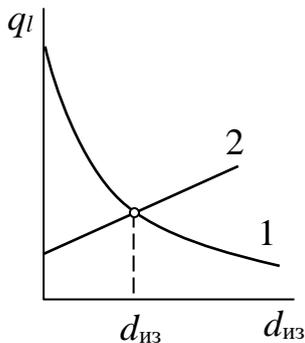


Рисунок 3 – Схема

определения диаметра

λ_M, v_M, a_M – соответственно коэффициент

теплопроводности, кинематической вязкости и температуропроводности метана при температуре $t_{ж1}$, °С, выбрать из таблицы В.1 приложения В.

Расчеты провести для 4 значений $d_{из}$. Условие равенства q_l определенных по формуле (1) и (2) соответствует искомому значению диаметра изоляции $d_{из}$. Для найденного значения $d_{из}$ по формуле (2) рассчитать плотность теплового потока.

Тепловой поток Q , Вт, определить по формуле

$$Q = q_l \cdot l.$$

Задача 4. Метан в количестве V м³/с и с температурой t_{M1} охлаждается в рекуперативном противоточном теплообменнике воздухом до $t_{M2} = 20$ °С. Температура воздуха на входе в теплообменник $t_{B1} = 10$ °С, а на выходе t_{B2} . Коэффициент теплоотдачи от метана к поверхности нагрева – α_1 , а от поверхности нагрева к воздуху – α_2 . Поверхность нагрева изготовлена из стальных труб ($\lambda = 40$ Вт/(м·К)) толщиной – $\delta = 0,002$ м. Определить: необходимую поверхность теплообмена и расход воздуха.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 8.

Таблица 8 – Исходные данные для задачи 4

Первая цифра варианта	V , м ³ /с	α_1 , Вт/(м ² ·К)	t_{M1} , °С	Вторая цифра варианта	α_2 , Вт/(м ² ·К)	t_{B2} , °С
-----------------------	-------------------------	-------------------------------------	---------------	-----------------------	-------------------------------------	---------------

0	1,0	120	80	0	150	60
1	1,1	115	82	1	145	59
2	1,2	110	84	2	140	58
3	1,3	105	86	3	135	57
4	1,4	100	90	4	130	56
5	1,5	105	92	5	125	55
6	1,6	110	94	6	120	54
7	1,7	115	96	7	115	53
8	1,8	120	98	8	110	52
9	1,9	115	100	9	105	51

Методические указания. Поверхность теплообмена F , m^2 , определить из уравнения теплопередачи

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}},$$

где $Q = M_M \cdot c_{pM}(t_{M1} - t_{M2})$ – тепловой поток, отводимый от метана, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, рассчитать по формуле для теплопередачи через плоскую однослойную стенку

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Δt_{cp} – среднелогарифмический температурный напор, определить для противоточной схемы движения теплоносителей из выражения

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}, \quad \Delta t_6 = t_{M1} - t_{B2}, \quad \Delta t_M = t_{M2} - t_{B1};$$

$M_M = V \cdot \rho_M$ – массовый расход метана, кг/с;

c_{pM} – изобарная теплоемкость метана при средней температуре, Дж/(кг·К);

ρ_M – плотность метана при температуре t_{M1} , кг/м³.

Теплофизические свойства метана определить по таблице В.1 приложение В.

Расход воздуха через теплообменник, M_B , кг/с:

$$M_B = \frac{Q}{c_{pB}(t_{B2} - t_{B1})},$$

где c_{pB} – изобарная теплоемкость воздуха при средней температуре (таблица В.2 приложение В), Дж/(кг·К).

Вопросы

1. При расчёте политропного процесса расширения идеального двухатомного газа с показателем политропы $n = 1,2$ получено, что к газу подведена теплота, а температура увеличилась. Можно ли признать правильными результаты расчёта? Ответ обоснуйте.
2. В политропном процессе с идеальным газом подводится теплота, а температура газа уменьшается. Изобразите процесс на Ts - диаграмме.
3. В чем сущность первого закона термодинамики? Приведите формулировку этого закона. Напишите аналитические выражения для закрытой и открытой систем.
4. Какой пар называется влажным насыщенным, сухим насыщенным, перегретым? Покажите эти состояния на фазовой диаграмме Ts .
5. Изобразите на $p\nu$ - и Ts -диаграммах адиабатный процесс расширения перегретого пара. Как в этом случае рассчитать располагаемую работу?
6. Покажите на Ts -диаграмме процесс конденсации. Укажите в диаграмме, чему равняется удельная теплота парообразования.
7. Изобразите на $p\nu$ - и Ts -диаграммах изобарный процесс перехода из состояния влажного пара в состояние перегретого пара. Как в этом случае рассчитать количество теплоты?
8. Может ли температура не кипящей жидкости и перегретого пара быть одинаковой? Ответ обоснуйте.
9. Что понимают под энтропией? Почему энтропия является функцией состояния.
10. В чем сущность второго закона термодинамики? Приведите основные формулировки этого закона. Напишите аналитическое выражение.
11. Что понимают под эксергией? В чем суть эксергетического анализа термодинамических систем?
12. Изобразите в Ts -диаграмме прямой обратимый цикл Карно и дайте его описание. Как рассчитать термический КПД этого цикла.
13. Какое устройство называется соплом, а какое диффузором? Изобразите на Ts -диаграмме обратимые процессы, протекающие в этих устройствах.
14. Чем ограничена максимальная скорость на выходе из суживающегося сопла? Как рассчитать эту скорость?
15. Для чего служат сопла Лавалья? Как рассчитать скорость истечения и массовый расход через такое сопло?
16. Опишите реальный процесс дросселирования. Что такое эффект Джоуля-Томсона?
17. Какой процесс сжатия в компрессоре является наивыгоднейшим? Ответ обосновать.
18. При каких условиях и для чего осуществляется многоступенчатое сжатие в компрессоре?

19. Дайте описание идеального цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме. Приведите формулу для расчета термического КПД цикла.
20. Дайте описание идеального цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении. Приведите формулу для расчета термического КПД цикла.
21. Изобразите идеальный цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении на $p\upsilon$ - и Ts -диаграммах и дайте его описание. Приведите выражение для термического КПД цикла.
22. Изобразите обратимый цикл Ренкина с перегревом пара в $p\upsilon$ - и Ts -диаграммах и дайте его описание. Как рассчитать термический КПД этого цикла?
23. Изобразите и опишите принципиальную схему парокompрессорной холодильной установки. Представьте ее цикл на Ts -диаграмме. Как рассчитать холодильный коэффициент этого цикла?
24. Опишите механизм теплопроводности в газах, жидкостях, твердых телах.
25. Сформулируйте основной закон теплопроводности, объясните величины, входящие в его математическую формулу.
26. Что отражает с физической точки зрения дифференциальное уравнение теплопроводности? Что выражает каждый член этого уравнения?
27. Как рассчитать плотность теплового потока переданного теплопроводностью через плоскую одно- и многослойную стенку при стационарном режиме?
28. Как рассчитать плотность теплового потока переданного теплопроводностью через цилиндрическую одно- и многослойную стенку при стационарном режиме?
29. Чем обусловлен перенос теплоты при конвективном теплообмене? В чем сущность закона Ньютона-Рихмана?
30. Что такое гидродинамический и тепловой пограничные слои? От чего зависит термическое сопротивление теплоотдаче?
31. Приведите основные критерии теплового и гидромеханического подобия. Объясните, что характеризует каждый из этих критериев.
32. Критериальное уравнение для естественной конвекции от горизонтальной трубы имеет вид $Nu = 0,5(Gr \cdot Pr)^{0,25}$. Как изменится коэффициент теплоотдачи, если диаметр трубы увеличится в два раза?
33. Критериальное уравнение для вынужденной конвекции при движении жидкости в трубе имеет вид $Nu = 0,021Re^{0,8} Pr^{0,43}$. Как изменится коэффициент теплоотдачи, если скорость движения увеличится в два раза?
34. Критериальное уравнение для вынужденной конвекции при внешнем

- обтекании одиночной трубы имеет вид $Nu = 0,25Re^{0,6} Pr^{0,38}$. Как изменится коэффициент теплоотдачи, если вязкость жидкости увеличится в два раза?
35. Какие условия необходимы для конденсации пара? Что такое пленочная и капельная конденсация? При какой конденсации интенсивность теплоотдачи выше?
 36. Чем отличается пузырьковый режим кипения от пленочного? При каком режиме теплоотдача более интенсивна и почему?
 37. Что такое поглощательная, пропускательная и отражательная способность тела? Какова связь между ними?
 38. Решите в общем виде задачу о стационарной теплопередаче через плоскую стенку.
 39. Решите в общем виде задачу о стационарной теплопередаче через цилиндрическую стенку.
 40. Какие два уравнения лежат в основе теплового расчета рекуперативных теплообменных аппаратов?
 41. Как определить средний перепад температуры между теплоносителями в рекуперативном теплообменном аппарате?
 42. В каких случаях теплопередающая способность прямоточных и противоточных теплообменников практически одинакова?
 43. Какие преимущества имеет противоточный теплообменный аппарат по сравнению с прямоточным?
 44. Приведите элементарный состав твердого топлива на рабочую массу. Какие элементы топлива являются горючими?
 45. Приведите общую характеристику состава природного газа.
 46. Что такое теплота сгорания топлива? В чем разница между высшей и низшей теплотой сгорания?
 47. Какие существуют способы сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива?
 48. Дайте характеристику основных элементов входят в состав котельной установки?
 49. Для чего осуществляется циркуляция воды в парогенераторах? Какие применяют способы организации циркуляции?
 50. Что такое тепловой баланс и КПД котлоагрегата?

4 Оформление контрольной работы

Контрольная работа выполняется в тетради или на листах формата А4. Текст может быть выполнен рукописно или с помощью средств компьютерной техники.

Условие задачи или контрольный вопрос переписывается полностью. В решении задач последовательно объясняется, какая величина определяется и по какой формуле. Написав формулу, необходимо дать экспликацию входящих в неё величин с размерностью и объяснением, откуда они выбираются.

При решении задач и в ответах на вопросы необходимо использовать только систему единиц СИ. Теплофизические характеристики веществ и материалов определять по справочным данным, представленным в рекомендуемой литературе или в приложении к данному пособию.

Ответы на вопросы должны быть исчерпывающими, но не пространными. В конце работы приводится список использованной литературы.

5 Вопросы для подготовки к экзамену

- 5.1 Понятие внутренней энергии. Основные свойства. Изменение внутренней энергии идеального газа (вывод формулы).
- 5.2 Понятие энтальпии. Основные свойства. Изменение энтальпии идеального газа (вывод формулы).
- 5.3 Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Смеси идеальных газов (основные понятия). Способы задания состава смеси.
- 5.4 Первый закон термодинамики. Основные формулировки. Аналитическое выражение.
- 5.5 Теплоемкость. Основные понятия и разновидности теплоемкости. Уравнение Майера.
- 5.6 Энтропия. Основные понятия. Расчет изменения энтропии в процессе. Свойство Ts -диаграммы.
- 5.7 Исследование политропного процесса с идеальным газом.
- 5.8 Второй закон термодинамики. Основные формулировки. Обратимые и необратимые процессы. Источники необратимости процессов.
- 5.9 Круговые процессы (прямые и обратные, обратимые и необратимые). Характеристики эффективности.
- 5.10 Прямой цикл Карно и его термический КПД. Обратный цикл Карно и его холодильный коэффициент.
- 5.11 Доказательство возрастания энтропии в необратимых процессах. Возрастание энтропии изолированной системы.
- 5.12 Анализ Pv - и Ts -диаграммы для жидкости и пара.

- 5.13 Расчет термодинамических процессов с паром (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный).
- 5.14 Адиабатное истечение через суживающееся сопло. Определение скорости на выходе из сопла и расхода. Критическая скорость.
- 5.15 Условие перехода через скорость звука в процессе истечения газа. Сопло Лаваля.
- 5.16 Адиабатное дросселирование. Основные особенности. Эффект Джоуля-Томсона. Дифференциальный дроссель-эффект. Точка инверсии. Кривая инверсии.
- 5.17 Анализ процессов сжатия в одноступенчатом поршневом компрессоре. Изображение процессов в Pv - Ts -диаграмме. Расчет затраченной работы и отведенной теплоты.
- 5.18 Многоступенчатый поршневой компрессор. Область применения и принцип работы. Изображение процессов в Pv - Ts -диаграммах. Расчет затраченной работы и отведенной теплоты.
- 5.19 Цикл поршневых ДВС с подводом теплоты при $v = const$. КПД цикла.
- 5.20 Цикл поршневых ДВС с подводом теплоты при $P = const$. КПД цикла.
- 5.21 Цикл поршневых ДВС со смешанным подводом теплоты. КПД цикла.
- 5.22 Идеальный цикл ГТУ с подводом теплоты при $P = const$. КПД цикла.
- 5.23 Цикл Ренкина. Изображение цикла на Pv - и Ts -диаграммах. Термический КПД цикла.
- 5.24 Цикл парокompрессорной холодильной машины. Холодильный коэффициент.
- 5.25 Цикл воздушной холодильной машины. Холодильный коэффициент.
- 5.26 Теплопроводность (основные понятия). Закон Фурье.
- 5.27 Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.
- 5.28 Стационарная теплопроводность через плоскую однослойную стенку при граничных условиях первого рода (вывод).
- 5.29 Стационарная теплопроводность через плоскую многослойную стенку при граничных условиях первого рода (вывод).
- 5.30 Стационарная теплопроводность через цилиндрическую однослойную стенку при граничных условиях первого рода (вывод).
- 5.31 Стационарная теплопроводность через цилиндрическую многослойную стенку при граничных условиях первого рода

- (вывод).
- 5.32 Конвективный теплообмен (основные понятия). Закон Ньютона-Рихмана.
 - 5.33 Основные числа подобия конвективного теплообмена. Уравнения подобия.
 - 5.34 Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном объеме у вертикальных и горизонтальных поверхностей.
 - 5.35 Теплоотдача при вынужденном движении жидкости вдоль плоской поверхности.
 - 5.36 Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах.
 - 5.37 Теплоотдача при поперечном обтекании одиночной трубы.
 - 5.38 Теплоотдача при поперечном обтекании пучков труб.
 - 5.39 Теплообмен излучением (основные понятия). Законы Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Вина.
 - 5.40 Теплообмен излучением между плоскопараллельными поверхностями.
 - 5.41 Теплообмен излучением между телом и оболочкой.
 - 5.42 Теплообмен излучением между поверхностями, разделенными экраном.
 - 5.43 Теплопередача через плоскую одно- и многослойную стенку.
 - 5.44 Теплопередача через цилиндрическую одно- и многослойную стенку.
 - 5.45 Основные положения теплового расчета рекуперативных теплообменных аппаратов.
 - 5.46 Топливо. Элементарный состав. Теплота сгорания.
 - 5.47 Основы расчета процесса горения топлива. Определение объема воздуха необходимого для горения, объема продуктов сгорания, энтальпии продуктов сгорания.
 - 5.48 Основные способы сжигания топлива и типы топочных устройств.
 - 5.49 Общие сведения о котельной установке.
 - 5.50 Тепловой баланс котельного агрегата.
 - 5.51 Схема котлоагрегата с естественной циркуляцией.

6 Список рекомендуемой литературы

Основная:

- 1 Барилевич В.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена : Учебное пособие. - : М. : НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 432 с
- 2 Луканин В.Н Теплотехника : учеб. для техн. спец. вузов. - 7-е изд, испр. - М. : высш. Шк, 2009. - 671стр.

Дополнительная

- 3 Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. школа, 1980. – 469 с
- 4 Исаченко В.П. Теплопередача : учеб. для теплоэнерг. спец. вузов. - 4-е изд., перераб. И доп. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 417стр.
- 5 Сапожников С.З. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. для вузов по напр. "Назем. транспорт. системы"; СПб.: СПбГТУ, 2002. - 318стр.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Таблица А.1 – Таблица номеров вопросов

Первая цифра варианта	Номера вопросов					Вторая цифра варианта	Номера вопросов				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
01, 51	1	11	22	33	50	26, 76	8	15	22	35	47
02, 52	2	13	24	35	41	27, 77	9	16	23	36	44
03, 53	3	14	25	36	42	28, 78	10	17	24	31	46
04, 54	4	15	26	37	43	29, 79	1	14	21	34	45
05, 55	5	16	27	38	45	30, 80	2	15	22	35	50
06, 56	6	17	28	39	44	31, 81	3	18	24	38	41
07, 57	7	18	29	40	46	32, 82	5	19	25	39	42
08, 58	8	19	30	39	47	33, 83	6	20	26	32	49
09, 59	9	20	29	38	49	34, 84	7	13	27	33	43
10, 60	10	19	28	37	48	35, 85	8	14	28	34	44
11, 61	2	14	26	38	42	36, 86	9	15	29	35	47
12, 62	3	15	27	39	46	37, 87	10	16	30	36	48
13, 63	4	16	28	40	50	38, 88	1	15	21	36	45
14, 64	5	17	29	37	41	39, 89	2	11	23	32	41
15, 65	6	18	30	38	43	40, 90	3	12	22	31	50
16, 66	7	19	27	31	44	41, 91	10	12	27	32	48
17, 67	8	20	28	32	45	42, 92	9	13	28	33	42
18, 68	9	11	21	33	47	43, 93	8	14	29	34	49
19, 69	10	12	22	34	49	44, 94	7	15	30	35	43
20, 70	1	13	25	37	50	45, 95	6	16	21	36	48
21, 71	3	16	29	36	41	46, 96	1	17	22	37	43
22, 72	4	17	30	37	49	47, 97	2	18	23	38	47
23, 73	5	18	25	32	42	48, 98	3	19	24	39	46
24, 74	6	19	26	33	48	49, 99	4	20	25	31	41
25, 75	7	20	27	34	43	50, 00	5	11	26	40	50

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Таблица Б.1 – Мольные теплоёмкости идеальных газов, кДж/(кмоль·К)

Газы	μC_V	μC_P
Одноатомные	12,5	20,8
Двухатомные	20,8	29,1
Трёх- и многоатомные	29,1	37,4

Таблица Б.2 – Некоторые физические свойства рабочих тел

Рабочее тело	Химическая формула	μ	R , Дж/(кг·К)	k
Водород	H ₂	2,016	4124,0	1,407
Кислород	O ₂	32,0	259,83	1,40
Азот	N ₂	28,013	296,75	1,40
Оксид углерода	CO	28,01	297,0	1,40
Диоксид углерода	CO ₂	44,011	188,91	1,30
Диоксид серы	SO ₂	64,066	129,78	1,25
Водяной пар	H ₂ O	18,02	461,6	1,33
Метан	CH ₄	16,043	518,27	1,31
Этан	C ₂ H ₆	30,068	276,52	1,20
Воздух	–	28,96	287,1	1,40

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Таблица В.1 – Теплофизические свойства метана при $p = 0,1$ МПа

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \times 10^3, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu \times 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$a \times 10^5, \text{м}^2/\text{с}$
20	0,659	2221	33,2	16,58	2,27
30	0,638	2243	34,6	17,64	2,42
40	0,617	2268	36,0	18,73	2,57
50	0,598	2293	37,5	19,84	2,73
60	0,580	2321	38,9	20,98	2,89
70	0,563	2350	40,4	22,13	3,05
80	0,547	2380	41,9	23,31	3,22
90	0,532	2411	43,5	24,52	3,39
100	0,517	2443	45,0	25,76	3,56

Таблица В.2 – Теплофизические свойства воздуха при $p = 0,1$ МПа

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \times 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu \times 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-20	1,395	1009	2,28	12,79	0,716
-10	1,342	1009	2,36	12,43	0,712
0	1,293	1005	2,44	13,28	0,707
10	1,247	1005	2,51	14,16	0,705
20	1,205	1005	2,59	15,06	0,703
30	1,165	1005	2,67	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	23,13	0,688

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

Таблица Г.1 - Средняя характеристика природных газов

Газопровод	Состав газов по объему, %							Q_H^p , МДж/м ³	ρ_g , кг/м ³
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2		
Ставрополь-Москва	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4	36,2	0,764
Карадаг-Ереван	93,9	3,1	1,1	0,3	0,1	1,3	0,2	37,2	0,766
Саратов-Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8	35,9	0,837
Саратов-Горький	91,9	2,1	1,3	0,4	0,1	3,0	1,2	36,2	0,786
Шебелинка-Харьков	92,8	3,9	1,0	0,4	0,3	1,5	0,1	37,4	0,781
Шебелинка-Москва	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	-	38,0	0,776
Карабулак-Грозный	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,0	46,0	1,032
Ставрополь-Грозный	98,2	0,4	0,1	0,1	-	1,0	0,2	35,7	0,728
Ср. Азия-Центр	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,7	0,6	37,7	0,776
На входе в Краснодар	91,2	3,9	2,0	0,9	0,2	-	1,8	38,4	0,810

Таблица Г.2 - Энтальпия газов и воздуха, кДж/м³

$t, ^\circ C$	H_{CO_2}	H_{N_2}	H_{H_2O}	H_g
1000	2209	1399	1730	1441
1100	2465	1550	1932	1600
1200	2726	1701	2138	1760
1300	2986	1856	2352	1919
1400	3251	2016	2566	2083
1500	3515	2171	2789	2247
1600	3780	2331	3011	2411
1700	4049	2491	3238	2575
1800	4318	2650	3469	2738
1900	4586	2814	3700	2906

2000	4859	2974	3940	3074
------	------	------	------	------

