

Расчет солнечной радиации по ВСН (по данным г.Ростова-на-Дону)

Расчет установки солнечного горячего водоснабжения выполняется по часовым суммам прямой и рассеянной солнечной радиации и температуре наружного воздуха.

Интенсивность падающей солнечной радиации для любого пространственного положения солнечного коллектора и каждого часа светового дня q_i , Вт/м², следует определять по формуле

$$q_i = P_s I_s + I_D I_D, \quad (1)$$

где I_s - интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, Вт/м² принимаются, по "Справочнику по климату СССР", Гидрометеиздат, Л., 1966;

I_D - интенсивность рассеянной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, Вт/м² принимаются, по "Справочнику по климату СССР", Гидрометеиздат, Л., 1966;

P_s, P_D - коэффициенты положения солнечного коллектора для прямой и рассеянной радиации соответственно.

Коэффициент положения солнечного коллектора для рассеянной радиации следует определять по формуле:

$$P_D = \cos^2 b / 2, \quad (2)$$

где b - Угол наклона солнечных коллекторов к горизонту, следует принимать для установки, работающей круглый год, равным широте местности; в летний период - широте местности минус 15°; в отопительный период - широте местности плюс 15°.

$$P_D = \cos^2 47^\circ / 2 = 0,84$$

Коэффициент положения солнечного коллектора P_s для прямой солнечной радиации следует определять по ВСН 52-86 приложение 3.

Таблица 1

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Январь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,05	13,90	0,15	41,70

9 - 10	0,13	36,14	0,33	91,74
10 - 11	0,20	55,60	0,49	136,22
11 - 12	0,26	72,28	0,56	155,68
12 - 13	0,26	72,28	0,56	155,68
13 - 14	0,20	55,60	0,49	136,22
14 - 15	0,13	39,14	0,33	91,74
15 - 16	0,05	13,90	0,15	41,70
16 - 17	0,01	2,78	0,01	2,78

$$P_s = 3,34$$

$$q_{8-9} = 81,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 197,77 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 300,13 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 372,19 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 372,19 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 300,13 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 197,77 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 81,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 11,62 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 1914,70 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 2

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Февраль

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,13	36,14	0,28	77,84
9 - 10	0,23	63,94	0,51	141,78
10 - 11	0,33	91,74	0,67	186,26
11 - 12	0,41	113,98	0,74	205,72
12 - 13	0,41	113,98	0,74	205,72
13 - 14	0,33	91,74	0,67	186,26

14 - 15	0,23	63,94	0,51	141,78
15 - 16	0,13	36,14	0,28	77,84
16 - 17	0,05	13,90	0,10	27,80

$$P_s = 2,146$$

$$q_{8-9} = 142,94 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 256,94 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 353,33 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 417,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 417,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 353,33 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 256,31 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 142,94 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 53,18 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 2393,16 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 3

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Март

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,33	91,74	0,46	127,88
9 - 10	0,49	136,22	0,69	191,82
10 - 11	0,61	169,58	0,82	227,96
11 - 12	0,69	191,82	0,89	247,42
12 - 13	0,69	191,82	0,89	247,42
13 - 14	0,59	164,02	0,82	227,96
14 - 15	0,43	119,54	0,72	200,16
15 - 16	0,28	77,84	0,49	136,22
16 - 17	0,13	36,14	0,25	69,50

$$P_s = 1,518$$

$$q_{8-9} = 246,68 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 367,91 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 448,91 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 499,02 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 499,02 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 440,47 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 349,60 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 232,59 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 113,24 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 3197,42 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 4

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Апрель

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,59	164,02	0,74	205,72
9 - 10	0,84	233,52	0,85	236,30
10 - 11	0,97	269,66	0,92	255,76
11 - 12	1,07	297,46	0,97	269,66
12 - 13	1,07	297,46	0,97	269,66
13 - 14	0,95	264,10	0,91	252,98
14 - 15	0,77	214,06	0,84	233,52
15 - 16	0,56	155,68	0,69	191,82
16 - 17	0,33	91,74	0,46	127,88

$$P_s = 1,198$$

$$q_{8-9} = 369,30 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 478,25 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 537,89 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 582,87 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 582,87 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 528,90 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 452,60 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 347,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 217,32 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 4097,64 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 5

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Май

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,97	269,66	0,87	241,86
9 - 10	1,23	341,94	0,92	255,76
10 - 11	1,38	383,64	0,97	269,66
11 - 12	1,43	397,54	1,02	283,56
12 - 13	1,43	397,54	1,02	283,56
13 - 14	1,30	361,40	0,97	269,66
14 - 15	1,10	305,80	0,89	247,42
15 - 16	0,84	233,52	0,74	205,72
16 - 17	0,54	150,12	0,58	161,24

$$P_s = 1,016$$

$$q_{8-9} = 477,14 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 562,25 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 616,29 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 642,09 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 642,09 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 593,70 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 518,53 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 410,06 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 287,96 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 4750,11 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 6

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Июнь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	1,18	328,04	0,84	233,52
9 - 10	1,41	391,98	0,91	252,98
10 - 11	1,51	419,78	0,97	269,66
11 - 12	1,56	433,68	1,02	283,56
12 - 13	1,56	433,68	1,02	283,56
13 - 14	1,43	397,54	0,97	269,66
14 - 15	1,25	347,50	0,90	250,20
15 - 16	0,97	269,66	0,77	214,05
16 - 17	0,69	191,82	0,59	164,02

$$P_s = 0,932$$

$$q_{8-9} = 501,89 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 577,83 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 617,75 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 642,38 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 642,38 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 597,02 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 534,04 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 431,13 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 316,55 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 4860,97 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 7

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Июль

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	1,17	325,26	0,82	227,96
9 - 10	1,46	405,88	0,84	233,52
10 - 11	1,58	439,24	0,90	250,20
11 - 12	1,64	455,92	0,92	255,76
12 - 13	1,64	455,92	0,92	255,76
13 - 14	1,51	419,78	0,87	241,86
14 - 15	1,29	358,62	0,81	255,18
15 - 16	0,97	269,66	0,77	214,06
16 - 17	0,64	177,92	0,51	141,78

$$P_s = 0,962$$

$$q_{8-9} = 504,39 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 586,61 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 632,72 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 653,43 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 653,43 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 606,99 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 534,14 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 439,22 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 290,25 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 4901,20 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 8

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Август

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------

8 - 9	1,00	278,00	0,74	20,72
9 - 10	1,34	372,52	0,76	211,28
10 - 11	1,48	411,44	0,85	236,30
11 - 12	1,56	433,68	0,87	241,86
12 - 13	1,56	433,68	0,87	241,86
13 - 14	1,41	391,98	0,84	233,52
14 - 15	1,20	333,60	0,74	205,72
15 - 16	0,84	233,52	0,67	186,26
16 - 17	0,54	150,12	0,33	91,74

$$P_s = 1,18$$

$$q_{8-9} = 500,84 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 617,05 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 683,99 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 714,90 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 714,90 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 658,69 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 566,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 432,01 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 254,20 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 5143,06 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 9

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Сентябрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,74	205,72	0,61	169,58
9 - 10	1,02	283,56	0,69	191,82
10 - 11	1,23	341,94	0,74	205,72
11 - 12	1,33	369,74	0,77	214,06
12 - 13	1,33	369,74	0,77	214,06

13 - 14	1,18	328,04	0,74	205,72
14 - 15	0,97	269,66	0,67	186,26
15 - 16	0,66	183,48	0,52	144,56
16 - 17	0,36	100,08	0,23	63,94

$$P_s = 1,374$$

$$q_{8-9} = 425,11 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 550,74 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 642,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 687,83 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 687,83 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 623,53 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 526,97 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 373,53 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 191,22 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 4709,40 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 10

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Октябрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,32	88,96	0,37	102,86
9 - 10	0,54	150,12	0,53	147,34
10 - 11	0,72	200,16	0,61	169,58
11 - 12	0,82	227,96	0,61	169,58
12 - 13	0,82	227,96	0,61	169,58
13 - 14	0,72	200,16	0,57	158,46
14 - 15	0,54	150,12	0,47	130,66
15 - 16	0,32	88,96	0,34	94,52
16 - 17	0,13	36,14	0,13	36,14

$$P_s = 1,844$$

$$q_{8-9} = 250,44 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 400,59 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 511,54 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 562,81 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 562,81 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 525,55 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 386,58 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 243,44 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 97,00 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 3540,75 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 11

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Ноябрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,08	22,24	0,15	41,70
9 - 10	0,15	41,70	0,31	86,18
10 - 11	0,26	72,28	0,43	119,54
11 - 12	0,36	100,08	0,46	127,88
12 - 13	0,36	100,08	0,46	127,88
13 - 14	0,26	72,28	0,43	119,54
14 - 15	0,15	41,70	0,31	86,18
15 - 16	0,08	22,24	0,15	41,70
16 - 17	0,02	5,56	0,02	5,56

$$P_s = 2,77$$

$$q_{8-9} = 96,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 187,90 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 300,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 384,64 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 384,64 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 300,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 187,90 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 96,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 20,07 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 1959,68 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 12

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Декабрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,03	8,34	0,07	19,46
9 - 10	0,08	22,24	0,20	55,60
10 - 11	0,13	36,14	0,32	88,96
11 - 12	0,18	50,04	0,41	113,98
12 - 13	0,18	50,04	0,41	113,98
13 - 14	0,13	36,14	0,32	88,96
14 - 15	0,08	22,24	0,20	55,60
15 - 16	0,03	8,34	0,07	19,46
16 - 17	0,00	0,00	0,01	2,78

$$P_s = 4,07$$

$$q_{8-9} = 69,29 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 179,22 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 257,82 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 344,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 344,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 257,82 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 179,22 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 69,29 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 4,34 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 1705,12 \text{ Вт/м}^2.$$

Расчет по аналитическому методу

В соответствии с методикой Даффи Дж.А., Бекман У.А., Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977:

Величина интенсивности солнечной радиации q , Вт, падающего на 1м^2 наклонной плоскости поверхности солнечного коллектора в каждый час светового дня, при реальных условиях, определяется по формуле:

$$q = (I_s \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta} + I_D \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2}) \eta_0 \eta_1$$

где I_s и I_D – удельный тепловой поток, Вт/м², прямого и рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность на широте φ данной местности.

β – угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной поверхностью (т. е. наклона плоскости солнечного коллектора к горизонту);

δ – склонение, т. е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора, зависящее от времени года (положительное значение для северного полушария);

φ – широта местности (положительная для северного полушария);

γ – азимутальный угол плоскости, т. е. отклонение нормали к плоскости от местного меридиана (за начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается положительным, к западу - отрицательным);

ω - часовой угол, равный нулю в полдень для коллекторов, ориентированных на юг, за час значение часового угла меняется на 15° со знаком плюс (от 12 часов к утру) или минус (от 12 к вечеру), определяется по формуле:

$$\omega = 180^\circ - 15^\circ,$$

где τ – время суток в часах;

Для коллекторов, ориентация которых отличается на азимутальный угол от направления на юг необходимо добавить к 180° этот угол со своим знаком. Для определения средних за час расчетных параметров к значению часового угла времени начала расчетного часа необходимо добавить $15^\circ/2 = 7,5^\circ$, например, для времени с 11 до 12 часов принять среднее значение часового угла в 11^{30} . Учитывая описанное выше, можно записать:

$$\omega = 180^\circ + \gamma - 15^\circ \tau + 7,5^\circ,$$

η_0 – коэффициент, учитывающий реальные условия облачности;

$$\eta_0 = \frac{\Sigma H_P}{\Sigma (H_B + H_D)},$$

где ΣH_P – суммарная энергия прямого и рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность при реальных условиях облачности.

$\Sigma (H_B + H_D)$ – суммарная энергия прямого и рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность при безоблачном небе.

η_1 – коэффициент, учитывающий степень прозрачности атмосферы, его величина колеблется от 0,8 в промышленных районах до 1 в курортной зоне, для горных курортов $\eta_1 = 1,1$. Для г. Ростов-на-Дону $\eta_1 \approx 0,92$.

Таким образом, интенсивность теплового потока, представляет собою функцию времени года, времени суток, угла наклона и азимута солнечного коллектора. Зависит от удельного теплового потока, который несет с собой прямое и рассеянное солнечное излучение, падающее на широте данной местности на горизонтальную плоскость.

Таблица 13

Часовой угол

Часы Град.	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
ω	60	45	30	15	0	-15	-30	-45	-60

Таблица 14

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Январь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s (Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,05	13,90	0,15	41,70
9 - 10	0,13	36,14	0,33	91,74
10 - 11	0,20	55,60	0,49	136,22
11 - 12	0,26	72,28	0,56	155,68
12 - 13	0,26	72,28	0,56	155,68
13 - 14	0,20	55,60	0,49	136,22
14 - 15	0,13	39,14	0,33	91,74
15 - 16	0,05	13,90	0,15	41,70
16 - 17	0,01	2,78	0,01	2,78

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_P (МДж/м ²)	ΣH_P (Вт/м ²)
8-9	0,38	105,64	0,20	55,60
9-10	0,89	247,42	0,46	127,88
10-11	1,28	355,84	0,69	191,82
11-12	1,48	411,44	0,82	227,96
12-13	1,48	411,44	0,82	227,96
13-14	1,28	355,84	0,69	191,82
14-15	0,89	247,42	0,46	127,88
15-16	0,38	105,64	0,20	55,60
16-17	0,04	11,12	0,02	5,56

$$q_{8-9} = 77,13 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 101,49 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 134,03 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 156,97 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 154,66 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 127,60 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 88,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 41,70 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 13,11 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 895,16 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 15

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Февраль

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,13	36,14	0,28	77,84
9 - 10	0,23	63,94	0,51	141,78
10 - 11	0,33	91,74	0,67	186,26
11 - 12	0,41	113,98	0,74	205,72
12 - 13	0,41	113,98	0,74	205,72
13 - 14	0,33	91,74	0,67	186,26
14 - 15	0,23	63,94	0,51	141,78
15 - 16	0,13	36,14	0,28	77,84
16 - 17	0,05	13,90	0,10	27,80

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_p (МДж/м ²)	ΣH_p (Вт/м ²)
8-9	0,87	241,86	0,41	113,98
9-10	1,43	397,54	0,74	205,72
10-11	1,76	489,28	1,00	278,00
11-12	2,04	567,12	1,15	319,70
12-13	2,04	567,12	1,15	319,70
13-14	1,76	489,28	1,00	278,00
14-15	1,43	397,54	0,74	205,72
15-16	0,87	241,86	0,41	113,98
16-17	0,36	100,08	0,15	41,70

$$q_{8-9} = 83,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 129,52 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 169,84 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 196,08 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 194,83 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 166,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 123,34 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 72,25 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 3121 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 1166,94 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 16

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Март

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,33	91,74	0,46	127,88
9 - 10	0,49	136,22	0,69	191,82
10 - 11	0,61	169,58	0,82	227,96
11 - 12	0,69	191,82	0,89	247,42
12 - 13	0,69	191,82	0,89	247,42
13 - 14	0,59	164,02	0,82	227,96
14 - 15	0,43	119,54	0,72	200,16
15 - 16	0,28	77,84	0,49	136,22
16 - 17	0,13	36,14	0,25	69,50

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_p (МДж/м ²)	ΣH_p (Вт/м ²)
8-9	1,46	405,88	0,79	219,62
9-10	2,10	583,80	1,18	328,04
10-11	2,45	681,10	1,43	397,54
11-12	2,66	739,48	1,58	439,24
12-13	2,66	739,48	1,58	439,24
13-14	2,45	681,10	1,41	391,98
14-15	2,10	583,80	1,15	319,70
15-16	1,46	405,88	0,77	214,06
16-17	0,84	233,52	0,38	105,64

$$q_{8-9} = 132,51 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 194,50 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 235,78 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 261,34 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 261,10 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 230,63 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 183,43 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 122,76 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 60,55 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 1682,61 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 17

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Апрель

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,59	164,02	0,74	205,72
9 - 10	0,84	233,52	0,85	236,30
10 - 11	0,97	269,66	0,92	255,76
11 - 12	1,07	297,46	0,97	269,66
12 - 13	1,07	297,46	0,97	269,66
13 - 14	0,95	264,10	0,91	252,98
14 - 15	0,77	214,06	0,84	233,52
15 - 16	0,56	155,68	0,69	191,82
16 - 17	0,33	91,74	0,46	127,88

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_p (МДж/м ²)	ΣH_p (Вт/м ²)
8-9	1,94	539,32	1,33	369,74
9-10	2,43	675,54	1,69	469,82
10-11	2,84	789,52	1,89	525,42
11-12	3,02	839,56	2,04	567,12
12-13	3,02	839,56	2,04	567,12
13-14	2,84	789,52	1,86	517,08
14-15	2,43	675,54	1,61	447,58
15-16	1,94	539,32	1,25	347,50
16-17	1,33	369,74	0,79	219,62

$$q_{8-9} = 215,27 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 290,25 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 333,67 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 365,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 366,59 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 331,41 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 280,56 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 211,13 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 126,99 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 2521,27 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 18

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Май

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,97	269,66	0,87	241,86
9 - 10	1,23	341,94	0,92	255,76
10 - 11	1,38	383,64	0,97	269,66
11 - 12	1,43	397,54	1,02	283,56
12 - 13	1,43	397,54	1,02	283,56
13 - 14	1,30	361,40	0,97	269,66
14 - 15	1,10	305,80	0,89	247,42
15 - 16	0,84	233,52	0,74	205,72
16 - 17	0,54	150,12	0,58	161,24

часы	$\sum(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\sum(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	$\sum H_p$ (МДж/м ²)	$\sum H_p$ (Вт/м ²)
8-9	2,20	611,60	1,84	511,52
9-10	2,76	767,28	2,15	597,70
10-11	3,14	872,92	2,35	653,30
11-12	3,32	922,96	2,45	681,10
12-13	3,32	922,96	2,45	681,10
13-14	3,14	872,92	2,27	631,06
14-15	2,76	767,28	1,99	553,22
15-16	2,20	611,60	1,58	439,24
16-17	1,63	453,14	1,12	311,36

$$q_{8-9} = 296,33 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 374,73 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 427,38 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 453,72 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 456,44 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 419,30 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 359,33 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 273,76 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 180,26 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 3241,25 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 19

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Июнь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	1,18	328,04	0,84	233,52
9 - 10	1,41	391,98	0,91	252,98
10 - 11	1,51	419,78	0,97	269,66
11 - 12	1,56	433,68	1,02	283,56
12 - 13	1,56	433,68	1,02	283,56
13 - 14	1,43	397,54	0,97	269,66
14 - 15	1,25	347,50	0,90	250,20
15 - 16	0,97	269,66	0,77	214,05
16 - 17	0,69	191,82	0,59	164,02

часы	$\sum(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\sum(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	$\sum H_p$ (МДж/м ²)	$\sum H_p$ (Вт/м ²)
8-9	2,43	675,54	2,02	561,56
9-10	2,86	795,08	2,32	644,96
10-11	3,22	895,16	2,48	689,44

11-12	3,42	950,76	2,58	717,24
12-13	3,42	950,76	2,58	717,24
13-14	3,22	895,16	2,40	667,20
14-15	2,86	795,08	2,15	597,70
15-16	2,43	675,54	1,74	483,72
16-17	1,74	483,72	1,28	355,84

$$q_{8-9} = 315,28 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 396,05 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 443,79 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 471,79 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 475,14 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 438,22 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 383,30 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 296,08 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 200,57 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 3420,22 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 20

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Июль

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	1,17	325,26	0,82	227,96
9 - 10	1,46	405,88	0,84	233,52
10 - 11	1,58	439,24	0,90	250,20
11 - 12	1,64	455,92	0,92	255,76
12 - 13	1,64	455,92	0,92	255,76
13 - 14	1,51	419,78	0,87	241,86
14 - 15	1,29	358,62	0,81	255,18
15 - 16	0,97	269,66	0,77	214,06
16 - 17	0,64	177,92	0,51	141,78

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_p (МДж/м ²)	ΣH_p (Вт/м ²)
8-9	2,25	625,50	1,99	553,22
9-10	2,73	758,94	2,30	639,40
10-11	3,09	859,02	2,48	689,44
11-12	3,32	922,96	2,56	711,68
12-13	3,32	922,96	2,56	711,68
13-14	3,09	859,02	2,38	661,64
14-15	2,73	758,94	2,10	583,80
15-16	2,25	625,50	1,74	483,72
16-17	1,66	461,48	1,15	319,70

$$q_{8-9} = 326,20 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 412,72 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 466,73 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 493,05 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 496,58 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 457,84 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 393,80 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 310,09 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 188,84 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 3545,86 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 21

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Август

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	1,00	278,00	0,74	20,72
9 - 10	1,34	372,52	0,76	211,28
10 - 11	1,48	411,44	0,85	236,30
11 - 12	1,56	433,68	0,87	241,86
12 - 13	1,56	433,68	0,87	241,86

13 - 14	1,41	391,98	0,84	233,52
14 - 15	1,20	333,60	0,74	205,72
15 - 16	0,84	233,52	0,67	186,26
16 - 17	0,54	150,12	0,33	91,74

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_p (МДж/м ²)	ΣH_p (Вт/м ²)
8-9	1,92	533,76	1,74	483,72
9-10	2,53	703,34	2,10	583,80
10-11	2,89	803,42	2,33	647,74
11-12	3,04	845,12	2,43	675,54
12-13	3,04	845,12	2,43	675,54
13-14	2,89	803,42	2,25	625,50
14-15	2,53	703,34	1,94	539,32
15-16	1,92	533,76	1,51	419,78
16-17	1,28	355,84	0,87	241,86

$$q_{8-9} = 321,07 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 420,81 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 483,84 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 514,20 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 516,95 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 473,96 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 401,02 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 297,00 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 161,44 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 3590,28 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 22

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Сентябрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------

8 - 9	0,74	205,72	0,61	169,58
9 - 10	1,02	283,56	0,69	191,82
10 - 11	1,23	341,94	0,74	205,72
11 - 12	1,33	369,74	0,77	214,06
12 - 13	1,33	369,74	0,77	214,06
13 - 14	1,18	328,04	0,74	205,72
14 - 15	0,97	269,66	0,67	186,26
15 - 16	0,66	183,48	0,52	144,56
16 - 17	0,36	100,08	0,23	63,94

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_P (МДж/м ²)	ΣH_P (Вт/м ²)
8-9	1,56	433,68	1,35	375,30
9-10	2,10	583,80	1,71	475,38
10-11	2,50	695,00	1,97	547,66
11-12	2,68	745,04	2,10	583,80
12-13	2,68	745,04	2,10	583,80
13-14	2,50	695,00	1,92	533,76
14-15	2,10	583,80	1,64	455,92
15-16	1,56	433,68	1,18	328,04
16-17	0,94	261,32	0,59	164,02

$$q_{8-9} = 295,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 391,06 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 461,18 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 496,08 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 496,85 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 449,68 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 378,21 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 265,39 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 132,52 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 3366,43 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 23

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Октябрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,32	88,96	0,37	102,86
9 - 10	0,54	150,12	0,53	147,34
10 - 11	0,72	200,16	0,61	169,58
11 - 12	0,82	227,96	0,61	169,58
12 - 13	0,82	227,96	0,61	169,58
13 - 14	0,72	200,16	0,57	158,46
14 - 15	0,54	150,12	0,47	130,66
15 - 16	0,32	88,96	0,34	94,52
16 - 17	0,13	36,14	0,13	36,14

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_p (МДж/м ²)	ΣH_p (Вт/м ²)
8-9	1,02	283,56	0,69	191,82
9-10	1,61	447,58	1,07	297,46
10-11	1,99	553,22	1,33	369,74
11-12	2,15	597,70	1,43	397,54
12-13	2,15	597,70	1,43	397,54
13-14	1,99	553,22	1,29	358,62
14-15	1,61	447,58	1,01	280,78
15-16	1,02	283,56	0,66	183,48
16-17	0,51	141,78	0,26	72,28

$$q_{8-9} = 164,51 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 242,69 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 299,36 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 324,05 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 322,55 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 303,38 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 226,27 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 147,45 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 63,98 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Sigma q = 2094,24 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 24

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Ноябрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,08	22,24	0,15	41,70
9 - 10	0,15	41,70	0,31	86,18
10 - 11	0,26	72,28	0,43	119,54
11 - 12	0,36	100,08	0,46	127,88
12 - 13	0,36	100,08	0,46	127,88
13 - 14	0,26	72,28	0,43	119,54
14 - 15	0,15	41,70	0,31	86,18
15 - 16	0,08	22,24	0,15	41,70
16 - 17	0,02	5,56	0,02	5,56

часы	$\Sigma(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\Sigma(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	ΣH_P (МДж/м ²)	ΣH_P (Вт/м ²)
8-9	0,61	169,58	0,23	63,94
9-10	1,07	297,46	0,46	127,88
10-11	1,46	405,88	0,69	191,82
11-12	1,61	447,58	0,82	227,96
12-13	1,61	447,58	0,82	227,96
13-14	1,46	405,88	0,69	191,82
14-15	1,07	297,46	0,46	127,88
15-16	0,61	169,58	0,23	63,94
16-17	0,12	33,36	0,04	11,12

$$q_{8-9} = 23,04 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{9-10} = 48,17 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{10-11} = 74,81 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{11-12} = 91,46 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{12-13} = 91,88 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{13-14} = 75,75 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{14-15} = 49,30 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{15-16} = 24,17 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{16-17} = 4,03 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\sum q = 482,60 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 25

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации по часам за Декабрь

часы	I_s (МДж/м ²)	I_s Вт/м ²)	I_D (МДж/м ²)	I_D (Вт/м ²)
8 - 9	0,03	8,34	0,07	19,46
9 - 10	0,08	22,24	0,20	55,60
10 - 11	0,13	36,14	0,32	88,96
11 - 12	0,18	50,04	0,41	113,98
12 - 13	0,18	50,04	0,41	113,98
13 - 14	0,13	36,14	0,32	88,96
14 - 15	0,08	22,24	0,20	55,60
15 - 16	0,03	8,34	0,07	19,46
16 - 17	0,00	0,00	0,01	2,78

часы	$\sum(H_B+H_D)$ (МДж/м ²)	$\sum(H_B+H_D)$ (Вт/м ²)	$\sum H_p$ (МДж/м ²)	$\sum H_p$ (Вт/м ²)
8-9	0,26	72,28	0,10	27,80
9-10	0,72	200,16	0,28	77,84
10-11	1,05	291,90	0,45	125,10
11-12	1,28	355,84	0,59	164,02
12-13	1,28	355,84	0,59	164,02
13-14	1,05	291,90	0,45	125,10
14-15	0,72	200,16	0,28	77,84
15-16	0,26	72,28	0,10	27,80
16-17	0,01	2,78	0,01	2,78

$$q_{8-9} = 9,01 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{9-10} = 26,35 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{10-11} = 43,35 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{11-12} = 57,64 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{12-13} = 57,86 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{13-14} = 43,84 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{14-15} = 26,96 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{15-16} = 9,42 \text{ BТ/М}^2;$$

$$q_{16-17} = 0,92 \text{ BТ/М}^2;$$

$$\Sigma q = 275,36 \text{ BТ/М}^2.$$

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ГВС (данные г. Ростова-на-Дону)

При расчете требуемой площади поверхности солнечных коллекторов используется интенсивность падающей солнечной радиации, требуемая температура горячей воды, суточный расход горячей воды в системе горячего водоснабжения.

ВСН 52-86

Все типы установок с дублирующими источниками рассчитываются по данным месяца с наибольшей суммой солнечной радиации за период работы, а системы без дублирующего источника - с наименьшей.

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером A , м², следует определять по формуле:

$$A + \frac{1,16G(t_{w2} - t_{w1})}{\eta \sum_i q_i} \quad (1)$$

где q_i - интенсивность падающей солнечной радиации в плоскости коллектора, Вт/м², определяется в интервале от 8 до 17 ч для солнечных коллекторов южной ориентации. При отклонении от юга к востоку или западу на каждые 15° интервал времени начинается раньше или позже на 1 ч;

t_{w2} - требуемая температура горячей воды, определяемая по СанПиН 4723-88. «Санитарные правила устройства и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения» и принимается $t_{w2} = 60^\circ \text{C}$;

t_{w1} - температура холодной воды соответствует 15°C;

G - суточный расход горячей воды в системе горячего водоснабжения G , кг, принимается равным 300 кг;

η - КПД установки солнечного горячего водоснабжения.

Коэффициент полезного действия установки определяется по формуле:

$$\eta = 0,8 \left\{ \Theta - \frac{9U[0,5(t_1 + t_2) - t_e]}{\sum_i q_i} \right\} \quad (2)$$

где Θ - приведенная оптическая характеристика коллектора определяется по паспортным данным;

t_e - средняя дневная температура воздуха в г. Ростове-на-Дону, °C;

U - приведенный коэффициент теплопотерь солнечного коллектора, Вт/(м²·K), определяется по паспортным данным;

t_1, t_2 - температура теплоносителя на входе и на выходе солнечного коллектора, °C

Температура на выходе t_2 определяется по формуле:

$$t_2 = t_{w2} + 5^\circ\text{C},$$

Температура на входе определяется по формуле:

$$t_1 = t_{w1} + 5^\circ\text{C},$$

Приведенная оптическая характеристика коллектора определяется как произведение КПД η_0 на покрытие и на пропускание

$$\Theta = 0,801 * 0,95 * 0,91 = 0,692$$

Приведенный коэффициент теплопотерь солнечного коллектора определяется как произведение КПД η_0 на коэффициент тепловых потерь

$$U = 0,801 * 3,76 = 3,012 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$$

Январь

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,028 \text{ (2,8\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 344,687 \text{ м}^2$$

Февраль

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,134 \text{ (13,4\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 58,407 \text{ м}^2$$

Март

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,285 \text{ (28,5\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 20,592 \text{ м}^2$$

Апрель

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,388 \text{ (3,88\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 11,826 \text{ м}^2$$

Май

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,441 \text{ (44,1\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 8,326 \text{ м}^2$$

Июнь

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,464 \text{ (46,4\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 8,326 \text{ м}^2$$

Июль

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,469 \text{ (46,9\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 8,182 \text{ м}^2$$

Август

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,479 \text{ (47,9\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 7,623 \text{ м}^2$$

Сентябрь

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,443 \text{ (44,3\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 9,007 \text{ м}^2$$

Октябрь

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,364 \text{ (36,4\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 14,600 \text{ м}^2$$

Ноябрь

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,133 \text{ (13,3\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 71,838 \text{ м}^2$$

Декабрь

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,019 \text{ (1,9\%)}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублером:

$$A = 586,313 \text{ м}^2$$

Устройство грунтовых теплообменников

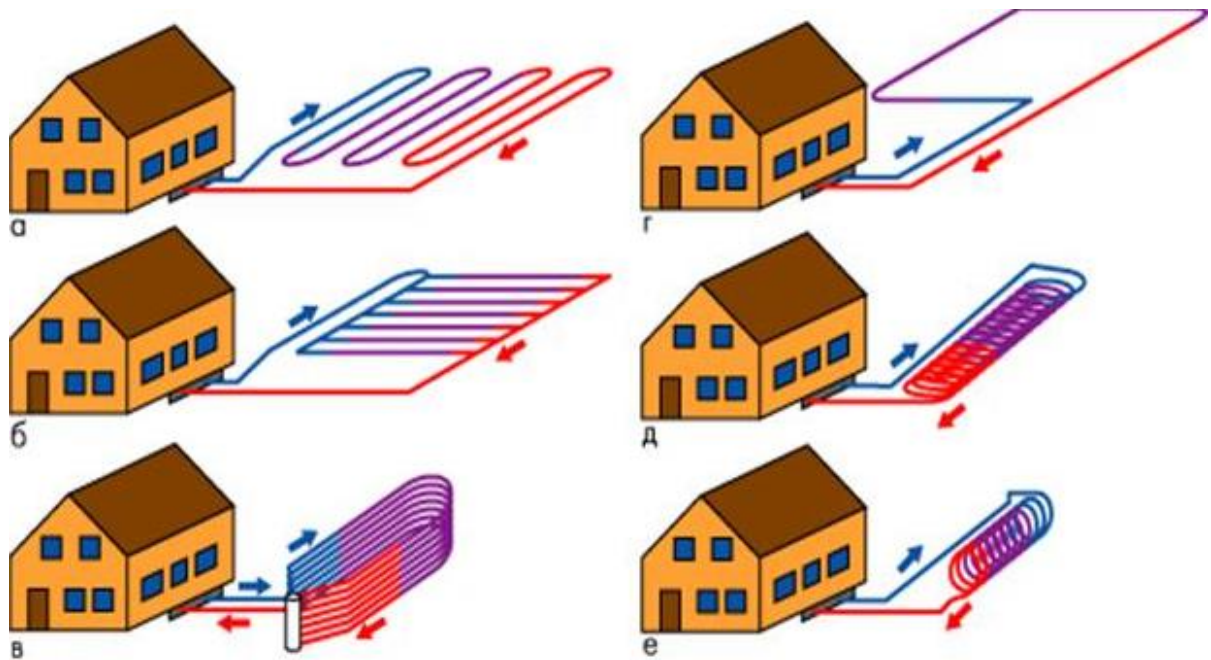


Рис 1. Виды горизонтальных грунтовых теплообменников:

а – теплообменник из последовательно соединенных труб; б – теплообменник из параллельно соединенных труб; в – горизонтальный коллектор, уложенный в траншее «многоэтажка»; г – теплообменник в форме петли; д – теплообменник в форме спирали, расположенной горизонтально («slinky» коллектор); е – теплообменник в форме спирали, расположенной вертикально

Удельный съем тепла с одного погонного метра грунтового теплообменника составляет от 10 Вт/м до 60 Вт/м. В эксплуатационный период массив грунта в пределах зоны влияния труб теплообменника вследствие сезонного изменения температуры наружного воздуха и эксплуатационных тепловых нагрузок от системы сбора тепла подвергается многократному замерзанию и оттаиванию, при этом вода, содержащаяся в порах грунта, меняет свое агрегатное состояние. Большую часть времени грунтовый массив находится при околонулевой температуре и вода, содержащаяся в грунте, может быть, в 3 агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном (в виде пара). Это оказывает влияние на теплоперенос в грунте, т.к. при наличии температурного градиента, молекулы водяного

пара перемещаются в места с пониженным тепловым потенциалом, а вода в жидкой фазе, вследствие гравитационных сил, тоже движется. Теплопроводность одного и того же грунта может быть совершенно разной, более влажный грунт имеет большую теплопроводность, чем сухой, а замерзший грунт, как правило, имеет более высокую теплопроводность по сравнению с талым.

Таблица 1

Теплопроводность грунта

Плотность сухого грунта ρ , т/м ³	Суммарная влажность грунта W_{tot} , доли единицы	Теплопроводность грунта талого и мерзлого λ_t/λ_m . Вт/м*К		
		Пески разной крупности	Супеси пылеватые	Глины и суглинки
1,4	0,25	1,91/2,14	1,57/1,68	1,33/1,51
1,4	0,2	1,57/1,86	1,33/1,51	1,1/1,22
1,4	0,15	1,39/1,62	1,1/1,27	0,87/0,99
1,4	0,1	1,1/1,27	0,93/1,05	0,7/0,75
1,4	0,05	0,75/0,81	0,64/0,7	0,46/0,52
1,6	0,25	2,5/2,73	1,8/1,91	1,51/1,68
1,6	0,2	2,15/2,37	1,62/1,74	1,33/1,51
1,6	0,15	1,8/2	1,45/1,57	1,1/1,22

1,6	0,1	1,45/1,62	1,02/1,28	0,87/0,93
1,6	0,05	1,05/1,1	0,81/0,87	0,58/0,64
1,8	0,2	2,67/2,84	1,86/1,97	1,57/1,8
1,8	0,15	2,26/2,62	1,68/1,8	1,39/1,57
1,8	0,1	1,97/2,2	1,45/1,57	1,05/1,22
1,8	0,05	1,45/1,51	0,99/0,99	0,7/0,75
2	0,1	2,73/2,9	1,74/1,86	1,28/1,39

Обычно значение теплопроводности лежит в пределах от 1Вт/(м*к) до 3 Вт/(м*к) для грунтов с влажностью 15%. Значения теплопроводности для мерзлого и талого грунта указаны в таблице 1. Теплопроводность грунта в мерзлом состоянии в среднем на 10-20% больше, чем теплопроводность грунта в талом состоянии, а увеличение влажности грунта значительно повышает его теплопроводность.

Для оценки влияния грунтового теплообменника на окружающий грунтовый массив можно использовать следующую формулу:

$$q=2*\pi*\lambda*(t_0-t_1)/\ln(R_0/R_1)$$

где q-удельный тепловой поток к трубе грунтового теплообменника Вт/м. пог;

$\pi=3,14$;

λ g-теплопроводность грунта Вт/м*к

t_0 - температура на границе замерзания воды в порах грунта, $t_0=0$ К;

t_1 -температура на поверхности трубы грунтового теплообменника;

R_0 - радиус виртуального цилиндра-границы замерзания воды в порах, м;

R_1 - радиус наружной поверхности трубы грунтового теплообменника, м.

Данную формулу можно применить как для начального периода работы теплового насоса (кипение фреона с температурой выше 0 град С), когда в грунт подается охлажденный рассол с положительной температурой (t_0 — температура грунта на отдалении R_0 от оси трубы теплообменника), так и для последующего периода, когда температура рассола падает ниже 0 град С. Во втором случае, когда в грунт подается отрицательная температура и вокруг трубы возникает ледяная линза, некоторыми исследователями было предложено для вышеприведенной формулы использовать вместо λ_g - теплопроводности грунта, $\lambda_{\text{экв}}$ - эквивалентную теплопроводность грунта, учитывающую выделение скрытой теплоты фазового перехода при замерзании поровой влаги. Проведенные исследования показали, что значения $\lambda_{\text{экв}}$ до 2-х раз и более превышают λ_g - теплопроводность грунта при обычных условиях.

При работе теплового насоса и кипением фреона с температурами выше 0 град С, когда не образуется ледяная линза вокруг труб грунтового теплообменника, радиус интенсивного влияния трубы на грунтовый массив составляет примерно 1 м., а при возникновении ледяной линзы и промерзании грунта, радиус влияния увеличивается и может составлять 2 и более метра. В табл. 2 приведены значения эквивалентной теплопроводности грунта, состоящего из слоев тяжелой глины, при разных радиусах труб грунтового теплообменника, при этом влажность грунта принималась равной 15%, теплопроводности грунта λ_g -2 Вт/м*к, а продолжительность периода отбора тепла от 3000 до 30000 часов (в числителе эквивалентная теплопроводность $\lambda_{\text{экв}}$, Вт/м*к, в знаменателе радиус намерзания ледяной линзы R_l , м).

Таблица 2

Эквивалентная теплопроводность грунта и радиус намерзаемой ледяной линзы

Плотность сухого грунта ρ , т/м ³	Суммарная влажность грунта W_{tot} , доли единицы	Теплопроводность грунта талого и мерзлого λ_t/λ_m , Вт/м*К		
		Пески разной крупности	Супеси пылеватые	Глины и суглинки
1,4	0,25	1,91/2,14	1,57/1,68	1,33/1,51
1,4	0,2	1,57/1,86	1,33/1,51	1,1/1,22
1,4	0,15	1,39/1,62	1,1/1,27	0,87/0,99
1,4	0,1	1,1/1,27	0,93/1,05	0,7/0,75
1,4	0,05	0,75/0,81	0,64/0,7	0,46/0,52
1,6	0,25	2,5/2,73	1,8/1,91	1,51/1,68
1,6	0,2	2,15/2,37	1,62/1,74	1,33/1,51
1,6	0,15	1,8/2	1,45/1,57	1,1/1,22
1,6	0,1	1,45/1,62	1,02/1,28	0,87/0,93
1,6	0,05	1,05/1,1	0,81/0,87	0,58/0,64
1,8	0,2	2,67/2,84	1,86/1,97	1,57/1,8
1,8	0,15	2,26/2,62	1,68/1,8	1,39/1,57
1,8	0,1	1,97/2,2	1,45/1,57	1,05/1,22
1,8	0,05	1,45/1,51	0,99/0,99	0,7/0,75
2	0,1	2,73/2,9	1,74/1,86	1,28/1,39

Диаметр труб грунтового теплообменника, м	Продолжительность отбора тепла, час				
	3000	5000	8000	15000	30000
Температура теплоносителя подаваемого в грунтовой теплообменник -2 град С					

0,02	4,31/0,77	4,3/0,96	4,28/1,18	4,26/1,56	4,24/2,1
0,05	4,4/0,88	4,38/1,1	4,36/1,34	4,33/1,75	4,3/2,36
0,08	4,48/0,97	4,44/1,19	4,41/1,44	4,37/1,88	4,34/2,52
0,1	4,52/1,04	4,48/1,24	4,44/1,5	4,4/1,95	4,36/2,6
0,15	4,6/1,11	4,55/1,35	4,55/1,35	4,54/2,09	4,41/2,78
Температура теплоносителя подаваемого в грунтовый теплообменник -10 град С					
0,02	4,26/1,55	4,25/1,95	4,23/2,41	4,22/3,2	4,20/4,37
0,05	4,33/1,75	4,31/2,18	4,28/2,66	4,27/3,53	4,25/4,8
0,08	4,37/1,88	4,35/2,33	4,32/2,85	4,3/3,74	4,27/5,06
0,1	4,4/1,95	4,39/2,41	4,35/2,94	4,32/3,85	4,29/5,2
0,15	4,45/2,09	4,42/2,58	4,39/3,13	4,35/4,08	4,32/5,49

Теплопоступления в поверхностные массивы грунта от радиогенного тепла земли ограничены величиной порядка 0,1 Вт/м², то в отопительный период можно рассчитывать практически только на теплоту, запасенную грунтовым массивом в теплый период года. Поэтому задача по правильному расчету площади и объема грунта, задействованного под грунтовый теплообменник очень важна. Попытаемся проанализировать эффективность некоторых из вариантов грунтовых горизонтальных теплообменников изображенных на рис. 1. На рис. 2 представлен классический вариант исполнения грунтового теплообменника с равномерным распределением температуры рассола по веткам.

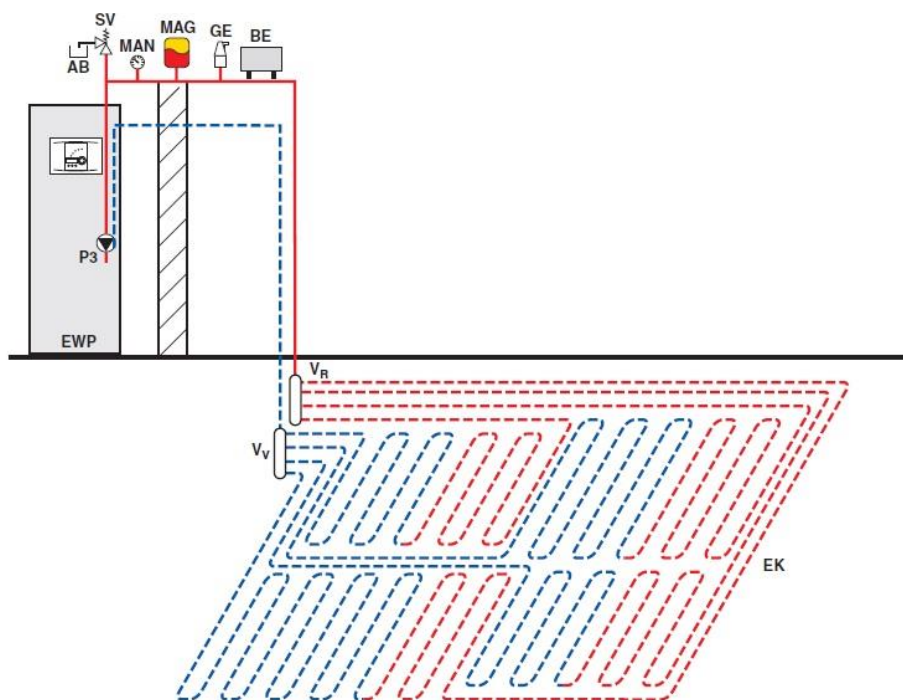


Рис. 2. Схема горизонтального грунтового теплообменника с параллельным размещением труб.

Большинство производителей тепловых насосов рекомендуют именно этот вариант. Так, при отапливаемой площади дома в 100 м² и удельной тепловой нагрузке на здание 50 Вт/м², при использовании теплового насоса до 2000 часов в год, среднегодовой эффективностью = 4 и удельной мощностью теплосъема с грунта $q=25$ Вт/м² (соответствующему влажной глине) рекомендуемая площадь горизонтального грунтового теплообменника для покрытия потребностей в отоплении составляет 150 м² при размещении труб на глубине 0,8-1,5 м (ниже границы промерзания) и расстоянием между трубами 0,8-1 м. Д32 и длина одной бухты = 100м, расстояние между трубами 0,8 м:

$$L=150 \text{ м}^2/0,8\text{м}=188\text{м},$$

Принимаем метраж трубы $L_{\text{тр}}=200\text{м}$, а площадь, занимаемую коллектором:

$$S_{\text{кол}}=200\text{м} * 0,8 \text{ м}=160 \text{ м}^2.$$

Таким образом, закладывая трубы на глубину 1,5 м нам необходимо будет выкопать котлован с размерами 16м х 10м и глубиной 1,5м. Таким образом объем грунта, извлеченного из котлована, составит:

$$W = 240 \text{ м}^3.$$

Если принять радиус влияния горизонтального грунтового коллектора на грунтовый массив (при длительном теплосъеме 2000-3000 часов- радиус образования ледяной линзы) за 1м, то мы получим параллелепипед из грунта с размерами 18мх12мх1,5м, объемом:

$$W_{\text{зам}} = 324 \text{ м}^3,$$

который отдает тепло грунтовому коллектору за счет своей теплоемкости и фазового перехода влаги, содержащейся в порах грунта. Кроме того, грунтовый коллектор будет получать тепло от теплопередачи от теплого грунта к замороженному. Условная площадь контакта теплого и замороженного грунта составит:

$$S_{\text{конт}} = 18 * 1,5 * 2 + 12 * 1,5 * 2 + 18 * 12 = 306 \text{ м}^2.$$

Посчитаем для такого же дома площадью 100 м кв вариант горизонтального грунтового коллектора “многоэтажка”.

Схема горизонтального грунтового коллектора изображена на рис.3.

Рекомендуемая мощность по холоду для озвученных выше условий составит 3750 Вт, а длина траншеи для получения такой мощности составит:

$$L_{\text{транш}} = 3750 / 75 = 50 \text{ м}.$$

Площадь, занимаемая траншеей (с учетом выполнения откосов), составляет:

$$S_{\text{тр}} = 2,5 * 50 = 125 \text{ м}^2$$

Трубы укладываются в 4 этажа на глубинах 1,5; 2; 2,5; 3м. Необходимая длина труб - 4 полиэтиленовые трубы д 32 по 100 м каждая, итого $L_{\text{тр}} = 400 \text{ м}$. Объем грунта (глина), извлекаемый из траншеи шириной 1м с учетом выполнения откосов составит:

$$W=(1+(3*0,25*2+1))/2*3*50=263,5 \text{ м}^3$$



Рис. 3. Схема горизонтального грунтового теплообменника «многоэтажка»

Посчитаем, как и в предыдущем случае, объем грунта, подверженный воздействию грунтового коллектора с радиусом влияния 1м, который отдает тепло грунтовому коллектору за счет своей теплоемкости и фазового перехода влаги, содержащейся в порах грунта:

$$W_{\text{зам}}=(4+1,5)/2*3*50=412,5 \text{ м}^3.$$

Условная площадь контакта теплого и замороженного грунта составит:

$$S_{\text{конт}}=3,1*50*2+1,5*50+(4+1,5)/2*3*2=402 \text{ м}^2.$$

Посчитаем для такого же дома площадью 100 м кв вариант горизонтального грунтового коллектора «slinky». Витки спирали коллектора находятся в одной горизонтальной плоскости и сдвинуты относительно друг друга. Общий вид горизонтального грунтового коллектора «slinky» изображен на рис. 4.



Рис. 4 Горизонтальный грунтовый коллектор «slinky»

Согласно рекомендациям для рассматриваемого в нашем примере дома требуется вырыть 4 траншеи длиной по 12 м каждая, шириной 1 м, глубиной 1,5 м, расстояние между траншеями 3 м, общий метраж заложенной трубы составит 560 м. Таким образом размеры занимаемые на участке коллектором составят 12м x 13м, а общая площадь занимаемая коллектором:

$$S_{\text{кол}} = 12 * 13 = 156 \text{ м}^2;$$

Метраж трубы использованный для монтажа:

$$L_{\text{тр}} = 560 \text{ м};$$

Объем грунта, извлекаемого из траншей:

$$W = 12 * 1 * 1,5 * 4 = 72 \text{ м}^3;$$

Посчитаем, как и в предыдущих случаях, объем грунта, подверженный воздействию грунтового коллектора с радиусом влияния 1м, который отдает тепло грунтовому коллектору за счет своей теплоемкости и фазового перехода влаги, содержащейся в порах грунта:

$$W_{\text{зам}} = 14 * 3 * 1,5 * 4 = 252 \text{ м}^3;$$

Условная площадь контакта теплого и замороженного грунта составит:

$$S_{\text{конт}} = (14 * 1,5 * 2 + 3 * 1,5 * 2 + 14 * 3) * 4 = (42 + 9 + 42) * 4 = 372 \text{ м}^2$$

Сведем полученные результаты в таблицу и проанализируем.

Таблица 3.

Характеристики горизонтальных грунтовых теплообменников

Вид грунтового теплообменн ика	Площадь грунтового теплообменн ика, м ²	Объем извлекаем ого грунта, м ³	Объем грунта в зоне влияния теплообменн ика (объем замораживае мого грунта), м ³	Условная площадь контакта замораживае мого грунта и теплого грунта, м ³	Метраж трубы, используем ый для монтажа, м
Теплообмен ник из параллельно соединенных труб	160	240	324	306	200
Теплообмен ник «многоэтажк а»	125	264	413	402	400
Спиральные теплообменн ики типа «slinky»	156	72	252	372	560

При меньшей занимаемой площади грунтовый теплообменник «многоэтажка» имеет сопоставимый с теплообменником с параллельными трубами объем извлекаемого грунта, при этом практически на треть выигрывает как в объеме зоны влияния (замораживаемого грунта), так и в площади контакта замораживаемого и теплого грунта. И это при том, что увеличился размер грунтового теплообменника с параллельными трубами.

Рекомендации производителей необходимо корректировать в большую сторону, т.к. для их условий расчет мог быть произведен для меньшей температуры. Спиральный теплообменник типа «slinky», площадь размещения, практически равная теплообменнику с параллельными трубами, объем извлекаемого грунта у него наименьший среди всех вариантов, что

является несомненным плюсом для снижения стоимости работы техники, но он сильно проигрывает по объему зоны влияния (замораживаемого грунта) другим вариантам, а по площади контакта замораживаемого и теплого грунта проигрывает «многоэтажке», но зато выигрывает у варианта с параллельными трубами. Кроме того, вариант slinky имеет наибольший расход трубы и имеет наибольшие трудозатраты при укладке. Данный вариант теплообменника интересен, когда есть возможность подводного размещения такого коллектора в проточной воде.

Самым эффективным, компактным и недорогим является горизонтальный грунтовый теплообменник «многоэтажка».

Таблица 4

Наибольшая допустимая крутизна откосов временных котлованов и траншей, выполняемых без креплений

Вид грунта	Глубина выемки, м					
	до 1,5		от 1,5 до 3		от 3 до 5	
	Угол между направлением откоса и горизонталью, град	Отношение высоты откоса к его заложению	Угол между направлением откоса и горизонталью, град	Отношение высоты откоса к его заложению	Угол между направлением откоса и горизонталью, град	Отношение высоты откоса к его заложению
Насыпной	56	1:0,67	45	1:1	38	1:1,25
Песчаный, гравийный влажный (ненасыщенн	63	1:0,5	45	1:1	45	1:1

ый)						
Супесь	76	1:0,25	56	1:0,67	50	1:0,85
Суглинок	90	1:0	63	1:0,5	53	1:0,75
Глина	90	1:0	76	1:0,25	63	1:0,5
Лессовый сухой	90	1:0	63	1:0,5	63	1:0,5

На рисунке 5 изображена схема разработки траншеи.

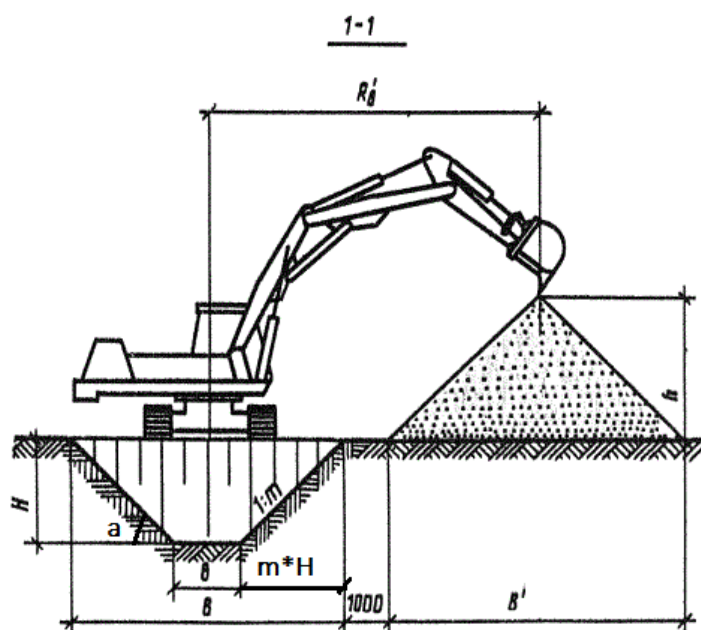


Рис. 5 Схема разработки траншеи.

b — ширина траншеи по низу; B — ширина траншеи по верху; H — глубина траншеи; m — заложение откоса, $m = \operatorname{ctg} a$.

Таким образом ширина траншеи по верху

$$B = b + 2 \cdot m \cdot H.$$

Для отрывки траншеи глубиной 3м, по глине экскаватором с ковшом шириной 1м нам необходимо заложить откосы таким образом, чтобы ширина траншеи по верху была

$$B=1+2*0,25*3=2,5\text{м.}$$

При этом объем выемки грунта с 1 погонного метра траншеи будет:

$$W=(1+2,5)/2*3*1=5,25 \text{ м}^3,$$

против объема в 3 м³, для траншеи с отвесными стенками. Таким образом объем извлекаемого грунта может быть в 2 и более раз выше по сравнению с вариантом для траншеи без откосов, соответственно и время работы экскаватора увеличивается вдвое. Это обстоятельство необходимо учитывать при планировании работ. За один рабочий день экскаватором типа JCB или CASE и т.п. возможно выкопать примерно 50 м. траншеи с откосами, конечно с поправкой на тип грунта. Также необходимо учесть, что грунт, как правило, неоднороден и если при отрывке траншеи есть слой глины и слой супеси, то крутизну откосов необходимо закладывать по более слабому грунту, т.е. по супеси. А вот определять, где супесь, а где суглинок, если на участке не проводились геологические изыскания, придется самостоятельно.

При отрывке траншеи с откосами, на стенках можно делать небольшие горизонтальные полки-бермы и при монтаже размещать на них один из уровней прокладываемых труб. Это достаточно удобно, т.к. под трубой остается плотный слежавшийся грунт и трубу не срывает со стенок траншеи при обратной засыпке см. Рис. 6, Рис. 7



*Рис. 6. Трениея с откосами, бермами под горизонтальный грунтовый теплообменник
«многоэтажка»*



Рис. 7. Трениея горизонтального грунтового теплообменника «многоэтажка» с трубами



Рис. 8 Траншея горизонтального грунтового теплообменника «многоэтажка» перед засыпкой



Рис. 9. Засыпка конца траншеи

При выполнении откосов верхняя петля окажется самой короткой, а нижняя – самой длинной.

После укладки труб и засыпки траншей производится установка колодца и монтаж сборного коллектора, (Рис. 10).



Рис. 10 Установка колодца.



Рис. 11 Ввод труб в колодец.



Рис 12. Прокладка подводящей магистрали от дома к колодцу



Рис. 13 Ввод магистрали в дом



Рис. 14. Монтаж сборного коллектора в колодце

Расчет теплообменных аппаратов.

Теплообменные аппараты предназначены для передачи тепловой энергии от одного жидкого или газообразного теплоносителя к другому жидкому или газообразному теплоносителю.

Наибольшее распространение получили рекуперативные теплообменные аппараты, где теплопередача между теплоносителями осуществляется через теплообменную поверхность. Расчет теплообменных аппаратов основан на совместном решении двух уравнений:

Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2, \text{ кВт} \quad (1)$$

где Q_1 – греющий теплоноситель;
 Q_2 – нагреваемый теплоноситель.

Если теплоносители не меняют своего агрегатного состояния, то уравнение (1) можно записать как:

$$C_1 G_1 (t'_1 - t''_1) = C_2 G_2 (t''_2 - t'_2) \quad (2)$$

где C_1 и C_2 кДж/(кгК) – теплоемкости соответственно греющего и нагреваемого теплоносителей;
 G_1 и G_2 кг/с – массовые расходы теплоносителей;
 t'_1 и t'_2 °С температуры теплоносителей на входе в теплообменник;
 t''_1 и t''_2 °С температуры теплоносителей на выходе из теплообменника.

Если теплоносители меняют свое агрегатное состояние т.е. испаряются или конденсируются, то уравнение (1) следует записывать как:

$$G_1 (i'_1 - i''_1) = G_2 (i'_2 - i''_2), \quad (3)$$

где i_1 и i_2 соответственно энтальпии греющего и нагреваемого теплоносителей.

Уравнение теплопередачи:

$$Q = K \Delta t_{cp} F, \text{ кВт} \quad (4)$$

где k , Вт/(м²К) коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5)$$

Δt_{cp} - среднелогарифмическая разность температур между двумя теплоносителями.

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \quad (6)$$

Δt_6 - большая разность температур;

Δt_m - меньшая разность температур.

Если $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} < 1,4$, то среднелогарифмическую разность температур можно заменить на среднеарифметическую величину, т.е.

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} \quad (7)$$

F, m^2 площадь поверхности теплообмена.

Рассмотрим графики изменения температур теплоносителей в теплообменнике вдоль теплообменной поверхности. Если теплоносители движутся относительно теплообменной поверхности в одном направлении, то такое движение называют прямоток (рис. 1). Если теплоносители движутся относительно теплообменной поверхности навстречу друг другу, то такое движение называют противоток (рис. 2).

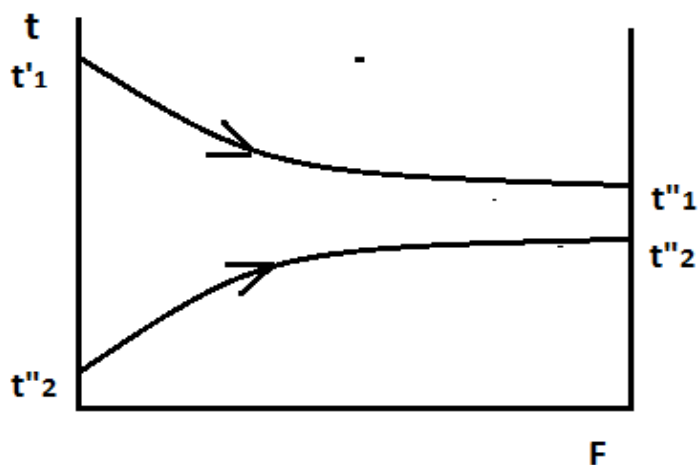


Рис. 1. Прямоточная схема движения теплоносителей.

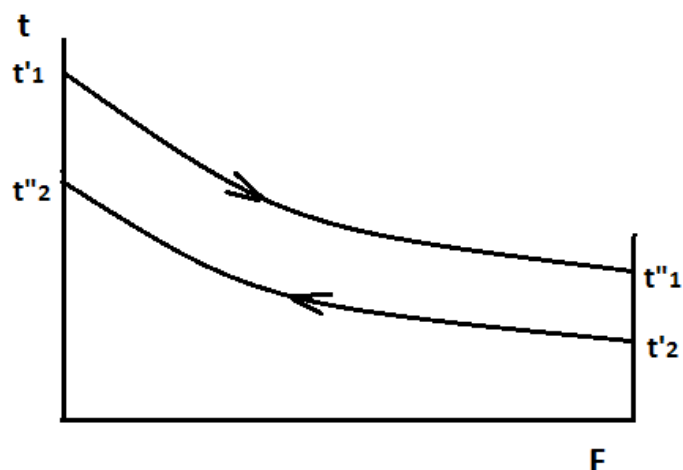


Рис. 2. Противоточная схема движения теплоносителей.

Из рассмотрения графиков видно, что при прямотоке конечная температура нагреваемого теплоносителя $t''2$ всегда ниже конечной температуры греющего теплоносителя $t'1$. При противотоке же конечная температура нагреваемого теплоносителя $t''2$ может быть выше конечной температуры греющего теплоносителя $t'1$. Следовательно, при одной и той же начальной температуре нагреваемый теплоноситель при противотоке можно нагреть до более высокой температуры, чем при прямотоке. Температурный напор при прямотоке изменяется сильнее, чем при противотоке, вследствие чего среднее значение температурного напора в противотоке оказывается больше, чем при прямотоке. За счет этого фактора при противотоке теплообменник получается более компактным т.е. требуется меньшая поверхность теплообмена F . Вследствие этих двух факторов противоточная схема движения теплоносителей в общем случае является более предпочтительной. Если в теплообменнике один из теплоносителей испаряется или конденсируется, то он не меняет температуру в этих случаях нет разницы между прямоточной и противоточной схемами см. рис. 3. и рис.4

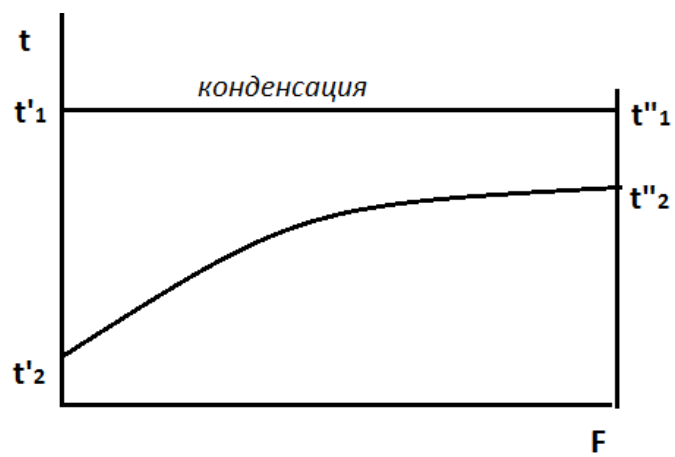


Рис. 3 Изменение температур теплоносителей в теплообменнике, когда один из теплоносителей 1 конденсируется.

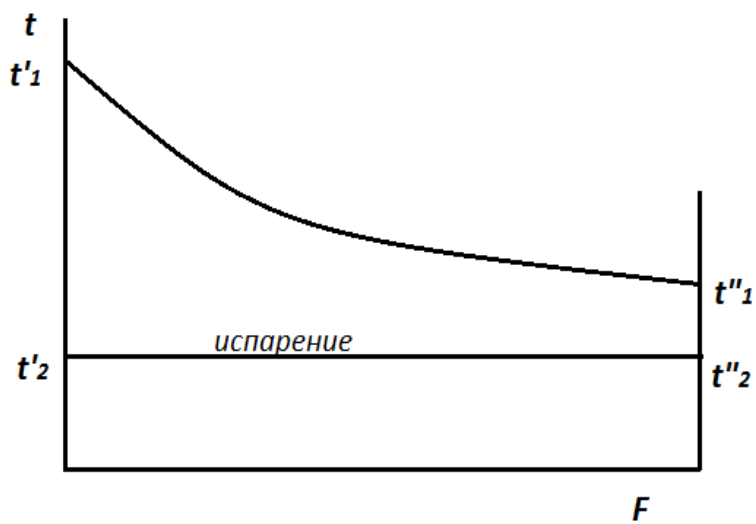


Рис. 4. Изменение температур теплоносителей в теплообменнике, когда один из теплоносителей 2 испаряется.

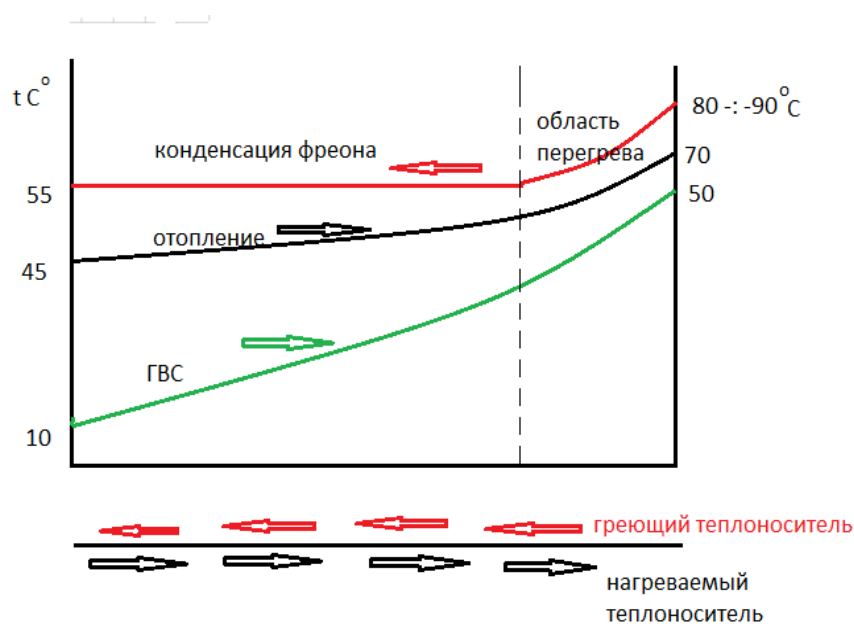


Рис. 5 Изменение температур теплоносителей в конденсаторе теплового насоса, когда теплота конденсирующегося фреона используется для нагрева воды в системе отопления и ГВС.

Различают два типа расчетов теплообменных аппаратов: поверочный и конструкторский. При поверочном расчете для выбранной конструкции и размера теплообменника проверяют возможность получить требуемые расходы и температуры теплоносителей. Целью конструкторского расчета является определение типа и размеры теплообменной поверхности теплообменника, которые в свою очередь обеспечат заданные температуры и расхода теплоносителей.

Пример расчета теплообменных аппаратов.

Пластинчатые теплообменники.

Пластинчатые теплообменники нашли широкое применение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Они обладают высокой компактностью, а их конструкция позволяет подобрать размеры теплообменника, точно отвечающие требованиям, заложенным в технические условия проектов. Пластинчатые теплообменники состоят из пакета параллельных гофрированных пластин, которые способствуют турбулизации потока, а также обладают достаточной механической жесткостью. Каждая пластина во всех четырех углах имеет отверстия для прохода для потоков

теплоносителей. Между пластинами по периметру устанавливается прокладки из термостойкой резины или они спаиваются по периметру медным припоем. Таким образом, между пластинами образуются каналы для движения теплоносителей. По одним движется нагреваемый теплоноситель, а по другим греющий по противоточному направлению. Для чередования теплоносителей (греющий и нагреваемый) в каналах на круглых проходах в углах пластин через одну устанавливают круглые прокладки. В местах, где установлена прокладка, теплоноситель через зазоры между пластинами проходит транзитом. Где нет круглой прокладки теплоноситель попадает в зазор между пластинами и движется вниз (обычно это греющий теплоноситель) или вверх (обычно это нагреваемый теплоноситель) см. рис.6.

Пластины сжимаются резьбовыми шпильками между двумя массивными плитами, одна из них обычно неподвижна к ней присоединяются трубопроводы с помощью резьбовых или фланцевых соединений, вторая плита может перемещаться вдоль верхней несущей балки. Количество устанавливаемых пластин определяется расчетом по величине требуемой поверхности теплообмена.

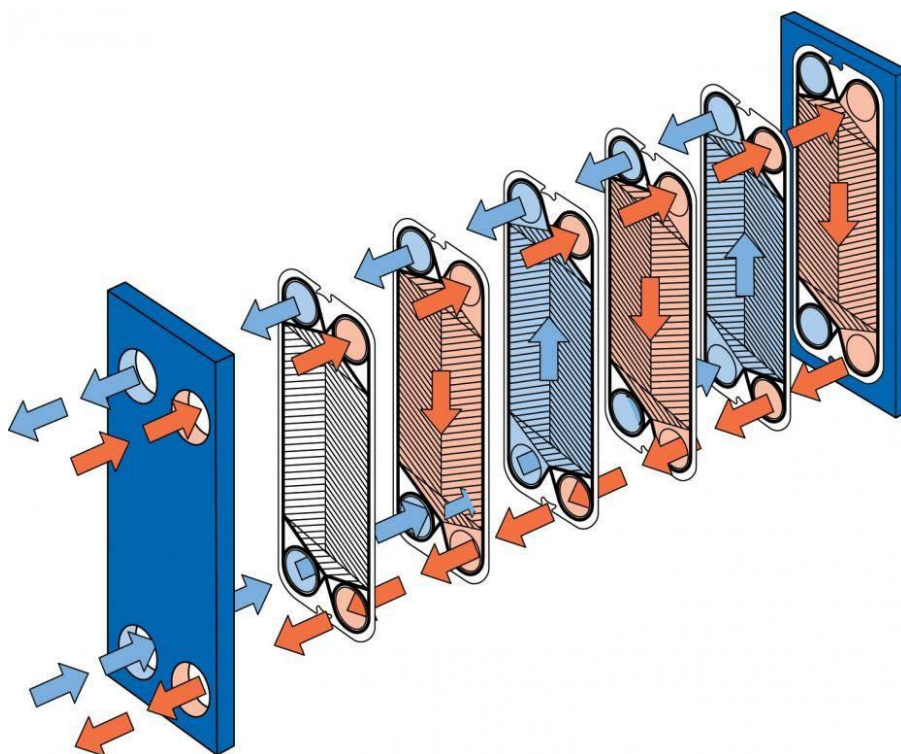


Рис. 6. Конструкция пластинчатого теплообменника

Таблица 1

Пластинчатые теплообменники Альфа Лаваль.

Альфа Лаваль				
	M3-XFG	M6-MFG	M10BFG	M15BFG8
Поверхность одной пластины $F_1 \text{ м}^2$	0,032	0,14	0,24	0,62
Ширина канала, $a_1, \text{ м}$	0,112	0,19	0,36	0,52
Макс. число пластин.	95	250	275	600

Таблица 2

Пластинчатые теплообменники SWEP

SWEP				
	G18P	G26P	G42P	G51P
Поверхность одной пластины $F_1 \text{ м}^2$	0,18	0,275	0,45	0,55
Ширина канала, $a_1, \text{ м}$	0,25	0,36	0,36	0,50
Макс. число пластин.	160	450	450	450



Рис. 7. Паяные пластинчатые теплообменники холодильной машины. Давление теплоносителей до 40 бар. Температура: – 100 :- +200 °C .

Для расчетов введем обозначения:

- «'» параметр на входе;
- «''» параметр на выходе
- расход греющего теплоносителя G_1 ;
- расход нагреваемого теплоносителя G_2 .

$$G = \frac{\Sigma Q}{4.19(t'' - t')} \quad \text{кг/с} \quad (8)$$

Площадь теплообменной поверхности т/а:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}} \quad , \quad \text{м}^2 \quad (9)$$

где k - коэффициент теплопередачи, кВт/(м²К)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (10)$$

где

$\lambda = 0,0016$, кВт/(мК) - теплопроводность нержавеющей стали

$\delta = 0,0005$, м толщина пластины теплообменника

α_1 - коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к теплообменной поверхности (пластине) кВт/(м² К);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от теплообменной поверхности (пластины) к нагреваемому теплоносителю кВт/(м² К);

Для наиболее распространенных пластин с шевронным гофром уравнение для расчета коэффициентов теплоотдачи, имеет вид:

для турбулентного режима течения

$$Nu = 0,2(Re)^{0,73} Pr^{0,4} \quad (11)$$

После подстановки соответствующих параметров в диапазоне температур теплоносителей, использующихся в теплоснабжении, получим формулы, которые можно использовать при приближенных вычислениях. Более точные значения можно получить только у производителей использующие экспериментальные данные при испытаниях конкретной модели теплообменника.

Коэффициент теплоотдачи при движении воды в пластинчатом теплообменнике:

$$\alpha \approx 13,5(W)^{0,73}, \text{ кВт}/(\text{м}^2\text{К}); \quad (12)$$

где W , м/с – скорость движения воды в канале (между пластинами)

$$W = \frac{G}{\rho f^{\frac{n-1}{2}}} \text{ м/с} \quad (13)$$

G , кг/с – расход теплоносителя ;

$\frac{n-1}{2}$ – количество каналов между пластинами для прохода одного теплоносителя, n – число пластин.

f – живое сечение одного канала в теплообменнике

$$f = a * \Delta, \quad (14)$$

где a – поперечный размер канала между пластинами;

$\Delta = 0,002$, м – эквивалентный зазор между пластинами, принимается максимальный размер (диаметр) шарика, который свободно проходит в канале между пластинами.

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды;

подставив значения величин получим:

$$\alpha \approx 13,5 \left(\frac{G}{\rho a \Delta^{\frac{n-1}{2}}} \right)^{0,73}, \text{ кВт}/(\text{м}^2\text{К}); \quad (15)$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны жидкого теплоносителя:

$$\alpha_1 \approx 13,5 \left(\frac{G_1}{\rho a \Delta^{\frac{n-1}{2}}} \right)^{0,73}, \text{ кВт}/(\text{м}^2\text{К}); \quad (16)$$

G_1 - кг/с - массовый расход греющего теплоносителя;

Коэффициент теплоотдачи со стороны кипящего теплоносителя (испаряющегося фреона):

$$\alpha_2 \approx b \sqrt[3]{\frac{\lambda^2}{\nu \sigma T_s}} q^{2/3}, \text{ кВт/м}^2\text{К}; \quad (17)$$

где

$$q - \text{плотность теплового потока } q = \frac{Q}{F_1(n-2)}$$

F_1 – площадь поверхности одной пластины, м^2 ;

b - коэффициент, равный

$b = 0,075[1+10(\frac{\rho''}{\rho' - \rho''})^{2/3}]$, все физические свойства в этой формуле следует выбирать по температуре насыщения.

Коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующегося теплоносителя в канале между пластинами

$$\alpha_2 = \alpha_0 \sqrt{1 + 0,5 \frac{\rho' - \rho''}{\rho''}} \quad (18)$$

где α_0 - коэффициент теплоотдачи рассчитанный по формуле (12) при турбулентном движении конденсата в канале между пластинами.

$\lambda_{\text{ст}} = 0,0016$, кВт/(мК) - теплопроводность нержавеющей стали

$\delta = 0,0005$, м толщина пластины теплообменника

n - число пластин

a - ширина каналов в теплообменнике, м

Также можно принять 0,9 от полной ширины пластины.

Средне логарифмический температурный напор в теплообменнике

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (10)$$

где Δt_6 - большая разность температур между теплоносителями в теплообменнике;

Δt_m - меньшая разность температур между теплоносителями в теплообменнике.

Уравнение теплопередачи

$$Q = K \Delta t_{cp} F, \text{ кВт} \quad (11)$$

F – теплообменная поверхность теплообменника м²,

$$F = F_1 (n-2) \quad (12)$$

Где F_1 — поверхность одной пластины, м²

n - число пластин

Тогда:

$$Q = K \Delta t_{cp} (n-2) F_1 \quad (13)$$

Подставив в (13) (8) и (9) получим уравнение с одним неизвестным n – число пластин.

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{13,5 \left(2 \frac{G_1}{\rho a \Delta (n-1)} \right)^{0,73}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} * \Delta t_{cp} * (n-2) * F_1, \quad (14)$$

кВт

Уравнение удобно решать графически (рисунок 8)

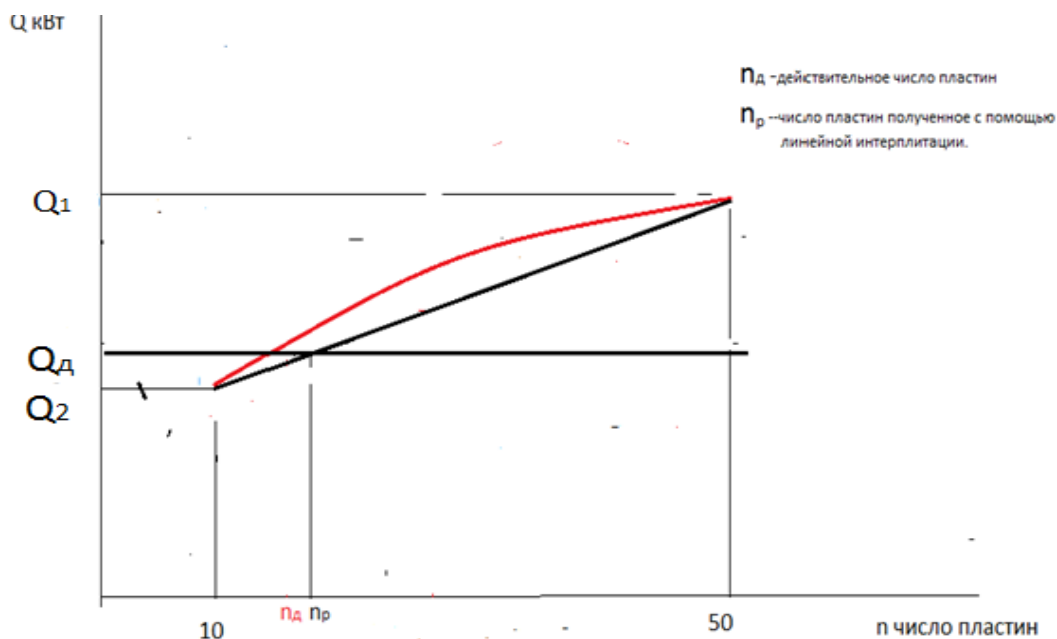


Рис. 8 Графическое определение количества пластин в теплообменнике.

После того, как будет найдено необходимое число пластин в теплообменниках необходимо проверить действительную скорость W_d каждого из теплоносителей при соответствующих значениях G_i кг/с и ширине канала (a), м

$$W_d = \frac{G}{\rho a \Delta \frac{n_0 - 1}{2}} \quad \text{м/с} \quad (15)$$

Скорость движения воды в каналах (между пластинами) должна находиться в пределах 0,3–2,0 м/с, в противном случае надо выбрать к установке другой типоразмер теплообменника. Красная линия – примерная зависимость правой части уравнения (14), черная линия – требуемая тепловая мощность теплообменника. Подставив в правую часть уравнения два возможных значения n (например 10 и 50) и применив линейную интерполяцию, получим необходимое число пластин теплообменного аппарата n_0 . Эта величина будет несколько больше действительного значения n_d , что гарантирует необходимую поверхность пластинчатого теплообменника для заданной тепловой мощности Q .

Определение эффективности работы сплит системы в режиме подогрева (теплового насоса)

Сплит-системы бывают двух типов: системы, работающие только в режиме охлаждения и работающие в режиме охлаждения и режиме обогрева. Схема сплит-системы, работающей в и режиме охлаждения, и в режиме обогрева несколько усложняется по сравнению со схемой, представленной на рисунок 1. Это связано, с тем, что при переходе с режима охлаждения на режим обогрева, установка начинает работать в качестве теплового насоса. Реализация возможности перехода сплит-системы в режим работы в качестве теплового насоса (режим подогрева воздуха) обеспечивается реверсивным клапаном. Реверсивный клапан (четырёхходовой), предназначен для изменения режима движения хладагента. Переключение реверсивного клапана осуществляется автоматически от электромагнитной катушки при переходе сплит-системы в режим теплового насоса. С помощью 4-ходового контрольного клапана изменяется направление перекачивания компрессором хладагента (теплообменник внешнего блока становится испарителем, а теплообменник внутреннего блока конденсатором. Этот клапан управляется соленоидом, на который от внутреннего блока подается напряжение питающей сети (220 В). Принципиальная схема сплит-системы, работающей в режиме подогрева показана на рисунке 1. При работе сплит-системы в режиме обогрева (теплового насоса) радиатор наружного блока охлаждается и на нём образуется большое количество конденсата. При установке сплит-системы не на фасаде здания (на лоджии, внутри строений) от внешнего блока требуется отвод конденсата. Кроме того, работа сплит-системы в режиме теплового насоса ведет к интенсивному охлаждению конденсатора наружного блока и с возможностью его последующего обмерзания. Так как средние температуры наружного воздуха на территории России достаточно низки (значительно ниже нуля), то эксплуатация сплит-систем в режиме подогрева имеет свои особенности. При работе сплит-системы в режиме обогрева в условиях достаточно низких наружных температур происходит

уменьшение вырабатываемой тепловой мощности при снижении температуры наружного воздуха. Обогрев помещения с помощью сплит-системы используют осенью или весной, при положительной уличной температуре. При отрицательных температурах фреон не закипает в радиаторе внешнего блока, а в жидком виде поступает на вход компрессора и приводит к его поломке. Электроника качественных сплит-систем не позволит включить обогрев при низких уличных температурах.

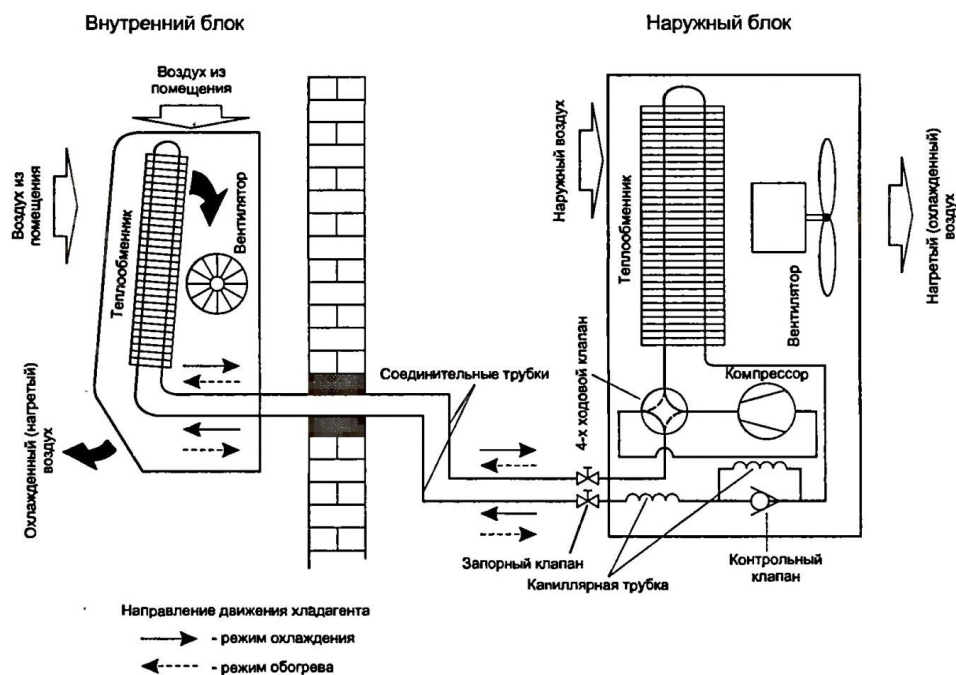


Рис. 1. Схема сплит-системы, работающей в режиме нагрева и охлаждения

Обогрев помещения с помощью сплит-системы используют осенью или весной, при положительной уличной температуре. При отрицательных температурах фреон не закипает в радиаторе внешнего блока, а в жидком виде поступает на вход компрессора и приводит к его поломке. Электроника качественных сплит-систем не позволит включить обогрев при низких уличных температурах. Схемы и циклы тепловых насосов (ТН) аналогичны схемам и циклам холодильных машин. Но, если задачей холодильных установок является охлаждение тел или поддержание температуры помещения на заданном низком уровне, то ТН предназначены для подвода теплоты, забираемой от источника с низкой температурой, к нагреваемому объекту при более высокой температуре. Происходит «передача» теплоты из холодного источника в горячий. Отсюда и название «тепловой насос».

Работа ТН состоит в следующем. За счет теплоты источника с низкой температурой в испарителе (И) происходит парообразование рабочего тела с низкой температурой кипения (фреон, аммиак и т. п.). Полученный пар поступает в компрессор (К), где повышаются давление и температура пара (процесс 1-2, , далее пар направляется в охладитель (теплообменник) (О) , где охлаждается и конденсируется, отдавая свою теплоту охлаждающей

жидкости (газу, воздуху). Образовавшийся конденсат дросселируется редукционным вентилем (РВ) с уменьшением температуры и давления (процесс 3-4). При работе сплит-системы в режиме подогрева в качестве охлаждающей жидкости в охладителе используется воздух помещения, нагнетаемый вентилятором на теплообменник.

Характеристикой совершенства работы ТН (сплит-системы, работающей в режиме обогрева) является отношение теплоты, отданной к потребителю (воздуху помещения), к затраченной при этом работе, т. е.

$$\mu = \frac{q_2 + l_y}{l_y} = \frac{q_1}{l_y}.$$

Коэффициент μ называют *отопительным коэффициентом* или *коэффициентом теплоиспользования*, или *коэффициентом преобразования ТН*.

Коэффициент преобразования ТН можно выразить через холодильный коэффициент цикла:

$$\mu = \frac{q_2 + l_y}{l_y} = \frac{q_2}{l_y} + 1 = \varepsilon_t + 1.$$

Если в ТН используется паровой цикл, то коэффициент μ равен:

$$\mu = \frac{q_2 + l_y}{l_y} = \frac{h_1 - h_3 + h_2 - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}.$$

В случае возможности работы ТН по обратному циклу Карно, коэффициент преобразования ζ определяется как:

$$\mu = \frac{q_1}{l_y} = \frac{T_1}{T_1 - T_0},$$

где T_1 и T_0 – соответственно, температуры потребителя и источника теплоты, К.

В наружном блоке, находящемся вне помещения, имеется компрессор, осуществляющий циркуляцию хладагента в системе. Сплит-система приводится в режим обогрева помещения (режим ТН). Четырехходовой

T critical = 96.00 °C, p critical = 49.77400 Bar, v critical = 0.00191 m³/kg

Рис.2. Диаграмма состояния фреон-22

Однако, при снижении температуры наружного воздуха ниже -10°C использовать воздушную сплит-систему для обогрева помещения не рекомендуется из-за износа частей компрессора. Для регионов с холодным климатом обычно используют теплоту земли, для чего в грунт помещают трубы обычно пластиковые, которые образуют грунтовый теплообменник, забирающий низкопотенциальную теплоту земли с температурой $5 \div -3^{\circ}\text{C}$.

Расчеты ведут с помощью P-h (давление – энтальпия) диаграммы фреона (рис.3)

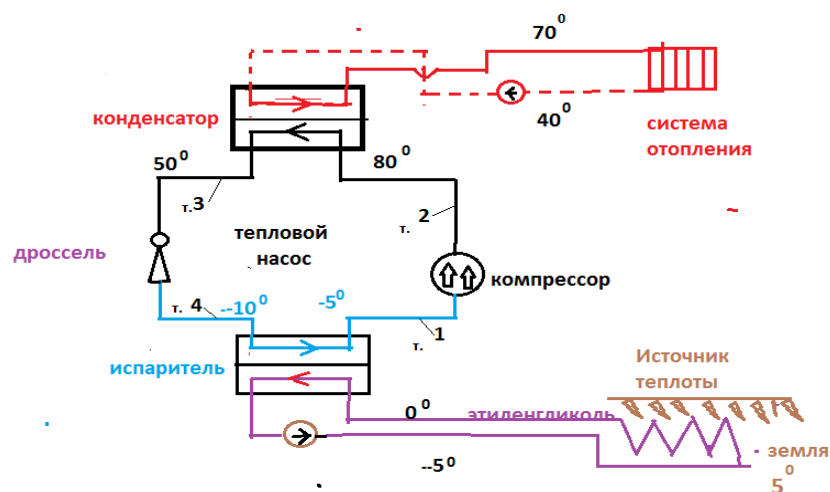
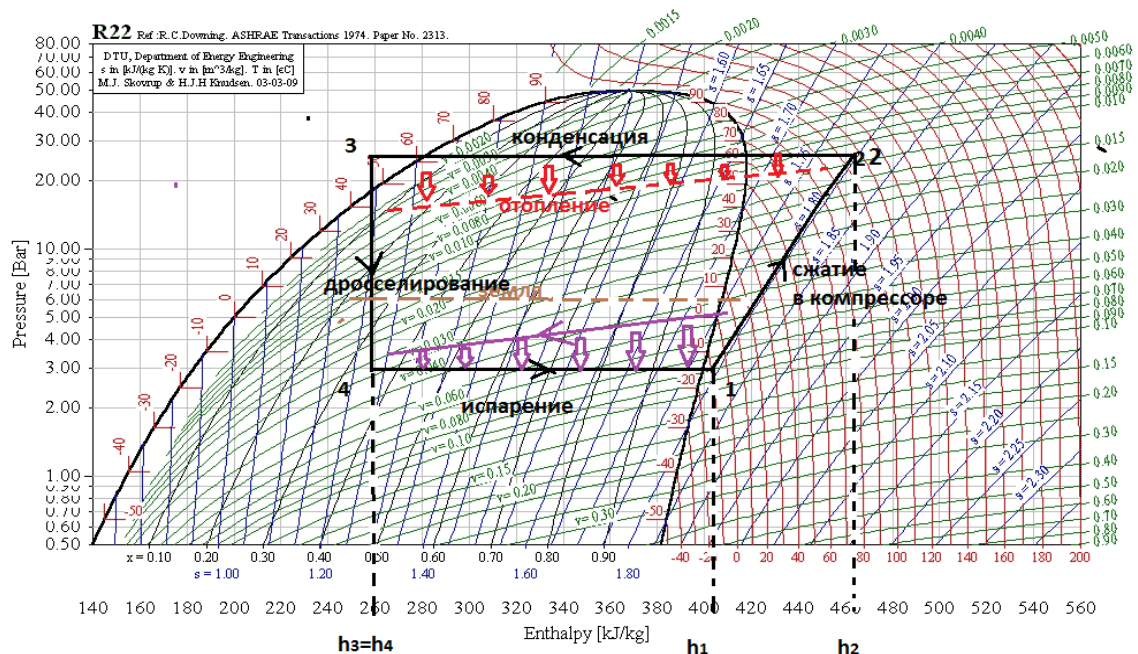


Рис.3 Использование диаграммы фреона для расчета грунтового теплового насоса.

Необходимо определить величину теплоты Q_n , поступившей в помещение лаборатории для отопления помещения при помощи сплит системы, за время проведения эксперимента τ , если температура окружающей среды t_{oc} (определяется по климатическим данным), ° С, температура нагревательных устройств (поверхности теплообменника внутреннего блока). Мощность двигателя компрессора N . Холодильный агент – фреон-22. Определить коэффициент преобразования ТН μ и построить функцию $\mu = f(t_{oc})$.

№ п/п	Испаритель		Конденсатор		Температура после конденсатора. Температура переохлаждения жидкого фреона.	Мощность привода компрессора			
		Температура перегрева паров фреона		Температура паров фреона после сжатия в компрессоре					
	P_1 * бар	t_1 °С *	P_2 * бар	T_2 °С	t_3 *	$N_{теор}$, Вт	U В	I А	ε_t
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Методика основана на применении законов термодинамики. При расчете необходимо использовать Р—Н диаграмму состояния фреона – R22.

1. Холодопроизводительность 1 кг рабочего тела q_2 определяется из уравнения:

$$q_2 = h_1 - h_4, \text{ кДж/кг};$$

где h_1, h_4 – энтальпия рабочего тела на выходе из холодильной камеры и на входе в нее соответственно, кДж/кг.

2. Работа, затраченная компрессором при адиабатном сжатии рабочего тела определяется выражением:

$$l_K = l'_{1-2} = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}.$$

3. Мощность привода компрессора

$$N = U \cdot I / 1000, \text{ кВт},$$

Где $U = 220 \text{ В}$

4. Холодильный коэффициент

$$\varepsilon_t = \frac{q_2}{l_y} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1};$$

5. Секундный расход фреона-22

$$G_\phi = N \cdot l_{1-2}, \text{ кг/с};$$

6. Теплота отведенная от охлаждаемого воздуха

$$Q_{\text{хол}} = N \cdot \varepsilon_t \text{ кВт}$$

7. Теплота отдаваемая в окружающую среду

$$Q_t = (h_2 - h_3) \cdot G_\phi, \text{ кВт};$$

8. Отопительный коэффициент (коэффициент преобразования энергии)

$$\mu_t = \varepsilon + 1, \text{ или } \mu_t = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1).$$