

РАСЧЕТ КАЛОРИФЕРОВ

Калориферы предназначены для нагрева воздуха в системах вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления помещений различного назначения. Калориферы используются также в системах утилизации теплоты и в сушильных установках. Как правило, калориферы применяют для нагрева воздуха с отрицательной температурой. Поэтому существует опасность переохлаждения и замерзания теплоносителя, что влечет за собой разрушение калорифера. Этому способствует большой запас поверхности нагрева или заниженный, по сравнению с расчетным, расход теплоносителя. Добиваясь минимального запаса поверхности нагрева при проектировании калориферной установки, вы уменьшаете металлоемкость и стоимость установки, повышаете ее надежность. Для предотвращения замораживания следует также применять автоматику контроля и регулирования минимальной температуры и расхода теплоносителя.

Выбор оптимальной компоновки калориферной установки производится, как правило, на основании сравнения различных вариантов по приведенным затратам.

1. Конструкции калориферов

Калориферы являются аппаратами для передачи теплоты от теплоносителя к воздуху и поэтому в их конструкции много общего с теплообменниками других типов (отопительные приборы, водоподогреватели и т. п.). Передача теплоты от теплоносителя к воздуху осуществляется с помощью оребренных трубок. С целью увеличения поверхности теплообмена в калориферах используют два типа оребрения: пластинчатое и спирально-навивное (рис. 1).

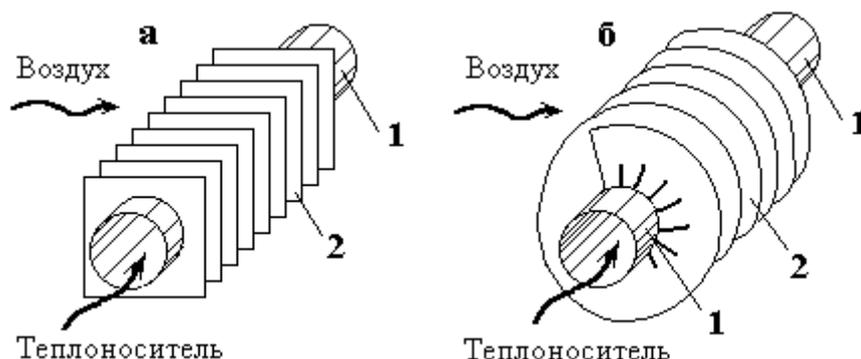


Рис. 1. Виды оребрения трубок калориферов:
а - пластинчатое оребрение; б - спирально-навивное оребрение;
1 - трубка; 2 - оребрение

Калорифер состоит из двух коллекторов (рис. 2), соединенных оребренными трубками. Подвод и отвод теплоносителя осуществляется через соединительные патрубки, вваренные в коллекторы. По способу организации движения теплоносителя калориферы делятся на одноходовые и многоходовые. Од-

ноходовые используются при теплоносителе - паре. Пар поступает в верхний коллектор (рис. 2 а), проходит сверху вниз по теплообменным трубкам и конденсируется. Конденсат из нижнего коллектора сливается в конденсатопровод (замкнутая паровая система). В разомкнутых системах конденсат поступает самотеком через конденсатоотводчик в конденсатный бак, из которого перекачивается насосом в конденсатопровод теплосети.

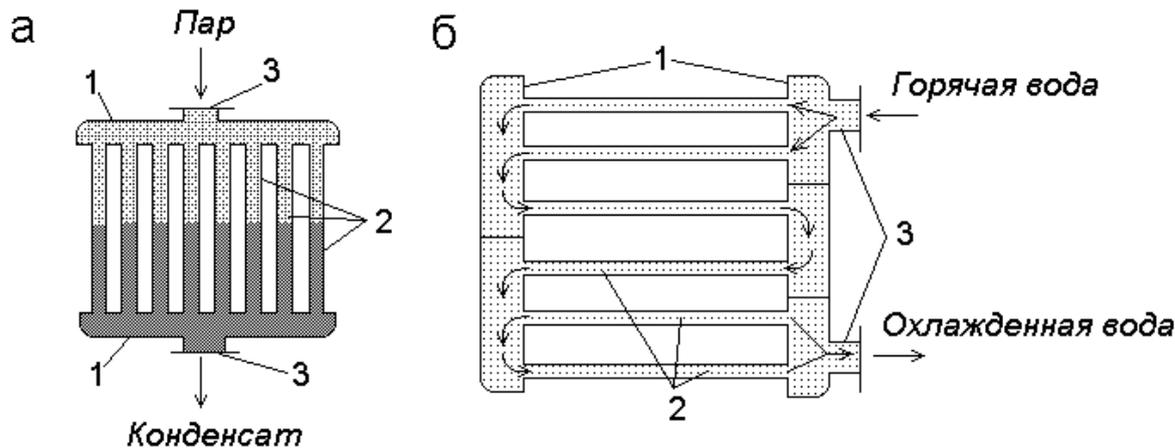


Рис. 2. Схемы калориферов:
 а - одноходовой; б - многоходовой;
 1 - коллекторы;
 2 – ребренные трубки; 3 - соединительные патрубки

Многоходовые калориферы применяют при теплоносителе воде. Коллекторы снабжены перегородками (рис. 2 б) для организации многократного прохождения теплоносителя по трубкам калорифера. Для предотвращения образования «воздушных пробок» многоходовые калориферы устанавливают с горизонтальным расположением теплообменных трубок.

Производители вентиляционного оборудования предлагают калориферы различных типов, в том числе выполненные из цветных металлов. Подбор калориферов производит изготовитель по заявке заказчика или предлагается соответствующее программное обеспечение для самостоятельного подбора оборудования.

Наибольшее распространение нашли унифицированные калориферы средней (С) и большой (Б) модели [1] с улучшенными теплотехническими характеристиками:

- 1) водяные многоходовые с пластинчатым оребрением КВСБ-ПУЗ и КВББ-ПУЗ;
- 2) водяные многоходовые со спирально-навивным оребрением КСк3-02 ХЛЗА и КСк4-02 ХЛЗА;
- 3) паровые одноходовые с пластинчатым оребрением КПС-П-01 АУЗ и КПБ-П-01 АУЗ;
- 4) паровые одноходовые со спирально-навивным оребрением КПЗ-СК-01 УЗА и КП4-СК-01 УЗА.

Характеристики калориферов приведены в табл.1 и 2. Все калориферы средней модели (КВСБ, КСк3, КПС и КПЗ) имеют размер в направлении дви-

жения воздуха 180 мм, а калориферы большой модели (КВББ, КСк4, КПБ и КП4) – 220 мм.

Таблица 1

Характеристики водяных унифицированных калориферов [1]

Типо-размер	A	Пло-щадь тепло-обме-на F_1 , $м^2$	Пло-щадь трубок $f_w \cdot 10^5$, $м^2$	Патрубки		Габариты		Мас-са, кг
				Диа-метр, мм	Количе-ство, шт	Дли-на, мм	Высо-та, мм	
Калорифер средней модели КВСБ-ПУЗ								
6	14,25	12,92	87	32	2	602	575	55
7	15,10	15,92	87	32	2	727	575	65
8	15,96	18,96	87	32	2	852	575	75
9	16,81	22,02	87	32	2	977	575	85
10	18,52	28,11	87	32	2	1227	575	105
11	19,80	80,30	261	50	2	1727	1075	273
12	31,36	120,36	392	50	2	1727	1575	401
Калорифер большой модели КВББ-ПУЗ								
6	12,63	17,22	116	32	2	602	575	71
7	13,49	21,22	116	32	2	727	575	84
8	14,34	25,22	116	32	2	852	575	97
9	15,20	29,34	116	32	2	977	575	111
10	16,91	37,48	116	32	2	1227	575	137
11	20,91	107,08	348	50	2	1727	1075	359
12	34,61	160,49	592	50	2	1727	1575	529
Калорифер средней модели КСк3-02 ХЛЗА								
6	12,12	12,26	84,6	25	2	602	575	38
7	12,97	16,34	84,6	25	2	727	575	44
8	13,83	19,42	84,6	25	2	852	575	50
9	14,68	22,50	84,6	25	2	977	575	56
10	16,39	28,66	84,6	25	2	1227	575	68
11	34,25	83,12	257,6	40	2	1727	1075	176
12	64,29	125,27	257,6	50	2	1727	1575	259
Калорифер большой модели КСк4-02 ХЛЗА								
6	13,01	17,42	111,2	25	2	602	575	45
7	13,87	21,47	111,2	25	2	727	575	53
8	14,72	25,52	111,2	25	2	852	575	61
9	15,58	29,57	111,2	25	2	977	575	68
10	17,29	37,66	111,2	25	2	1227	575	85
11	37,15	110,05	341,0	40	2	1727	1075	223
12	71,19	166,25	515,0	50	2	1727	1575	331

Таблица 2

Характеристики паровых унифицированных калориферов [1]

Типоразмер	K_1	Площадь теплообмена $F_1, \text{ м}^2$	Патрубки		Габариты		Масса, кг
			Диаметр, мм	Количество, шт	Длина, мм	Высота, мм	
Калорифер паровой средней модели КПЗ-01 УЗА							
6	28,26	12,26	50	2	575	602	38
7	27,86	16,34	50	2	575	727	44
8	27,53	19,42	50	2	575	852	50
9	27,25	22,50	50	2	575	977	56
10	26,81	28,66	50	2	575	1227	68
11	26,16	83,12	65	3	1075	1727	176
12	26,16	125,27	80	3	1575	1727	259
Калорифер паровой средней модели КПЗ-01 УЗА							
6	28,26	17,42	50	2	575	602	45
7	27,86	21,47	50	2	575	727	53
8	27,53	25,52	50	2	575	852	61
9	27,25	29,57	50	2	575	977	68
10	26,81	37,81	50	2	575	1227	85
11	26,16	110,05	65	3	1075	1727	223
12	26,16	166,25	80	3	1575	1727	331

2. Калориферные установки

При проектировании калориферных установок необходимо стремиться к минимальному количеству используемых калориферов с минимальными металлоемкостью и аэродинамическим сопротивлением. В установках с двумя калориферами и более калориферы располагают рядами по ходу движения воздуха. Количество калориферов в одном ряду ограничивается только конструктивными соображениями (удобство монтажа и наличие места для размещения). Поэтому в одном ряду располагают один, два, три, четыре или шесть калориферов. Обычно принимают одинаковое количество калориферов в рядах, хотя допускается для типовых приточных камер неполнорядная установка калориферов, при которой во втором ряду расположено калориферов на один меньше, чем в первом ряду [3].

В процессе эксплуатации ребрение теплообменных трубок загрязняется пылью и необходима его очистка. Как правило, очистка производится при положительных температурах воздуха путем промывки ребрения водопроводной водой. Поэтому количество рядов калориферов принимают не больше трех, а пол возле установки выполняют с уклоном в сторону канализационных трапов.

Систему трубопроводов, предназначенных для присоединения к теплосети, называют обвязкой calorиферов. В обвязку входят также запорно-регулирующая арматура (вентили или задвижки), устройства для удаления воздуха и опорожнения calorиферов от воды или конденсата. Calorиферы соединяются между собой по теплоносителю параллельно или последовательно. На рис. 3 приведены примеры компоновки calorиферных установок и схемы обвязки.

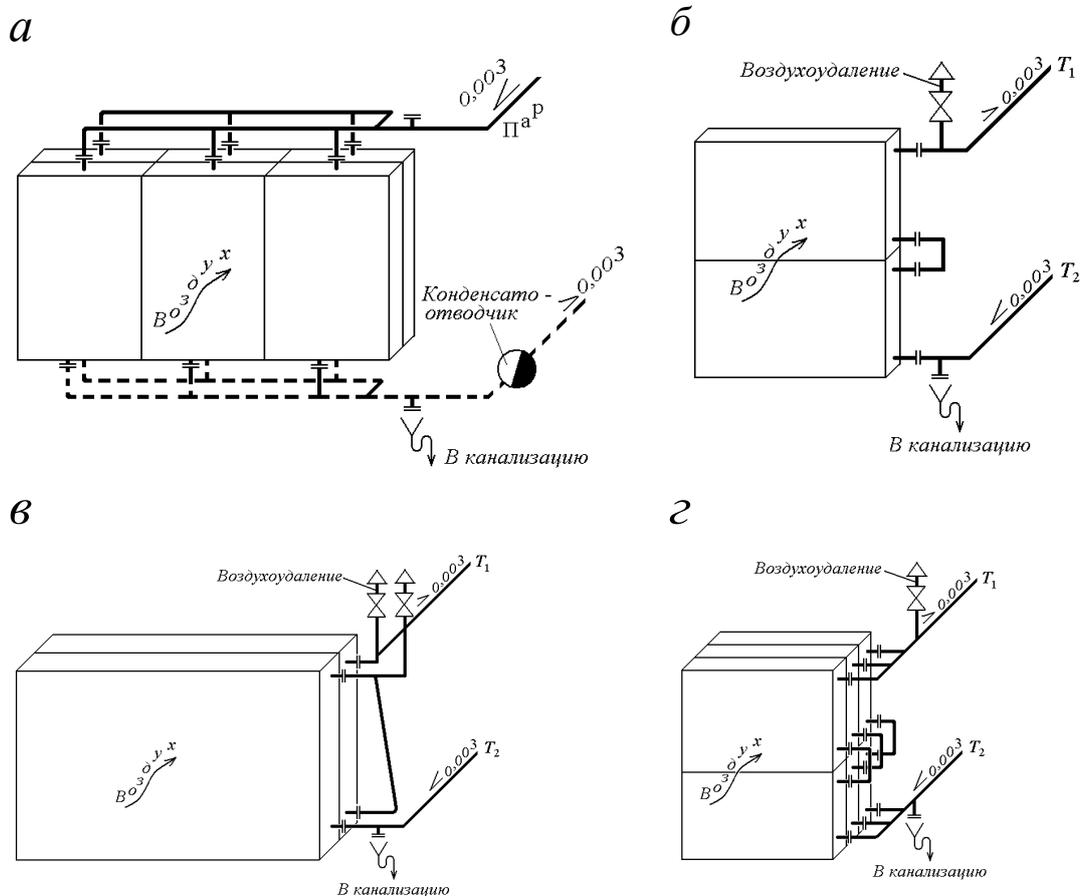


Рис. 3. Примеры обвязки calorиферов:

- а - параллельное соединение по теплоносителю паровых calorиферов;
- б, в - варианты последовательного соединения calorиферов по воде;
- г - комбинированное соединение calorиферов по воде

Паровые calorиферы соединяют только параллельно (рис. 3 а). Паровые calorиферы снабжают для регулирования температуры нагретого воздуха обводным воздушным клапаном. При необходимости снижения температуры воздуха приоткрывают клапан и часть холодного воздуха минует calorифер, а затем смешивается с нагретым. Соотношение объёмов воздуха подбирают таким, чтобы смесь имела нужную температуру.

При последовательном соединении calorиферов (рис. 3 б и в) нагретая вода поступает в один calorифер, охлаждается и поступает в следующий calorифер.

Возможно также комбинированное соединение (рис. 3 г), когда ряды соединены между собой параллельно, а calorиферы в рядах соединены последо-

вательно. При последовательном соединении водяных калориферов и многорядной установке горячую воду следует подавать в первый ряд для уменьшения опасности замораживания.

Необходимость в установке обводного клапана может возникнуть также при подборе калориферов для типовых приточных камер, габариты которых являются заданными для определенной производительности установки по воздуху. При установке воздушных клапанов необходимо иметь в виду, что через закрытый клапан просасывается холодный воздух в количестве 10% и больше от общего расхода [2].

3. Методика подбора калориферов

Целью подбора калориферов является выбор типа, типоразмера, количества калориферов, варианта компоновки и схемы соединения по теплоносителю, при которых запас поверхности теплообмена (или теплопроизводительности) не превышает 10% при допустимом сопротивлении для прохода воздуха и теплоносителя. Требуемым условиям отвечают, как правило, несколько вариантов компоновки, из которых может быть сделан выбор.

Коэффициент теплопередачи, а, следовательно, и требуемая площадь теплообмена калорифера зависят от скорости воздуха и теплоносителя, значения которых определяются компоновочной схемой установки. Поэтому подбор калориферов, если не удастся найти решение с первой попытки, связан с перебором вариантов.

Исходными являются следующие данные:

G - массовый расход нагреваемого воздуха, кг/с;

t_n, t_k - начальная и конечная температуры воздуха, °С;

τ_1 - расчетная температура воды в подающем трубопроводе или температура пара, °С;

τ_2 - расчетная температура воды в обратном трубопроводе, °С.

Если известно давление насыщенного водяного пара, его температура может быть найдена по [4]

$$\tau_1 = 100(9,81P + 1)^{0,25},$$

где P - избыточное давление пара, МПа.

Подбор калориферов производится в следующей последовательности.

1. Расход теплоты на нагревание воздуха

$$Q = c_1 G (t_k - t_n),$$

где Q - расход теплоты, Вт;

$c_1 = 1000$ Дж/(кг · °С) - удельная теплоемкость воздуха.

При использовании в качестве теплоносителя воды определяется ее расход

$$W = \frac{Q}{c_2 \rho_2 (\tau_1 - \tau_2)},$$

где W - расход воды, м³/с;

$\rho_2 = 1000$ кг/м³ - плотность воды;

$c_2 = 4190$ Дж/(кг · °С) - удельная теплоемкость воды.

2. Находятся средние температуры теплоносителя T_{cp} и воздуха t_{cp} :

для воды $T_{cp} = (\tau_1 + \tau_2)/2;$

для пара $T_{cp} = \tau_1;$

для воздуха $t_{cp} = (t_n + t_k)/2.$

3. Выбирается массовая скорость воздуха V_1 в калорифере из диапазона рекомендуемых 4...12 кг/(м² · с) и определяется площадь сечения калориферной установки для прохода воздуха:

$$F_B = G / V_1,$$

где F_B - требуемая площадь сечения калориферной установки при выбранной массовой скорости воздуха, м².

4. Подбирается один из типоразмеров калорифера с соответствующей площадью сечения f для прохода воздуха:

Типоразмер калорифера	6	7	8	9	10	11	12
Площадь сечения для прохода воздуха f , м ²	0,267	0,329	0,392	0,455	0,581	1,66	2,488

и находится количество калориферов n_1 , установленных параллельно по воздуху (число калориферов в первом ряду) с округлением до целого числа

$$n_1 = F_B / f.$$

5. При $n_1 \geq 2$ выбирается вариант компоновки (табл. 3) с одно-, двух- или трехрядной установкой калориферов и способ соединения по теплоносителю (параллельное, последовательное или комбинированное). Напоминаем, что паровые калориферы соединяются по теплоносителю только параллельно, а варианты компоновки (табл. 3) принимают по 12 включительно.

6. Для выбранного варианта компоновки уточняется массовая скорость воздуха в калорифере:

$$V_1 = G / (n_1 f).$$

7. Для водяных калориферов определяется расход воды через один калорифер:

$$W_1 = W / E_1,$$

где W_1 - расход воды через один калорифер, м³/с;

E_1 - количество калориферов, соединенных параллельно по воде (можно принимать по табл. 3).

Таблица 3

Характеристики применяемых вариантов компоновки калориферов

Вариант компоновки	Шифр компоновки*	Значения коэффициентов E_1 и E_2 при схемах обвязки**					
		параллельная		последовательная		комбинированная	
		E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2
1	100	1	1	1	1	1	1
2	110	2	1	1	2	—	—
3	111	3	1	1	3	—	—
4	200	2	1	1	2	—	—
5	220	4	1	—	—	2	2
6	222	6	1	—	—	3	2
7	300	3	1	1	3	—	—
8	330	6	1	—	—	2	3
9	333	9	1	—	—	3	3
10	400	4	1	—	—	2	2
11	440	8	1	—	—	4	2
12	444	12	1	—	—	6	2
13	600	6	1	—	—	2	3
14	660	12	1	—	—	4	3
15	666	18	1	—	—	6	3

* Цифры в шифре компоновки обозначают слева направо количество калориферов в первом, втором и третьем ряду по направлению движения воздуха;

** E_1 - количество калориферов в установке, соединенных по теплоносителю параллельно, E_2 - то же, последовательно.

8. Выбирается тип калорифера. Для паровых калориферов расчет продолжается по п. 10.

9. Скорость воды в трубках калорифера V_2 в м/с

$$V_2 = W_1 / f_w$$

где f_w - площадь сечения трубок калорифера, принимаемая по табл. 1, м².

10. Коэффициент теплопередачи K для водяных калориферов в Вт/(м² · °С)

$$K = a V_1^n V_2^r,$$

где константы уравнения a , n и r принимаются по табл. 4.

Для паровых калориферов коэффициент теплопередачи находим как

$$K = K_1 V_1^n,$$

где коэффициент K_1 принимается по табл. 2, а показатель степени n по табл. 4.

Таблица 4

Значения констант для расчета калориферов

Тип калорифера	a	n	r	b	m
КВСБ-ПУЗ	23,05	0,35	0,13	5,98	1,52
КВББ-ПУЗ	21,85	0,35	0,13	8,27	1,52
КСк3-02 ХЛЗА	26,20	0,44	0,17	5,76	1,83
КСк4-02 ХЛЗА	22,80	0,50	0,16	8,44	1,70
КПС-П-01 АУЗ	–	0,33	–	5,98	1,52
КПБ-П-ОИ АУЗ	–	0,33	–	8,27	1,52
КПЗ-СК-01 УЗА	–	0,40	–	5,76	1,83
КП4-СК-01 УЗА	–	0,47	–	8,44	1,70

11. Расчетная площадь F_p поверхности теплообмена калориферной установки:

$$F_p = \frac{Q}{K(T_{cp} - t_{cp})}.$$

12. Фактическая площадь F_ϕ поверхности теплообмена:

$$F_\phi = F_1 N,$$

где F_1 - площадь поверхности теплообмена одного калорифера (табл. 1 и 2), м²; N - суммарное количество калориферов в установке в соответствии с выбранной компоновочной схемой.

13. Запас поверхности теплообмена Δ в %

$$\Delta = \frac{F_\phi - F_p}{F_p} 100\%$$

не должен превышать 10 %. Исключением могут быть калориферы воздушно-тепловых завес, работающие на рециркуляционном воздухе с положительными температурами. При невыполнении требования по запасу поверхности теплообмена, необходимо попробовать изменить одно из следующих условий:

1) Для водяных калориферов при $N \geq 2$ - схему обвязки по теплоносителю.

При этом необходимо иметь в виду, что замена параллельного соединения на последовательное или комбинированное влечет за собой увеличение скорости воды в трубках калорифера и увеличение коэффициента теплопередачи. При этом F_p уменьшается, а запас поверхности теплообмена увеличивается. Повторить расчеты, начиная с п. 7;

- 2) Вариант компоновки установки по табл. 3. Уменьшение количества калориферов в первом ряду ведет к увеличению массовой скорости воздуха, коэффициента теплопередачи и запаса поверхности теплообмена. Повторить расчеты, начиная с п. 5;
- 3) Заменить тип или типоразмер калорифера и повторить расчеты, начиная с п. 4.

14. Для водяных калориферов определяется гидравлическое сопротивление по воде P_w в кПа

$$P_w = V_2^2 E_2 A,$$

где A - коэффициент, принимаемый по табл. 1;

E_2 - количество калориферов, соединенных последовательно по воде (табл. 3).

15. Аэродинамическое сопротивление калориферной установки в Па:

$$P_a = b V_1^m R,$$

где значения b и m принимаются по табл.4;

R - количество рядов.

Принципиальную схему обвязки калориферов следует привести в расчетно-пояснительной записке. Монтажная схема, отражающая расположение калориферов относительно теплопроводов, их обвязку по теплоносителю с необходимой запорно-регулирующей арматурой и измерительными приборами, приводится на чертежах. Образец выполнения монтажной схемы дан в [5]. Ниже приведен пример расчета калориферной установки.

4. Пример расчета калориферов

Рассчитать калориферную установку для следующих условий:

расход нагреваемого воздуха	$G = 2,8$ кг/с;
начальная температура воздуха	$t_n = -22$ °С;
конечная температура воздуха	$t_k = 30$ °С;
теплоноситель - перегретая вода с температурой в подающем трубопроводе	$\tau_1 = 130$ °С;
в обратном трубопроводе	$\tau_2 = 70$ °С .

Решение

1. Находим расход теплоты

$$Q = 1000 \cdot 2,8(30 + 22) = 145600 \text{ Вт} .$$

2. Расход теплоносителя

$$W = \frac{145600}{4190 \cdot 1000(130 - 70)} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Средние температуры:

- теплоносителя $T_{\text{ср}} = (130 + 70)/2 = 100 \text{ }^\circ\text{C};$
- воздуха $t_{\text{ср}} = (30 - 22)/2 = 4 \text{ }^\circ\text{C}.$

4. Примем $V_1 = 8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, тогда $F_B = 2,8 / 8 = 0,35 \text{ м}^2$. Выберем типоразмер калорифера № 8 ($f = 0,392 \text{ м}^2$), тогда количество калориферов в первом ряду

$$n_1 = F_B / f = 0,35 / 0,392 \approx 1 \text{ шт.}$$

5. Так как $n_1 = 1$, схема компоновки имеет вид (рис. 4).

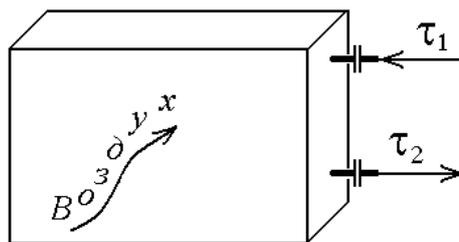


Рис. 4. Расчетная схема калориферной установки

6. Уточним массовую скорость воздуха

$$V_1 = G / (n_1 f) = 2,8 / (1 \cdot 0,392) = 7,14 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

7. Расход воды через один калорифер $W_1 = W = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$

8. Скорость воды в трубках калорифера определим по формуле

$$V_2 = W_1 / f_w$$

для калориферов разных типов типоразмера № 8:

Тип калорифера	Скорость воды в трубках калорифера
КВСБ	$V_2 = 5,8 \cdot 10^{-4} / (87 \cdot 10^{-5}) = 0,67 \text{ м}/\text{с}$
КВББ	$V_2 = 5,8 \cdot 10^{-4} / (116 \cdot 10^{-5}) = 0,50 \text{ м}/\text{с}$
КСк3	$V_2 = 5,8 \cdot 10^{-4} / (84,6 \cdot 10^{-5}) = 0,68 \text{ м}/\text{с}$
КСк4	$V_2 = 5,8 \cdot 10^{-4} / (111,2 \cdot 10^{-5}) = 0,52 \text{ м}/\text{с}$

9. Коэффициенты теплопередачи составят соответственно:

Тип калорифера	Коэффициент теплопередачи
КВСБ	$K = 23,05 \cdot 7,14^{0,35} \cdot 0,67^{0,13} = 44 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$
КВББ	$K = 21,85 \cdot 7,14^{0,35} \cdot 0,50^{0,13} = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$
КСк3	$K = 26,2 \cdot 7,14^{0,44} \cdot 0,68^{0,17} = 58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$
КСк4	$K = 22,8 \cdot 7,14^{0,5} \cdot 0,52^{0,16} = 55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$

10. Расчетная площадь поверхности нагрева в сопоставлении с фактической составит:

Тип калорифера	Расчетная площадь	Фактическая F_{ϕ} , м ²
КВСБ	$F_p = 145600 / 44 / (100 - 4) = 34,47 \text{ м}^2$	18,96
КВББ	$F_p = 145600 / 40 / (100 - 4) = 37,92 \text{ м}^2$	25,22
КСк3	$F_p = 145600 / 58 / (100 - 4) = 26,15 \text{ м}^2$	19,42
КСк4	$F_p = 145600 / 55 / (100 - 4) = 27,58 \text{ м}^2$	25,52

11. Из результатов расчетов следует, что для всех типов калориферов типоразмера № 8 фактическая площадь поверхности теплообмена меньше расчетной. Поэтому заменим типоразмер калорифера на № 10 с площадью сечения для прохода воздуха $f = 0,581 \text{ м}^2$. Массовая скорость воздуха в этом случае

$$V_1 = G / (n_1 f) = 2,8 / (1 \cdot 0,581) = 4,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Ниже приведены результаты перерасчета калориферов.

Тип калорифера:	КВСБ	КВББ	КСк3	КСк4
K , Вт/(м ² · °С)	38	34	49	45
F_p , м ²	39,9	44,6	30,9	33,7
F_{ϕ} , м ²	28,11	37,46	28,66	37,66

Таким образом, далее может рассматриваться калорифер типа КсК4, для которого получили $F_p < F_{\phi}$. Запас поверхности нагрева для калорифера типа КсК4 № 8 составляет:

$$\Delta = \frac{37,66 - 33,7}{33,7} 100 \% = 11,8 \%,$$

что превышает допустимое значение 10 %.

12. Попробуем изменить компоновочную схему калориферной установки, приняв в первом ряду 2 калорифера (рис. 5).

Для этого случая рассмотрим калориферы типоразмера № 6 с площадью

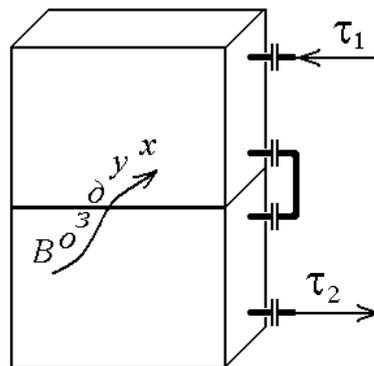


Рис. 5. Новая расчетная схема калориферной установки

сечения для прохода воздуха $f = 0,267 \text{ м}^2$. Массовая скорость воздуха составит

$$V_1 = G / (n_1 f) = 2,8 / (2 \cdot 0,267) = 5,24 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

При последовательном соединении калориферов по воде расход воды через один калорифер $W_1 = W = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, остается без изменения. Скорость воды в трубках также не изменяется. Результаты перерасчета калориферной установки, состоящей из двух калориферов № 6 в первом ряду (рис. 5) следующие.

Тип калорифера:	КВСБ	КВББ	КСк3	КСк4
$K, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	39	36	51	47
$F_p, \text{ м}^2$	38,8	42,1	29,7	32,3
$F_\phi = 2 F_1, \text{ м}^2$	25,84	34,44	24,52	34,84

Запас поверхности нагрева ($F_\phi \geq F_p$) только у калориферов типа КСк4. Величина запаса поверхности теплообмена составляет

$$\Delta = \frac{34,84 - 32,3}{32,3} 100 \% = 7,8 \%,$$

что соответствует нормативным требованиям.

По результатам расчета принимаем калориферную установку, состоящую из двух калориферов КСк4 № 6, установленных в один ряд и соединенных последовательно по воде (см.рис. 5).

13. Сопротивление калориферов по воде:

$$P_w = V_2^2 E_2 A = 0,52^2 \cdot 2 \cdot 13,01 = 7,04 \text{ кПа.}$$

14. Сопротивление по воздуху (аэродинамическое сопротивление)

$$P_a = b V_1^m R = 8,44 \cdot 5,24^{1,7} \cdot 1 = 141 \text{ Па.}$$

Как видно из примера, расчет и подбор калориферной установки является многовариантным и достаточно трудоемким.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительный каталог (СК-8)/ Инженерное оборудование зданий и сооружений. Раздел 81. Оборудование для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Калориферы, воздухонагреватели, воздушно-отопительные агрегаты. М.: ГПИ Сантехпроект, 1985. 107 с.
2. Журавлев В.А. Конструктивные элементы систем теплоснабжения и вентиляции. М.: Стройиздат, 1954. С.257.
3. Рекомендации по подбору калориферных секций для типовых приточных вентиляционных камер типа 2ПК серии 5.904-12 (теплоноситель - вода температурой 150-70, 130-70°C): АЗ-974. Выпуск I. Калориферные секции 2ПК-10. М.: Сантехпроект, 1989. 34 с.
4. Теплотехнический справочник. Изд.2-е, перераб. / Под ред.В.Н.Юренева и П.Д.Лебедева. Т.1. М.: Энергия, 1975. 744 с.
5. Промышленная вентиляция: Методические указания к курсовому проекту / С.П.Макаров, Ю.И.Толстова, Р.Н.Шумилов, Л.Г.Пастухова. Свердловск: УПИ, 1990. 29 с.
6. СНиП 2.04.05-86. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР Л.: ЦТП Госстроя СССР, 1988. 64 с.
7. Титов В.П. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий: Уч. пос. для вузов. М.: Стройиздат , 1985. 208 с.