

Оглавление

Принятые сокращения и аббревиатуры.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. СОСТАВ И ТРЕБОВАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ И ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ.....	8
1.1. Темы практических занятий.....	8
1.2. Состав и варианты домашних заданий. Общие указания по выполнению домашних заданий.....	8
1.3. Исходные данные для выполнения домашнего задания.....	9
1.4. Расчетные параметры наружного воздуха	12
1.5. Расчетные параметры внутреннего воздуха.....	12
2. ПОСТРОЕНИЕ НА $i-d$ -ДИАГРАММЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОГО И НЕПРЯМОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ	13
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ. ПОСТРОЕНИЕ ЦИКЛА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ХЛАДАГЕНТА В $lgP-I$ -ДИАГРАММЕ R410A. РАСЧЕТ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ	13
3.1. Краткие теоретические основы.....	13
3.2. Пример расчета и подбора водоохлаждающей парокомпрессионной холодильной машины (чиллера)	17
3.3. Пример подбора чиллера по таблицам или графикам	27
3.4. Пример подбора чиллера для особых условий эксплуатации.....	28
4. ВЫБОР И РАСЧЕТ УЗЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛО-ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ СКВ	30
4.1. Исходные данные к домашнему заданию.....	30
4.2. Выбор и расчет узлов регулирования теплообменников	32
4.2.1. Узел регулирования проточный с двухходовым клапаном.....	33
4.2.2. Узел регулирования воздухоохладителя с трехходовым регулирующим клапаном.....	37
5. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА VRF (VARIABLE REFRIGERANT FLOW)	43
5.1. Исходные данные к домашнему заданию.....	43
5.2. Общие положения проектирования многозональной системы кондиционирования воздуха VRF.....	46
5.3. Пример расчета многозональной системы кондиционирования воздуха VRF	47
5.3.1. Предварительный подбор внутренних блоков.....	48
5.3.2. Предварительный выбор наружного блока.....	49
5.3.3. Определение коэффициента коррекции.....	53
5.3.4. Определение фактической холодопроизводительности внутренних блоков VRF-системы.....	56
5.3.5. Холодопроизводительность наружного блока новой комплектации внутренними блоками.....	57
5.3.6. Окончательный выбор внутренних блоков.....	59
5.3.7. Проектирование системы фреоновых проводов.....	61
6. РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГРАДИРНИ.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
Библиографический список	67

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И АББРЕВИАТУРЫ

ОРП (ODP, Ozone Depletion Potential) — озоноразрушающий потенциал

ППП (GWP, Global Warming Potential) — потенциал глобального потепления хладагента по отношению к CO_2

ПКХМ — парокompрессионная холодильная машина

СКВ — система кондиционирования воздуха

ТРВ — термостатический расширительный вентиль

ЭРВ — электронный расширительный вентиль

BTU/h — британская единица мощности BTU/h (БТЕ/ч), часто применяется при обозначении тепло-/холодопроизводительности тепловых насосов, кондиционеров и холодильных установок, $1 \text{ Вт} \approx 3,412 \text{ BTU/h}$, $1 \text{ BTU/h} \approx 0,293 \text{ Вт}$, $1000 \text{ BTU/h} \approx 293 \text{ Вт}$

EER — Energy Efficiency Ratio — коэффициент энергетической эффективности холодильной машины (холодильный коэффициент)

VRF — Variable Refrigerant Flow — система кондиционирования воздуха с переменным потоком (расходом) хладагента

DB — температура сухого термометра, $^{\circ}\text{C}$

WB — температура мокрого термометра, $^{\circ}\text{C}$

ТС — полная холодопроизводительность, кВт

SHC — явная холодопроизводительность, кВт

Условные обозначения физических величин

A_k — площадь теплопередающей поверхности конденсатора, м^2

$A_{\text{и}}$ — площадь теплопередающей поверхности испарителя, м^2

c_w — удельная теплоемкость воды, $\text{кДж/кг} \cdot \text{град}$

$c_{\text{ж}}$ — удельная теплоемкость жидкости, $\text{кДж/кг} \cdot \text{K}$

$c_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воздуха, $\text{кДж/кг} \cdot \text{K}$

d — диаметр трубы, м

$d_{\text{н}}$ — влагосодержание наружного воздуха, г/кг

$G_{\text{п}}$ — расход приточного воздуха, кг/ч

$i_{\text{н}}$ — энтальпия наружного воздуха, кДж/кг

$i_{\text{в}}$ — энтальпия воздуха в обслуживаемой зоне помещения, $^{\circ}\text{C}$

$i_{\text{п}}$ — энтальпия приточного воздуха, $^{\circ}\text{C}$

k_k — коэффициент теплопередачи конденсатора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$

$k_{\text{и}}$ — коэффициент теплопередачи испарителя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$

k_v — пропускная способность регулирующего клапана, $\text{м}^3/\text{ч}$

k_{vs} — условная пропускная способность регулирующего клапана, $\text{м}^3/\text{ч}$

$l_{\text{т}}$ — удельная теоретическая работа сжатия рабочего вещества в компрессоре, кДж/кг

$M_{\text{х}}$ — массовый расход хладагента, кг/с

a — авторитет клапана (коэффициент управления, относительное сопротивление клапана)

$N_{\text{т}}$ — теоретическая электрическая мощность компрессора, кВт

$N_{\text{и}}$ — индикаторная электрическая мощность компрессора, кВт

$N_{\text{э}}$ — электрическая мощность на валу электродвигателя компрессора, кВт

$N_{\text{в}}$ — мощность, потребляемая вентиляторами холодильной машины, кВт

$N_{\text{н}}$ — мощность, потребляемая насосами холодильной машины, кВт

P — давление, Па

$P_{\text{и}}$ — давление испарения, Па

$P_{\text{к}}$ — давление конденсации, Па

ΔP_{VR} — перепад давления на регулируемом участке, кПа
 ΔP_{MV} — перепад давления на отдельном участке, кПа
 $\Delta P_{кл}$ — перепад давления на регулирующем клапане, кПа
 $\Delta P_{бк}$ — перепад давления в балансировочном клапане, кПа
 $\Delta P_{ф}$ — перепад давления в фэнкойле, кПа
 G — объемный расход жидкости через клапан, м³/ч
 q_x — удельная холодопроизводительность, кДж/кг
 q_k — удельное количество теплоты, отводимое в конденсаторе, кДж/кг
 Q — количество теплоты, которое обеспечивает перемещаемая жидкость, Вт
 Q_x — действительная холодопроизводительность холодильного агрегата, кВт
 Q_k — тепловая нагрузка на конденсатор, кВт
 t_b — температура внутреннего воздуха, °С
 $t_{вн}$ — температура воздуха на входе в теплообменник, °С
 $t_{вк}$ — температура воздуха на выходе из теплообменника, °С
 $t_{мт}$ — температура мокрого термометра, °С
 t_n — температура наружного воздуха, °С
 $t_{п}$ — температура приточного воздуха, °С
 $t_{и}$ — температура испарения, °С
 t_k — температура конденсации, °С
 t_1' — температура всасывания паров рабочего вещества в компрессор, °С
 t_3' — температура переохлаждения жидкого рабочего вещества, °С
 t_{wh}, t_{wk} — начальная и конечная температуры хладоносителя, °С
 Δt — изменение температуры воды от минимального до максимального значения в системе холодоснабжения, °С
 $\Delta t_m, \Delta t_6$ — соответственно меньший и больший перепады температур в теплообменнике между теплообменивающимися средами, °С
 $\Delta t_{ср}$ — среднелогарифмический температурный перепад, °С
 $\Delta t_{ср}^k$ — среднелогарифмический температурный перепад в конденсаторе, °С
 $\Delta t_{ср}^и$ — среднелогарифмический температурный перепад в испарителе, °С
 V_k — подача компрессора (объемный расход рабочего вещества), м³/с
 η_i — индикаторный коэффициент полезного действия
 $\eta_{мех}$ — механический коэффициент полезного действия
 $\eta_{эл}$ — коэффициент полезного действия электродвигателя
 λ — коэффициент подачи компрессора
 ρ_w — плотность жидкости при температуре перемещаемой среды, кг/м³
 ρ_x — плотность хладоносителя, кг/м³
 v_1' — удельный объем рабочего вещества в точке всасывания в компрессор, м³/кг
 ϕ_b — относительная влажность внутреннего воздуха, %

ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Холодоснабжение» посвящена изучению систем холодоснабжения в системах кондиционирования воздуха зданий разного назначения. Дисциплина имеет научную и практическую значимость, так как системы холодоснабжения обеспечивают в составе систем кондиционирования воздуха требуемые параметры воздуха в помещениях с целью создания комфортных условий для людей и нормального протекания технологических процессов.

В учебном пособии, как дополнение к учебнику «Холодоснабжение», приводятся примеры выполнения инженерных расчетов при проектировании систем холодоснабжения в составе систем кондиционирования воздуха. В каждом разделе даны указания и примеры решения задач и расчетов, которые можно использовать при проведении практических занятий и выполнении домашнего задания. Учебное пособие будет полезно обучающимся при выполнении выпускной квалификационной работы для расчетов систем холодоснабжения непосредственного охлаждения (многозональные системы кондиционирования воздуха VRF) и систем с промежуточным хладоносителем (чиллер, узлы регулирования) в составе систем кондиционирования воздуха, а также проектировщикам систем кондиционирования воздуха. Цель — приобретение обучающимися компетенций и практических навыков расчетов, проводимых при проектировании систем холодоснабжения для кондиционирования воздуха. Особое внимание направлено на практические вопросы и использование каталогов производителей холодильного оборудования.

1. СОСТАВ И ТРЕБОВАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ И ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ

Согласно рабочей программе, предусмотрены практические занятия при изучении каждого из семи разделов дисциплины «Холодоснабжение» (табл. 1.1).

1.1. Темы практических занятий

Таблица 1.1

Тема и содержание практических занятий

Номер	Наименование раздела дисциплины	Тема и содержание занятия
1	Естественные источники холода	Построение на $i-d$ -диаграмме влажного воздуха процессов обработки воздуха в двухступенчатой схеме испарительного охлаждения. Подбор оборудования
3	Парокомпрессионные холодильные машины (ПКХМ)	Определение температурного режима работы ПКХМ. Построение цикла изменения состояния хладагента в $lgP-i$ -диаграмме. Расчет ПКХМ
5	Непосредственное (прямое) охлаждение воздуха в СКВ	Подбор сплит-системы. Подбор компрессорно-конденсаторных блоков. Расчет и проектирование системы с переменным расходом хладагента VRF
6	Охлаждение воздуха в СКВ с использованием промежуточной среды-хладоносителя	Выбор и расчет узлов обвязки (регулирования) теплообменников. Подбор чиллеров системы тепло-холодоснабжения СКВ. Гидравлический расчет системы тепло-холодоснабжения СКВ, подбор насосов. Расчет и подбор аккумуляторов теплоты и холода
7	Оборотное водоснабжение парокомпрессионных холодильных машин с водяным охлаждением конденсатора	Расчет вентиляторной градирни. Сравнение коэффициента преобразования энергии ПКХМ с водяным охлаждением конденсатора с использованием мокрой градирни, сухой градирни, сухой градирни с теплообменником, орошаемым водой

1.2. Состав и варианты домашних заданий.

Общие указания по выполнению домашних заданий

Домашнее задание по курсу «Холодоснабжение» включает три части:

- 1) расчет и подбор водоохлаждающей парокомпрессионной холодильной машины-чиллера;
- 2) расчет и подбор регулирующих и балансировочных клапанов в узле регулирования водяных воздухоохладителей;
- 3) расчет и подбор многозональной системы кондиционирования воздуха VRF.

При подборе варианта домашнего задания необходимо ориентироваться на табл. 1.2. Вариант выбирается по последним двум цифрам номера зачетной книжки.

Таблица 1.2

Варианты домашнего задания

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

1.3. Исходные данные для выполнения домашнего задания

Перечислим исходные данные к первой и второй частям домашнего задания:

- 1) город, где расположен объект строительства;
- 2) требуемая холодопроизводительность водоохлаждающей холодильной машины (чиллера), Вт;
- 3) начальная температура охлаждаемой воды, °С;
- 4) конечная температура охлаждаемой воды должна быть на 5 °С выше начальной температуры воды;
- 5) способ охлаждения конденсатора: воздушное охлаждение, водяное охлаждение с использованием вентиляторной открытой градирни, водяное охлаждение с использованием закрытой градирни;
- 6) тип хладагента R410A;
- 7) параметры внутреннего воздуха;
- 8) расход охлаждаемого воздуха в поверхностном воздухоохладителе, кг/ч;
- 9) перепад давления в водяном поверхностном воздухоохладителе, кПа.

Варианты исходных данных к домашнему заданию представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Варианты исходных данных к домашнему заданию

Номер варианта	Район строительства	Холодо- производи- тельность, Q_x , кВт	Температура воды начальная, $^{\circ}\text{C}$	Охлаждение конденсатора		
				Воздушное	Водяное, градирня	
					открытая	закрытая
1	Астрахань	100	7	×		
2	Благовещенск	200	8		×	
3	Владивосток	300	9			×
4	Владикавказ	400	10	×		
5	Волгоград	500	11		×	
6	Воронеж	600	5	×		
7	Грозный	100	6			×
8	Екатеринбург	200	8	×		
9	Иркутск	300	9	×		
10	Казань	400	10	×		
11	Калининград	500	11	×		
12	Краснодар	600	5	×		
13	Красноярск	100	6	×		
14	Минеральные Воды	200	8	×		
15	Москва	300	7	×		
16	Нижний Новгород	400	8		×	
17	Новосибирск	500	9			×
18	Омск	600	10		×	
19	Оренбург	100	11			×
20	Пермь	200	5		×	
21	Петропавловск- Камчатский	300	6	×		
22	Ростов-на-Дону	400	8		×	
23	Санкт-Петербург	500	9			×
24	Саратов	600	10	×		
25	Севастополь	100	11		×	
26	Симферополь	200	5	×		
27	Сочи	300	6			×
28	Ставрополь	400	8	×		
29	Тюмень	500	7	×		
30	Уфа	600	8	×		
31	Феодосия	100	9	×		
32	Хабаровск	200	10	×		
33	Челябинск	300	11	×		
34	Элиста	400	5	×		
35	Южно-Сахалинск	500	6	×		

Номер варианта	Район строительства	Холодо- производи- тельность, Q_x , кВт	Температура воды начальная, $^{\circ}\text{C}$	Охлаждение конденсатора		
				Воздушное	Водяное, градирня	
					открытая	закрытая
36	Ялта	600	8		×	
37	Кострома	100	9			×
38	Орел	200	10		×	
39	Томск	300	11			×
40	Смоленск	400	5		×	
41	Белгород	500	6	×		
42	Барнаул	600	8		×	
43	Киров	100	7			×
44	Курск	200	12	×		
45	Дмитров	300	12		×	
46	Липецк	400	7	×		
47	Пенза	500	7			×
48	Магнитогорск	600	8	×		
49	Пятигорск	100	9	×		
50	Махачкала	200	10	×		
51	Дербент	300	11	×		
52	Тамбов	400	5	×		
53	Брянск	500	6	×		
54	Керчь	600	8	×		
55	Казань	100	9	×		
56	Минеральные воды	200	10		×	
57	Самара	300	11			×
58	Тольятти	400	5		×	
59	Адлер	500	6			×
60	Пенза	600	8		×	
61	Орел	100	7	×		
62	Калуга	200	8		×	
63	Тула	300	9			×
64	Евпатория	400	10	×		
65	Джанкой	500	11		×	
66	Ейск	600	5			×
67	Алушта	100	6	×		
68	Новороссийск	200	13	×		
69	Курган	300	14	×		
70	Новокузнецк	400	15	×		

Дополнительные исходные данные ко второй и третьей частям домашнего задания смотрите в разделах 4 и 5 соответственно.

1.4. Расчетные параметры наружного воздуха

Для проектирования систем кондиционирования воздуха в качестве расчетных параметров наружного климата для теплого периода года принимают климатические параметры Б в соответствии с табл. 10.1 СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [11].

В зависимости от города, в котором расположено здание, определяют:

- расчетное барометрическое давление, гПа [11];
- параметры наружного воздуха для теплого периода года [10, 11].

Температуру наружного воздуха по параметрам Б принимают по табл. 4.1, графа 4 для теплого периода, удельную энтальпию наружного воздуха по параметрам Б принимают по прил. А, рис. А.5 для теплого периода года [11]. Для отдельных городов Российской Федерации приведены более точные значения двух параметров наружного воздуха для теплого периода года, необходимые для расчета систем кондиционирования воздуха: влагосодержание и удельная энтальпия в табл. П1 прил. П СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [10].

Остальные параметры воздуха, например температуру наружного воздуха по сухому и мокрому термометру, определяют с использованием i – d -диаграммы влажного воздуха в программе Excel или по формулам при расчетном значении барометрического давления для данного города.

Пример 1. Город Иваново.

Параметры наружного воздуха для теплого периода года:

1) по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», табл. 4.1 определяем температуру наружного воздуха, °С, обеспеченностью 0,98:

$$t_n^{0,98} = 25 \text{ °С};$$

2) по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», табл. 4.1 определяем расчетное барометрическое давление, 1000 гПа.

Удельная энтальпия наружного воздуха по параметрам Б определена по карте на рис. А.5 прил. А СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»: $i_n = 52,8$ кДж/кг.

Пример 2. Город Омск.

Параметры наружного воздуха для теплого периода года:

1) по табл. П.1 Прил. П СП 60.13330.2020 «Вентиляция и кондиционирование воздуха» определяем удельную энтальпию наружного воздуха 54,3 кДж/кг и влагосодержание наружного воздуха 10,7 г/кг;

2) по табл. 4.1 СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» определяем расчетное барометрическое давление, гПа, 1003 гПа;

3) по i – d -диаграмме влажного воздуха в Excel определяем температуру наружного воздуха $t_n = 28$ °С.

1.5. Расчетные параметры внутреннего воздуха

При выполнении расчетов и подборе оборудования систем холодоснабжения непосредственного охлаждения необходимо учитывать параметры воздуха внутри помещения. Системы кондиционирования воздуха и холодоснабжения обеспечивают поддержание оптимальных значений температуры и относительной влажности воздуха внутри помещений. Оптимальные параметры микроклимата в обслуживаемой зоне общественных и административно-бытовых помещений зданий определяют по ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях для теплого периода года» [9]. Чтобы определить параметры состояния внутреннего воздуха, достаточно знать два параметра, остальные определяют с использованием i – d -диаграммы влажного воздуха или по формулам при расчетном значении барометрического давления для данного ге-

ографического пункта. При решении задач на практических занятиях и выполнении домашнего задания эти параметры могут быть заданы. В расчетах систем холодоснабжения обычно используют температуру внутреннего воздуха по сухому и мокрому термометру. Последняя может быть определена с помощью $i-d$ -диаграммы влажного воздуха для соответствующего расчетного барометрического давления по программе Excel или по соответствующим формулам.

2. ПОСТРОЕНИЕ НА $i-d$ -ДИАГРАММЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОГО И НЕПРЯМОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Это — тема практического занятия 1. Примеры построения процессов на основе применения прямого, косвенного и двухступенчатого испарительного охлаждения и подбора оборудования подробно рассмотрены в книге «Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях» и учебном пособии «Кондиционирование воздуха в гражданских зданиях» [2, 3].

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ. ПОСТРОЕНИЕ ЦИКЛА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ХЛАДАГЕНТА В $lgP-i$ -ДИАГРАММЕ R 410A. РАСЧЕТ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Эти задачи решают на практических занятиях 2 и 3, а также при выполнении первой части домашнего задания.

3.1. Краткие теоретические основы

Температурный режим холодильной машины

Под выходными техническими характеристиками парокомпрессионной холодильной машины понимают такие характеристики, как полная холодопроизводительность, мощность, потребляемая компрессором, коэффициент преобразования энергии EER. Мгновенные значения выходных характеристик зависят от температурного режима холодильной машины. Температурный режим парокомпрессионной холодильной машины — сочетание четырех значений температуры: температуры испарения, температуры конденсации, температуры всасывания паров рабочего вещества в компрессор, температуры переохлаждения жидкого рабочего вещества. Температурный режим постоянно изменяется во времени при работе холодильной машины. Температура испарения зависит от температуры охлаждаемой среды, а температура конденсации определяется температурой среды, охлаждающей конденсатор. Температура испарения для водоохлаждающей холодильной машины определяется начальной и конечной температурой охлаждаемой воды или раствора, для холодильной машины в системе непосредственного охлаждения воздуха температура испарения определяется начальной и конечной температурой охлаждаемого воздуха. Температура конденсации определяется температурой среды, охлаждающей конденсатор, это может быть воздух или вода [1–4].

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru