

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ» (МГУПП)**

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

**Кафедра: «Ресурсосберегающие процессы и технологии
пищевых производств»**

*Термодинамика, Теплообмен,
Термодинамика и теплообмен, Теплотехника,
Тепло-хладотехника*

**Решения задач размещены
на сайте zadachi24.ru**

ТЕПЛОТЕХНИКА

**Программа, контрольные задания и рекомендации для практических
занятий и самостоятельной работы студентов
направлений подготовки:**

15.03.02, 16.03.03, 19.03.01, 19.03.02, 19.03.03, 19.03.04, 23.03.03

МОСКВА 2015

Составители: **Николаев Н.С.**, проф.,
Пляшешник П.И., ст. преп.
Руденко Г.С., проф.

Работа содержит программу дисциплины, домашние контрольные задания и рекомендации по самостоятельной работе студентов, необходимые для изучения курса теплотехники.

Издание утверждено кафедрой «Ресурсосберегающие процессы и технологии пищевых производств».

© МГУПП 2015

ВВЕДЕНИЕ

Теплотехника является областью техники и общетехнической дисциплиной. Она изучает процессы получения, преобразования, передачи и использования теплоты и явления, которые их сопровождают, а также устройство и принципы действия теплогенераторов и тепловых машин.

Теоретическими разделами дисциплины являются техническая термодинамика и теория тепломассообмена. Прикладной частью дисциплины является раздел промышленной теплотехники, в котором рассматриваются устройства и принципы работы котельных установок, тепловых машин и аппаратов, систем теплоснабжения предприятий, а также методы энергосбережения в процессах производства, транспортировки и использования теплоносителей.

Предприятия по производству пищевых продуктов относятся к энергоёмким производствам. Поэтому вопросы рационального устройства и эффективной эксплуатации теплового хозяйства имеют важное значение в практической работе инженерных кадров. Этим обусловлено значение теплотехнической подготовки специалистов технологического профиля, производственная деятельность которых связана с эксплуатацией систем теплообеспечения предприятий, обеспечением эффективной работы разнообразного теплоиспользующего технологического оборудования.

В результате изучения дисциплины будущий инженер должен:

- владеть терминологией теплотехнических дисциплин;
- знать основные законы термодинамики и сущность процессов передачи теплоты;
- знать принцип действия тепловых машин и холодильных установок, теплообменных аппаратов, устройство систем теплоснабжения предприятий;
- уметь выполнять инженерные расчеты при подборе теплообменных аппаратов, составлении тепловых балансов и проектировании систем теплоснабжения предприятий;
- уметь пользоваться термодинамическими диаграммами водяного пара, влажного воздуха и хладагентов;
- понимать содержание энергетических обследований предприятий, знать принцип работы основных технических средств для измерения параметров и расходов теплоносителей;
- понимать основные принципы энергосбережения, уметь обосновывать эффективные энергосберегающие мероприятия и оценивать их экономическую эффективность;
- приобрести навык работы с учебной и специальной научно-технической литературой.

ПРОГРАММА КУРСА

Раздел 1. Техническая термодинамика

1. Введение

Предмет теплотехники. Роль отечественных учёных в развитии теплотехники. Энергетические ресурсы. Проблема развития современной промышленной теплоэнергетики.

2. Основные понятия и определения технической термодинамики

Предмет термодинамики. Теплота и работа - формы передачи энергии. Термодинамическая система. Тепловые машины. Рабочие тела. Термодинамические процессы. Основные параметры состояния газов. Уравнения состояния газов. Основные законы идеальных газов.

3. Теплоемкость

Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Теплоемкость при постоянных объеме и давлении. Зависимость теплоемкости от температуры.

4. Первый закон термодинамики

Сущность первого закона термодинамики, его аналитические выражения. Понятие о внутренней энергии, энтальпии, энтропии. Первый закон термодинамики для потока газов.

5. Термодинамические процессы идеальных газов

Методы исследования термодинамических процессов. Изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный и политропные процессы.

6. Второй закон термодинамики

Обратимые и необратимые процессы. Прямые и обратные термодинамические циклы. Циклы Карно. Сущность и формулировки второго закона термодинамики.

7. Водяной пар

Реальные газы, уравнения их состояния. Основные понятия водяного пара. Диаграммы состояния водяного пара. Термодинамические процессы водяного пара.

8. Влажный воздух

Основные понятия влажного воздуха. $h-d$ - диаграммы влажного воздуха. Основные процессы влажного воздуха.

9. Циклы паросиловых установок

Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина. Теплофикационный цикл.

Раздел 2. Теплообмен

1. Основные понятия и определения

Предмет теории теплообмена. Виды теплообмена. Процессы теплообмена в технологических процессах предприятий отрасли.

2. Теплопроводность

Основные понятия теплопроводности. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Теплопроводность при стационарном режиме.

3. Конвективный теплообмен

Сущность конвективного теплообмена. Понятие о тепловом пограничном слое. Основной закон конвективной теплоотдачи. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.

4. Теория подобия

Основные понятия теории подобия. Теоремы подобия. Критерии (числа) подобия. Критериальные уравнения теплообмена при свободной и вынужденной конвекции.

5. Нестационарный процесс теплопроводности

Нестационарные тепловые процессы (нагревание и охлаждение) в технологических процессах предприятий отрасли. Методы решения процессов нестационарной теплопроводности тел простой формы (неограниченной пластины, цилиндра, шара).

6. Теплообмен при изменении агрегатного состояния вещества

Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении жидкости.

7. Лучистый теплообмен

Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами. Экраны. Излучение газов. Сложный теплообмен.

8. Теплопередача

Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Теплопередача через плоские, цилиндрические и оребренные стенки.

9. Теплообменные аппараты

Классификация теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов. Средний температурный напор. Интенсификация теплообмена.

10. Тепловая изоляция

Основные теплоизоляционные материалы и их свойства. Расчет теплоизоляционных конструкций.

Раздел 3. Теплоснабжение предприятий отрасли и энергосбережение

1. Теплоснабжение предприятий

Особенности теплоснабжения пищевых производств. Автономное теплоснабжение предприятий. Тепловой баланс предприятия.

2. Топливо

Виды топлив. Состав и характеристики топлив. Расчет процессов горения топлива.

3. Промышленные котельные установки

Классификация котельных установок. Принципиальная схема котельной установки. Тепловой баланс и показатели работы котельных установок

4. Энергосбережение

Основы государственной энергосберегающей политики. Основные энергосберегающие мероприятия. Учет и контроль энергопотребления. Энергетические обследования предприятий. Вторичные энергоресурсы и их рациональное использование.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Существенное значение в творческом освоении дисциплины отводится самостоятельной работе студентов с учебниками, учебными и методическими пособиями, научно-технической литературой и периодическими журналами по проблемам промышленной теплоэнергетики и энергосбережения. Особо важную роль самостоятельная работа имеет для студентов очно-заочной формы обучения.

Эта работа начинается с подбора необходимой литературы в соответствии с программой дисциплины из приведенного в методическом пособии библиографического списка. Следует отметить, что выбор учебников и учебных пособий по проблемам отраслевой промышленной теплоэнергетики ограничен. Поэтому недостаток учебной литературы следует компенсировать изучением касающихся этих проблем статей в научно-технических журналах и научных монографиях, имеющихся в библиотеке университета.

После изучения имеющейся литературы, в первую очередь методических пособий кафедры «Ресурсосберегающие процессы и технологии пищевых производств», целесообразно провести самотестирование согласно проведенным контрольным вопросам по отдельным, наиболее важным, разделам дисциплины.

Важное значение имеет практическое применение теоретических знаний для решения конкретных инженерных задач. Студенту необходимо по заданию преподавателя выполнить приведенные в пособии контрольные работы. Исходные данные принимаются в соответствии с шифром зачетной книжки. В пособии приведены также необходимые для теплотехнических расчетов справочные данные.

Помимо выполнения контрольных работ хорошим методом повышения знаний является написание реферата по одной из предложенных тем. Реферат должен достаточно полно раскрыть существо темы, но его объем не должен быть самоцелью. Целью написания реферата является творческое освоение научно-технической литературы по заданной теме и логичное структурирование материала с обязательным приложением списка использованных источников. В качестве источников рекомендуется использовать также проспекты на новое оборудование, материалы тематических научно-технических выставок по данной проблеме, а также соответствующую информацию из Интернета.

Студентам очно-заочной формы обучения, работающим на предприятиях отрасли, полезно ознакомиться с энергохозяйством предприятия, тепловой схемой, имеющейся технической документацией и результатами

проводимых сторонними организациями энергетических обследований и регламентных теплотехнических испытаний.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

Задача 1.1

В баллоне емкостью V при температуре t и давлении P содержится газовая смесь, объемный состав которой следующий: R_{O_2} , R_{N_2} и R_{CO_2} . Определить массу газа. Исходные данные приведены в табл 1 и 2.

Таблица 1

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P , кПа	700	900	1500	1200	500	600	800	1000	1500	1100
t , °C	70	80	30	120	150	60	90	100	130	180
V , м ³	0,3	0,7	1,2	1,5	0,4	0,6	0,8	0,5	1,0	1,4

Таблица 2

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_{O_2} , %	30	35	30	40	25	25	35	35	30	20
R_{N_2} , %	30	25	40	40	25	50	15	50	50	60
R_{CO_2} , %	40	40	30	20	50	25	50	15	20	20

Задача 1.2

Газ массой M с начальными параметрами (давлением P_1 и температурой t_1) изотермически расширяется до уменьшения объема в ϵ раз, а затем адиабатно снижается до первоначального объема. Определить:

- первоначальный объем и объем в конце изотермического расширения;
- давление в конце изотермического расширения и адиабатного сжатия;
- температуру в конце адиабатного сжатия;
- изменение энтропии в процессе изотермического сжатия;
- работу изотермического расширения и адиабатного сжатия.

Изобразить данные термодинамические процессы в PV - и TS координатах.

Исходные данные приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	SO ₂
M, кг	5	7	15	3	2	9	12	20	25	7
ε	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0

Таблица 4

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₁ , МПа	3,0	2,0	2,5	3,5	4,0	2,5	3,5	4,5	5,0	2,5
t ₁ , °C	150	200	250	180	220	300	240	180	160	240

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 2

Задача 2.1

Влажный насыщенный пар массой 1 кг и давлением P₁ со степенью сухости x₁ превращается при постоянном давлении в перегретый пар со степенью перегрева Δt. Затем пар изохорно охлаждается до состояния влажного насыщенного пара со степенью сухости x₃. Определить (с помощью диаграммы hS для водяного пара):

- термодинамические параметры пара в характерных точках 1, 2 и 3;
- работу изобарного и изохорного процессов.

Изобразить данные процессы в координатах PV, TS и hS.

Исходные данные приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₁ , кПа	900	1000	1100	800	700	600	800	500	1000	1500
Δt, °C	300	250	350	300	400	350	300	350	400	500

Таблица 6

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x ₁	0,90	0,92	0,93	0,85	0,82	0,86	0,88	0,90	0,87	0,85
x ₃	0,92	0,90	0,87	0,88	0,90	0,92	0,90	0,92	0,85	0,88

Задача 2.2

Определить часовой расход воздуха, теплоты и греющего пара в калорифере для установки по сушке молока (рис. 1), если:

- температура холодного воздуха, подаваемого в водяной калорифер, t_a и его относительная влажность φ_a ;
- температура горячего воздуха после калорифера t_b ;
- относительная влажность воздуха после сушильной установки φ_c ;
- производительность установки по испаренной влаге Π ;
- давление греющего пара, поступающего в калорифер, P при степени сухости x ;
- содержание в конденсате «пролетного» пара $x_{пп}$;
- коэффициент полезного использования теплоты в паровом калорифере η .

Изобразить процессы на h_d -диаграмме влажного воздуха.

Исходные данные приведены в табл. 7 и 8.

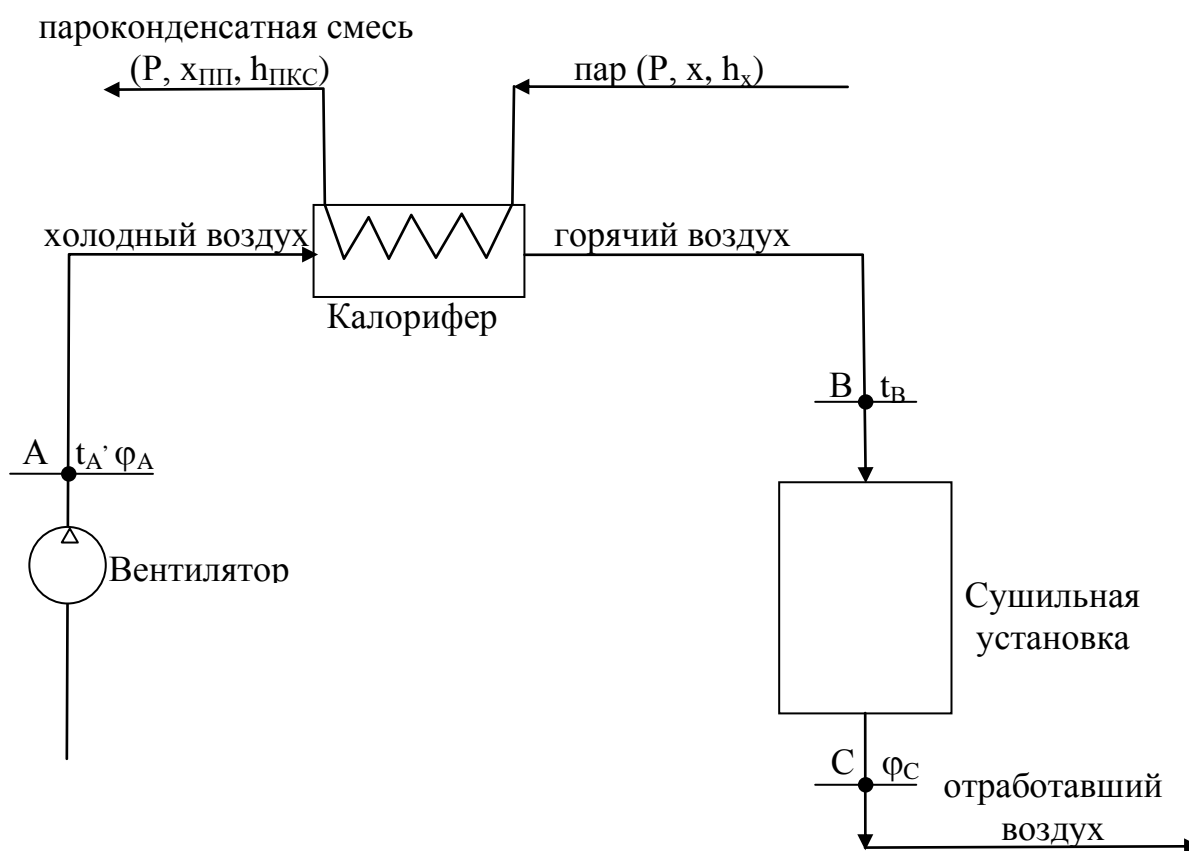


Рис. 1. Принципиальная схема сушильной установки

Примечания:

1. При определении энтальпий пара и пароконденсатной смеси использовать таблицы термодинамических параметров водяного пара.
2. Уравнение теплового баланса парового калорифера имеет вид:

$$Q = D (h_x - h_{пкс}) \cdot \eta, \text{ кДж/ч,}$$

где: Q – расход теплоты на испарение влаги, кДж/ч;

D – расход пара, кг/ч;

h_x – энтальпия пара, кДж/кг, $h_x = h' + r X$, кДж/кг,

где h' – энтальпия кипящей воды, кДж/кг, r – теплота парообразования, кДж/кг;

$h_{\text{ПКС}}$ – энтальпия пароконденсатной смеси, кДж/кг,

$$h_{\text{ПКС}} = h' + r \cdot x_{\text{ПШ}}, \text{ кДж/кг}$$

Таблица 7

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
П, кг/ч	150	200	250	300	150	250	400	450	300	200
$t_a, ^\circ\text{C}$	20	25	15	10	20	10	5	0	10	15
$\varphi_a, \%$	70	80	60	70	90	70	80	90	70	80
$t_b, ^\circ\text{C}$	160	170	165	160	165	170	165	155	170	160
$\varphi_c, \%$	70	75	80	85	80	70	75	70	60	65

Таблица 8

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, кПа	1200	1100	1000	1150	1200	1300	1200	1250	1200	1300
x	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,90	0,94	0,92	0,90	0,95
$x_{\text{ПШ}}$	0,08	0,10	0,12	0,08	0,12	0,15	0,10	0,12	0,13	0,15
η	0,88	0,90	0,87	0,85	0,88	0,83	0,80	0,85	0,86	0,82

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 3

Задача 3.1

Во сколько раз уменьшатся потери теплоты излучением в окружающую среду от изолированного паропровода длиной 1 м по сравнению с неизолированным (рис. 2), если:

- внутренний диаметр трубопровода d_1 ;
- наружный диаметр трубопровода d_2 ;
- диаметр изолированного трубопровода d_3 ;
- степень черноты трубопровода ε_r ;
- степень черноты поверхности теплоизоляционного слоя $\varepsilon_{\text{ти}}$;
- температура поверхности теплоизоляционного слоя $t_{\text{ти}}$;
- температура поверхности трубопровода t_r .

Исходные данные приведены в табл. 9 и 10.

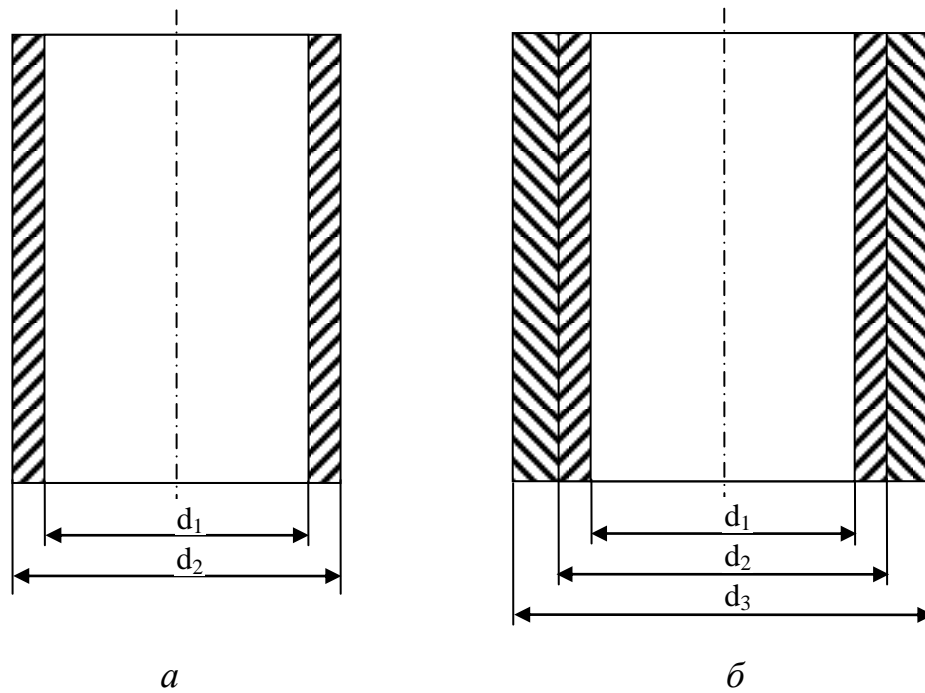


Рис. 2. Неизолированный (а) и изолированный (б) трубопровод

Таблица 9

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_2 , мм	109	159	57	109	214	159	89	214	57	159
d_3 , мм	209	309	127	209	374	309	169	374	117	299
ϵ_T	0,92	0,90	0,91	0,93	0,92	0,90	0,95	0,88	0,90	0,92
$\epsilon_{ТИ}$	0,58	0,60	0,55	0,57	0,60	0,52	0,58	0,65	0,64	0,60

Таблица 10

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_T , °C	140	150	145	160	170	130	155	160	140	130
$t_{ТИ}$, °C	42	40	45	43	41	40	45	42	43	41

Задача 3.2

Определить необходимую толщину слоя теплоизоляции $\delta_{из}$ наружной стены холодильной камеры (рис. 3), если:

- толщина стены $\delta_{ст}$;
- коэффициенты теплопроводности соответственно материала стены и теплоизоляции $\lambda_{ст}$ и $\lambda_{из}$;
- температура наружного воздуха и воздуха в холодильной камере $t_{в1}$ и $t_{в2}$;

- коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к стене α_1 и от поверхности теплоизоляции к воздуху в холодильной камере α_2 ;
- заданная плотность теплового потока q .

Оценить также температуры поверхностей t_{c1} , t_{c2} и t_{c3} , а также глубину промерзания теплоизоляционного слоя δ_0 .

Исходные данные приведены в табл. 11 и 12.

Таблица 11

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q, \text{Вт/м}^2$	10,0	10,5	9,5	11,0	9,2	10,3	9,6	10,6	10,0	9,8
$\delta_{\text{ст}}, \text{мм}$	500	375	500	625	500	375	500	625	375	500
$t_{B1}, ^\circ\text{C}$	+30	+32	+28	+30	+29	+33	+27	+31	+32	+29
$t_{B2}, ^\circ\text{C}$	-18	-19	-20	-17	-18	-20	-21	-22	-27	-25

Таблица 12

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{\text{ст}}, \text{Вт/(м К)}$	0,85	0,60	0,82	0,80	0,85	0,87	0,58	0,85	0,58	0,82
$\lambda_{\text{из}}, \text{Вт/(м К)}$	0,040	0,042	0,048	0,037	0,038	0,045	0,046	0,038	0,035	0,032
$\alpha_1, \text{Вт/(м}^2 \text{ К)}$	13,0	12,0	11,5	12,5	11,0	12,5	11,5	13,0	12,5	13,5
$\alpha_2, \text{Вт/(м}^2 \text{ К)}$	8,0	8,7	9,0	8,2	8,5	7,7	8,2	8,5	8,6	8,0

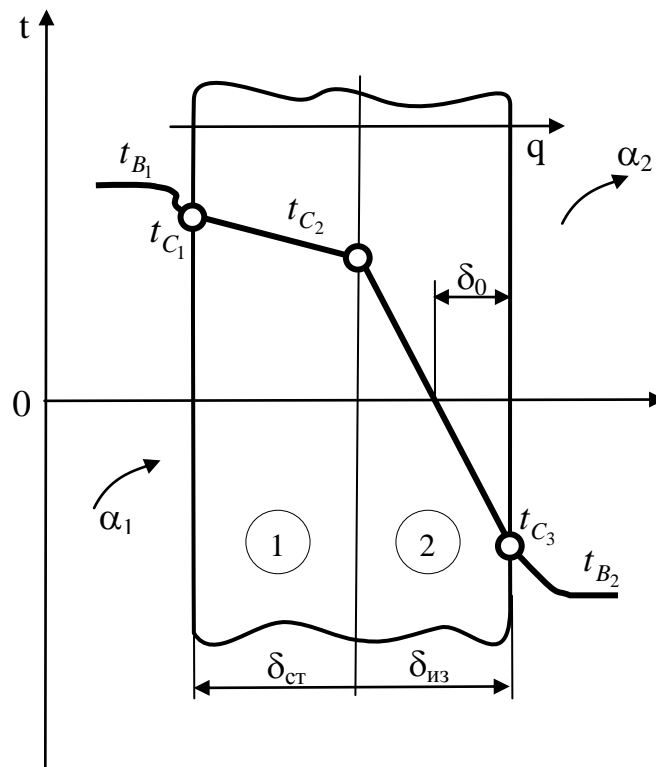


Рис. 3. Изменение температур в ограждающей конструкции холодильной камеры: 1 – стена; 2 – теплоизоляция

Задача 3.3

Городской молочной завод для нужд горячего водоснабжения и водяного отопления в качестве греющего теплоносителя использует перегретую теплофикационную воду, полученную от ТЭЦ (рис. 4). Определить:

- тепловую мощность системы отопления $Q_{от}$;
- количество нагреваемой воды для системы горячего водоснабжения $M_{гв}$;
- площади поверхностей нагрева водоподогревателей системы водяного отопления $F_{от}$ и горячего водоснабжения $F_{гв}$,

Построить совмещенный температурный график водоподогревателей в координатах tF .

Обосновать преимущества противоточной схемы движения теплоносителей в водоподогревателе.

Исходные данные (приведены в табл. 13 и 14):

- расход перегретой теплофикационной воды от ТЭЦ M_1 ;
- коэффициенты теплопередачи водоподогревателей системы отопления $K_{от}$ и системы горячего водоснабжения $K_{гв}$;
- коэффициенты полезного использования теплоты в водоподогревателях системы отопления $\eta_{от}$ и горячего водоснабжения $\eta_{гв}$.
- $t_{пр}$ и $t_{обр}$ – температуры «прямой» и «обратной» воды системы водяного отопления;
- $t_{хв}$ и $t_{гв}$ – температуры холодной и горячей воды;
- $t'_{ТЭЦ}$ и $t''_{ТЭЦ}$ – температуры теплофикационной воды, получаемой от ТЭЦ и возвращаемой на ТЭЦ;
- $t^{пр}_{ТЭЦ}$ – промежуточная температура теплофикационной воды после водоподогревателя системы отопления.

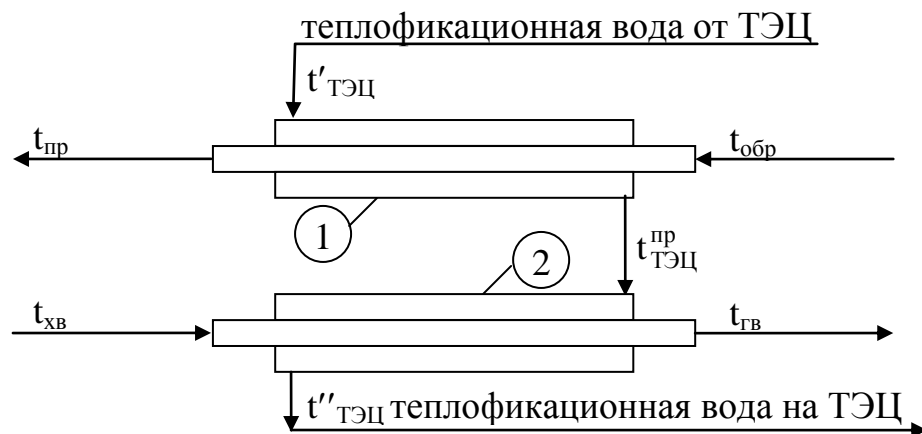


Рис. 4 Принципиальная тепловая схема установки водоподогревателей типа «труба в трубе»:

1 – водоподогреватель системы отопления;

2 – водоподогреватель системы горячего водоснабжения;

Примечания:

1. Уравнение тепловых балансов и теплопередачи водоподогревателей имеет вид:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} = Q_1 \cdot \eta = Q_2,$$

где Q , Q_1 и Q_2 – соответственно тепловая мощность водоподогревателей, количество теплоты, отдаваемой греющим теплоносителем, и количество теплоты, получаемой нагреваемой водой, кВт;

K – коэффициент теплопередачи, кВт/(м²·К);

F – площадь поверхности нагрева водоподогревателя, м²;

Δt_{cp} – средняя разность температур между теплообменивающимися средами, °С.

2. Промежуточная температура теплофикационной воды $t_{ТЭЦ}^{пр}$ принимается на 4...6 °С ниже полусуммы температур $t'_{ТЭЦ}$ и $t''_{ТЭЦ}$.

Таблица 13

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t'_{ТЭЦ}, °С$	145	152	138	144	150	155	142	148	150	140
$t''_{ТЭЦ}, °С$	52	56	50	54	55	56	50	55	52	48
$t_{пр}, °С$	110	112	110	96	103	110	112	113	102	103
$t_{обр}, °С$	57	60	58	54	58	55	57	56	53	53
$t_{ХВ}, °С$	10	12	11	9	10	11	12	13	11	10
$t_{ГВ}, °С$	66	63	68	62	70	66	69	70	65	67

Таблица 14

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_1, т/ч$	42	40	56	33	48	37	55	50	45	30
$K_{от}, кВт/(м^2 К)$	1,15	1,08	1,27	1,30	1,22	1,05	1,10	1,12	1,18	1,20
$K_{ГВ}, кВт/(м^2 К)$	0,92	0,90	0,94	0,95	0,88	0,96	0,92	0,93	0,88	0,90
$\eta_{от}$	0,91	0,92	0,93	0,94	0,92	0,91	0,90	0,91	0,90	0,92
$\eta_{ГВ}$	0,93	0,94	0,95	0,96	0,95	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95

Задача 3.4

Определить часовой расход натурального и условного топлива на выработку в котлоагрегате типа ДЕ-10-14-ГМ влажного насыщенного пара с избыточным давлением $P_{изб}$ и степенью сухости x , если:

- паропроизводительность котла D ;
- процент продувки $Пр$;
- температура питательной воды $t_{пв}$;
- низшая теплота сгорания топлива Q_H^p ;
- коэффициент полезного действия (брутто) при номинальной производительности $\eta_{ном}^{бр}$.

Исходные данные приведены в таблицах 15 и 16.

Примечания:

1. Располагаемую теплоту принять равной Q^p_n .
2. Фактический $\eta^{бр}_ф$ ниже номинального на 1 % на каждые 10 % недогрузки котлоагрегата.

Таблица 15

Величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, т/ч	9,0	8,0	7,0	9,5	8,5	7,5	7,0	6,5	6,0	8,0
R _{изб.} , ати	9	10	11	8	9	10	12	11	10	9
x	0,92	0,95	0,93	0,90	0,91	0,94	0,92	0,90	0,88	0,91
t _{пв} , °C	65	67	63	102	103	104	66	65	103	67

Таблица 16

Величина	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пр, %	5,0	6,0	6,5	7,0	5,5	7,0	7,5	6,5	6,0	5,5
$\eta^{бр}_{ном}$, %	92,0	91,8	92,2	92,0	91,6	90,8	90,6	90,4	90,5	90,3
Q^p_n , Дж/нм ³ МДж/кг	36,0	37,0	36,5	35,5	37,3		40,2	39,7	39,8	40,0
									40,0	40,2

Примечание:

Справочные данные, необходимые для решения задач, приведены в Приложениях 1,2,3.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Основные направления модернизации промышленной теплоэнергетики России.
2. Характеристики систем теплоснабжения предприятий мясной промышленности.
3. Характеристики систем теплоснабжения предприятий молочной промышленности.
4. Программа энергосбережения одного из регионов РФ (по месту проживания студента).
5. Решение задач энергосбережения на примере конкретного предприятия отрасли.
6. Модернизация системы теплоснабжения конкретного предприятия отрасли.
7. Нормирование энергопотребления на конкретном предприятии отрасли.
8. Принципиальные тепловые системы малых предприятий по переработке животноводческого сырья.
9. Энергоаудит конкретного предприятия отрасли.

10. Тепловые вторичные энергоресурсы предприятий мясной промышленности.

11. Тепловые вторичные энергоресурсы предприятий молочной промышленности.

12. Энергетический паспорт конкретного предприятия отрасли.

13. Перспективы использования на предприятиях отрасли нетрадиционных источников энергии.

14. Перспективы использования для теплоснабжения предприятий отрасли теплонасосных установок.

При написании рефератов могут быть использованы следующие научно-технические журналы:

- Мясная индустрия.
- Мясное дело.
- Молочная промышленность.
- Пищевая промышленность.
- Промышленная энергетика.
- Энергосбережение.
- Энергослужба предприятий.
- Энергосбережение и водоподготовка.
- Холодильная техника.
- Промышленный вестник.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об энергосбережении : [федер. закон : принят Гос. Думой 13 марта 1996 г.]. – М. : Госстрой России, 1996.

2. Энергетическая политика России на рубеже веков : в 2 т. – М. : Папирус ПРО, 2001.

3. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. – М. : ГУ ИЭС Минэнерго России, 2001.

4. ГОСТ Р 51379–99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы. – Введ. 2000–09–01 – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001.

5. ГОСТ Р 51380–99. Энергосбережение. Методы соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. – Введ. 2000–09–01 – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001.

6. ГОСТ Р 51380–99. Энергосбережение. Нормативно-техническое обеспечение. Основные положения. – Введ. 2000–09–01 – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001.

7. СНиП II-35-76. Котельные установки. – М. : Госстрой России, 1999.

8. СНиП41-02-2003. Тепловые сети. – М. : Госстрой России, 2003.

9. СНиП 2.04.05-88*. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М. : Госстрой России, 1999.
10. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М. : Госстрой России, 2003.
11. СНиП 423-02-2003. Тепловая защита зданий. – М. : Госстрой России, 2003.
12. Архаров А.М. Теплотехника : учебник для вузов / А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.Н. Афанасьев [и др.] : под общ. ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
13. Баскаков А.П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт [и др.]; под ред. А.П. Баскакова. – М. : Энергоатомиздат, 1991.
14. Зотов В.В. Теплопередача : сб. задач для самостоятельной работы студентов. – М : МГУПБ, 1999.
15. Зотов В.В. Промышленная теплотехника. Программа, основные понятия, расчетные уравнения, примеры решения задач, справочный материал : учебно-справочное пособие / В.В. Зотов, Г.С. Руденко. – М. : МГУПБ, 2004.
16. Зотов В.В. Теплотехника. Теплопередача : сборник тестов для самостоятельной работы студентов. В.В. Зотов – М. : МГУПБ, 2001.
17. Зотов В.В. Теплотехника. Техническая термодинамика : сб. тестов для самостоятельной работы студентов. В.В. Зотов – М. : МГУПБ, 2001.
18. Зотов В.В. Теплотехника : учебно-справочное пособие / В.В. Зотов, Г.С. Руденко – М. : МГУПБ, 2004.
19. Зотов В.В. Термодинамика. Тепломассообмен. Промышленная теплотехника. Энергосбережение. Словарь терминов и определений основных понятий теплотехнических дисциплин для студентов инженерных специальностей / В.В. Зотов, Г.С. Руденко. – М. : МГУПБ, 2002.
20. Кудинов В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кудинов, Э.Ю. Карташов – М. : Высшая школа, 2000.
21. Луканин В.Н. Теплотехника : учебник для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер [и др.] под ред. В.Н. Луканина. – М. : Высшая школа, 1999.
22. Ноздрин С.И. Рациональное использование топлива и теплоты на предприятиях мясной и молочной промышленности / С.И. Ноздрин, Г.С. Руденко. – М. : Агропромиздат, 1985.
23. Руденко, Г.С. Теплоснабжение предприятий по переработке животноводческого сырья : учебно-метод. пособие к выполнению курсовой работы / Г.С. Руденко, А.А. Башкатова. – М. : МГУПБ, 2000.
24. Руденко, Г.С. Теплотехника. Справочные данные / Г.С. Руденко, С.М. Камзолов – М.: МГУПБ, 2001.
25. Руденко, Г.С. Энергоаудит / Г.С. Руденко. – М. : МГУПБ, 2004.
26. Техническая термодинамика / Под ред. В.И. Крутова. – М. : Высшая школа, 1991.
27. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М. : Изд-во МЭИ, 2005.

Приложение 1

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУХОГО ВОЗДУХА

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Теплоемкость $c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Критерий Прандтля Pr
-50	1,584	1,013	2,04	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	11,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	12,43	0,712
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
120	0,898	1,009	3,34	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	34,85	0,680

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЯНОГО ПАРА
НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ**

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Давление $p \cdot 10^{-5},$ Па	Плотность сухого насыщенного пара $\rho'' ,$ кг/м^3	Теплота парообразования $r,$ кДж/кг	Коэффициент теплопроводности $\lambda,$ $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Критерий Прандтля Pr
100	1,013	0,598	2256,8	2,372	20,02	1,08
110	1,43	0,826	2230,0	2,489	15,07	1,09
120	1,98	1,121	2202,8	2,593	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2174,3	2,686	8,85	1,11
140	3,61	1,966	2145,0	2,791	6,89	1,12
150	4,76	2,547	2114,3	2,884	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2082,6	3,012	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2049,5	3,128	3,57	1,21
180	10,03	5,157	2015,2	3,268	2,93	1,25
190	12,55	6,397	1978,8	3,419	2,44	1,30
200	15,55	7,862	1940,7	3,547	2,03	1,36
210	19,08	9,588	1900,5	3,722	1,71	1,41
220	23,20	11,62	1857,8	3,896	1,45	1,47
230	27,98	13,99	1813,0	4,094	1,24	1,54
240	33,48	16,76	1766	4,290	1,06	1,61
250	39,78	19,98	1716	4,515	0,913	1,68

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Давление $p \cdot 10^{-5},$ Па	Плотность $\rho', \text{ кг/м}^3$	Теплоемкость $c_p,$ кДж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{ Вт/(м·К)}$	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Критерий Прандтля Pr
0	1,013	999,9	4,212	0,560	1,789	13,5
10	1,013	999,7	4,191	0,580	1,306	9,45
20	1,013	998,2	4,183	0,597	1,006	7,03
30	1,013	995,7	4,174	0,612	0,805	5,45
40	1,013	992,2	4,174	0,627	0,659	4,36
50	1,013	988,1	4,174	0,640	0,556	3,59
60	1,013	983,1	4,179	0,650	0,478	3,03
70	1,013	977,8	4,187	0,662	0,415	2,58
80	1,013	971,8	4,195	0,669	0,365	2,23
90	1,013	965,3	4,208	0,676	0,326	1,97
100	1,013	958,4	4,220	0,684	0,295	1,75
110	1,43	951,0	4,233	0,685	0,272	1,60
120	1,98	943,1	4,250	0,686	0,252	1,47
130	2,70	934,8	4,266	0,686	0,233	1,35
140	3,61	926,1	4,287	0,685	0,217	1,26
150	4,76	917,0	4,313	0,684	0,203	1,17
160	6,18	907,4	4,346	0,681	0,191	1,10
170	7,92	897,3	4,380	0,676	0,181	1,05
180	10,03	886,9	4,417	0,672	0,173	1,03
190	12,55	876,0	4,459	0,664	0,165	0,965
200	15,55	863,0	4,505	0,65'8	0,158	0,932
210	19,08	852,8	4,555	0,649	0,153	0,915
220	23,20	840,3	4,614	0,640	0,148	0,898
230	27,98	827,3	4,681	0,629	0,145	0,888
240	33,48	813,6	4,76	0,617	0,141	0,883
250	39,78	799,0	4,87	0,605	0,137	0,884

Учебное издание

Николаев Николай Сергеевич
Пляшешник Павел Иванович
Руденко Георгий Сергеевич

Программа, контрольные задания и рекомендации для практических
занятий и самостоятельной работы студентов
направлений подготовки:

15.03.02, 16.03.03, 19.03.01, 19.03.02, 19.03.03, 19.03.04, 23.03.03