

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра промышленной теплоэнергетики

СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Выполнение контрольных работ

Методические указания для студентов заочной формы обучения
по направлению подготовки
13.03.01 — Теплоэнергетика и теплотехника

Составитель
Е. Н. Громова

Санкт-Петербург
2023

Утверждено
на заседании кафедры ПТЭ
04.09.2023 г., протокол № 1

Рецензент О. В. Федорова

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». В указаниях представлен порядок выполнения и оформления контрольных работ. Приведены исходные данные для выполнения работ по вариантам и примеры решения задач.

Методические указания предназначены для бакалавров заочной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве
методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 19.09.2023 г. Рег. № 5243/23

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1. ТЕРМОДИНАМИКА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА	5
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2. ТЕПЛОВОЙ И ВЛАЖНОСТНЫЙ БАЛАНСЫ ПОМЕЩЕНИЙ	9
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ	12
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4. СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ	16
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	25
ПРИЛОЖЕНИЯ	26

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины: ознакомление с основными энергетическими системами обеспечения комфортных условий пребывания человека в производственных условиях, а также со способами утилизации теплоты отработавшего воздуха.

Задачи дисциплины: приобретение навыков применения усвоенного материала при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования для помещений производственного назначения.

Дисциплина «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования» состоит из пяти разделов:

1. Термодинамика влажного воздуха.
2. Тепловой и влажностный баланс помещения.
3. Системы вентиляции.
4. Системы кондиционирования.
5. Системы отопления.

По каждому из этих разделов обучающийся должен выполнить контрольную работу, состоящую из четырех задач. Исходные данные для решения этих задач приводятся в настоящих методических указаниях в соответствующих таблицах. Номер варианта выбирается по последней цифре номера зачетной книжки (индивидуального шифра) студента. Работы, выполненные не по установленному варианту, рассматриваться не будут, они возвращаются студенту без проверки.

Контрольные работы оформляются в рукописном или в печатном виде, на титульном листе обязательно указываются: ФИО студента, шифр, кафедра, наименование изучаемой дисциплины и номер варианта контрольного задания (см. приложение 2).

При выполнении контрольных работ необходимо:

- полностью переписать исходные данные в соответствии с вариантом;
- решение задачи представить в развернутом виде, показывая все подстановки и преобразования;
- размерности исходных данных и вычисленных величин привести в соответствие с международной системой единиц измерения СИ;
- в конце решения выделить ответ;
- если в ходе решения задач использовалась I-d диаграмма влажного воздуха, приложить к решению распечатанную диаграмму с построенными точками и процессами.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1. ТЕРМОДИНАМИКА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Пример 1. Воздух помещения имеет температуру $t = 20$ °С и парциальное давление водяного пара $P_{\text{п}} = 12,5$ мм рт. ст. Упругость насыщенных водяных паров при данной температуре составляет $P_{\text{н}} = 17,5$ мм рт. ст. Определить относительную влажность и объемный вес влажного воздуха:

$$\varphi = \left(\frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{н}}}\right) \cdot 100 = \left(\frac{12,5}{17,5}\right) \cdot 100 = 71,43 \text{ \%}.$$

Объемный вес влажного воздуха – это вес 1 м³ влажного воздуха:

$$\gamma = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot 273}{T \cdot \left(\frac{P_{\text{б}}}{760} - \frac{0,378 \cdot P_{\text{п}}}{760}\right)}, \text{ кг/м}^3$$
$$\gamma = \frac{1,293 \cdot 273}{293 \cdot \left(\frac{760}{760} - \frac{0,378 \cdot 12,5}{760}\right)} = 1,21, \text{ кг/м}^3.$$

Объемный вес влажного воздуха меньше веса сухого при одной и той же температуре и барометрическом давлении.

Пример 2. Определить энтальпию влажного воздуха при $t = 20$ °С и влагосодержании $d = 12$ г/кг.

Энтальпия влажного воздуха I – энергия в форме теплоты влажного воздуха с массой сухой его части, равной 1,0 кг. Энтальпия влажного воздуха равна сумме энтальпий сухого воздуха и водяного пара. При температуре влажного воздуха t и влагосодержании d :

$$I = I_{\text{сух}} + I_{\text{п}} = c \cdot t + I_{\text{п}} \cdot \left(\frac{d}{1000}\right), \text{ кДж/кг}.$$

Для практических инженерных расчетов можно принять:

$$c = 1,0 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°С}; i_{\text{п}} = 2500 \text{ кДж/кг}; c_{\text{п}} = 1,8 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°С}; t_{\text{п}} = t, \text{ тогда}$$

$$I = 1,0 \cdot t + (2500 + 1,8 \cdot t) \cdot \left(\frac{d}{1000}\right), \text{ кДж/кг},$$

$$I = 1,0 \cdot 20 + (2500 + 1,8 \cdot 20) \cdot \left(\frac{12}{1000}\right) = 50,4, \text{ кДж/кг}.$$

Пример 3. В помещении воздух находится в двух состояниях. В первом состоянии он характеризуется на I - d диаграмме параметрами точки А: $L_{\text{А}}$, кг/ч, $t_{\text{А}}$, °С и $d_{\text{А}}$, г/кг; во втором состоянии – параметрами точки В: $L_{\text{В}}$, $t_{\text{В}}$, °С и $d_{\text{В}}$, г/кг.

$L_A = 1000$ кг/ч, $t_A = 22$ °С, $d_A = 8$ г/кг и $L_B = 800$ кг/ч, $t_B = 28$ °С, $d_B = 16$ г/кг.

Пусть

$$\frac{L_B}{L_A} = n,$$

т. е. 1 кг воздуха состояния, соответствующего точке А, смешивается с n кг воздуха состояния, соответствующего точке В.

$$n = \frac{800}{1000} = 0,8.$$

Параметры смеси воздуха в состоянии С можно определить:

$$I_C = \frac{I_A + n \cdot I_B}{n + 1};$$

$$d_C = \frac{d_A + n \cdot d_B}{n + 1};$$

$$t_C = \frac{t_A + n \cdot t_B}{n + 1}.$$

По заданным исходным данным по I-d диаграмме находим энтальпию в точках А и В: $I_A = 41$ кДж / кг; $I_B = 68$ кДж / кг.

Тогда параметры воздуха при смешении можно вычислить:

$$I_C = \frac{41 + 0,8 \cdot 68}{0,8 + 1} = 53 \text{ кДж/кг},$$

$$d_C = \frac{8 + 0,8 \cdot 16}{0,8 + 1} = 11,6 \text{ г/кг},$$

$$t_C = \frac{22 + 0,8 \cdot 28}{0,8 + 1} = 24,7 \text{ °С}.$$

Пример 4. Определить угловой коэффициент процесса, если $t_1 = 24$ °С, $d_1 = 5$ г/кг, $I_2 = 20$ кДж/кг, $d_2 = 3,5$ г/кг.

Предположим, что начальное состояние влажного воздуха характеризуется точкой M_1 с параметрами I_1 и d_1 , а конечное – точкой M_2 с параметрами I_2 и d_2 (рис. 1). Тогда отношение разности теплосодержаний к разности влагосодержаний в указанных точках обозначается ε и называется угловым коэффициентом:

$$\varepsilon = \frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} \cdot 1000, \text{ кДж/кг влаги.}$$

По I-d диаграмме находим значение теплосодержания точки M_1 : $I_1 = 36$ кДж/кг, тогда:

$$\varepsilon = \frac{20 - 36}{3,5 - 5} \cdot 1000 = 10667, \text{ кДж/кг влаги.}$$

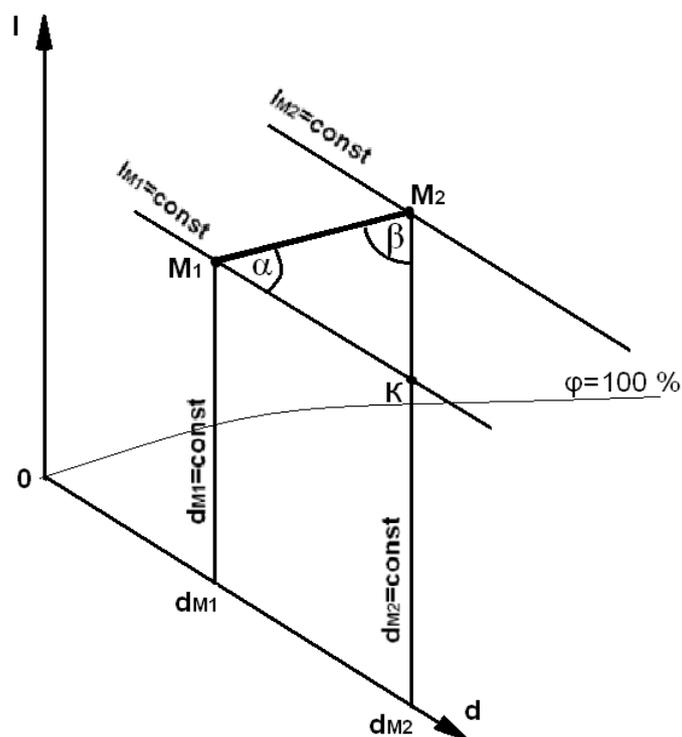


Рис. 1. Графическая интерпретация выражения углового коэффициента

Самостоятельно решить задачи по вариантам (последняя цифра в номере зачетной книжки = номеру варианта, если последняя цифра ноль – значит у вас 10 вариант!).

Задача 1.1. Определить энтальпию влажного воздуха при заданных температуре и влагосодержании.

№ варианта	$t, ^\circ\text{C}$	$d, \text{г/кг}$
1	-10	5
2	-5	10
3	0	12
4	10	12
5	5	20
6	15	25
7	-7,5	10
8	-12,5	8
9	3	10
10	20	15

Задача 1.2. При помощи I-d диаграммы определить параметры влажного воздуха (температуру, относительную влажность, парциальное давление).

№ варианта	I, кДж/кг	d, г/кг
1	44	10
2	66	12
3	83	18
4	101	20
5	25	6
6	41	8
7	84	22
8	101	25
9	73	14
10	48	11

Задача 1.3. Определить угловой коэффициент процесса.

№ варианта	t ₁ , °C	d ₁ г/кг	t ₂ °C	d ₂ г/кг
1	24	5	20	4
2	20	8	12	2
3	15	6	27	3
4	40	6	25	6
5	30	2	46	10
6	33	8	21	4
7	2	1,2	21	7
8	48	17,5	22	6,3
9	20	3	16	3
10	31	2,2	18	5,5

Задача 1.4. Определить параметры смеси двух потоков воздуха (температуру, энтальпию, влагосодержание, относительную влажность).

№ варианта	t ₁ , °C	d ₁ г/кг	I ₂ кДж/кг	d ₂ г/кг	L ₁ кг/ч	L ₂ , кг/ч
1	5	1,2	30	7	1	2,5
2	20	6	10	3	1,3	3,1
3	22	4,5	35	6	2,1	1,4
4	14	2,5	56	8	3,7	2,5
5	41	11	41	10	1,4	2,5
6	30	7,5	50	6,5	0,6	1,2
7	25	5	38	7,5	0,9	3
8	18	5	45	6	2	1,5
9	50	20	8	1,5	3	6
10	11	4	10	1,5	1,8	2,4

Для решения задач понадобится I-d диаграмма (см. приложение 1).

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2. ТЕПЛОВОЙ И ВЛАЖНОСТНЫЙ БАЛАНСЫ ПОМЕЩЕНИЙ

Пример 1. В помещении, согласно технологическому заданию, установлено 5 единиц технологического оборудования (n) с электроприводом установленной единичной мощностью $N_{уст} = 200$ кВт. Коэффициент использования оборудования $k_{исп} = 0,8$; коэффициент одновременности работы $k_B = 1$. Определить поступление теплоты от оборудования.

$$Q_{об} = 1000 \cdot N_{уст} \cdot n \cdot k_{исп} \cdot k_B, \text{ Вт}$$

$$Q_{об} = 1000 \cdot 200 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 1 = 800000 \text{ Вт} = 800 \text{ кВт}$$

Пример 2. В производственном помещении работает 250 человек. Определить полное поступление теплоты в помещение от людей при температуре в помещении 20 °С. Поступление явной теплоты от одного человека $Q_{явн} = 293$ кДж/ч; влаговыделение 70 г/ч. Работа легкая.

$$Q_{оп} = m \cdot \left(Q_{явн} + \frac{r \cdot W_{п}}{1000} \right) \cdot \frac{1}{3,6}, \text{ Вт},$$

$$Q_{оп} = 250 \cdot \left(293 + \frac{2500 \cdot 70}{1000} \right) \cdot \frac{1}{3,6} = 32500 \text{ Вт} = 32,5 \text{ кВт}.$$

Пример 3. Определить поступление теплоты через внешние ограждения при следующих исходных данных. Поверхность ограждения $F_{огр} = 450$ м²; коэффициент теплопередачи через ограждение $k_{огр} = 4$ Вт/м²·°С
 $t_H^T = 30$ °С; $t_B^T = 20$ °С.

$$Q_{огр} = F_{огр} \cdot k_{огр} \cdot (t_H^T - t_B^T), \text{ Вт},$$

$$Q_{огр} = 450 \cdot 4 \cdot (30 - 20) = 18000 \text{ Вт} = 18 \text{ кВт}.$$

Пример 4. Определить количество влаги, поступающей с инфильтрующим воздухом, если количество воздуха, поступающего через 1 м длины щели в секунду $q_{инф} = 16$ кг/(м·с); длина щели $l = 1,27$ м; влагосодержания наружного и внутреннего воздуха $d_H = 10$ г/кг и $d_B = 6$ г/кг.

Для теплого периода года, когда влагосодержание наружного воздуха больше, чем влагосодержание воздуха внутри помещения, количество влаги, поступающей с инфильтрующим воздухом, определяется из выражения:

$$W_{инф} = q_{инф} \cdot l \cdot \left(\frac{d_H - d_B}{1000} \right), \text{ кг/с},$$

где $q_{инф}$ – количество воздуха, поступающего через 1 м длины щели в секунду, кг/(м·с);

l – длина щели, м;

d_n и d_b – соответственно влагосодержание наружного и внутреннего воздуха, г/кг.

Численные значения $q_{инф}$ определяются в зависимости от ширины щели и скорости ветра.

$$W_{инф} = 16 \cdot 1,27 \cdot \left(\frac{10^{-6}}{1000}\right) = 0,081 \text{ кг/с.}$$

Самостоятельно решить задачи по вариантам (последняя цифра в номере зачетной книжки = номеру варианта, если последняя цифра ноль – значит у вас 10 вариант!).

Задача 2.1. В помещении, согласно технологическому заданию, установлено n единиц технологического оборудования с электроприводом установленной единичной мощностью $N_{уст}$, кВт. Коэффициент использования оборудования $k_{исп} = 0,6$; коэффициент одновременности работы $k_B = 0,9$. Определить поступление теплоты от оборудования.

№ варианта	n , шт.	$N_{уст}$, кВт
1	20	1,5
2	15	1,3
3	40	1
4	38	2,5
5	24	1,5
6	18	1,3
7	31	1
8	49	2,5
9	51	1,2
10	30	2

Задача 2.2. В производственном помещении работает m человек. Определить полное поступление теплоты в помещение от людей при температуре в помещении $t_{вн}$, °С. Поступление явной теплоты от одного человека $Q_{явн}$, кДж/ч; влаговыделение W , г/ч. Работа легкая.

№ варианта	m , чел	$t_{вн}$, °С	$Q_{явн}$, кДж/ч	W , г/ч
1	20	18	150	40
2	14	20	200	54
3	18	22	160	49
4	25	17	145	45
5	30	19	220	62
6	28	18	180	60
7	15	20	175	58
8	23	22	214	64
9	32	17	169	50
10	16	19	170	50

Задача 2.3. Определить поступление теплоты через наружные ограждения при следующих исходных данных. Поверхность ограждения $F_{огр}$, м²; коэффициент теплопередачи через ограждение $k_{огр}$, Вт /м² °С; температура наружного воздуха t_n , °С; температура воздуха внутри помещения t_b , °С.

№ варианта	$F_{огр}$, м	$k_{огр}$, Вт/м ² °С	t_n , °С	t_b , °С
1	550	1,11	30	18
2	400	1,5	27	20
3	325	1,41	33	22
4	460	1,33	29	19
5	505	1,2	34	20
6	294	1,18	28	18
7	423	1,39	35	20
8	510	1,27	30	22
9	416	1,13	27	19
10	600	1,55	33	20

Задача 2.4. Определить количество влаги, поступающей с инфильтрующим воздухом, если количество воздуха, поступающего через 1 м длины щели в секунду $q_{инф}$, кг/(м·с); длина щели l , м; влагосодержания наружного и внутреннего воздуха d_n , г/кг и d_b , г/кг.

№ варианта	l , м	$q_{инф}$, кг/(м·с)	d_n , г/кг	d_b , г/кг
1	1,2	0,09	7	2,5
2	3	0,3	7,5	2,5
3	2,3	0,6	6	3
4	1,7	0,07	8	3
5	2,5	0,5	7,5	2
6	3,1	1,1	6,5	2
7	4	0,9	8,1	5
8	1,5	0,45	7,8	4,5
9	2,3	1,3	6,9	4
10	1,8	0,95	9	4

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Пример 1. В производственном помещении избыток теплоты составляет $Q_{\text{изб}} = 100000$ кДж/ч. Выделение влаги $W_B = 40000$ г/ч. Выделение паров вредных газов $G_{\Gamma} = 9000$ мг/ч. Рабочая разность температур удаляемого и приточного воздуха $\Delta t_p = 6$ °С. Влагосодержание приточного воздуха $d_{\text{пр}} = 6$ г/кг, удаляемого – $d_{\text{уд}} = 8$ г/кг. Допустимая концентрация вредных газов в помещении $C_2 = 200$ мг/м³. Определить необходимый воздухообмен.

Расход приточного воздуха по вредностям:

– по избытку теплоты

$$L_T = \frac{Q_{\text{изб}}}{c_p^B \cdot \rho_B \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$L_T = \frac{100000}{1,0 \cdot 1,23 \cdot 6} = 13550 \text{ м}^3/\text{ч};$$

– по выделениям влаги

$$L_B = \frac{W}{(d_{\text{уд}} - d_{\text{пр}}) \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$L_B = \frac{40000}{(8 - 6) \cdot 1,23} = 16260 \text{ м}^3/\text{ч};$$

– по выделениям вредных газов

$$L_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{C_2 - C_1}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $C_1 = (0,25 - 0,3) \cdot C_2$ – концентрация вредных газов в приточном воздухе, мг/м³.

$$L_{\Gamma} = \frac{900000}{200 - (0,2 \cdot 200)} = 5625 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход приточного воздуха принимается по большему расходу, т. е. по выделениям влаги $L_B = 16260$ м³/ч.

Пример 2. Определить потери напора на трение в воздуховоде при следующих исходных данных. Расход воздуха $V_B = 200600$ м³/ч. Скорость воздуха в воздуховоде $W_B = 12$ м/с. Длина воздуховода $l = 13,2$ м.

Проходное сечение воздуховода:

$$f = \frac{V_B}{W_B} = \frac{200600}{12 \cdot 3600} = 4,64 \text{ м}^2.$$

Диаметр круглого воздуховода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,64}{3,14}} = 2,4 \text{ м.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_B \cdot d}{\nu} = \frac{12 \cdot 24}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,92 \cdot 10^6,$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости, $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$.

Так как $1,92 \cdot 10^6 > 10000$, то поток турбулентный и для определения коэффициента линейного сопротивления необходимо применить формулу Альтшуля:

$$\xi_i = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0001}{d_i} + \frac{68}{Re_i} \right)^{0,25},$$

$$\xi_i = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0001}{2,4} + \frac{68}{1,92 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,011.$$

Тогда потери напора на трение:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \xi_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot W_i^2}{2} = 0,011 \cdot \frac{13,2 \cdot 1,29 \cdot 144}{2,4 \cdot 2} = 5,6 \text{ Па.}$$

Пример 3. При исходных данных примера 2 определить потери напора на местные сопротивления и общие потери напора на трение и местные сопротивления. Сумму коэффициентов местных сопротивлений принять 0,4.

Потери напора на местные сопротивления:

$$\Delta P_M = \sum \psi \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} = 0,4 \cdot \frac{1,29 \cdot 12^2}{2} = 37,2 \text{ Па.}$$

Суммарные потери на линейные и местные сопротивления:

$$\Delta P = 1,1 \cdot \sum (\Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_M) = 1,1 \cdot (5,6 + 37,2) = 47,1 \text{ Па.}$$

Пример 4. Определить кратность воздухообмена в помещении, если объемный расход вентиляционного воздуха $V_B = 230 \text{ м}^3/\text{ч}$, длина помещения 6 м, ширина 4 м, высота 2,4 м.

Отношение объема вентиляционного воздуха V_B к объему вентилируемого помещения $V_{\text{пом}}$ называется кратностью воздухообмена (циркуляции):

$$n = \frac{V_B}{V_{\text{пом}}},$$

где $V_{\text{пом}}$ – объем вентилируемого помещения: $V_{\text{пом}}=l \cdot b \cdot h=6 \cdot 4 \cdot 2,4=57,6 \text{ м}^3$;

$$n = \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{пом}}} = \frac{230}{57,6} = 3,99.$$

Кратность воздухообмена принимается $n=4$, т.е. в течение часа воздух внутри помещения должен полностью смениться 4 раза.

Самостоятельно решить задачи по вариантам (последняя цифра в номере зачетной книжки = номеру варианта, если последняя цифра ноль – значит у вас 10 вариант!).

Задача 3.1. Определить кратность воздухообмена в помещении, если объем вентиляционного воздуха $V_{\text{в}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, длина помещения l , м, ширина b , м, высота h , м.

№ варианта	$V_{\text{в}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	l , м	b , м	h , м
1	1000	12	7	3,5
2	2000	9	12	4
3	1200	10	6	4
4	2690	20	13	5
5	2140	17	9	4,5
6	1810	6,5	11	3,5
7	3200	14	8,5	5
8	2380	8,5	12,5	5,5
9	1390	24	5,5	4
10	2750	15	7,5	4

Задача 3.2. Определить потери напора на трение в воздуховоде при следующих исходных данных. Расход воздуха $V_{\text{в}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$. Скорость воздуха в воздуховоде $W_{\text{в}}$, м/с. Длина воздуховода l , м. Кинематическая вязкость $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$, температура воздуха $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

№ варианта	$V_{\text{в}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	$W_{\text{в}}$, м/с	l , м
1	10000	6	10
2	30500	7,5	12
3	5000	4	5
4	16700	7	10
5	31400	7	14
6	42300	8	16
7	6500	3,5	5
8	50620	9	12
9	55800	9	16,5
10	22500	6,5	15

Задача 3.3. Рассчитать потери напора на местные сопротивления, для магистрального воздуховода диаметром d , м, длиной L , м, если число воздухораспределительных отверстий равно n , шт, расход воздуха через воздуховод V_v , м³/ч. (коэффициент сопротивления воздухораспределителя = 1,4).

№ варианта	d , м	L , м	V_v , м ³ /ч	n , шт
1	1,02	6,6	19750	3
2	0,8	2,5	12700	2
3	0,64	4,4	8800	3
4	0,74	6,5	11700	3
5	0,88	4,9	15900	2
6	0,66	3	9950	2
7	0,94	6	18500	3
8	0,98	5,5	19800	3
9	0,62	5	8500	2
10	0,66	6,1	12000	3

Задача 3.4. В производственном помещении избыток теплоты составляет $Q_{изб}$, кДж/ч. Выделение влаги W_v , г/ч. Рабочая разность температур удаляемого и приточного воздуха Δt_p , °С, плотность воздуха $\rho = 1,29$ м³/кг. Влажосодержание приточного воздуха $d_{пр}$, г/кг, удаляемого – $d_{уд}$, г/кг. Определить необходимый воздухообмен.

№ варианта	$Q_{изб}$, кДж/ч	W_v , г/ч	Δt_p , °С	$d_{пр}$, г/кг	$d_{уд}$, г/кг
1	12909	2400	4,5	3,5	8,0
2	31000	4800	5,0	4,0	7,5
3	24802	1125	3,0	4,0	8,0
4	13245	3967	3,5	2,5	8,0
5	18750	4500	4,5	2,5	6,5
6	26725	2245	3,0	3,0	6,0
7	19220	3122	4,0	3,0	5,0
8	22000	4100	4,5	5,0	7,0
9	30450	3400	5,0	1,5	7,0
10	16243	2605	3,5	1,5	8,0

КОНТОЛЬНАЯ РАБОТА № 4. СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Пример 1. В помещении с избыточными тепловыделениями установлена прямоточная система кондиционирования воздуха. Построить на I-d диаграмме процесс обработки воздуха для теплого периода года (рис. 2), если количество кондиционируемого воздуха $G_B^T = 70000$, кг/ч. Расчетные параметры наружного воздуха $t_H^T = 27$ °С и $d_H^T = 15$ г/кг, а воздуха в помещении – $t_P^T = 23$ °С и $d_P^T = 10,5$ г/кг.

Рассчитать холодопроизводительность кондиционера $Q_{хол}$, теплопроизводительность калорифера второго подогрева Q_{K2}^T , количество влаги, удаляемой из воздуха в оросительной камере $W_{уд}^T$. Естественный подогрев воздуха в помещении за счет теплоизбытков принять $\Delta t_{пом}^T = 5$ °С; естественный подогрев воздуха в воздуховодах и вентиляторе $\Delta t_b = 1,5$ °С.

Из I-d диаграммы по известным температурам и влагосодержаниям наружного (t_H^T, d_H^T) и воздуха в помещении (t_P^T, d_P^T) определяем положение точек 1 и 2 и соответственно, значения энтальпий в них $I_1 = 66$ кДж/кг и $I_2 = 50$ кДж/кг. Из точки 2 проводим луч при постоянном влагосодержании до пересечения с кривой относительной влажности $\phi = 95\%$. Получаем точку 0 и определяем в ней энтальпию $I_0 = 42$ кДж/кг. Откладывая из точки 2 отрезки, соответствующие значениям $\Delta t_{пом}^T$ и Δt_b по линии постоянного влагосодержания в направлении точки 0, находим точки 3, 4 и соответствующие им энтальпии $I_3 = 45$ кДж/кг и $I_4 = 43$ кДж/кг.

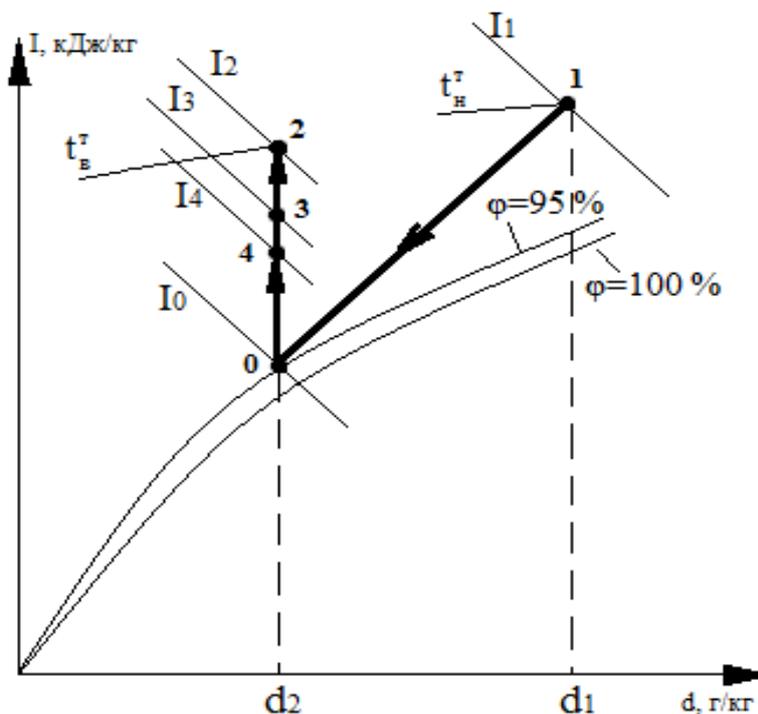


Рис. 2. Процесс обработки воздуха для теплого периода года

Холодопроизводительность кондиционера:

$$Q_{\text{хол}} = G_{\text{в}}^T \cdot (I_1 - I_0) = 19,44 \cdot (66 - 42) = 466,7 \text{ кВт},$$

где $G_{\text{в}}^T = \frac{70000}{3600} = 19,44 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

Теплопроизводительность калорифера второго подогрева:

$$Q_{\text{к2}}^T = G_{\text{в}}^T \cdot (I_4 - I_0) = 19,44 \cdot (43 - 42) = 19,44 \text{ кВт}.$$

Количество влаги, удаляемой из воздуха в оросительной камере:

$$W_{\text{уд}}^T = G_{\text{в}}^T \cdot (d_{\text{н}}^T - d_{\text{п}}^T) \cdot 10^{-3} = 19,44 \cdot (15,5 - 10,5) \cdot 10^{-3} = 0,0972 \text{ кг/с} = 97,2 \text{ г/с}.$$

Пример 2. С помощью прямоточной системы кондиционирования воздуха требуется обеспечить параметры внутреннего воздуха, если количество кондиционируемого воздуха для холодного периода года $G_{\text{в}}^x = 45000 \text{ кг/ч}$. Расчетные параметры наружного воздуха $t_{\text{н}}^x = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ и $d_{\text{н}}^x = 0,3 \text{ г/кг}$. Расчетные параметры воздуха в помещении $t_{\text{п}}^x = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ и $d_{\text{п}}^x = 11 \text{ г/кг}$. Естественный подогрев воздуха в помещении за счет теплоизбытков принять $\Delta t_{\text{пом}}^x = 4 \text{ }^\circ\text{C}$. Рассчитать производительность по теплоте калорифера первого подогрева $Q_{\text{к1}}^x$ и второго подогрева $Q_{\text{к2}}^x$, количество влаги, поглощенное воздухом в оросительной камере $W_{\text{погл}}^x$.

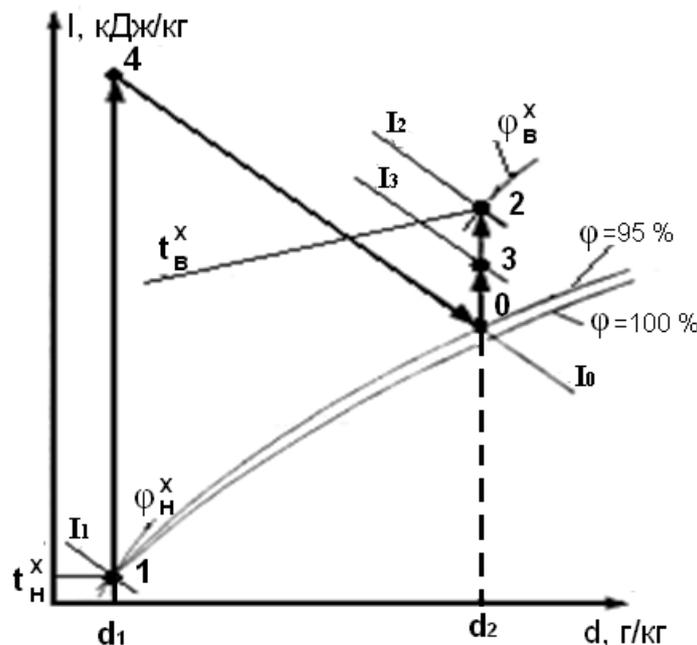


Рис. 3. Процесс обработки воздуха для холодного периода года

Из I-d диаграммы (рис. 3) по известным температурам и влагосодержаниям наружного ($t_{\text{н}}^x, d_{\text{н}}^x$) воздуха и воздуха помещения ($t_{\text{п}}^x, d_{\text{п}}^x$) определяем положение

точек 1 и 2 и соответственно, значения энтальпий в них $I_1 = -25$ кДж/кг и $I_2 = 52$ кДж/кг. Из точки 2 проводим луч при постоянном влагосодержании до пересечения с кривой относительной влажности $\varphi = 95\%$. Получаем точку 0 и определяем в ней энтальпию $I_0 = 44$ кДж/кг.

Из точки 0 проводим изоэнтальпу до пересечения с лучом, выходящим из точки 1 при постоянном влагосодержании. Получаем точку 4, в которой $I_4 = I_0 = 44$ кДж/кг. Откладывая из точки 2 отрезок, соответствующий значению $\Delta t_{\text{пом}}^x$ по линии постоянного влагосодержания в направлении точки 0, находим точку 3 и соответствующую ей энтальпию $I_3 = 48$ кДж/кг.

Теплопроизводительность калорифера первого подогрева:

$$Q_{\text{к1}}^x = G_B^x \cdot (I_4 - I_1) = 12,5 \cdot [44 - (-25)] = 862,5 \text{ кВт},$$

где $G_B^x = \frac{45000}{3600} = 12,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

Теплопроизводительность калорифера второго подогрева:

$$Q_{\text{к2}}^x = G_B^x \cdot (I_3 - I_0) = 12,5 \cdot [48 - 44] = 862,5 \text{ кВт}.$$

Количество влаги, поглощаемой приточным воздухом в холодный период года при его увлажнении:

$$W_{\text{погл}}^x = G_B^x \cdot (d_{\text{п}}^x - d_{\text{н}}^x) \cdot 10^{-3} = 12,5 \cdot (11 - 0,3) \cdot 10^{-3} = 134 \text{ г/с}.$$

Пример 3. Вентилятор кондиционера по характеристике развивает давление $H = 1000$ кг/м², при $\eta = 0,85$. Определить насколько нагреется воздух в вентиляторе.

В процессе повышения давления воздуха в вентиляторах происходит его нагревание на разность температур:

$$\Delta t = 0,008 \cdot H \cdot \left(\frac{1-\eta}{\eta}\right) = 0,008 \cdot 1000 \cdot \left(\frac{1-0,85}{0,85}\right) = 1,41 \text{ град},$$

где H – давление, развиваемое вентилятором, кг/м²;

η – КПД вентилятора по характеристике, без учета потерь в подшипниках, передаче и др.

Самостоятельно решить задачи по вариантам (последняя цифра в номере зачетной книжки = номеру варианта, если последняя цифра ноль – значит у вас 10 вариант!).

Задача 4.1. В помещении с избыточными тепловыделениями установлена прямоточная система кондиционирования воздуха. Построить на I-d диаграмме процесс обработки воздуха для теплого периода года, если количество кондиционируемого воздуха G_B , кг/ч. Расчетные параметры наружного воздуха t_n , °C и d_n , г/кг, а воздуха в помещении – $t_{вн}$, °C и $d_{вн}$, г/кг. Определить холодопроизводительность кондиционера.

№ варианта	G_B , кг/ч	t_n , °C	d_n , г/кг	$t_{вн}$, °C	$d_{вн}$, г/кг
1	25011	26	11	20	8
2	18900	26	10	20	6
3	14500	28	10,5	21	7,5
4	24805	29	12	21	7
5	27312	28	12	21	8
6	15009	32	11	22	8
7	21645	34	11,5	22	6
8	23700	30	9,5	22	7
9	19055	30	10	21	7
10	22141	31	12,5	21	8

Задача 4.2. С помощью прямоточной системы кондиционирования воздуха требуется обеспечить параметры внутреннего воздуха, если количество кондиционируемого воздуха для холодного периода года G_B , кг/ч. Расчетные параметры наружного воздуха t_n , °C и d_n , г/кг. Расчетные параметры воздуха в помещении $t_{вн}$, °C и $d_{вн}$, г/кг. Естественный подогрев воздуха в помещении за счет теплоизбытков принять $\Delta t_{пом} = 4$ °C. Рассчитать производительность калорифера первого подогрева.

№ варианта	G_B , кг/ч	t_n , °C	d_n , г/кг	$t_{вн}$, °C	$d_{вн}$, г/кг
1	12044	-12	1,5	19	7,0
2	8892	-11	1,0	21	6,5
3	9521	-24	0,2	20	6,5
4	10068	-8	2,0	20	7,5
5	9188	-19	0,3	18	7,0
6	11900	-9	1,5	18	8,0
7	9920	-4	2,0	21	8,0
8	11365	-31	0,1	19	7,0
9	12050	-29	0,2	20	6,5
10	9347	-17	0,8	21	7,0

Задача 4.3. Вентилятор кондиционера по характеристике развивает давление H , Па, при КПД вентилятора η . Определить, насколько нагреется воздух в вентиляторе.

№ варианта	H , Па	КПД
1	1000	0,80
2	1400	0,85
3	1200	0,85
4	750	0,80
5	1400	0,75
6	1400	0,91
7	1000	0,88
8	1400	0,89
9	1200	0,77
10	750	0,79

Задача 4.4. Определить количество влаги, поглощаемое приточным воздухом в оросительной камере кондиционера в холодный период года при его увлажнении, если количество кондиционируемого воздуха для холодного периода года G_b , кг/ч, влагосодержания приточного и наружного воздуха – $d_{пр}$, г/кг и d_n , г/кг.

№ варианта	G_b , кг/ч	d_n , г/кг	$d_{пр}$, г/кг
1	16250	0,5	10,0
2	20344	0,1	8,0
3	9922	0,2	8,5
4	18560	0,4	9,0
5	12902	0,3	8,0
6	15500	0,4	9,5
7	21380	0,5	7,5
8	19021	0,1	10,0
9	18311	0,2	10,5
10	16925	0,8	8,0

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Пример 1. Определить тепловую мощность системы отопления, если тепловые потери здания составляют 46 кВт, а теплопоступления в помещении в зимний период года равны 114 кВт.

Тепловую мощность отопительных приборов $Q_{пр}$, Вт, размещаемых в каждом отапливаемом помещении, определяют с учетом общих потерь теплоты через ограждающие конструкции $Q_{огр}$, теплоты, расходуемой на нагревание подаваемого принудительной вентиляцией или инфильтрующего воздуха $Q_{инф}$, поступающих в цех холодных материалов и въезжающих в помещения цехов средств транспорта $Q_{тр}$, а также теплоты от электроосвещения $Q_{осв}$ и оборудования с электроприводом $Q_{об}$.

$$Q_{пр} = Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{тр} - Q_{осв} - Q_{об} \text{ Вт,}$$

$$Q_{от} = \sum Q_{пост}^x - \sum Q_{пот}^x = 114 - 46 = 68 \text{ кВт.}$$

Пример 2. Определить расход воды в однотрубной водяной отопительной системе, если $\sum Q_{пр}=128$ кВт, температура воды на выходе из системы 48 °С, температура горячей воды, поступающей в систему 93 °С.

В однотрубных водяных отопительных системах расход воды определяют по формуле

$$G_{сг} = \frac{3,6 \cdot \sum Q_{пр}}{c \cdot (t_{г} - t_{о})} = \frac{3,6 \cdot 128}{4,19 \cdot (93 - 48)} = 2,44 \text{ кг/ч.}$$

где $\sum Q_{пр}$ – общая тепловая мощность всех отопительных приборов расчетного стояка,

Вт; $t_{о}$ – температура воды на выходе из стояка (системы), °С.

Пример 3. Определить расход воздуха для системы воздушного отопления, не совмещенной с системой вентиляции, если тепловая мощность системы $Q_{пр} = 260$ кВт, температура воздуха внутри помещения 19 °С, температура наружного воздуха –10 °С, полное давление воздуха после вентилятора 1350 Па, в воздухонагревателе воздух нагревается на 30 °С.

Расход воздуха $L_{в}$, м³/ч, для воздушного отопления, не совмещенного с вентиляцией, определяют по формуле:

$$L_{в} = \frac{3,6 \cdot Q_{пр}}{c \cdot (t_{пр} - t_{в})} \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где $Q_{пр}$ – тепловой поток для отопления помещения, Вт;

c – теплоемкость воздуха, кДж/(м³·°С);

$t_{пр}$ – температура приточного воздуха, подаваемого в помещение, °С;

t_b – температура воздуха в помещении, °С.

Температуру приточного воздуха, подаваемого в помещение аппаратами воздушного отопления и предварительно нагреваемого в воздухонагревателе, определяют по формуле:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{н}} + \Delta t + 0,001 \cdot P, \text{ } ^\circ\text{С},$$

где $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С;

Δt – изменение температуры воздуха в воздухонагревателе, °С;

P – полное давление воздуха после вентилятора, Па.

$$t_{\text{пр}} = -10 + 30 + 0,001 \cdot 1350 = 21,35 \text{ } ^\circ\text{С};$$

$$L_{\text{в}} = \frac{3,6 \cdot 260}{1,005 \cdot (21,35 - 19)} = 396 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 4. Рассчитать наружную площадь отопительного прибора, если Тепловая нагрузка на прибор $Q_0 = 6$ кВт, длины горизонтальных и вертикальных труб стояка и подводок в пределах помещения 5 м и 3 м соответственно, удельные величины теплоотдачи горизонтальных и вертикальных труб $q_{\text{г}} = 1,2$ Вт/м и $q_{\text{в}} = 1,06$ Вт/м, q плотность теплового потока для отопительного прибора $q_{\text{пр}} = 4,8$ Вт/м².

Расчетная наружная площадь отопительного прибора по ходу движения теплоносителя

$$F_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}}}, \text{ м}^2.$$

Требуемая теплоотдача отопительного прибора в помещении с учетом полезной теплоотдачи проложенных в помещении труб:

$$Q_{\text{пр}} = Q_0 - \beta_{\text{тр}} \cdot Q_{\text{тр}}, \text{ Вт},$$

где $\beta_{\text{тр}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи теплопроводов, полученную для поддержания заданной температуры воздуха в помещении; для открыто проложенных труб $\beta_{\text{тр}}$ принимают равным 0,9.

Полезная теплоотдача, Вт, труб стояка, подводок к отопительным приборам, проложенным в помещении:

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + q_{\text{г}} \cdot l_{\text{г}}, \text{ Вт},$$

где $l_{\text{г}}$, $l_{\text{в}}$ – длины горизонтальных и вертикальных труб стояка и подводок в пределах помещения, м;

$q_{\text{г}}$, $q_{\text{в}}$ – удельные величины теплоотдачи горизонтальных и вертикальных труб, Вт/м.

Тогда:

$$Q_{\text{тр}} = 1,2 \cdot 5 + 1,06 \cdot 3 = 9,18 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{пр}} = 16 + 0,9 \cdot 9,81 = 24,3 \text{ Вт};$$

$$F_{\text{пр}} = \frac{24,3}{4,8} = 5,06 \text{ м}^2.$$

Самостоятельно решить задачи по вариантам (последняя цифра в номере зачетной книжки = номеру варианта, если последняя цифра ноль – значит у вас 10 вариант!).

Задача 5.1. Определить тепловую мощность системы отопления, если тепловые потери здания составляют $Q_{\text{пост}}$, кВт, а теплопоступления в помещении в зимний период года равны $Q_{\text{пот}}$, кВт.

№ варианта	$Q_{\text{пост}}$, кВт	$Q_{\text{пот}}$, кВт
1	129	78
2	364	164
3	301	55
4	177	71
5	206	49
6	352	130
7	440	157
8	145	60
9	322	43
10	315	55

Задача 5.2. Определить расход воды в однотрубной водяной отопительной системе, если общая тепловая мощность всех отопительных приборов расчетного стояка $\Sigma Q_{\text{пр}}$, кВт, температура воды на выходе из системы $t_{\text{вых}}$, °С, температура горячей воды, поступающей в систему $t_{\text{вх}}$, °С.

№ варианта	$\Sigma Q_{\text{пр}}$, кВт	$t_{\text{вх}}$, °С	$t_{\text{вых}}$, °С
1	51	105	38
2	200	95	40
3	246	85	41
4	106	105	45
5	157	95	39
6	222	85	38
7	283	95	40
8	85	95	41
9	279	105	45
10	260	85	39

Задача 5.3. Определить расход воздуха для системы воздушного отопления, не совмещенной с системой вентиляции, если тепловая мощность системы $Q_{пр}$, кВт, температура воздуха внутри помещения $t_{вн}$, °С, температура наружного воздуха $t_{н}$, °С, полное давление воздуха после вентилятора 1350 Па, в воздухонагревателе воздух нагревается на Δt , °С.

№ варианта	$Q_{пр}$, кВт	$t_{вн}$, °С	$t_{н}$, °С	Δt , °С
1	51	19	0	20
2	200	19	-2	22
3	246	20	-5	34
4	106	20	-10	35
5	157	18	-18	50
6	222	21	-31	55
7	283	22	-4	40
8	85	18	-36	56
9	279	18	-9	30
10	260	20	-21	45

Задача 5.4. Рассчитать наружную площадь отопительного прибора, если Тепловая нагрузка на прибор Q_0 , кВт, длины горизонтальных и вертикальных труб стояка и подводов в пределах помещения $L_{г}$, м и $L_{в}$, м соответственно, удельные величины теплоотдачи горизонтальных и вертикальных труб $q_{г} = 1,3$ Вт/м и $q_{в} = 1,15$ Вт/м, q плотность теплового потока для отопительного прибора $q_{пр}$, Вт/м².

№ варианта	Q_0 , кВт	$L_{в}$, м	$L_{г}$, м	$q_{пр}$, Вт/м ²
1	12	6,5	10	5
2	14	5	12	5,8
3	15	8	12,5	4,5
4	22	9,5	10	6,1
5	19	8,5	11	5,5
6	15	12	15	4,8
7	12	10	15	5,2
8	15	10,5	12	4,9
9	20	9	12	6,2
10	22	9,5	15	6,3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 131.13330.2018 Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99.
2. СП 60.13330.2016 Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
3. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
4. Казаков, В. Г. Отопительно-вентиляционные системы в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст]: учеб. пособие / В. Г. Казаков, П. В. Луканин, Е. Н. Громова; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГТУРП, 2018. – 200 с.
5. Казаков, В. Г. Примеры расчетов систем вентиляции и кондиционирования [Текст]: сборник задач / В. Г. Казаков, Е. Н. Громова; М-во науки и высшего образования, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – 58 с.
6. Казаков, В. Г. Расчет системы кондиционирования воздуха в производственном помещении [Текст]: учебно-методическое пособие по выполнению курсовых работ для обучающихся по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» очной и заочной форм обучения / В. Г. Казаков, Е. Н. Громова; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 54 с.

Образец титульного листа контрольной работы

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ
ИНСТИТУТ ЗАОЧНОГО И ВЕЧЕРНЕГО ОБУЧЕНИЯ**

Направление _____ Группа _____ Шифр _____

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № _____

по _____

Студента _____ курса _____
(фамилия, имя, отчество)

Дата и номер регистрации работы _____