Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кубанский государственный технологический университет»

Институт нефти, газа, энергетики и безопасности

Кафедра теплоэнергетики и теплотехники

ТЕХНИЧЕКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Методические указания по выполнению контрольной работы
для студентов заочной формы обучения
направления 18.03.01 – Химическая технология

Краснодар
2015

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

Техническая термодинамика и теплотехника. Методические указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения направления 18.03.01 – Химическая технология/ Сост.: Б.П. Колесников, Ю.В. Королева; Кубан. гос. технол. ун-т. Каф. Теплоэнергетики и теплотехники. – Краснодар: 2015. – 30 с.

Рецензенты: к. т. н., доцент Е.В. Кочарян
д. т. н., профессор Ю.П. Ясьян

Содержание

Введение…… 4
1 Оформление контрольной работы …… 4
2 Задание на контрольную работу…… 5
3 Вопросы для подготовки к зачету……... 11
Список рекомендуемой литературы…… 13
Приложение А (справочное)……..... 14

Введение

Техническая термодинамика и теплотехника 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 «Техническая термодинамика и теплотехника» – подготовка специалистов неэнергетического профиля, владеющих навыками грамотной эксплуатации современного теплового оборудования отрасли, с целью максимальной экономии топлива и материалов, интенсификации и оптимизации современных энерготехнологических процессов.

1 Оформление контрольной работы

Контрольная работа состоит из четырех задач. Номер варианта соответствует двум последним цифрам шифра зачётной книжки. Данные для решения задач приведены в таблицах 1 – 4.

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

Вариант контрольной работы выбирается по двум последним цифрам зачетной книжки.

Условие задачи 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 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.

В конце работы приводится список использованной литературы, дата выполнения работы и личная подпись студента.

2 Задание на контрольную работу

Задача 1. Сравнить мощность, затраченную на повышение давления воздуха в одно- и двухступенчатом компрессоре в случае политропного сжатия с показателем политропы n. Объемный расход воздуха при параметрах всасывания - V_1, начальные параметры p_1 = 0,1 МПа и t_1, а конечное давление - $p_к$. Определить также температуру воздуха на выходе из компрессора и количество теплоты, отводимое от цилиндров и промежуточного теплообменника. Изобразить условно процессы одно- и двухступенчатого сжатия на *pv*-, *Ts*-диаграммах.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные для задачи 1

Первая цифра варианта	V_1, м^3/с	t_1,°С	Вторая цифра варианта	$p_к$, МПа	n
0	0,10	0	0	1,0	1,26
1	0,11	5	1	1,2	1,24
2	0,12	10	2	1,4	1,22
3	0,13	15	3	1,6	1,20
4	0,14	20	4	1,8	1,18
5	0,15	25	5	2,0	1,16
6	0,16	30	6	2,2	1,14
7	0,17	35	7	2,4	1,12
8	0,18	40	8	2,6	1,10
9	0,19	45	9	2,8	1,08

Теоретические сведения. Воздух считать идеальным газом с физическими свойствами: молекулярная масса μ = 28,96, газовая постоянная R = 287,1 Дж/(кг·К), показатель адиабаты k = 1,4. Необратимостью в процессе сжатия пренебречь.

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

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:

$$\pi = \sqrt[Z]{\frac{p_к}{p_1}};$$

Z – количество ступеней в компрессоре: одноступенчатый компрессор

$Z = 1$, двухступенчатый $Z = 2$.

Для расчета мощности N, Вт, 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 воздуха, определить из уравнения Клапейрона, кг/с;

$$p_1 V_1 = MRT_1$$

Количество теплоты, отводимое в цилиндрах компрессора, $Q_ц$, Вт:

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

Количество теплоты, отводимое в промежуточном теплообменнике Q_m, Вт:

$$Q_m = MC_p (T_2 - T_1).$$

Задача 2. Водяной пар с давлением p_1 и степенью сухости x_1 из барабана котла-утилизатора поступает в пароперегреватель, где его температура повышается на величину Δt. После пароперегревателя пар подается в турбину, где адиабатно обратимо расширяется до давления p_3.

Определить количество теплоты, подведенной к пару в пароперегревателе, работу цикла Ренкина, степень сухости пара в конце процесса расширения в турбине и термический КПД цикла. Определить работу цикла и КПД, если после пароперегревателя пар адиабатно дросселируется до давления $p'_1 = p_1 - 1$.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 2.

Теоретические сведения. Работой, затраченной на привод насоса, пренебречь. Необходимые параметры пара определять с помощью hs-диаграммы для воды [6]. Алгоритм поиска параметров схематично представлен на рисунке. Энтальпию воды на входе в котел-утилизатор можно найти по приближенной формуле $h_ж \approx C_ж \cdot t_3$ кДж/кг, где $C_ж = 4{,}19$ кДж/(кг·К) – изобарная теплоемкость воды в жидком состоянии.

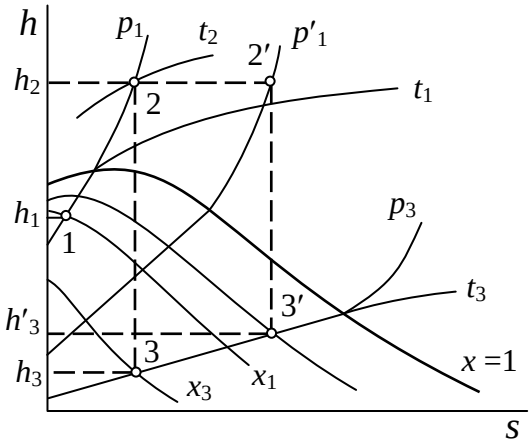

Рисунок 1 – Алгоритм поиска параметров.

Поскольку процессы подвода теплоты в пароперегревателе и котле являются изобарными, то количество теплоты определяется по разности энтальпий в конце и начале процесса.

Работу в цикле Ренкина (в данном случае это работа, полученная в турбине) рассчитать также по разности энтальпий в начале и конце процесса, так как процессы 2-3 и 2'-3' являются адиабатными.

Термический КПД цикла Ренкина определить по формуле

$$\eta_t = l_ц / q_1 ,$$

где $l_ц$ – работа в цикле, кДж/кг;

q_1 – теплота подведенная в цикле, кДж/кг.

Таблица 2 – Исходные данные для задачи 2

Первая цифра варианта	p_3, кПа	Δt, °С	Вторая цифра варианта	p_1, МПа	x_1
0	3,5	160	0	2,5	0,94
1	3,0	170	1	3,0	0,95
2	3,5	180	2	3,5	0,96
3	4,0	190	3	4,0	0,97
4	4,5	200	4	4,5	0,98
5	5,0	210	5	5,0	0,99
6	3,0	220	6	5,5	0,95
7	3,5	230	7	6,0	0,96
8	4,0	240	8	6,5	0,97
9	4,5	250	9	7,0	0,98

Задача 3. В горизонтальном трубчатом теплообменнике охлаждается M (кг/с) керосина с изменением температуры от t'_1 до t''_1. По каналу перпендикулярно трубам движется воздух, который за счет отводимой от керосина теплоты, нагревается от температуры t'_2 до t''_2. Теплообменник состоит из бронзовых труб с диаметром $d_н/d_в$ = 37/32 мм, расположенных коридорно. Число рядов труб в пучке n = 20.

Определить требуемую поверхность теплообмена.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 3.

Таблица 3 - Исходные данные для задачи 3

Первая цифра варианта	M, кг/с	t'_2, °С	Вторая цифра варианта	t'_1, °С	t''_1, °С	t''_2, °С

0	15	10	0	80	35	50
1	16	15	1	84	50	55
2	17	20	2	88	37	60
3	18	12	3	92	45	65
4	19	17	4	96	42	70
5	20	22	5	100	39	52
6	21	14	6	104	41	62
7	22	19	7	108	44	54
8	23	11	8	112	40	64
9	24	18	9	116	46	53

Теоретические сведения. Поверхность теплообмена F, м^2, определить из уравнения теплопередачи:

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

где $Q = M \cdot C_{pk} \cdot (t_1^1 - t_1^{11})$ – тепловой поток отводимый от кероси на, Вт;

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

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_к} + \frac{d_н - d_в}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}\right)^{-1}, \qquad \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

$\Delta t_{ср}$ – среднелогарифмический температурный напор, определить для противоточной схемы движения теплоносителей из выражения

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}}$$

$$\Delta t_б = t_1^1 - t_2^{11}$$

$$\Delta t_м = t_1^{11} - t_2^1$$

C_{pk} – изобарная теплоемкость керосина при средней температуре (таблица А приложение А), $\frac{Дж}{кг \cdot К}$;

α_k – средний коэффициент теплопередачи от керосина к стенке трубы, определить из критериального уравнения для вынужденной конвекции при движении жидкости в трубе

$$Nu_к = 0{,}021 \mathrm{Re}^{0{,}8} \mathrm{Pr}^{0{,}43},$$

$\alpha_в$ – средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности труб к воздуху определить из критериального уравнения для случая поперечного обтекания коридорных пучков труб

$$Nu_â = 0{,}26 \mathrm{Re}^{0{,}65} \mathrm{Pr}^{0{,}33} \varepsilon_s \varepsilon_n,$$

где $Nu = \dfrac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ – число Нуссельта;

$\mathrm{Re} = \dfrac{w \cdot d}{\nu}$ – число Рейнольдса;

$\mathrm{Pr}_{ж}$ – число Прандтля;

d – соответствующий диаметр трубы (со стороны керосина – внутренний, со стороны воздуха – наружный), м;

w – скорость течения теплоносителя принять для керосина 0,5-2 м/с, для воздуха 10-20 м/с;

λ, ν – соответственно коэффициент теплопроводности и кинемати ческой вязкости теплоносителя;

$\varepsilon_s = \left(d_н / S_2\right)^{0,15}$ - поправка на шаг труб в пучке;

$S_2 = 3d_н$ – продольный шаг труб в пучке;

$\varepsilon_n = \left[\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 (n-2)\right]/n$ - поправка на число труб в пучке (для коридорного пучка ε_1 = 0,6, ε_2 = 0,9, ε_3 = 1).

Число Прандтля и теплофизические характеристики выбирать из приложения А при средней температуре теплоносителя.

Коэффициент теплопроводности бронзы λ = 65 Вт/(м·К).

Задача 4. Две близко расположенные друг к другу пластины с температурами t_1, t_2 и степенью черноты ε_1, ε_2 обмениваются лучистой энергией. Определить: собственное излучение для каждой пластины; плотность результирующего теплового потока между пластинами; изменение плотности теплового потока после установки между пластинами плоского параллельного им экрана со степенью черноты $\varepsilon_э$.

Данные для решения задачи выбрать из таблицы 4.

Таблица 4 – Исходные данные для задачи 4.

Первая цифра варианта	t_1, ^{0}C	ε_1	Вторая цифра варианта	t_2, ^{0}C	ε_2	$\varepsilon_э$
0	200	0,10	0	50	0,60	0,1
1	220	0,15	1	55	0,65	0,2
2	240	0,20	2	60	0,70	0,3
3	260	0,25	3	65	0,75	0,4
4	280	0,30	4	70	0,80	0,5
5	300	0,35	5	75	0,85	0,6
6	320	0,40	6	80	0,90	0,7
7	340	0,45	7	85	0,60	0,8
8	360	0,50	8	90	0,65	0,9
9	380	0,55	9	95	0,70	0,1

Теоретические сведения. Расчеты проводить в следующем порядке.

1. Собственное излучение для каждой пластины E, Вт/м^2:

$$E_1 = C_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot \left(\frac{T_1}{100}\right)^4, E_2 = C_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot \left(\frac{T_2}{100}\right)^4,$$

где $C_0 = 5{,}67\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ – излучательная способность абсолютно черного тела.

2. Плотность результирующего теплового потока между пластинами q, Вт/м^2:

$$q = C_0 \cdot \varepsilon_{1.2} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right),$$

где $\varepsilon_{1.2}$ – приведенная степень черноты

$$\varepsilon_{1.2} = \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)^{-1}.$$

3. Плотность теплового потока $q_э$, после установки между пластинами экранами:

$$q_э = C_0 \cdot \varepsilon_{1,2,э} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right),$$

$$\varepsilon_{1.2.э} = \left(\frac{1}{\varepsilon_{1,2}} + \frac{2}{\varepsilon_э} - 1\right)^{-1}.$$

4. Изменение плотности теплового потока после установки экрана Δq, Вт/м^2:

$$\Delta q = q - q_э$$

3 Вопросы для подготовки к экзамену

1. Основные понятия и определения термодинамики.
2. Идеальный газ.
3. Теплоемкость газов.
4. Первый закон термодинамики.
5. Второй закон термодинамики. Свойство обратимых и необратимых циклов.
6. Принцип возрастания энтропии. Уравнение Гюи-Стодолы. Статистический смысл второго закона термодинамики.
7. Цикл Карно. Эксергия массы вещества, потока массы вещества, теплоты. Эксергетический КПД.
8. Характеристические функции.
9. Химический потенциал.
10. Характеристические функции
11. Дифференциальные уравнения термодинамики.
12. Термодинамические процессы (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный).
13. Качественные особенности реальных газов. Уравнение состояния реальных газов.
14. Вода и водяной пар.
15. Влажный воздух.
16. Истечение и дросселирование паров и газов.
17. Основы химической термодинамики. Закон Гесса. Закон Кирхгофа.
18. Скорость химических реакций. Закон действующих масс. Максимальная работа.
19. Компрессор. Многоступенчатое сжатие в компрессоре.
20. Циклы поршневых ДВС.
21. Цикл газотурбинной установки. Необратимый цикл ГТУ. Регенеративный цикл ГТУ.
22. Цикл паротурбинной установки. Цикл Карно для ПТУ. Цикл Ренкина. Цикл холодильной установки.
23. Теплопроводность газов, жидкостей и твердых тел. Закон Фурье.
24. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия.
25. Теплопроводность при стационарном режиме. (Теплопроводность через плоскую однослойную и многослойную стенки, теплопроводность через однослойную и многослойную цилиндрическую стенки).
26. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана.
27. Факторы влияющие на интенсивность конвективного теплообмена.
28. Коэффициент теплоотдачи. Дифференциальные уравнения теплообмена.
29. Основы теории подобия физических процессов. Основные критерии теплового подобия. Моделирование.
30. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости вдоль плоской по-

верхности.

31. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах.
32. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы.
33. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб.
34. Теплоотдача при свободном движении жидкости.
35. Теплообмен при кипении жидкости.
36. Теплообмен при конденсации пара.
37. Теплообмен излучением.
38. Основные законы излучения (Законы Планка, Вина, Ламберта, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, лучеиспуская газов).
39. Теплообмен излучением между телами
40. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую стенку.
41. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку.
42. Критический диаметр тепловой изоляции.
43. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов.
44. Происхождение и состав органического топлива.
45. Тепловые характеристики топлива.
46. Физические основы процесса горения топлива.
47. Горение отдельных видов органического топлива.
48. Расчет процессов горения топлива.
49. Основные способы сжигания топлива и типы топочных устройств.
50. Котельные установки.
51. Котельный агрегат и его элементы.
52. Тепловой баланс котельного агрегата.
53. Мероприятия по защите окружающей среды при эксплуатации КА.
54. Отопление промышленных предприятий.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Кудинов В.А. Техническая термодинамика : Учеб. пособие для втузов. - 5-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2007. - 261с.
2. Луканин В.Н Теплотехника : учеб. для техн. спец. вузов. - 7-е изд, испр. - М. : высш. Шк, 2009. - 671стр.

Дополнительная литература

3. Луканин В.Н Теплотехника : учеб. для техн. спец. вузов. - 7-е изд, испр. - М. : высш. Шк, 2009. - 671стр.Теплотехника./ Под редакцией В.И. Луканина. – М.: Высш.школа. 2003. – 671с.
4. Кирилин В.А. Техническая термодинамика. Учебник для теплоэн. спец. вузов. - 4-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 407стр.Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 80 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)
Теплофизические свойства некоторых веществ

Таблица А.1 – Теплофизические свойства керосина

t, °С	ρ, кг/м^3	C_p, кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)	$\nu\times10^6$, м^2/с	Pr
40	808	2,09	0,1130	1,340	20,0
50	801	2,14	0,1114	1,220	18,7
60	795	2,18	0,1100	1,050	16,5
70	788	2,23	0,1085	0,972	15,7
80	781	2,28	0,1071	0,850	14,1
90	774	2,33	0,1057	0,798	13,6
100	766	2,38	0,1042	0,711	12,4
110	759	2,43	0,1027	0,672	12,1
120	751	2,48	0,1012	0,602	11,2

Таблица А.2 – Теплофизические свойства сухого воздуха

t, °С	ρ, кг/м^3	C_p, кДж/(кг·К)	$\lambda\times10^2$, Вт/(м·К)	$\nu\times10^6$, м^2/с	Pr
0	1,293	1,005	2,44	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	15,06	0,703
30	1,165	1,005	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

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Методические указания

Составители: Колесников Борис Петрович
Королева Юлия Викторовна