

## РАЗДЕЛ 2. Руководство по расчету и подбору паровых воздухонагревателей типа ВНП243 с фронтальными сечениями по ГОСТ 7201–80

В настоящем разделе содержатся материалы по расчету и подбору пластинчатых медно-алюминиевых воздухонагревателей типа ВНП243 с фронтальными и присоединительными размерами, соответствующими ГОСТ 7201–80 (рис. П.2.2). Теплоноситель – сухой насыщенный пар.

### Расчет и подбор воздухонагревателей типа ВНП243.2

Предварительный подбор требуемой поверхности в настоящих материалах проводится с помощью номограмм.

#### Пример подбора воздухонагревателя с помощью номограмм

Известны:  $L_n = 19100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $t_{n,n} = -20 \text{ °C}$ ,  $t_{n,x} = 20 \text{ °C}$ , теплоноситель – насыщенный пар с давлением  $p_s = 0,361 \text{ МПа}$ . Зона обслуживания справа.

Необходимо определить: код воздухонагревателя, величины  $Q$ ,  $\Delta p_s$  и  $G_x$ .

#### Последовательность расчета.

1. Принимается к установке воздухонагреватель с  $F_{\text{фр}} = 1,66 \text{ м}^2$  ВНП243.2-166-100-с,d,d-1-0.

2. Массовая скорость воздуха во фронтальном сечении

$$\nu\rho = L_n \cdot / F_{\text{фр}} / 3600 = 19100 \cdot 1,2 / 1,660 / 3600 = 3,83 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

3. Перегрев воздуха

$$\Delta t_s = t_{n,x} - t_{n,n} = 20 - (-20) = 40 \text{ °C}.$$

4. Максимальный температурный напор

$$\Delta t_0 = t_s - t_{n,n} = 140 - (-20) = 160 \text{ °C}.$$

5. По номограмме П.2.7 определяем кодовый индекс воздухонагревателя и удельную теплопроизводительность  $P$ . Следуя ключу номограммы П.2.7, имеем кодовый индекс -с-d,d = -2-4,0;  $P = 158 \text{ кВт}$ .

6. Действительная теплопроизводительность воздухонагревателя

$$Q = P \cdot F_{\text{фр}} = 158 \cdot 1,66 = 261 \text{ кВт}.$$

7. Количество конденсата

$$G_x = Q / r_n = 261 / 0,596 = 438 \text{ кг}/\text{ч}.$$

8. Зная величину  $\nu\rho$  и кодовый индекс воздухонагревателя, по табл. П.2.9 определяем значение аэродинамического сопротивления:  $\Delta p_s = 31 \text{ Па}$ .

9. По табл. П.2.10 определяем диаметры подводящего и отводящего коллекторов:  $D_x = 2 \times 56 \text{ мм}$ ,  $D_{\text{ко}} = 56 \text{ мм}$ .

10. Необходимо заказать воздухонагреватель ВНП243.2-166-100-2-4,0-1-0,  $D_x = 2 \times 56 \text{ мм}$ ,  $D_{\text{ко}} = 56 \text{ мм}$ .

Таблица П.2.8

ТИПОРАЗМЕРЫ – ПЛОЩАДЬ ФРОНТАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Кодовые индексы -aaa→ -bbb↓	-053	-066	-078	-091	-116	-166	B, мм↓
	-040	0,212	0,262	0,312	0,362	0,462	
-050	0,267	0,329	0,392	0,455	0,581	-	503
-100	-	-	-	-	-	1,660	1003
-150	-	-	-	-	-	2,487	1503
A, мм→	530	655	780	905	1155	1655	

Таблица П.2.9

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, Па

Кодовый индекс -с-d,d↓	Массовая скорость воздуха, кг/(м <sup>2</sup> ·с)														
	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2
-2-4.0	14	16	18	21	23	25	28	30	33	36	38	41	44	47	51
-2-3.5	16	18	20	23	25	28	30	33	36	39	42	45	49	52	55
-2-3.0	17	20	22	25	28	31	34	37	40	43	47	50	54	58	62
-2-2.5	20	23	25	28	32	35	38	42	45	49	53	57	61	65	70
-2-2.2	22	25	28	31	34	38	42	46	50	54	58	62	67	72	76
-2-1.8	25	28	32	36	40	44	48	52	57	62	67	72	77	82	87
-3-3.0	26	30	34	38	42	46	51	55	60	65	70	76	81	87	92
-3-2.5	30	34	38	43	47	52	57	63	68	74	80	86	92	98	105
-3-2.2	32	37	42	47	52	57	63	69	74	81	87	94	100	107	114
-3-1.8	37	42	48	53	59	66	72	79	85	93	100	107	115	123	131

ТАБЛИЦА ДИАМЕТРОВ ТРУБНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ  $D_c$  и  $D_{co}$ 

Индекс воздухо-нагревателя -с↓	Диаметр подводящего коллектора для индекса -bbb $D_c$ , мм			Диаметр отводящего коллектора $D_{co}$ , мм ↓
	040 – 050	100	150	
-2	56	2x56	2x80	56
-3	56	2x56	2x80	56

Таблица П.2.11

ТИПОРАЗМЕРЫ. ГАБАРИТНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ (рис.П.2.2)

№*	Кодовый индекс -aaa-bbb↓	A	A1	A2	A3**	A4	A5	A6	A7	A8	A9**
		Размеры, мм									
1	-053-040	530	578	600	912	500	400	440	470	375	-
2	-066-040	655	703	725	1037	625	400	440	470	375	-
3	-078-040	780	828	850	1162	750	400	440	470	375	-
4	-091-040	905	953	975	1287	875	400	440	470	375	-
5	-116-040	1155	1203	1225	1537	1125	400	440	470	375	-
6	-053-050	530	578	600	912	500	503	551	570	375	-
7	-066-050	655	703	725	1037	625	503	551	570	375	-
8	-078-050	780	828	850	1162	750	503	551	570	375	-
9	-091-050	905	953	975	1287	875	503	551	570	375	-
10	-116-050	1155	1203	1225	1537	1125	503	551	570	375	-
11	-166-100	1655	1703	1725	2087	1625	1003	1051	1070	875	500
12	-166-150	1655	1703	1725	2087	1625	1503	1551	1570	1375	750

\* Номер теплообменника по ГОСТ 7201–80.

\*\* Осредненный размер ( справочный ).

Таблица П.2.12

МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (рис. П.2.2)

-с→	2					3				
-d, d→	4,0	3,5	3,0	2,5	2,2	1,8	3,0	2,5	2,2	1,8
H, мм	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Масса $M_1$ , кг/м <sup>2</sup> *	20,2	21,2	22,5	24,4	26,0	28,8	31,5	34,4	36,6	40,9
Масса $M_2$ , кг/м**	2,4									

\* Масса теплообменной поверхности без воды и расчете на 1 м<sup>2</sup> площади фронтального сечения воздухонагревателя.

\*\* Масса корпуса воздухонагревателя в расчете на 1 п.м периметра фронтального сечения.

Таблица П.2.13

МАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диаметры трубных коллекторов $D_c$	25	40	56	80
Масса $M_1$ , кг/м*	0,9	1,5	2,1	2,9

\* Масса подводящего / отводящего коллектора в расчете на 1 п.м высоты воздухонагревателя.

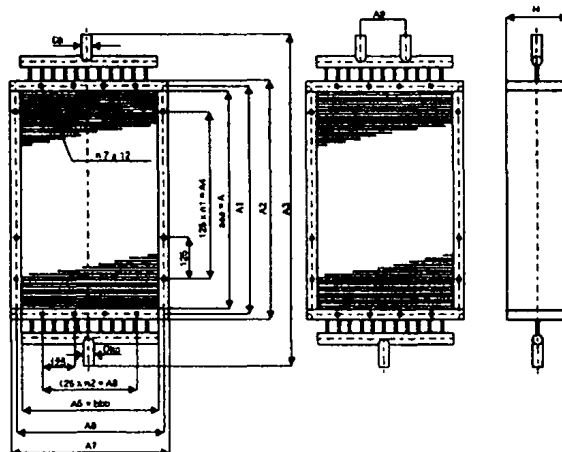
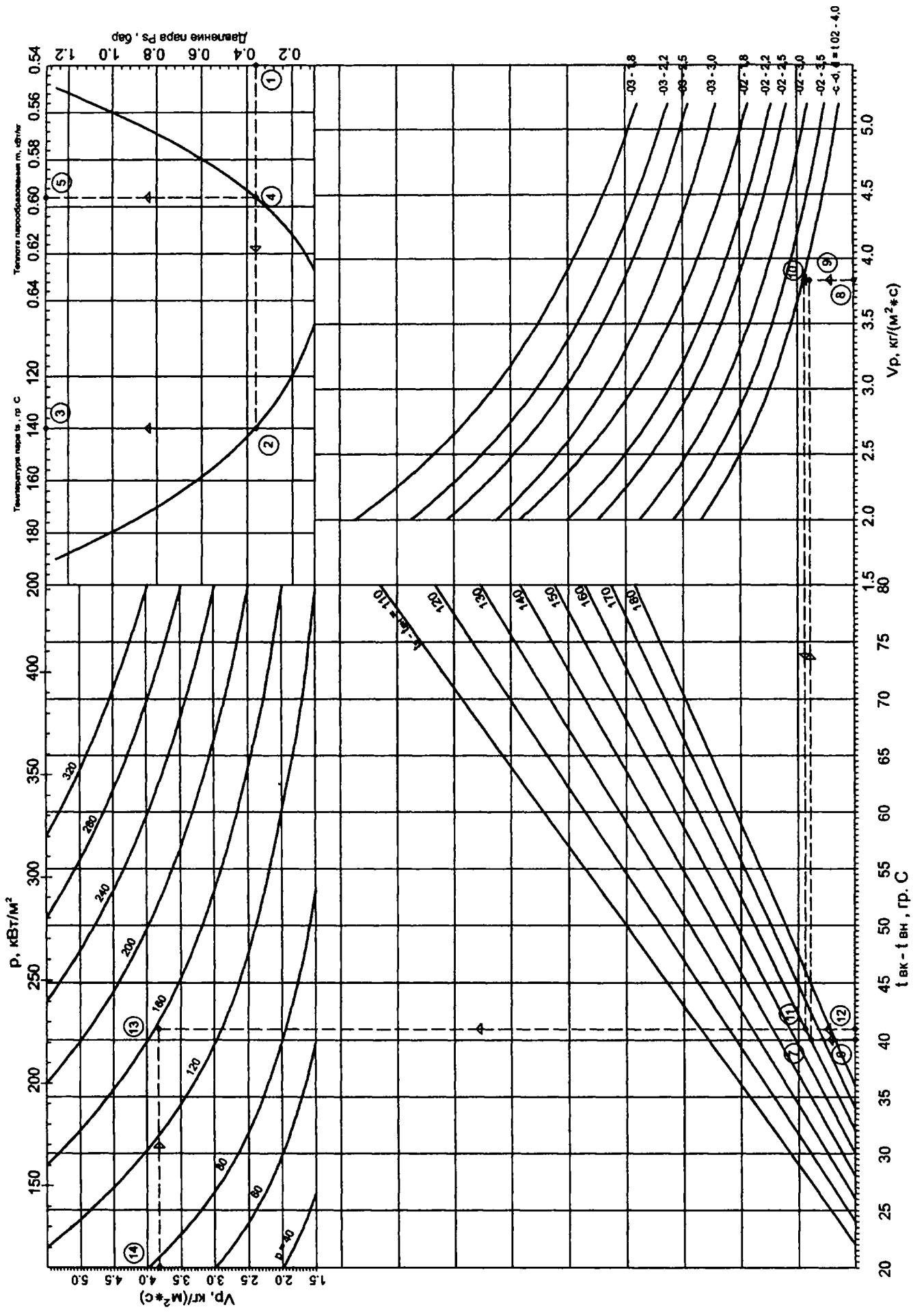


Рис. П.2.2. Габаритные и присоединительные размеры паровых воздухонагревателей ВНП243.2 с фронтальным сечением по ГОСТ 7201–80



Нограмма П.2.7 (плотность воздуха 1,2 кг/м<sup>3</sup>)

### РАЗДЕЛ 3. Руководство по расчету и подбору воздухонагревателей типа ВНВ243, работающих на горячей воде, с фронтальными размерами расширенного типоразмерного ряда

В настоящем разделе приводятся материалы по расчету и подбору пластинчатых медно-алюминиевых воздухонагревателей, работающих на горячей воде (рис.П.2.3), фронтальные сечения которых соответствуют расширенному типоразмерному ряду. По требованию Заказчика воздухонагреватели могут выпускаться с любыми кратными 100 мм размерами в пределах максимальных размеров, указанных в табл. П.2.14.

#### Расчет и подбор воздухонагревателей типа ВНВ243.1(2)

Предварительный подбор требуемой поверхности в настоящих материалах проводится с помощью таблиц и номограмм.

#### Пример расчета.

Известны: производительность по воздуху  $L_a = 19200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $t_{в,н} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{в,к} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{ж,н} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{ж,к} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Зона обслуживания теплообменника справа, подсоединение к воздухопроводу фланцевое. Необходимо определить: код теплообменника, величины  $Q$ ,  $G_x$ ,  $\Delta t_x$ ,  $\Delta p_x$  и  $\Delta p_a$ .

#### Порядок расчета.

1. По табл. П.2.14 выбираем воздухонагреватель с  $F_{\text{фр}} = 1,6 \text{ м}^2$ , кодový индекс *-aaa-bbb* = -160-100.
2. Массовая скорость воздуха во фронтальном сечении
$$v_p = L_a \cdot \rho_a / F_{\text{фр}} / 3600 = 19200 \cdot 1,2 / 1,6 / 3600 = 4,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$
3. Перегрев воздуха
$$\Delta t_a = t_{в,к} - t_{в,н} = 25 - (-25) = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$
4. Расчетный перепад температур по теплоносителю
$$\Delta t_x = t_{ж,н} - t_{ж,к} = 130 - 70 = 60 \text{ }^\circ\text{C}.$$
5. Максимальный температурный напор
$$\Delta t_0 = t_{ж,н} - t_{в,н} = 130 - (-25) = 155 \text{ }^\circ\text{C}.$$
6. Принимаем прямоточное подсоединение воздухонагревателя по воде. По номограмме П.2.9 для прямотока определяем кодový индекс воздухонагревателя,  $q_x^\phi$ ,  $P$  и действительный перепад температур по теплоносителю  $\Delta t_x^\phi$ . Следуя ключу номограммы П.2.9, имеем: кодový индекс *-c-d,d* = -3-3,0;  $q_x^\phi = 0,76 \text{ л}/\text{с}$ ;  $P = 201 \text{ кВт}$ ;  $\Delta t_x^\phi = 65,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .
7. Действительная теплопроизводительность
$$Q = P \cdot F_{\text{фр}} = 201 \cdot 1,6 = 321,6 \text{ кВт}.$$
8. Массовый расход жидкости при значении плотности жидкости для средней температуры  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , равном  $951 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,
$$G_x = q_x^\phi \cdot F_{\text{фр}} \cdot \rho_x \cdot 3,6 = 0,76 \cdot 1,6 \cdot 951 \cdot 3,6 = 4200 \text{ кг}/\text{ч}.$$
9. По номограмме П.2.10, зная величину  $q_x$  и кодové индексы *-c* и *-aaa* теплообменника, находим кодový индекс *-f* = 08 и величину  $\Delta p_x = 39,2 \text{ кПа}$ .
10. По табл. П.2.17 определяем корректирующий коэффициент для известных кодových индексов теплообменника *-bbb*, *-c* и *-f*, который равен 1,18, и уточняем гидравлическое сопротивление:
$$\Delta p_x = 1,18 \cdot 39,2 = 46,3 \text{ кПа}.$$
11. По табл. П.2.16 определяем диаметр коллекторов для известных кодových индексов теплообменника *-bbb*, *-c* и *-f*:  $D_x = 40 \text{ мм}$ .
12. Зная величину и кодový индекс теплообменника, по табл. П.2.15 вычисляем значение аэродинамического сопротивления:  $\Delta p_a = 60,2 \text{ Па}$ .

Таким образом, для реализации условий, приведенных в примере расчета, необходимо заказать теплообменник ВНВ243.2-160-100-3-3,0-08-2,  $D_x = 40 \text{ мм}$ .

Таблица П.2.14

ТИПОРАЗМЕРЫ – ПЛОЩАДЬ ФРОНТАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ, м<sup>2</sup>

Кодовые индексы ВНВ243																
-aaa→ -bbb↓	-020	-050	-060	-080	-100	-120	-140	-160	-180	-200	-220	-240	-260	-280	-300	В, мм↓
-020	0,04	0,10	0,12	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200
-030	0,06	0,15	0,18	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300
-040	0,08	0,20	0,24	0,32	0,40	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
-050	0,10	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	-	-	-	-	-	-	-	500
-060	0,12	0,30	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20	-	-	-	-	-	600
-080	0,16	0,40	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28	1,44	1,60	1,76	1,92	-	-	-	800
-100	-	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	-	1000
-120	-	0,60	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92	2,16	2,40	2,64	2,88	3,12	3,36	3,60	1200
-140	-	-	-	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24	2,52	2,80	3,08	3,36	3,64	3,92	4,20	1400
-160	-	-	-	-	1,60	1,92	2,24	2,56	2,88	3,20	3,52	3,84	4,16	4,48	4,80	1600
-180	-	-	-	-	-	2,16	2,52	2,88	3,24	3,60	3,96	4,32	4,68	5,04	5,40	1800
-200	-	-	-	-	-	-	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20	5,60	6,00	2000
А, мм→	200	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	

Таблица П.2.15

## АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, Па

Кодовый индекс -c-d,d↓	Массовая скорость воздуха, кг/(м <sup>2</sup> ·с)															
	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	
-1-3,5	8	9	10	12	13	14	16	17	19	20	22	24	25	27	29	
-1-3,0	8	9	11	12	13	15	16	18	19	21	23	24	26	28	30	
-1-2,5	9	11	12	13	15	16	18	20	21	23	25	27	29	31	33	
-1-2,0	11	13	15	17	18	20	22	24	27	29	31	33	36	38	41	
-1-1,8	13	15	17	19	21	23	25	28	30	33	35	38	41	44	46	
-2-3,5	16	18	21	23	26	28	31	34	37	40	43	47	50	54	57	
-2-3,0	16	19	21	24	26	29	32	35	38	41	45	48	52	55	59	
-2-2,5	18	21	24	26	29	33	36	39	42	46	50	53	57	61	65	
-2-2,0	23	26	29	33	37	40	44	48	53	57	62	66	71	76	81	
-2-1,8	26	29	33	37	41	46	50	55	60	65	70	75	81	86	92	
-3-2,5	27	31	35	40	44	49	53	58	63	69	74	80	86	91	98	
-3-2,0	34	39	44	49	54	60	66	72	79	85	92	99	106	113	121	
-3-1,8	39	44	50	56	62	68	75	82	89	97	104	112	120	129	137	
-4-2,0	45	51	58	65	72	80	88	96	104	113	122	131	141	151	161	
-4-1,8	51	58	66	74	82	91	100	109	119	128	139	149	160	171	183	

Таблица П.2.16

ТИПОРАЗМЕРЫ – ДИАМЕТРЫ ТРУБНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ D<sub>т</sub>

Кодовые индексы	1					2					3					4				
	-c→ -f→	02	04	06	08	10	02	04	06	08	10	02	04	06	08	10	02	04	06	08
-bbb↓	Диаметры трубных коллекторов D <sub>т</sub> , мм																			
-020	25	25	-	-	-	25	25	-	25	-	25	25	25	-	-	40	25	25	25	-
-030	25	25	25	-	-	25	25	25	-	-	40	25	25	-	25	40	25	25	25	-
-040	25	25	-	25	-	40	25	25	25	-	40	25	25	25	-	40	40	25	25	-
-050	25	-	25	-	25	40	25	-	25	25	40	40	25	25	25	56	40	25	25	25
-060	25	25	25	-	-	40	25	25	25	-	56	40	25	-	25	56	40	40	25	25
-080	40	25	25	25	-	40	40	25	25	-	56	40	40	25	25	56	40	40	40	25
-100	40	25	-	25	25	56	40	25	25	25	56	40	40	40	25	80	56	40	40	40
-120	40	25	25	25	-	56	40	40	25	25	80	56	40	40	40	80	56	40	40	40
-140	40	40	25	25	25	56	40	40	40	25	80	56	40	40	40	80	56	40	40	40
-160	40	40	25	25	-	56	40	40	40	25	80	56	40	40	40	80	56	56	40	40
-180	56	40	25	-	25	80	56	40	40	40	80	56	56	40	40	2x80	80	56	56	40
-200	56	40	25	25	25	80	56	40	40	40	80	56	56	40	40	2x80	80	56	56	40

КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕКТИРОВКИ  $\Delta\rho_x$

Кодовые индексы	1					2					3					4				
	-с→	02	04	06	08	10	02	04	06	08	10	02	04	06	08	10	02	04	06	08
-bbb↓	Корректирующие коэффициенты																			
-020	1	1	-	-	-	1	1	-	1	-	1	1	1	-	-	1	1	0,67	1	-
-030	1	0,35	1	-	-	1	1	1	-	-	1	1,29	1	-	0,73	1	1	1	1	-
-040	1	1	-	1	-	1	1	0,67	1	-	1	1	1	1	-	1	1	1,16	1	-
-050	1	-	0,55	-	1	1	1	-	0,58	1	1	1,16	1	0,81	1	1	1	0,84	1	1
-060	1	1	1	-	-	1	1	1	1	-	1	1	1	-	0,73	1	1	1	1	0,88
-060	1	1	0,67	1	-	1	1	1,16	1	-	1	1	1	1	0,88	1	1	0,89	1	1,18
-100	1	1	-	0,58	1	1	1	0,84	1	1	1	1	1	1,18	1	1	1	1,06	1	1
-120	1	1	1	1	-	1	1	1	1	0,88	1	1	1	1	1,07	1	1	1	1	0,88
-140	1	1	0,78	0,66	0,81	1	1	1,09	1	0,81	1	1	1	1,12	1,13	1	1	0,94	1	1
-160	1	1	1,16	1	-	1	1	0,89	1	1,18	1	1	1	1	0,88	1	1	1,04	1	0,95
-180	1	1	1	-	0,73	1	1	1	1	1,07	1	1	1	1,09	0,94	1	1	1	1	1,1
-200	1	1	0,84	1	1	1	1	1,06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	1

Таблица П.2.18

СПРАВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПАТРУБКОВ И КОЛЛЕКТОРОВ (рис. П.2.4)

Кодовый индекс	Диаметр трубного коллектора															
	25				40				56				80			
	D	E	F	G	D	E	F	G	D	E	F	G	D	E	F	G
1	100	105	70	-	100	120	70	-	100	135	70	-	-	-	-	-
2	100	105	70	70	100	120	65	50	100	135	55	70	100	160	45	90
3	100	105	70	65	100	120	60	60	100	135	55	70	100	160	45	90
4	100	105	70	53	100	120	53	75	100	135	53	75	100	160	45	90

Таблица П.2.19

МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (рис. П.2.3)

-с→	1					2					3			4	
-d,d→	3,5	3,0	2,5	2,0	1,8	3,5	3,0	2,5	2,0	1,8	2,5	2,0	1,8	2,0	1,8
H, мм*	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Масса $M_1$ , кг/м <sup>2</sup> **	8,2	8,8	9,5	10,7	11,3	16,5	17,5	19,0	21,3	22,6	28,5	32,0	33,9	42,7	45,3
Объем воды, л/м <sup>3</sup> ***	5					7					9			11	
Масса $M_2$ , кг/м****	2,4 / 5 (ВНВ243.1 / ВНВ243.2)														

- \* Для замены существующих калориферов воздухонагреватели типа ВНВ243.2 выпускаются с H=180 мм или H=220 мм. По требованию Заказчика воздухонагреватели могут выпускаться с H=55 мм для одно- и двухрядных теплообменников, H= 80 мм для трехрядных и H= 100 мм для четырехрядных.
- \*\* Масса теплообменной поверхности без воды в расчете на 1 м<sup>2</sup> площади фронтального сечения воздухонагревателя.
- \*\*\* Объем воды в расчете на 1 м<sup>3</sup> площади фронтального сечения воздухонагревателя.
- \*\*\*\* Масса корпуса воздухонагревателя в расчете на 1 п.м периметра фронтального сечения.

Таблица П.2.20

МАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диаметры трубных коллекторов D,	25	40	56	80
Масса $M_1$ , кг/м*	0,9	1,5	2,1	2,9

• Масса питающего / отводящего коллектора без воды в расчете на 1 п.м высоты воздухонагревателя.

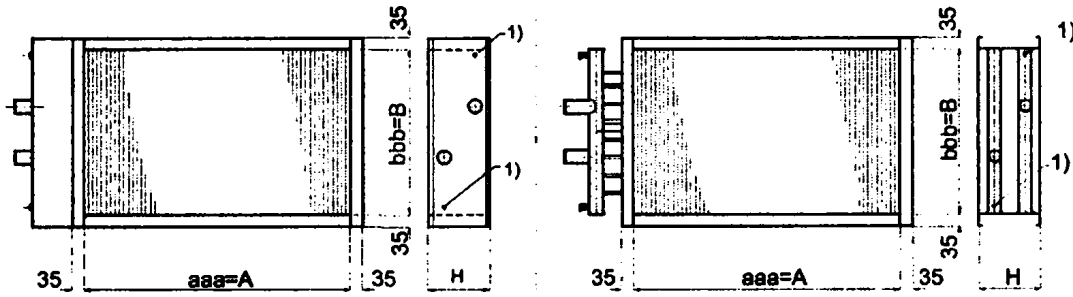


Рис. П.2.3. Габаритные размеры воздухоохлаждателей ВНВ243 с фронтальными сечениями расширенного типоразмерного ряда

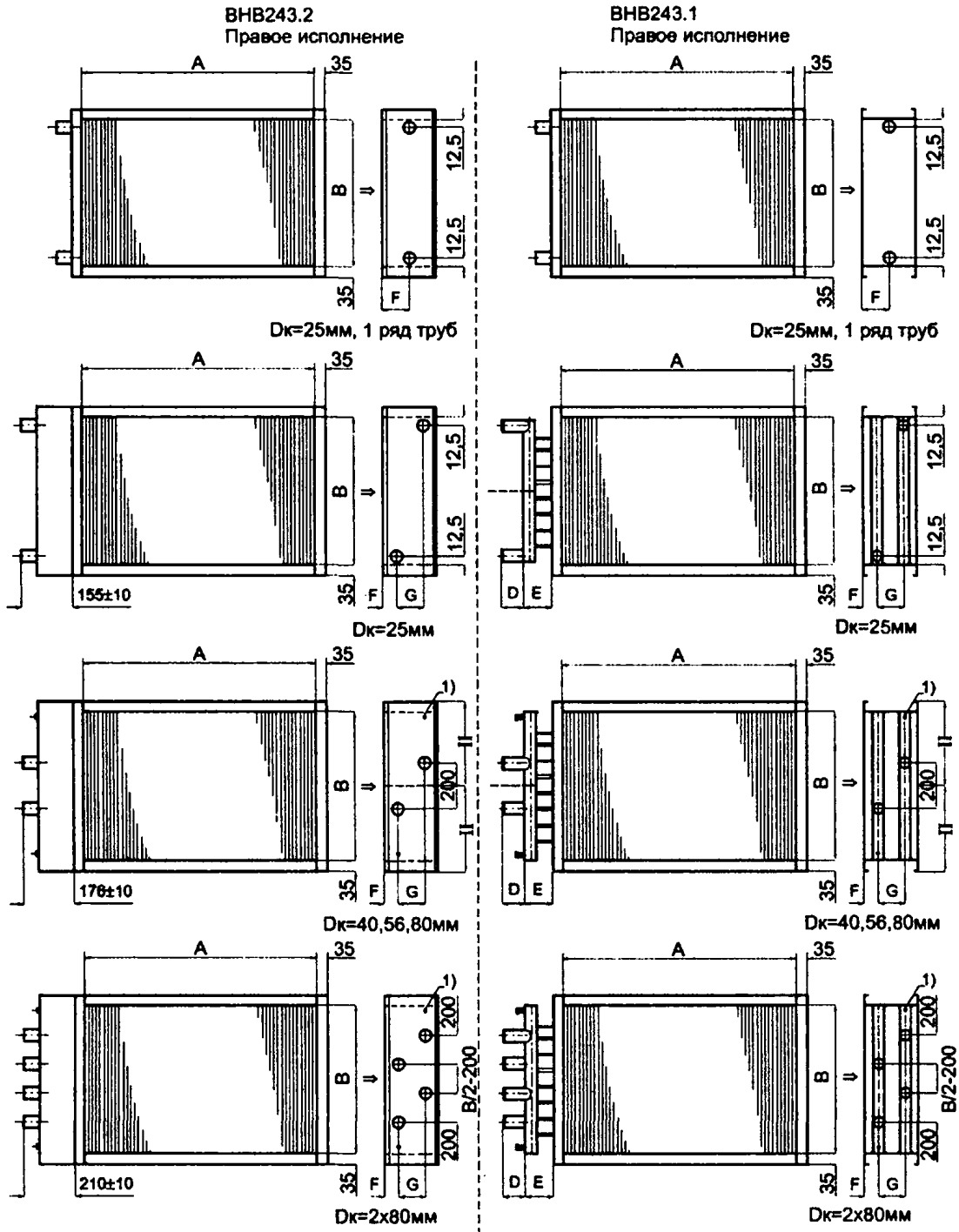
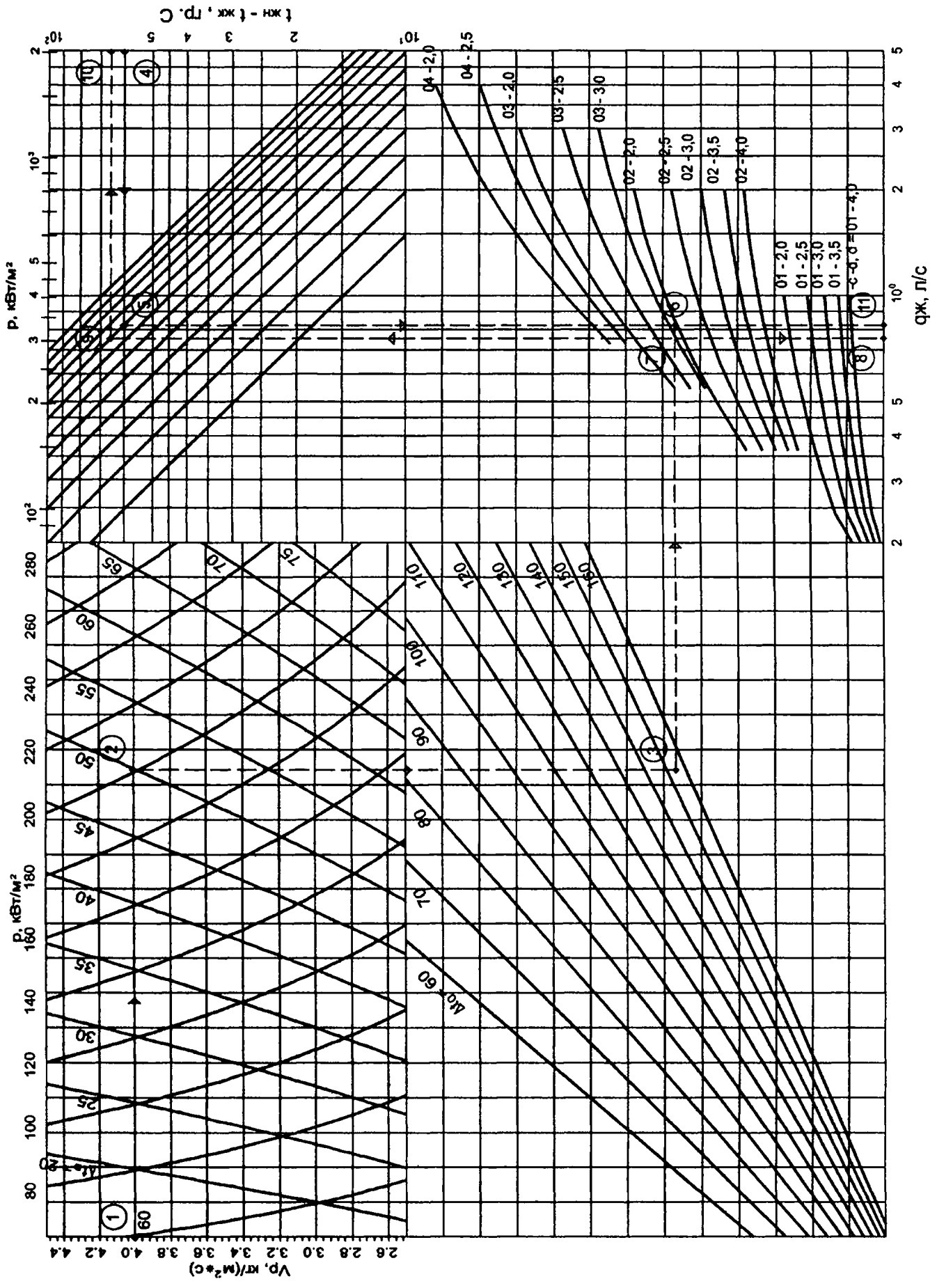
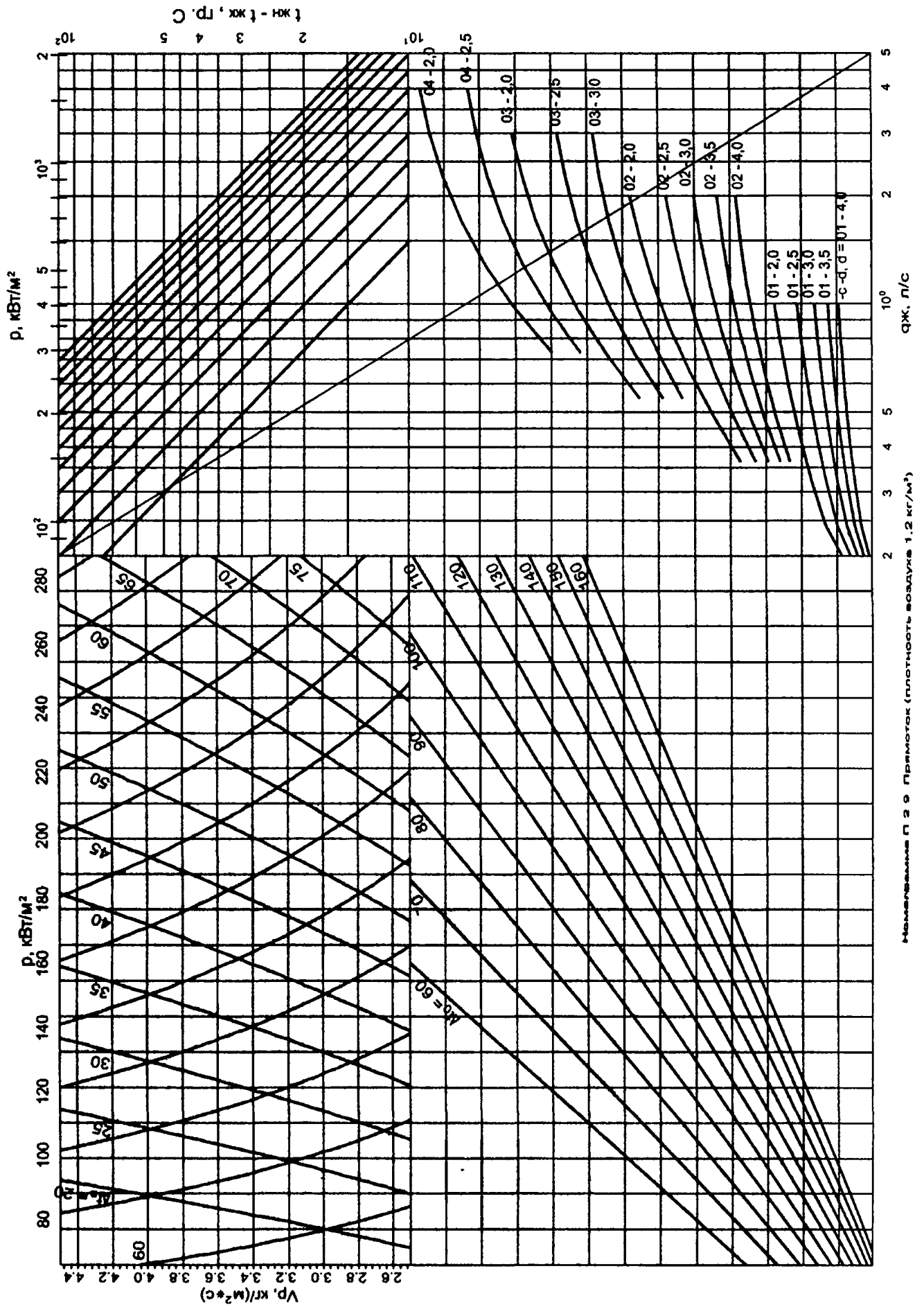


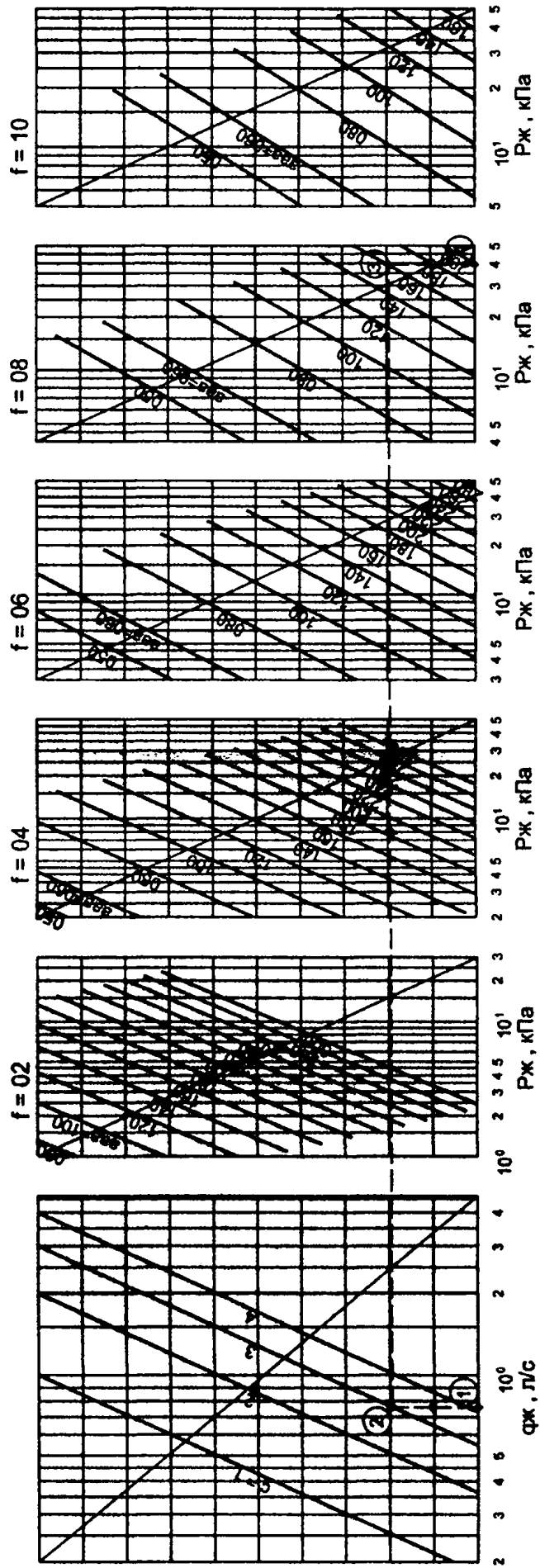
Рис.П.2.4. Расположение коллекторов и патрубков воздухонагревателей ВНВ243



Номограмма П.2.8. Противоток (плотность воздуха  $1,2 \text{ кг/м}^3$ )







Номограмма П.2.10

#### РАЗДЕЛ 4. Руководство по расчету и подбору паровых воздухонагревателей типа ВНП243.2 с фронтальными размерами расширенного типоразмерного ряда

В настоящем разделе приводятся материалы по расчету и подбору пластинчатых медно-алюминиевых воздухонагревателей, обогреваемых насыщенным паром, фронтальные сечения которых соответствуют расширенному типоразмерному ряду (рис.П.2.5).

##### Расчет и подбор воздухонагревателей типа ВНП243.2

Предварительный подбор требуемой поверхности в настоящих материалах проводится с помощью номограмм и таблиц.

##### Пример расчета.

Известны :  $L_n = 23000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ,  $t_{в,н} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{в,к} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплоноситель – сухой насыщенный пар,  $p_s = 0,361 \text{ МПа}$ .

Необходимо определить: код воздухонагревателя, величины  $Q$ ,  $\Delta p_s$  и  $G_k$ .

##### Последовательность расчета.

1. По табл. П.2.21 выбираем воздухонагреватель с  $F_{фр} = 1,92 \text{ м}^2$ , кодовый индекс *-aaa-bbb* = -160-120.

2. Массовая скорость воздуха во фронтальном сечении

$$w\rho = L_n \cdot \rho_w / F_{фр} / 3600 = 23000 \cdot 1,2 / 1,92 / 3600 = 4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

3. По номограмме П.2.11 определяем величины  $t_s = 140 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $r_n = 0,596 \text{ кВт}/\text{кг}$ .

4. Перегрев воздуха

$$\Delta t_s = t_{в,к} - t_{в,н} = 25 - (-25) = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

5. Максимальный температурный напор

$$\Delta t_0 = t_s - t_{в,н} = 140 - (-25) = 165 \text{ }^\circ\text{C}.$$

6. По номограмме П.2.11, следуя ключу, определяем кодовый индекс воздухонагревателя и удельную теплопроизводительность  $P$ . Имеем кодовый индекс *-c-d,d* = -2-2,5;  $P = 215 \text{ кВт}$ .

7. Действительная теплопроизводительность воздухонагревателя

$$Q = P \cdot F_{фр} = 215 \cdot 1,92 = 413 \text{ кВт}.$$

8. Количество конденсата

$$G_k = Q / r_n = 413 / 0,596 = 693 \text{ кг}/\text{ч}.$$

9. Зная величину  $w\rho$  и кодовый индекс воздухонагревателя, по табл. П.2.22 определяем значение аэродинамического сопротивления:  $\Delta p_s = 45 \text{ Па}$ .

10. Необходимо заказать воздухонагреватель ВНП243.2-160-120-2-2,5-1-0,  $D_k = 2 \times 80 \text{ мм}$ ,  $D_{кв} = 56 \text{ мм}$ .

Таблица П.2.21

ТИПОРАЗМЕРЫ – ПЛОЩАДЬ ФРОНТАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ,  $\text{м}^2$

Кодовые индексы	-020	-050	-060	-080	-100	-120	-140	-160	-180	-200	-220	-240	B, мм
<i>-aaa</i> → <i>-bbb</i> ↓													
-020	0,04	0,10	0,12	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	200
-030	0,06	0,15	0,18	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	300
-040	0,08	0,20	0,24	0,32	0,40	0,48	-	-	-	-	-	-	400
-050	0,10	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	-	-	-	-	500
-060	0,12	0,30	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20	-	-	600
-080	0,16	0,40	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28	1,44	1,60	1,76	1,92	800
-100	-	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	1000
-120	-	0,60	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92	2,16	2,40	2,64	2,88	1200
-140	-	-	-	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24	2,52	2,80	3,08	3,36	1400
-160	-	-	-	-	1,60	1,92	2,24	2,56	2,88	3,20	3,52	3,84	1600
A, мм	200	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	

## АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, Па

Кодовый индекс	Массовая скорость воздуха, кг/(м <sup>2</sup> ·с)														
	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2
-c-d,d↓	14	16	18	21	23	25	28	30	33	36	38	41	44	47	51
-2-4.0	16	18	20	23	25	28	30	33	36	39	42	45	49	52	55
-2-3.5	17	20	22	25	28	31	34	37	40	43	47	50	54	58	62
-2-3.0	20	23	25	28	32	35	38	42	45	49	53	57	61	65	70
-2-2.5	22	25	28	31	34	38	42	46	50	54	58	62	67	72	76
-2-2.2	25	28	32	36	40	44	48	52	57	62	67	72	77	82	87
-3-3.0	26	30	34	38	42	46	51	55	60	65	70	76	81	87	92
-3-2.5	30	34	38	43	47	52	57	63	68	74	80	86	92	98	105
-3-2.2	32	37	42	47	52	57	63	69	74	81	87	94	100	107	114
-3-1.8	37	42	48	53	59	66	72	79	85	93	100	107	115	123	131

Таблица П.2.23

ТАБЛИЦА ДИАМЕТРОВ ТРУБНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ  $D_x$  и  $D_{x0}$ 

Индекс воздухо-нагревателя -c↓	Диаметр подводящего коллектора для индекса -bbb $D_x$ , мм		Диаметр отводящего коллектора $D_{x0}$ , мм
	020 – 080	100 – 160	
-1	40	2x56	40
-2	56	2x80	56
-3	56	2x80	56

Таблица П.2.24

## СПРАВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПАТРУБКОВ И КОЛЛЕКТОРОВ (рис. П.2.5)

$D_x / D_{x0}$ , мм	40	56	80	100
$E_1$ , мм	105	121	145	145
$E_2$ , мм	105	121	-	-

Таблица П.2.25

## МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (рис. П.2.5)

-c →	2					3				
-d,d →	4,0	3,5	3,0	2,5	2,2	1,8	3,0	2,5	2,2	1,8
$H$ , мм	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Масса $M_1$ , кг/м <sup>2*</sup>	20,2	21,2	22,5	24,4	26,0	28,8	31,5	34,4	36,6	40,9
Масса $M_2$ , кг/м <sup>**</sup>	2,4									

\* Масса теплообменной поверхности без воды в расчете на 1 м<sup>2</sup> площади фронтального сечения воздухонагревателя.

\*\* Масса корпуса воздухонагревателя в расчете на 1 п.м периметра фронтального сечения.

Таблица П.2.26

## МАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диаметры трубных коллекторов $D_x$	25	40	56	80
Масса $M_x$ , кг/м*	0,9	1,5	2,1	2,9

\* Масса подводящего / отводящего коллектора в расчете на 1 п.м высоты воздухонагревателя.

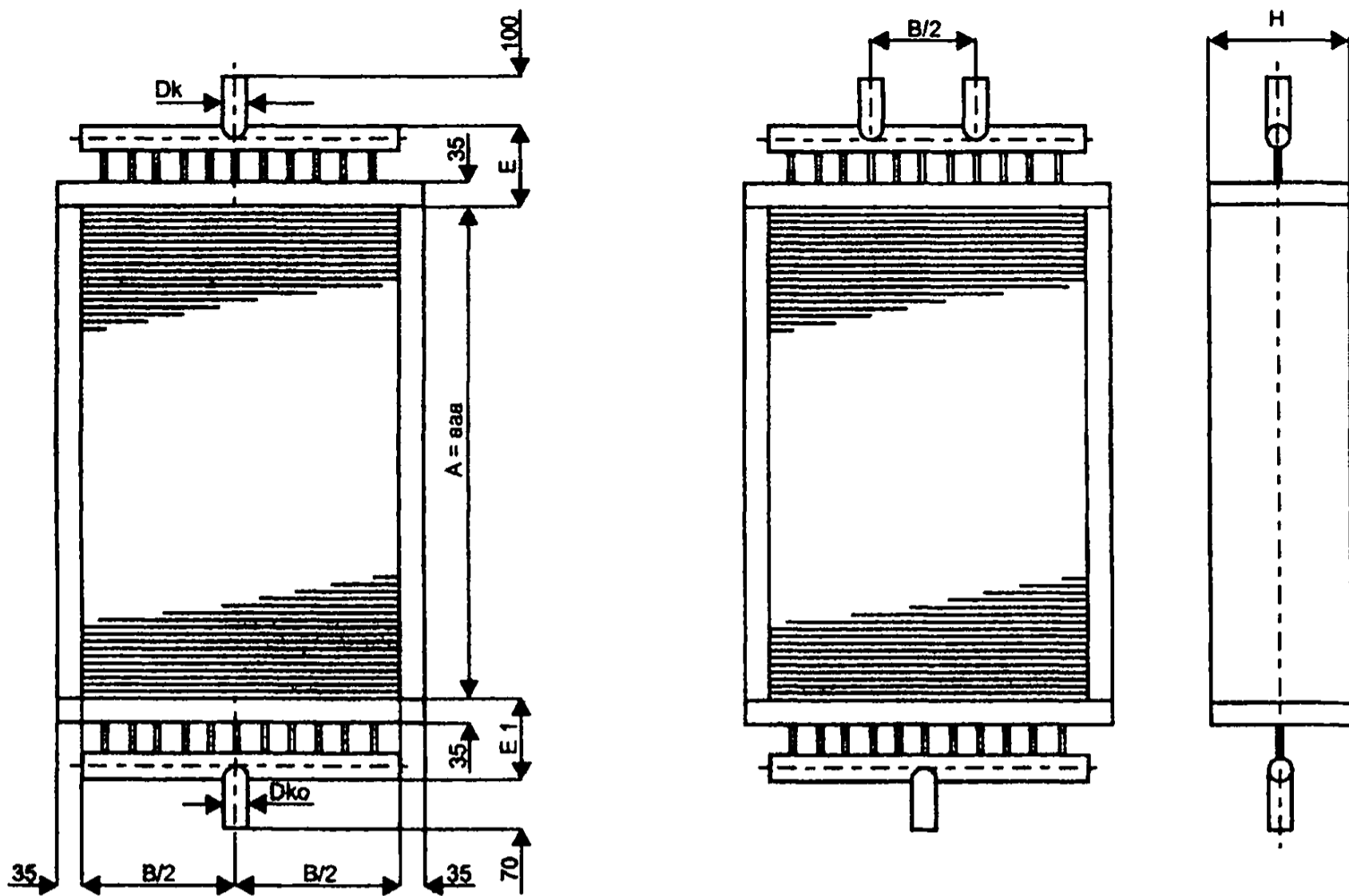
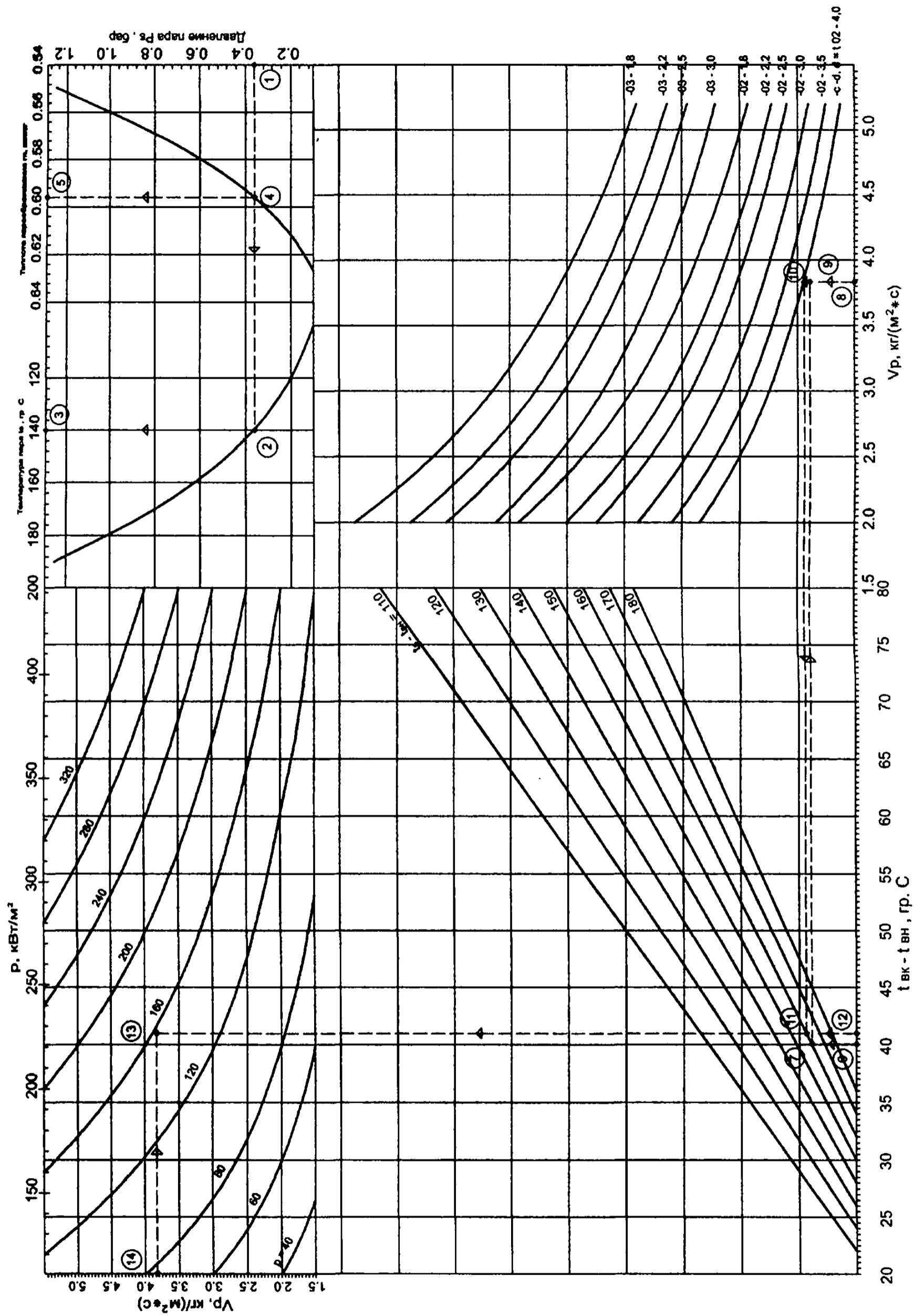


Рис. П.2.5. Габаритные и присоединительные размеры воздухонагревателей ВНП243 с фронтальными сечениями расширенного типоразмерного ряда



Номограмма П.2.11 (плотность воздуха 1,2 кг/м³)







## **ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

*СИСТЕМА РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕГРЕВОВ ПО ВОЗДУХУ И ВОДЕ  
В ТЕПЛООБМЕННИКАХ С РАЗЛИЧНЫМ ЧИСЛОМ  
РЯДОВ И ХОДОВ ПО ТЕПЛОНОСИТЕЛЮ*

В настоящих материалах приведены расчетные формулы для определения относительных перегревов по воздуху и по воде в воздухонагревателях типа ВНВ242 с различным числом рядов и ходов по теплоносителю ( $n_p = 2; 3; 4$  и  $ff = 2; 4; 6; 8; 10; 12$ ). Эти формулы получены для эквивалентных схем расположения медных трубок в трубных пучках с реальными обвязками по теплоносителю (алгоритм 1). Правомерность такой замены реального расположения трубок в трубном пучке на эквивалентное доказана в гл. 2. Один из примеров замены представлен на рис. П.3.1.

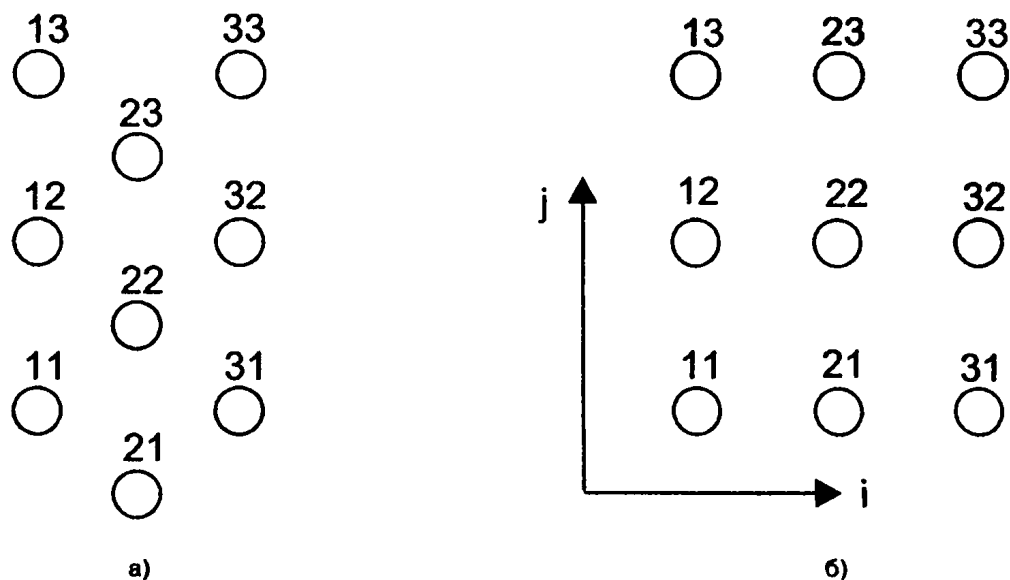


Рис. П.3.1. Реальная (а) и эквивалентная (б) схемы расположения трубок в трубном пучке

При получении указанных формул предполагалось, что теплообменник можно представить состоящим из отдельных теплообменных блоков, каждый из которых включает количество медных трубок, кратное числу ходов по теплоносителю.

Конкретные реальные и эквивалентные схемы обвязок по теплоносителю с соответствующими расчетными формулами приведены для теплообменников с  $n_p = 2 - 4$  и  $ff = 2 - 6$ . Для теплообменников с  $n_p = 2 - 4$  и числом ходов  $ff = 8 - 12$  ввиду громоздкости рисунков приведены лишь расчетные формулы.

В представленных материалах использовалась система обозначений, совпадающая в основном с системой обозначений, приведенной в гл. 2. Для удобства пользователей она дана ниже:

- $\theta_{\dot{a}}$  - перегрев воздуха на одиночной трубке;
- $\theta_{\dot{w}}$  - перегрев воды на одиночной трубке;
- $\theta_{\dot{a}}^{(2)}$  - перегрев воздуха при противоточном движении в блоке из двух трубок;
- $\theta_{\dot{w}}^{(2)}$  - перегрев воды при противоточном движении в блоке из двух трубок;
- $\theta_{\dot{a}}^{(1)}$  - перегрев воздуха при прямоточном движении в блоке из двух трубок;
- $\theta_{\dot{w}}^{(1)}$  - перегрев воды при прямоточном движении в блоке из двух трубок;
- $\theta_{\dot{a}, n-ff}^{(1)}$  - перегрев воздуха в группе трубок, образующих блок с рядностью  $n_p$  и числом ходов  $ff$  при условно-прямоточном движении воды и воздуха;
- $\theta_{\dot{w}, n-ff}^{(1)}$  - перегрев воды в группе трубок, образующих блок с рядностью  $n_p$  и числом ходов  $ff$  при условно-прямоточном движении воды и воздуха;
- $\theta_{\dot{a}, n-ff}^{(2)}$  - перегрев воздуха в группе трубок, образующих блок с рядностью  $n_p$  и числом ходов  $ff$  при условно-противоточном движении воды и воздуха;
- $\theta_{\dot{w}, n-ff}^{(2)}$  - перегрев воды в группе трубок, образующих блок с рядностью  $n_p$  и числом ходов  $ff$  при условно-противоточном движении воды и воздуха;
- $t_{\dot{a}}$  - температура воздуха на входе в теплообменник, °С;
- $T_{\dot{w}}$  - температура воды на входе в теплообменник, °С;
- $t_{ij}$  - температура воздуха за трубкой  $i$ -го ряда по ходу движения воздуха в  $j$ -м ряду группы;
- $i$  - номер ряда трубок по ходу движения воздуха;
- $j$  - номер ряда трубок по высоте блока;
- $T_{ij}^*$  - температура воды на выходе из трубки с номером  $i, j$ .

# 1. Двухрядные воздухонагреватели ( $n_p = 2$ )

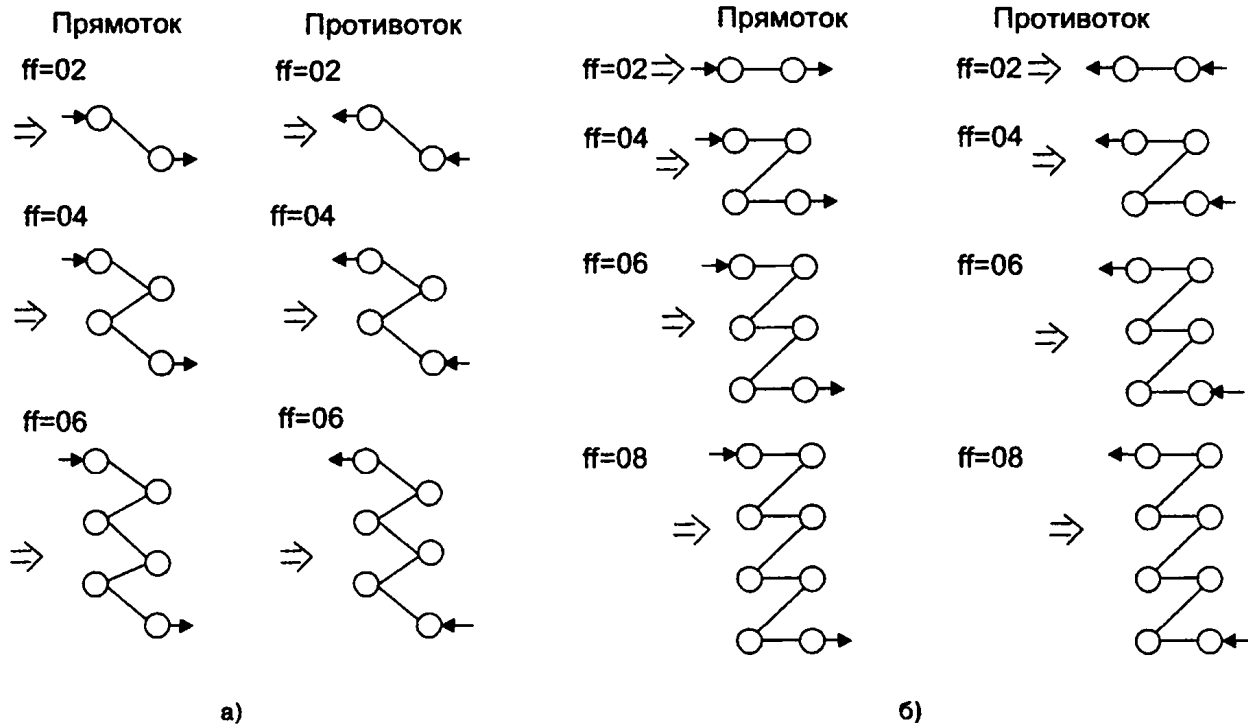


Рис. П.3.2. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки двухрядных воздухонагревателей

В этом случае для прямотока:

- для числа ходов  $ff=02$ :

$$\theta_s^{(-)} = \frac{1 - (1 - \theta_s^* - \theta_x^*)^2}{1 + \frac{1}{m_0}}, \quad (1.1)$$

$$\theta_x^{(-)} = \frac{1}{m_0} \theta_s^{(-)}, \quad (1.2)$$

$$m_0 = \frac{C_x g_x^{np}}{C_p g_s^{np}}, \quad (1.3)$$

- для числа ходов  $ff$ , не равного 2:

$$\theta_{x,n-ff}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_x^{(-)})^{ff/2}, \quad (1.4)$$

$$\theta_{s,n-ff}^{(-)} = \theta_{x,n-ff}^{(-)} \cdot \frac{m_0}{(ff/2)}. \quad (1.5)$$

Для противотока:

- для числа ходов  $ff=2$ :

$$\theta_s^{(+)} = \frac{1 - \left(\frac{1 - \theta_s^*}{1 - \theta_x^*}\right)^2}{1 - \frac{1}{m_0} \cdot \left(\frac{1 - \theta_s^*}{1 - \theta_x^*}\right)^2}, \quad (1.6)$$

$$\theta_{\text{ж}}^{(+)} = \frac{1}{m_0} \cdot \theta_{\text{в}}^{(+)}, \quad (1.7)$$

- для числа ходов  $ff$ , не равного 2:

$$\theta_{\text{ж},n:ff}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж}}^{(+)})^{ff/2}, \quad (1.8)$$

$$\theta_{\text{в},n:ff}^{(+)} = \theta_{\text{ж},n:ff}^{(+)} \cdot \frac{m_0}{(ff/2)}. \quad (1.9)$$

## 2. Трехрядные воздухонагреватели ( $n_p=3$ )

### 2.1. $n_p=3$ ; $ff=02$ ; прямоток

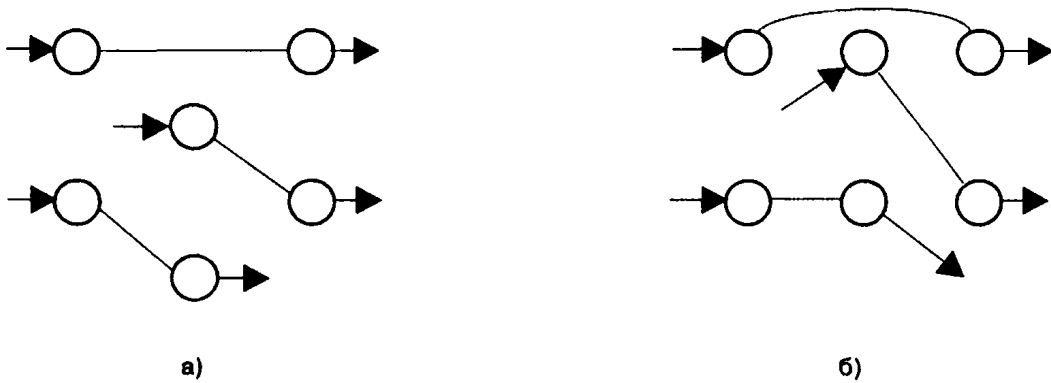


Рис. П.3.3. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (прямоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{21} = \theta^{(-)} T_0^*, \quad (2.1.1)$$

$$T_{21}^{\text{к}} = T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^{(-)}), \quad (2.1.2)$$

$$t_{12} = \theta_{\text{в}}^* T_0^*, \quad (2.1.3)$$

$$T_{22}^{\text{к}} = T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^* (1 - \theta_{\text{в}}^*)), \quad (2.1.4)$$

$$t_{31} = t_{21} + \theta_{\text{в}}^* (T_{22}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.1.5)$$

$$T_{31}^{\text{к}} = T_{22}^{\text{к}} - \theta_{\text{ж}}^* (T_{22}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.1.6)$$

$$T_{12}^{\text{к}} = T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.1.7)$$

$$t_{22} = t_{12} + \theta_{\text{в}}^* (T_0^* - t_{12}), \quad (2.1.8)$$

$$T_{32}^{\text{к}} = T_{12}^{\text{к}} - \theta_{\text{ж}}^* (T_{12}^{\text{к}} - t_{22}), \quad (2.1.9)$$

$$\theta_{\text{в},3-2}^{(-)} = (t_{31} + t_{32}) / 2T_0^*, \quad (2.1.10)$$

$$\theta_{\text{ж},3-2}^{(-)} = (3T_0^* - T_{21}^{\text{к}} - T_{31}^{\text{к}} - T_{32}^{\text{к}}) / 3T_0^*. \quad (2.1.11)$$

2.2.  $n_p=3$ ;  $ff=02$ ; противоток

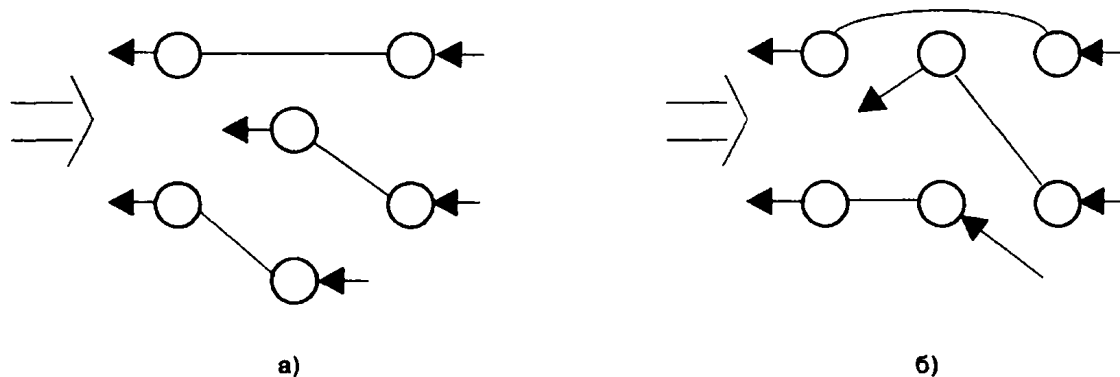


Рис. П.3.4. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (противоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{31} = T_0^* (\theta_n^* + \theta_n^{(+)} (1 - \theta_n^*)), \quad (2.2.1)$$

$$T_{11}^k = T_0^* (1 - \theta_n^{(+)}), \quad (2.2.2)$$

$$T_{31}^k = T_0^* (1 - \theta_n^* (1 - \theta_n^{(+)})), \quad (2.2.3)$$

$$T_{32}^k = (T_0^* (1 - \theta_n^*) + \theta_n^* \theta_n^* T_{31}^k) / (1 - (1 - \theta_n^*) \theta_n^* \theta_n^*), \quad (2.2.4)$$

$$t_{12} = \theta_n^* T_{32}^k, \quad (2.2.5)$$

$$t_{22} = (1 - \theta_n^*) \theta_n^* T_{32}^k + \theta_n^* T_{31}^k, \quad (2.2.6)$$

$$t_{32} = t_{22} + \theta_n^* (T_0^* - t_{22}), \quad (2.2.7)$$

$$T_{22}^k = T_{31}^k - \theta_n^* (T_{31}^k - t_{12}), \quad (2.2.8)$$

$$T_{12}^k = T_{32}^k (1 - \theta_n^*), \quad (2.2.9)$$

$$\theta_{n,3-2}^{(+)} = (t_{31} + t_{32}) / 2T_0^*, \quad (2.2.10)$$

$$\theta_{n,3-2}^{(+)} = (3T_0^* - T_{11}^k - T_{22}^k - T_{12}^k) / 3T_0^*. \quad (2.2.11)$$

2.3.  $n_p=3$ ;  $ff=04$ ; прямоток

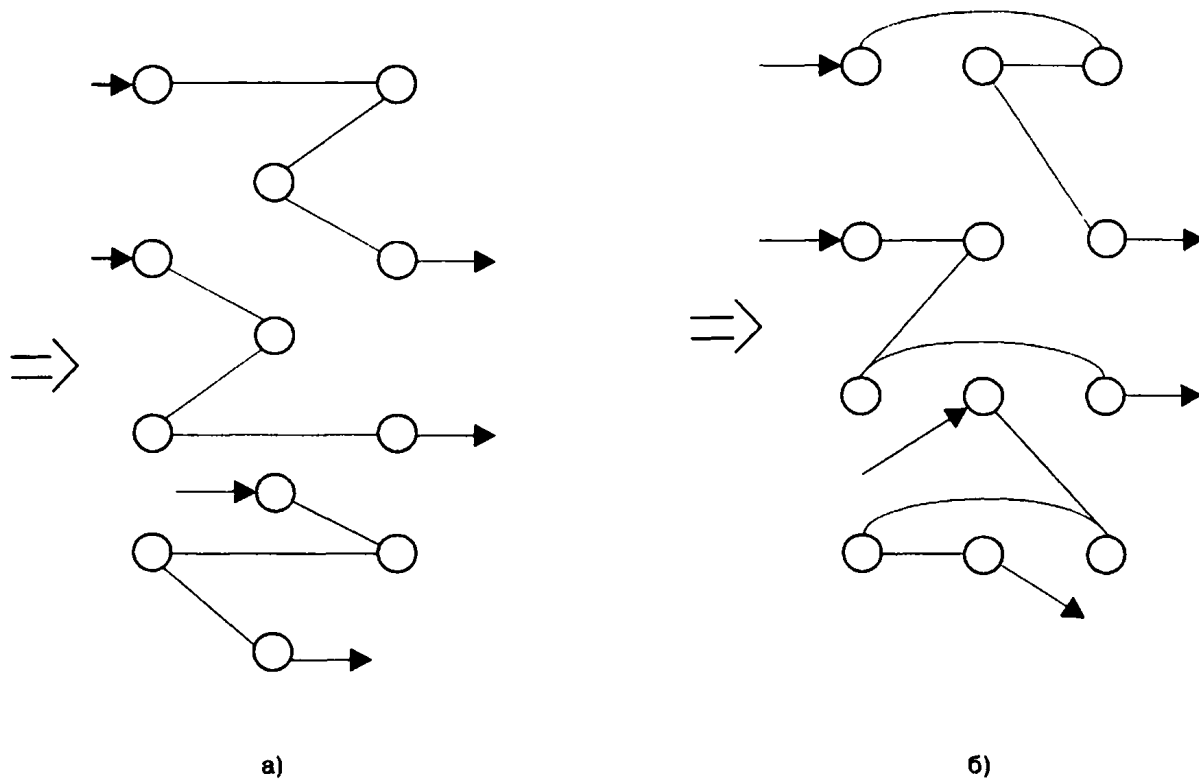


Рис. П.3.5. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (прямоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{14} = \theta_b^{\circ} T_0^{\circ}, \quad (2.3.1)$$

$$T_{14}^k = T_0^{\circ} (1 - \theta_{\mathbf{x}}^{\circ}), \quad (2.3.2)$$

$$t_{34} = t_{14} + \theta_b^{(+)} (T_{14}^k - t_{14}), \quad (2.3.3)$$

$$T_{24}^k = T_{14}^k - \theta_{\mathbf{x}}^{(+)} (T_{14}^k - t_{14}), \quad (2.3.4)$$

$$t_{23} = \theta_b^{(-)} T_0^{\circ}, \quad (2.3.5)$$

$$T_{23}^k = T_0^{\circ} (1 - \theta_{\mathbf{x}}^{(-)}), \quad (2.3.6)$$

$$t_{33} = t_{23} + \theta_b^{\circ} (T_{24}^k - t_{23}), \quad (2.3.7)$$

$$T_{33}^k = T_{24}^k - \theta_{\mathbf{x}}^{\circ} (T_{24}^k - t_{23}), \quad (2.3.8)$$

$$t_{12} = \theta_b^{\circ} T_{33}^k, \quad (2.3.9)$$

$$T_{12}^k = T_{33}^k (1 - \theta_{\mathbf{x}}^{\circ}), \quad (2.3.10)$$

$$t_{22} = t_{12} + \theta_b^{\circ} (T_0^{\circ} - t_{12}), \quad (2.3.11)$$

$$T_{22}^k = T_0^{\circ} - \theta_{\mathbf{x}}^{\circ} (T_0^{\circ} - t_{12}), \quad (2.3.12)$$

$$t_{32} = t_{22} + \theta_b^{\circ} (T_{12}^k - t_{22}), \quad (2.3.13)$$

$$T_{32}^k = T_{12}^k - \theta_{\mathbf{x}}^{\circ} (T_{12}^k - t_{22}), \quad (2.3.14)$$

$$t_{21} = \theta_{\text{в}}^{(-)} T_{31}^{*\text{к}}, \quad (2.3.15)$$

$$T_{31}^{\text{к}} = T_{22}^{\text{к}} (1 - \theta_{\text{ж}}^*) / (1 - \theta_{\text{ж}}^* \theta_{\text{в}}^{(-)}), \quad (2.3.16)$$

$$t_{31} = t_{21} + \theta_{\text{в}}^* (T_{22}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.3.17)$$

$$T_{21}^{\text{к}} = T_{31}^{\text{к}} (1 - \theta_{\text{ж}}^{(-)}), \quad (2.3.18)$$

$$\theta_{\text{в},3-4}^{(-)} = (t_{31} + t_{32} + t_{33} + t_{34}) / 4T_0^*, \quad (2.3.19)$$

$$\theta_{\text{ж},3-4}^{(-)} = (3T_0^* - T_{33}^{\text{к}} - T_{32}^{\text{к}} - T_{21}^{\text{к}}) / 3T_0^*. \quad (2.3.20)$$

#### 2.4. $n_p=3$ ; $ff=04$ ; противоток

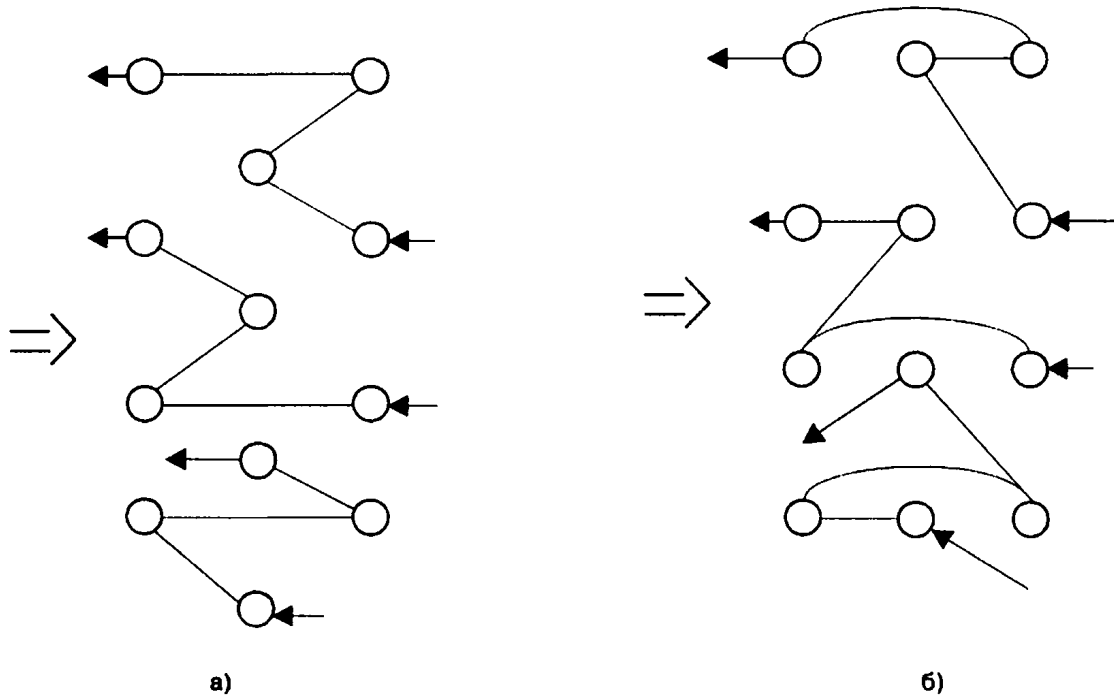


Рис. П.3.6. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (противоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{21} = \theta_{\text{в}}^{(+)} T_0^*, \quad (2.4.1)$$

$$T_{11}^{\text{к}} = T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^{(+)}), \quad (2.4.2)$$

$$t_{31} = t_{21} + \theta_{\text{в}}^* (T_{11}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.4.3)$$

$$T_{31}^{\text{к}} = T_{11}^{\text{к}} - \theta_{\text{ж}}^* (T_{11}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.4.4)$$

$$T_{32}^{\text{к}} = (T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^*) + \theta_{\text{в}}^* \theta_{\text{ж}}^* T_{31}^{\text{к}}) / (1 - (1 - \theta_{\text{в}}^*) \theta_{\text{в}}^* \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.4.5)$$

$$t_{22} = (T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^*) (1 - \theta_{\text{в}}^*) \theta_{\text{в}}^* + \theta_{\text{в}}^* T_{31}^{\text{к}}) / (1 - (1 - \theta_{\text{в}}^*) \theta_{\text{в}}^* \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.4.6)$$

$$t_{32} = t_{22} + \theta_{\text{в}}^* (T_0^* - t_{22}), \quad (2.4.7)$$

$$T_{22}^{\text{к}} = T_{31}^{\text{к}} - \theta_{\text{ж}}^* (T_{31}^{\text{к}} - t_{12}), \quad (2.4.8)$$

$$t_{12} = \theta_{\text{в}}^* T_{32}^{\text{к}}, \quad (2.4.9)$$

$$T_{12}^k = T_{32}^k (1 - \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.4.10)$$

$$t_{23} = \theta_{\text{в}}^{(+)} T_{12}^k, \quad (2.4.11)$$

$$t_{33} = t_{23} + \theta_{\text{в}}^* (T_0^* - t_{23}), \quad (2.4.12)$$

$$T_{13}^k = T_{12}^k (1 - \theta_{\text{ж}}^{(+)}), \quad (2.4.13)$$

$$T_{33}^k = T_0^* - \theta_{\text{ж}}^* (T_0^* - t_{23}), \quad (2.4.14)$$

$$T_{34}^k = T_{33}^k (1 - \theta_{\text{ж}}^{(-)}) / (1 - \theta_{\text{в}}^* \theta_{\text{ж}}^{(-)}), \quad (2.4.15)$$

$$t_{34} = t_{14} + \theta_{\text{в}}^{(-)} (T_{33}^k - t_{14}), \quad (2.4.16)$$

$$t_{14} = \theta_{\text{в}}^* T_{34}^k, \quad (2.4.17)$$

$$T_{14}^k = T_{34}^k (1 - \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.4.18)$$

$$\theta_{\text{в},3-4}^{(+)} = (t_{31} + t_{32} + t_{33} + t_{34}) / 4T_0^*, \quad (2.4.19)$$

$$\theta_{\text{ж},3-4}^{(+)} = (3T_0^* - T_{22}^k - T_{13}^k - T_{14}^k) / 3T_0^*. \quad (2.4.20)$$

### 2.5. $n_p=3$ ; ff=06; прямоток

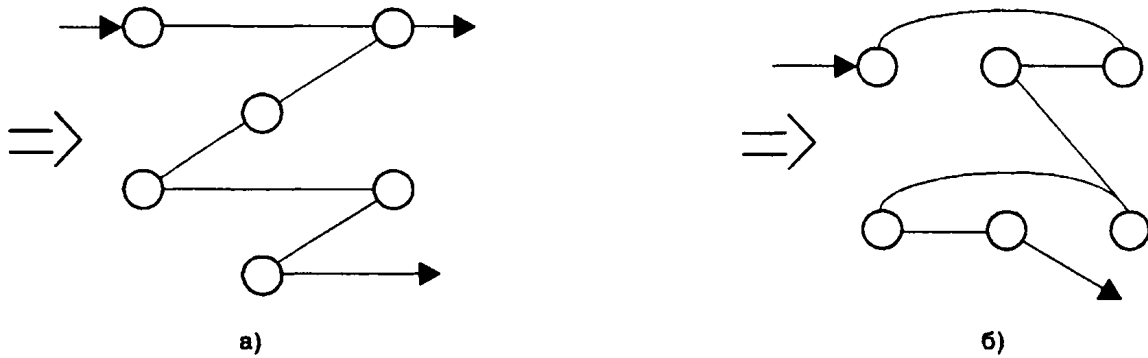


Рис. П.3.7. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (прямоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{12} = \theta_{\text{в}}^* T_0^*, \quad (2.5.1)$$

$$T_{12}^k = T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.5.2)$$

$$t_{32} = t_{12} + \theta_{\text{в}}^{(+)} (T_{12}^k - t_{12}), \quad (2.5.3)$$

$$T_{22}^k = T_{12}^k - \theta_{\text{ж}}^{(+)} (T_{12}^k - t_{12}), \quad (2.5.4)$$

$$t_{11} = \theta_{\text{в}}^* T_{22}^k, \quad (2.5.5)$$

$$T_{11}^k = T_{22}^k (1 - \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.5.6)$$

$$t_{31} = t_{11} + \theta_{\text{в}}^{(+)} (T_{11}^k - t_{11}), \quad (2.5.7)$$

$$T_{21}^k = T_{11}^k - \theta_{\text{ж}}^{(+)} (T_{11}^k - t_{11}), \quad (2.5.8)$$

$$\theta_{\text{в},3-6}^{(-)} = (t_{31} + t_{32}) / (2T_0^*), \quad (2.5.9)$$

$$\theta_{\text{ж},3-6}^{(-)} = (T_0^* - T_{21}^k) / T_0^*. \quad (2.5.10)$$



2.6.  $n_p=3$ ;  $ff=06$ ; противоток

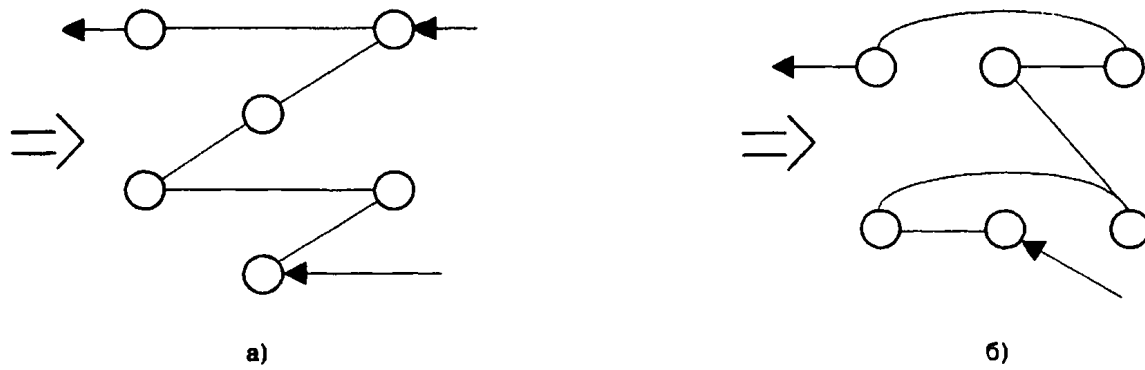


Рис. П.3.8. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (противоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{21} = \theta_{\text{в}}^{(+)} T_0^*, \quad (2.6.1)$$

$$T_{11}^{\text{к}} = T_0^* (1 - \theta_{\text{ж}}^{(+)}), \quad (2.6.2)$$

$$t_{31} = t_{21} + \theta_{\text{в}}^* (T_{11}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.6.3)$$

$$T_{31}^{\text{к}} = T_{11}^{\text{к}} - \theta_{\text{ж}}^* (T_{11}^{\text{к}} - t_{21}), \quad (2.6.4)$$

$$t_{12} = \theta_{\text{в}}^* T_{32}^{\text{к}}, \quad (2.6.5)$$

$$T_{32}^{\text{к}} = T_{31}^{\text{к}} (1 - \theta_{\text{ж}}^{(-)}) / (1 - \theta_{\text{в}}^* \theta_{\text{ж}}^{(-)}), \quad (2.6.6)$$

$$t_{32} = t_{12} + \theta_{\text{в}}^{(-)} (T_{31}^{\text{к}} - t_{12}), \quad (2.6.7)$$

$$T_{12}^{\text{к}} = T_{32}^{\text{к}} (1 - \theta_{\text{ж}}^*), \quad (2.6.8)$$

$$\theta_{\text{в},3-6}^{(+)} = (t_{31} + t_{32}) / (2T_0^*), \quad (2.6.9)$$

$$\theta_{\text{ж},3-6}^{(+)} = (T_0^* - T_{12}^{\text{к}}) / T_0^*. \quad (2.6.10)$$

2.7.  $n_p=3$ ;  $ff=08$ ; прямоток

$$\theta_{\text{в},3-8}^{(-)} = \frac{3}{8} m_0 \theta_{\text{ж},3-8}^{(-)}, \quad (2.7.1)$$

$$\theta_{\text{ж},3-8}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},3-4}^{(-)})^2. \quad (2.7.2)$$

2.8.  $n_p=3$ ;  $ff=08$ ; противоток

$$\theta_{\text{в},3-8}^{(+)} = \frac{3}{8} m_0 \theta_{\text{ж},3-8}^{(+)}, \quad (2.8.1)$$

$$\theta_{\text{ж},3-8}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},3-4}^{(+)})^2. \quad (2.8.2)$$

2.9.  $n_p=3$ ;  $ff=10$ ; прямоток

$$\theta_{\text{в},3-10}^{(-)} = \frac{3}{10} m_0 \theta_{\text{ж},3-10}^{(-)}, \quad (2.9.1)$$

$$\theta_{\text{ж},3-10}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},3-4}^{(-)}) (1 - \theta_{\text{ж},3-6}^{(-)}). \quad (2.9.2)$$

2.10.  $n_p=3$ ;  $ff=10$ ; противоток

$$\theta_{в,3-10}^{(+)} = \frac{3}{10} m_0 \theta_{ж,3-10}^{(+)}, \quad (2.10.1)$$

$$\theta_{ж,3-10}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{ж,3-4}^{(+)})(1 - \theta_{ж,3-6}^{(+)}). \quad (2.10.2)$$

2.11.  $n_p=3$ ;  $ff=12$ ; прямоток

$$\theta_{в,3-12}^{(-)} = \frac{3}{12} m_0 \theta_{ж,3-12}^{(-)}, \quad (2.11.1)$$

$$\theta_{ж,3-12}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_{ж,3-6}^{(-)})^2. \quad (2.11.2)$$

2.12.  $n_p=3$ ;  $ff=12$ ; противоток

$$\theta_{в,3-12}^{(+)} = \frac{3}{12} m_0 \theta_{ж,3-12}^{(+)}, \quad (2.12.1)$$

$$\theta_{ж,3-12}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{ж,3-6}^{(+)})^2. \quad (2.12.2)$$

3. Четырехрядные теплообменники ( $n_p=4$ )

3.1.  $n_p=4$ ;  $ff=02$ , прямоток

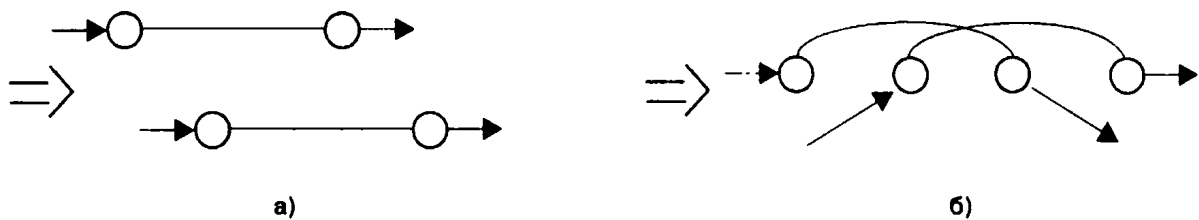


Рис. П.3.9. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (прямоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{11} = \theta_{в}^{\circ} T_0^{\circ}, \quad (3.1.1)$$

$$T_{11}^{\kappa} = T_0^{\circ} (1 - \theta_{ж}^{\circ}), \quad (3.1.2)$$

$$t_{21} = t_{11} + \theta_{в}^{\circ} (T_0^{\circ} - t_{11}), \quad (3.1.3)$$

$$T_{21}^{\kappa} = T_0^{\circ} - \theta_{ж}^{\circ} (T_0^{\circ} - t_{11}), \quad (3.1.4)$$

$$t_{31} = t_{21} + \theta_{в}^{\circ} (T_{11}^{\kappa} - t_{21}), \quad (3.1.5)$$

$$T_{31}^{\kappa} = T_{11}^{\kappa} - \theta_{ж}^{\circ} (T_{11}^{\kappa} - t_{21}), \quad (3.1.6)$$

$$t_{41} = t_{31} + \theta_{в}^{\circ} (T_{21}^{\kappa} - t_{31}), \quad (3.1.7)$$

$$T_{41}^{\kappa} = T_{21}^{\kappa} - \theta_{ж}^{\circ} (T_{21}^{\kappa} - t_{31}), \quad (3.1.8)$$

$$\theta_{в,4-2} = t_{41} / T_0^{\circ}, \quad (3.1.9)$$

$$\theta_{ж,4-2} = (2T_0^{\circ} - T_{31}^{\kappa} - T_{41}^{\kappa}) / 2T_0^{\circ}. \quad (3.1.10)$$

### 3.2. $n_p=4$ ; $ff=02$ , противоток

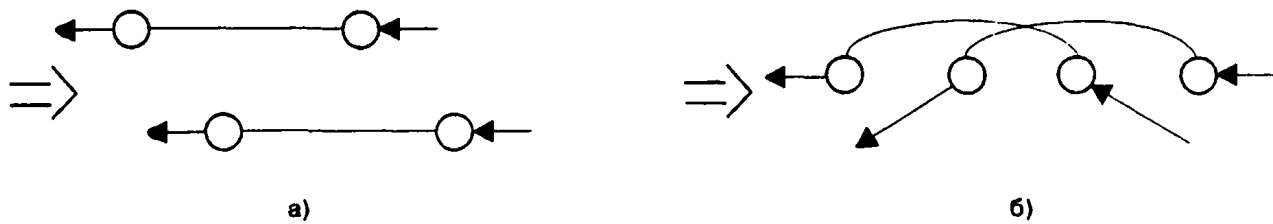


Рис. П.3.10. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (противоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$I_1 = 1 - \frac{(1 - \theta_b^*)^2 (\theta_b^*)^2 (\theta_x^*)^2}{1 - \theta_b^* \theta_x^* (1 - \theta_b^*)} - (1 - \theta_b^*) \theta_b^* \theta_x^*, \quad (3.2.1)$$

$$I_2 = 1 - \theta_x^* + \theta_x^* (\theta_b^* + \frac{(1 - \theta_b^*) (1 - \theta_x^*) \theta_b^*}{1 - \theta_b^* \theta_x^* (1 - \theta_b^*)}), \quad (3.2.2)$$

$$T_{41}^k = T_0^* \frac{I_2}{I_1}, \quad (3.2.3)$$

$$T_{31}^k = \frac{(1 - \theta_x^*) T_0^* + \theta_b^* \theta_x^* T_{41}^k}{1 - \theta_b^* \theta_x^* (1 - \theta_b^*)}, \quad (3.2.4)$$

$$t_{11} = \theta_b^* T_{31}^k, \quad (3.2.5)$$

$$t_{21} = (1 - \theta_b^*) \theta_b^* T_{31}^k + \theta_b^* T_{41}^k, \quad (3.2.6)$$

$$t_{31} = \theta_b^* T_0^* + (1 - \theta_b^*)^2 \theta_b^* T_{31}^k + (1 - \theta_b^*) \theta_b^* T_{41}^k, \quad (3.2.7)$$

$$t_{41} = \theta_b^* T_0^* + (1 - \theta_b^*) t_{31}, \quad (3.2.8)$$

$$T_{11}^k = T_{31}^k (1 - \theta_x^*), \quad (3.2.9)$$

$$T_{21}^k = T_{41}^k (1 - \theta_x^*) + \theta_x^* t_{11}, \quad (3.2.10)$$

$$\theta_{b,4-2} = t_{41} / T_0^*, \quad (3.2.11)$$

$$\theta_{x,4-2} = (2T_0^* - T_{11}^k - T_{21}^k) / 2T_0^*. \quad (3.2.12)$$

### 3.3. $n_p=4$ ; $ff=04$ ; прямоток

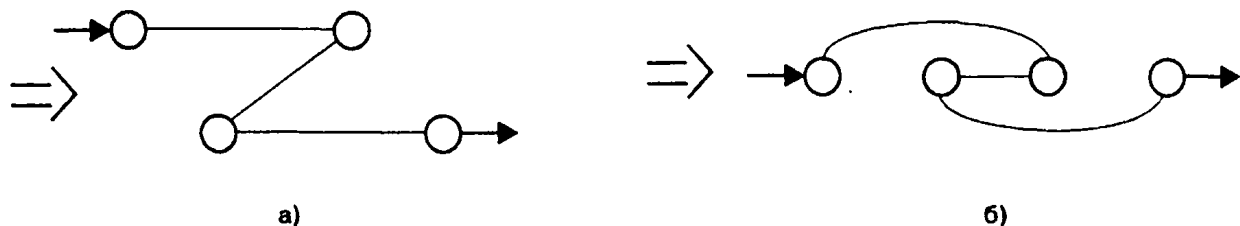


Рис. П.3.11. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (прямоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{11} = \theta_s^* T_0^* , \quad (3.3.1)$$

$$T_{11}^k = T_0^* (1 - \theta_x^*) , \quad (3.3.2)$$

$$t_{31} = t_{11} + \theta_s^{(+)} (T_{11}^k - t_{11}) , \quad (3.3.3)$$

$$T_{21}^k = T_{11}^k - \theta_x^{(+)} (T_{11}^k - t_{11}) , \quad (3.3.4)$$

$$t_{41} = t_{31} + \theta_s^* (T_{21}^k - t_{31}) , \quad (3.3.5)$$

$$T_{41}^k = T_{21}^k - \theta_x^* (T_{21}^k - t_{31}) , \quad (3.3.6)$$

$$\theta_{s,4-4} = t_{41} / T_0^* , \quad (3.3.7)$$

$$\theta_{x,4-4} = (T_0^* - T_{41}^k) / T_0^* . \quad (3.3.8)$$

### 3.4. $n_p=4$ ; $ff=04$ ; противоток

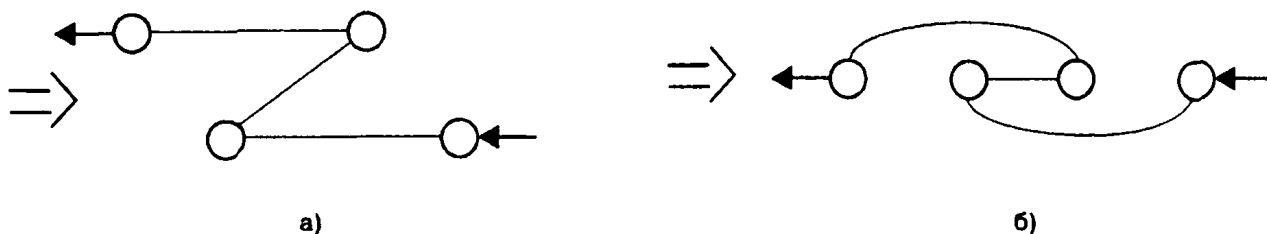


Рис. П.3.12. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубков и обвязки воздухонагревателя (противоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$T_{41}^k = \frac{T_0^* (1 - \theta_x^*)}{1 - \frac{(1 - \theta_s^{(-)}) (1 - \theta_x^{(-)}) \theta_s^* \theta_x^*}{1 - \theta_s^* \theta_x^{(-)}} - \theta_s^{(-)} \theta_x^*} , \quad (3.4.1)$$

$$T_{31}^k = T_{41}^k \frac{1 - \theta_x^{(-)}}{1 - \theta_s^* \theta_x^{(-)}} , \quad (3.4.2)$$

$$t_{31} = (1 - \theta_s^{(-)}) \theta_s^* T_{31}^k + \theta_s^{(-)} T_{41}^k , \quad (3.4.3)$$

$$t_{41} = t_{31} + \theta_s^* (T_0^* - t_{31}) , \quad (3.4.4)$$

$$T_{11}^k = T_{31}^k (1 - \theta_x^*) , \quad (3.4.5)$$

$$\theta_{s,4-4} = t_{41} / T_0^* , \quad (3.4.6)$$

$$\theta_{x,4-4} = (T_0^* - T_{11}^k) / T_0^* . \quad (3.4.7)$$

3.5.  $n_p=4$ ;  $ff=06$ , прямоток

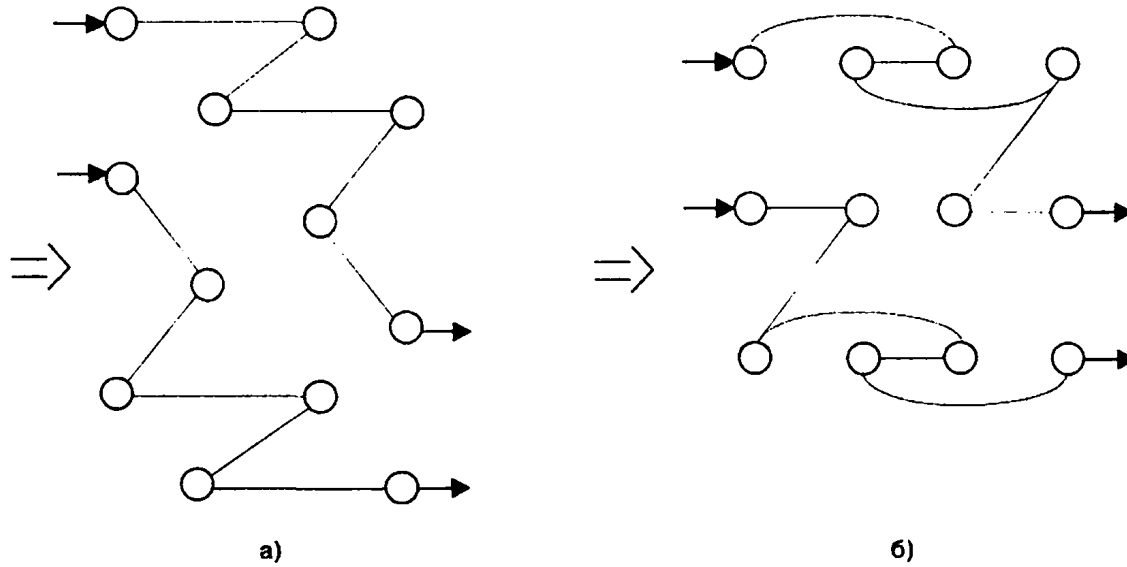


Рис. П.3.13. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения труб и обвязки воздухонагревателя (прямоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$t_{13} = \theta_b^* T_0^* , \quad (3.5.1)$$

$$T_{13}^k = T_0^* (1 - \theta_{ж}^*) , \quad (3.5.2)$$

$$t_{33} = t_{13} + \theta_b^{(+)} (T_{13}^k - t_{13}) , \quad (3.5.3)$$

$$T_{23}^k = T_{13}^k - \theta_{ж}^{(+)} (T_{13}^k - t_{13}) , \quad (3.5.4)$$

$$t_{43} = t_{33} + \theta_b^* (T_{23}^k - t_{33}) , \quad (3.5.5)$$

$$T_{43}^k = T_{23}^k - \theta_{ж}^* (T_{23}^k - t_{33}) , \quad (3.5.6)$$

$$t_{23} = \theta_b^{(-)} T_0^* , \quad (3.5.7)$$

$$T_{22}^k = T_0^* (1 - \theta_{ж}^{(-)}) , \quad (3.5.8)$$

$$t_{42} = t_{22} + \theta_b^{(-)} (T_{43}^k - t_{22}) , \quad (3.5.9)$$

$$T_{42}^k = T_{43}^k - \theta_{ж}^{(-)} (T_{43}^k - t_{22}) , \quad (3.5.10)$$

$$t_{11} = \theta_b^* T_{22}^k , \quad (3.5.11)$$

$$T_{11}^k = T_{22}^k (1 - \theta_{ж}^*) , \quad (3.5.12)$$

$$t_{31} = t_{11} + \theta_b^{(+)} (T_{11}^k - t_{11}) , \quad (3.5.13)$$

$$T_{21}^k = T_{11}^k - \theta_{ж}^{(+)} (T_{11}^k - t_{11}) , \quad (3.5.14)$$

$$t_{41} = t_{31} + \theta_b^* (T_{21}^k - t_{31}) , \quad (3.5.15)$$

$$T_{41}^k = T_{21}^k - \theta_{ж}^* (T_{21}^k - t_{31}) , \quad (3.5.16)$$

$$\theta_{b,4-6} = (t_{41} + t_{42} + t_{43}) / 3T_0^* , \quad (3.5.17)$$

$$\theta_{ж,4-6} = (2T_0^* - T_{41}^k - T_{42}^k) / 2T_0^* . \quad (3.5.18)$$

3.6.  $n_p=4$ ;  $ff=06$ ; противоток

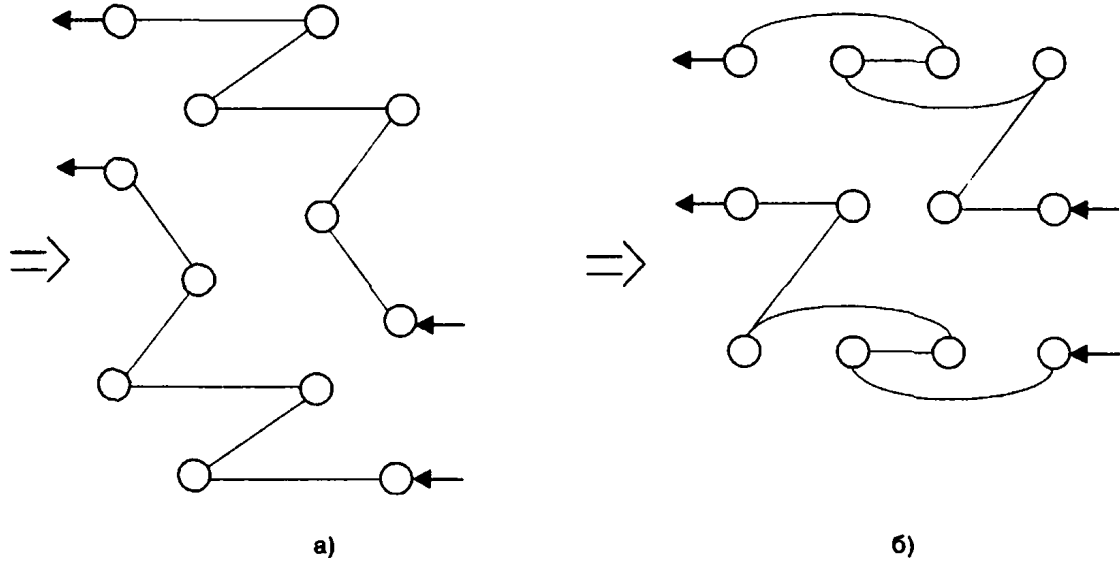


Рис. П.3.14. Реальные (а) и эквивалентные расчетные (б) схемы расположения трубок и обвязки воздухонагревателя (противоток)

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$T_{41}^{\kappa} = \frac{T_0^* (1 - \theta_x^*)}{1 - \frac{(1 - \theta_b^{(-)}) (1 - \theta_x^{(-)}) \theta_b^* \theta_x^*}{1 - \theta_b^* \theta_x^{(-)}} - \theta_b^{(-)} \theta_x^*}, \quad (3.6.1)$$

$$T_{31}^{\kappa} = T_{41}^{\kappa} \frac{1 - \theta_x^{(-)}}{1 - \theta_b^* \theta_x^{(-)}}, \quad (3.6.2)$$

$$t_{31} = (1 - \theta_b^{(-)}) \theta_b^* T_{31}^{\kappa} + \theta_b^{(-)} T_{41}^{\kappa}, \quad (3.6.3)$$

$$t_{41} = t_{31} + \theta_b^* (T_0^* - t_{31}), \quad (3.6.4)$$

$$T_{11}^{\kappa} = T_{31}^{\kappa} (1 - \theta_x^*), \quad (3.6.5)$$

$$t_{22} = \theta_b^{(+)} T_{11}^{\kappa}, \quad (3.6.6)$$

$$T_{12}^{\kappa} = T_{11}^{\kappa} (1 - \theta_x^{(+)}), \quad (3.6.7)$$

$$t_{42} = t_{22} + \theta_b^{(+)} (T_0^* - t_{22}), \quad (3.6.8)$$

$$T_{32}^{\kappa} = T_0^* - \theta_x^{(+)} (T_0^* - t_{22}), \quad (3.6.9)$$

$$t_{13} = \theta_b^* T_{33}^{\kappa}, \quad (3.6.10)$$

$$t_{33} = (1 - \theta_b^{(-)}) \theta_b^* T_{33}^{\kappa} + \theta_b^{(-)} T_{43}^{\kappa}, \quad (3.6.11)$$

$$T_{43}^{\kappa} = \frac{T_{32}^* (1 - \theta_x^*)}{1 - \frac{(1 - \theta_b^{(-)}) (1 - \theta_x^{(-)}) \theta_b^* \theta_x^*}{1 - \theta_b^* \theta_x^{(-)}} - \theta_b^{(-)} \theta_x^*}, \quad (3.6.12)$$

$$T_{33}^{\kappa} = T_{43}^{\kappa} \frac{1 - \theta_x^{(-)}}{1 - \theta_b^* \theta_x^{(-)}}, \quad (3.6.13)$$

$$t_{43} = t_{33} + \theta_{\text{в}}^* (T_{32}^{\text{к}} - t_{33}), \quad (3.6.14)$$

$$\theta_{\text{в},4-6} = (t_{41} + t_{42} + t_{43}) / 3T_0^*, \quad (3.6.15)$$

$$\theta_{\text{ж},4-6} = (2T_0^* - T_{12}^{\text{к}} - T_{13}^{\text{к}}) / 2T_0^*. \quad (3.6.16)$$

### 3.7. $n_p=4$ ; $ff=08$ ; **прямоток**

$$\theta_{\text{в},4-8}^{(-)} = \frac{4}{8} m_0 \theta_{\text{ж},4-8}^{(-)}, \quad (3.7.1)$$

$$\theta_{\text{ж},4-8}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},4-4}^{(-)})^2. \quad (3.7.2)$$

### 3.8. $n_p=4$ ; $ff=08$ ; **противоток**

$$\theta_{\text{в},4-8}^{(+)} = \frac{4}{8} m_0 \theta_{\text{ж},4-8}^{(+)}, \quad (3.8.1)$$

$$\theta_{\text{ж},4-8}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},4-4}^{(+)})^2. \quad (3.8.2)$$

### 3.9. $n_p=4$ ; $ff=10$ ; **прямоток**

$$\theta_{\text{в},4-10}^{(-)} = \frac{4}{10} m_0 \theta_{\text{ж},4-10}^{(-)}, \quad (3.9.1)$$

$$\theta_{\text{ж},4-10}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},4-4}^{(-)})(1 - \theta_{\text{ж},4-6}^{(-)}). \quad (3.9.2)$$

### 3.10. $n_p=4$ ; $ff=10$ ; **противоток**

$$\theta_{\text{в},4-10}^{(+)} = \frac{4}{10} m_0 \theta_{\text{ж},4-10}^{(+)}, \quad (3.10.1)$$

$$\theta_{\text{ж},4-10}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},4-4}^{(+)}) (1 - \theta_{\text{ж},6-6}^{(+)}). \quad (3.10.2)$$

### 3.11. $n_p=4$ ; $ff=12$ ; **прямоток**

$$\theta_{\text{в},4-12}^{(-)} = \frac{4}{12} m_0 \theta_{\text{ж},4-12}^{(-)}, \quad (3.11.1)$$

$$\theta_{\text{ж},4-12}^{(-)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},4-6}^{(-)})^2. \quad (3.11.2)$$

### 3.12. $n_p=4$ ; $ff=12$ ; **противоток**

$$\theta_{\text{в},4-12}^{(+)} = \frac{4}{12} m_0 \theta_{\text{ж},4-12}^{(+)}, \quad (3.12.1)$$

$$\theta_{\text{ж},4-12}^{(+)} = 1 - (1 - \theta_{\text{ж},4-6}^{(-)})^2. \quad (3.12.2)$$

1. Варгафтик Н.Г. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: ГИФМЛ, 1963.
2. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1978.
3. Перельштейн И.И., Парушин Е.В. Термодинамические и теплофизические свойства веществ холодильных машин и тепловых насосов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
4. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1983.
5. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высшая школа, 1971.
6. ASHRAE Handbook Fundamentals volume. – Atlanta, 1997.
7. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984.
8. Полежаев В.И., Буне А.В., Вerezуб Н.А. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе решений уравнений Навье – Стокса. – М.: Наука, 1987.
9. Братута Э.Г., Бялый Б.И., Рябова И.Б., Федюшкин А.И. Моделирование процессов теплопереноса в орошаемых насадках регулярной структуры // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 1993. № 7,8.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970.
11. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоиздат, 1984.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: ГРФМЛ, 1973.
13. Богословский В.Н., Новожилов В.И., Симаков Б.Д., Титов В.П. Отопление и вентиляция. Ч II. Вентиляция. – М.: Стройиздат, 1976.
14. Берман Л.Д. О справедливости аналогии между тепло- и массообменом и соотношения Льюиса для кондиционеров и градирен // Холодильная техника. 1974. № 2.
15. Берман Л.Д. Определение коэффициентов масс и теплопередачи при расчете конденсации пара из парогазовой смеси // Теплоэнергетика. 1972. № 11.
16. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов теплообмена. – М.: Высшая школа, 1974.
17. ГОСТ 27330–87. Воздухонагреватели. Общие требования.
18. ГОСТ 26548–85. Воздухонагреватели. Методы испытаний.
19. Воронин Г.И., Дубровский Е.Е. Эффективные теплообменники. – М.: Машиностроение, 1972.
20. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. – М.: Машиностроение, 1990.
21. Кейс В., Лондон А. Компактные теплообменники. – М.: Энергия, 1967.
22. Гухман А.А., Кирпиков В.А. Интенсификация теплообмена путем создания в потоке неоднородностей давления / В кн.: Тепло- и массоперенос. Т.1, ч.2. – Минск, 1972.
23. Рымкевич А.А., Минин В.Е. Метод построения диаграмм совмещенных характеристик поверхностных воздухонагревателей // Холодильная техника. 1967. № 9.
24. Минин В. Е. Воздухонагреватели для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1976.
25. Минин В.Е. Поверхностные воздухонагреватели систем вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления. Пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2001.
26. Легкий В.М., Письменный Е.Н. О методике обобщения опытных данных по аэродинамическому сопротивлению шахматных пучков труб с внешним кольцевым оребрением // Изв. вузов. Энергетика. 1986. №1.
27. Бялый Б.И., Степанов А.В. Методика расчета и выбора поверхностных теплообменников центральных кондиционеров КТЦЗ. Определение технических характеристик/ Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1982, вып. 2.
28. Гоголин А.А. Осушение воздуха холодильными машинами. – М.: ГИТЛ, 1962.
29. Программа расчета теплообменного оборудования фирмы «Airsoil»// Airsoil. Air Humid Handling for Windows HVAC Software АНН Mollier – Carrier, Die Deutsche Bibliothek - CIP-



*Einheitsaufnahme Zellers Handbuch Klimatisierung von Marin Zeller ... - 4. Auflage - Ittigen: Zeller Consulting Suisse, 1999, ISBN 3-9521381-1-8 NE: Zeller, Marin; Handbuch Klimatisierung.*

30. Митропольский З.Л., Шнеерова Р.И., Тернакова Л.М. Теплопередача и гидравлическое сопротивление при конденсации перегретого и насыщенного пара внутри трубы //Теплоэнергетика. 1975. № 4.
31. Устройства автоматики и управления холодильных установок и систем кондиционирования воздуха //Каталог фирмы «Danfoss». 2002.
32. Теплообменные аппараты холодильных установок/ Под ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986.
33. Котзаогланиан С. Пособие для ремонтников. Практическое руководство по ремонту холодильных машин с воздушным охлаждением конденсатора. – М.: ЗАО «Остров», 2000.
34. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973.
35. Руководящий материал по расчету теплообменных аппаратов АЭС. – М.: Атомэнергоиздат, 1986.
36. Теоретические основы хладотехники. Тепломассообмен/ Под ред. Э.И. Гуйго. – М.: Агропромиздат, 1986.
37. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины. – М.: Пищевая промышленность, 1977.
38. Гопин С.Р., Шавра В.М. Воздушные конденсаторы малых холодильных машин. – М.: Агропромиздат, 1987.
39. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977.
40. Pierry B., Review S.F., Svenska A.B. Flaktfabriken. – Stockholm, Sweden, 1955.
41. Pierre B. Warmenbergangszahl bei verdampfenden R12 in horizontalen Rohren //Kaltetechnik. Juni 1955.
42. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин / Под ред. А.А. Гоголина. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
43. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. – М.: Высшая школа, 1986.
44. Малышев А.А., Данилова Г.Н., Азарсков В.М., Земсков Б.Б. Методика расчета средних коэффициентов теплоотдачи при кипении фреонов внутри труб //Холодильная техника. 1986. № 28.
45. Chawla J.M. Warmeubergang und Druckverlust hei der Kalttemittelverddampfung im waagerechten Stromungsrohr// Chem.-Ing.-Technik. 1968. V. 40. N.5.
46. Stephan K. Btitrag zur Termodynamikdes Warmeuberganges beim Seiden; Abh. Des DKV N.18, Verlag C.F., Muller, Karlsruhe 1964; sowie: Chem.-Ing.-Technik 35 (1963) N.11.
47. Hirschberg H.G. Zur berechnung von rohrenkesselverdampfem // Kaltetechnik. 1966. V.18. N. 4.
48. Захаров Ю.В., Радченко Н.И. К расчету коэффициента теплоотдачи при кипении фреонов в горизонтальных трубах испарителей //Холодильная техника. 1980. № 2.
49. Справочник по теплообменникам/ Пер. с англ., под ред. Б.С. Петухова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
50. Шлагер Л., Пейт М., Берглес А. Гидравлическое сопротивление и теплообмен при испарении и конденсации фреона 22 в горизонтальных микрооребранных трубках диаметром 12,7 мм // Современное машиностроение. Сер. А. 1990. № 4.
51. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.
52. Ужанский В.С. Автоматизация холодильных установок. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
53. СНиП 2.04.05–91. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР. – М.: ЦИТИ Госстроя СССР, 1987.
54. Кокорин О.Я. Энергосберегающая технология функционирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (система ВОК). – М.: Проспект, 1999.
55. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. И.Г. Старовойтова. – М.: Стройиздат, 1977.
56. Креслинь А.Я. Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1972.
57. Шаталина И.Н. Теплообмен в процессах намораживания и таяния льда. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.

58. Хаяси, Аоки, Адачи, Хори. Исследования свойств инея и их связи с типами процесса его образования // Труды американского общества инженеров-механиков. 1976. Т. 99, № 2.
59. Нормативный метод теплового расчета котлов. – СПб.: ЦКТИ, 1992.
60. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление / В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканава и др., под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990.
61. Каталог продукции фирмы «AB Svenska Flaktsbriken». 1988.
62. Зингерман И.И., Коссовский Н.Ф., Степанов А.В. К расчету установок кондиционирования воздуха, питаемых горячей водой от ТЭЦ / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1974, вып.3.
63. Справочник по наладке и эксплуатации водяных и тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1988.
64. Ладыженский Р.М. Кондиционирование воздуха. – М.: Пищепромиздат, 1957.
65. Стефанов Е.В. Общие теоретические предпосылки расчета установок тепловлажностной обработки контактного типа // Труды ВВИТКУ. 1963, вып.76.
66. Стефанов Е.В., Коркин В.Д. Исследование модернизированной схемы форсуночной камеры / Труды III Всесоюзного совещания по кондиционированию воздуха. – М.: Стройиздат, 1965.
67. Коркин В.Д. Исследование дисперсного состава факелов центробежных форсунок промывных форсуночных камер кондиционирования воздуха // Материалы научно-технической конференции ВВИТКУ, 1968.
68. Стефанов Е.В., Коркин В.Д. Особенности тепломассообмена в оросительных камерах кондиционеров воздуха. – Л.: ВВИТКУ, 1969.
69. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Л.: ЛВВИСУ, 1982.
70. Бялый Б.И. Теоретические основы исследования и расчета тепломассообменных аппаратов установок КВ / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1978, вып.7.
71. Бялый Б.И., Динцин В.А., Степанов А.В. Расчет камер орошения в режиме адиабатного увлажнения / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1977, вып.5.
72. Бялый Б.И. Математическое моделирование процессов тепломассообмена в аппаратах кондиционирования воздуха / Процессы тепло- и массообмена в криогенных системах. – Киев: Наукова думка, 1981.
73. Бялый Б.И. Прогнозирование теплотехнических характеристик горизонтальных камер орошения / Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Рига, 1983, вып. 15.
74. Бялый Б.И. Обобщенные характеристики центробежных форсунок кондиционеров воздуха / Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Рига, 1983, вып. 15.
75. Бялый Б.И., Степанов А.В. Методика расчета и подбора камер орошения центральных кондиционеров КТЦЗ / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1987, вып. 16.
76. Бялый Б.И. Оптимизация камер орошения центральных кондиционеров / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1982, вып. 11.
77. Бялый Б.И. Расчет процессов в форсуночных камерах орошения установок кондиционирования воздуха / Физика аэродисперсных систем. – Одесса: Высшая школа, 1978, вып.17.
78. Бялый Б.И., Степанов А.В. Представление теплотехнических характеристик / Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Рига, 1978, вып. 10.
79. Бялый Б.И. О взаимосвязи коэффициентов эффективности адиабатного и политропного процессов тепловлажностной обработки воздуха / Процессы теплообмена в ожигенных и отвердевших газах. – Киев: Наукова думка, 1980.
80. Тарабанов М.Г. Тепло- и массоперенос в камерах орошения кондиционеров с форсунками распыления. – Красноярск: Высшая школа, 1974.
81. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1983.
82. Зусманович Л.М. Оросительные камеры установок искусственного климата. – М.: Машиностроение, 1967.
83. Карпис Е.Е. Тепловой расчет камер орошения с применением коэффициента эффективности теплообмена // Водоснабжение и санитарная техника. 1960. № 9.
84. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971.
85. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Тойбер, 1981.
86. Колмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении // ДАН СССР. 1941. Т. XXXI, № 2.

87. **Абрамович Г.Н.** Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1976.
88. **Бялый Б.И., Динцин В.А., Степанов А.В.** Расчет политропических процессов обработки воздуха в камерах орошения / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1977, вып. 6.
89. **Хавкин Ю.И.** Центробежные форсунки. – Л.: Машиностроение, 1976.
90. **Викс М., Даклер А.** Новый метод измерения распределения капель электропроводной жидкости в двухфазном потоке / Достижения в области теплообмена. – М.: Мир, 1970.
91. **Братута Э.Г.** Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях. – Харьков: Изд. ХГУ, Высшая школа, 1987.
92. **Братута Э.Г., Переселков А.Р.** Расчет функции распределения капель по размерам при использовании счетно-импульсного метода // ИФЖ. 1974. Т. XXVI, № 5.
93. **Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В., Ягодкин В.И.** Распыливание жидкостей. – М.: Машиностроение, 1977.
94. **Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.** Специальные функции. – М.: Наука, 1968.
95. **Братута Э.Г., Переселков А.Р.** Определение приведенного дисперсного состава капель по результатам локальных измерений // Изв. вузов. Энергетика. 1975. № 9.
96. **Братута Э.Г., Куликов Г.С., Юхно И.Ф.** Исследование теплоэнергетических характеристик и оптимизация оросительной сети камер испарительного охлаждения воздуха / Труды ВНИИ «Кондиционер». – Харьков, 1975, вып. 4.
97. **Руководящий материал по центральным кондиционерам. Методические материалы по расчету и выбору оборудования центральных кондиционеров. Методика расчета камер орошения.** – М.: ГПКНИИ «СантехНИИпроект», 1989.